Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Кафедра
атомної енергетики

Кінетика фазових перетворень в енергетичному обладнанні

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни	
Рівень вищої освіти	*доктор філософії з атомної енергетики*
Галузь знань	*G Інженерія, виробництво та будівництво*
Спеціальність	*G4 Енерговиробництво*
Спеціалізація	*G4.01 Атомна енергетика*
Освітня програма	*ОНП Атомна енергетика*
Статус дисципліни	*Нормативна, навчальні дисципліни для здобуття універсальних компетентностей дослідника*
Форма навчання	*очна(денна)*
Рік підготовки, семестр	*1 курс, весняний семестр*
Обсяг дисципліни	*4 кредити, 120 годин, 30 години лекцій, 14 годин практичних, 76 годин СРС*
Семестровий контроль/ контрольні заходи	*Модульна контрольна робота, екзамен*
Розклад занять	https://schedule.kpi.ua
Мова викладання	*Українська*
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: *д.т.н, Кравець Володимир Юрійович, kravetz_kpi@ukr.net* Лабораторні: не передбачено
Розміщення курсу	Посилання на дистанційний ресурс: *https://campus.kpi.ua*, *https://do.ipo.kpi.ua/mod/resource/view.php?id=90678*678

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчання та результати навчання

Сучасний стрімкий розвиток техніки потребує створення складних технологічних процесів для розробки приладів і обладнання високого рівня. Це в свою чергу потребує експериментальних досліджень для пошуку шляхів підвищення функціональної можливості існуючих енергетичних об'єктів, а також для будівництва нових з урахуванням соціально-економічного розвитку країни.

Предметом навчальної дисципліни є опанування сучасних методів наукових досліджень у галузі електричної інженерії.

Метою навчальної дисципліни є формування у аспірантів наступних фахових здібностей (компетентностей):

Здатність формулювати наукову проблему (задачу), що має теоретичне та практичне значення в галузі енергетичного машинобудування, визначати шляхи її вирішення із залученням сучасних теоретичних та експериментальних методів та інформаційних технологій	ФК5
Здатність до досягнення підсумкової мети дослідження - практичного впровадження або перспективи такого в ракурсі теоретичної науки.	ФК6
Здатність використовувати новітні досягнення сучасної науки і передових технологій в наукових дослідженнях.	ФК8

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми аспіранти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі програмні результати навчання:

Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень і математичного та/або комп'ютерного моделювання, наявні літературні дані.	ПРН 3
Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з атомної енергетики та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних інструментів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.	ПРН 5
На основі результатів теоретичних і експериментальних досліджень розробляти та реалізовувати наукові та/або інноваційні інженерні проєкти, які дають можливість переосмислити наявне та створити нове цілісне знання та/або професійну практику і розв'язувати значущі наукові та технологічні проблеми у галузі атомної енергетики з дотриманням норм академічної етики.	ПРН 7

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Пререквізити: знання теорії тепломасообміну та гідродинаміки.

Постреквізити: Моделювання тривимірних задач гідродинаміки і теплообміну в енергетичному устаткуванні. Теорія переносу; дисципліни за темою дисертації (вибіркові компоненти освітньої програми), робота над дисертацією.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Фізика процесів генерації парової фази

Тема 1.1. Механізм процесу теплообміну при бульбашковому та плівковому кипінні

Розділ 2. Основи теорії замкнених випаровувально-конденсаційних систем

Тема 2.1. Класифікація та основні відомості про випаровувально-конденсаційні системи

Тема 2.2. Основні характеристики випаровувально-конденсаційних систем

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова (підручники, навчальні посібники) література.

1. Каденко І.М., Харитонов О.М., Єрмоленко Р.В. Основи теплогідравліки ядерних енергетичних установок. Навчальний посібник / Київ: Київський університет. 2010. – 359 с. http://atom.univ.kiev.ua/books/tg.pdf
2. Кравець В.Ю Процеси теплообміну у мініатюрних випарно-конденсаційних системах охолодження/ В.Ю. Кравець – Харьков. ФОП Бровін О.В., 2018. -288 с.
3. Теплогідравлічні процеси в енергетичних установках. Розрахункова робота [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньо-професійною програмою «Атомні електричні станції», спеціальністю 143 «Атомна енергетика» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В. Ю. Кравець, Є. С. Алексеїк, О. С. Алексеїк. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,13 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 49 с. https://ela.kpi.ua/handle/123456789/48478

Додаткова (монографії, статті, документи, електронні ресурси) література.

1. Kravets, V., Alekseik, Y., Alekseik, O., Khairnasov, S., Baturkin, V., Ho, T., Celotti, L. Heat pipes with variable thermal conductance property for space applications // Journal of Mechanical Science and Technology Volume 31, Issue 6, 1 June 2017, pp 2613-2620.
2. Melnyk, R., Kravets, V., Lipnitskyi, L., Danylovych, A. Heat Transfer Intensity at Water Boiling on the Surface of a Capillary Structure Under Subatmospheric Pressure // Eastern-European Journal of Enterprise Technologiesthis, 2021, 3/8 (111) , pp. 35–41.
3. Yu.E.Nikolaenko, D.V.Pekur, V.M.Sorokin, V.Yu.Kravets, R.S.Melnyk, L.V.Lipnitskyi, A.S.Solomakha Experimental study on characteristics of gravity heat pipe with threaded evaporator // Thermal Science and Engineering Progress Volume 26, 1 December 2021, 101107

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
	Розділ 1. Фізика процесів генерації парової фази
	Тема 1.1. Механізм процесу теплообміну при бульбашковому та плівковому кипінні
1.	**ЛЕКЦІЯ 1.** Закономірність зародження, зростання, відриву та руху парових бульбашок. Динаміка зростання бульбашок, що зростають в об'ємі рідини.
2.	**ЛЕКЦІЯ 2.** Пульсації температури поверхні під паровою бульбашкою при її зростанні. Відривні діаметри парових бульбашок при кипінні однокомпонентної рідини.
3.	**ЛЕКЦІЯ 3.** Сили, які розвиває між фазна поверхня парової бульбашки при її зростанні.
4.	**ЛЕКЦІЯ 4.** Фактори, що визначають температурний режим поверхонь нагріву в стислих умовах пароутворення. Умови пароутворення в пористій поверхні.
5.	**ЛЕКЦІЯ 5.** Вплив деяких факторів на інтенсивність теплообміну при бульбашковому кипінні (тиск, рівень гравітації, висота рівня рідини,орієнтація у просторі, шорсткість).
6.	**ЛЕКЦІЯ 6**. Вплив швидкості рідини і паровмісту потоку на інтенсивність теплообміну при бульбашковому кипінні. Процеси теплообміну в дисперсно-кільцевому потоці. Інтенсивність теплообміну при кипінні в умовах направленого руху рідини.
7.	**ЛЕКЦІЯ 7.** Механізм кризи тепловіддачі при кипінні теплоносія на занурених поверхнях тепловіддачі. Теплова та гідродинамічна теорії кризи теплообміну при кипінні рідини на занурених поверхнях теплообміну.
8.	**ЛЕКЦІЯ 8**. Вплив режимних параметрів на критичний тепловий потік при кипінні насиченої рідини. Рівняння для розрахунку критичній густини теплового потоку. Природа кризи теплообміну при кипінні в каналах. Криза теплообміну другого роду при кипінні у круглих трубах. ***Модульна контрольна робота.*** *Частина I*
	Розділ 2. Основи теорії замкнених випаровувально-конденсаційних систем
	Тема 2.1. Класифікація та основні відомості про випаровувально-конденсаційні системи.
9.	**ЛЕКЦІЯ 9.** Принцип роботи випарно-конденсаційних систем. Процеси, що мають місце в тепловій трубі. Класифікація теплових труб: за принципом роботи, за типом капілярної структури; за робочим температурним діапазоном.
10.	**ЛЕКЦІЯ 10.** Матеріали, що використовуються при виготовленні теплових труб. Теплоносії, їх характеристики, межі застосування. Теплофізичні основи вибору теплоносіїв для теплових труб.
11.	**ЛЕКЦІЯ 11.** Капілярні структури: Порошкові, сітчасті, металоволокневі. Особливості виготовлення. Переваги та недоліки. Звичайні теплові труби. Мініатюрні і мікротеплові труби. Конструкція. Особливості роботи. Газорегульовані теплові труби. Контурні теплові труби. Пульсаційні теплові труби. Конструкція. Особливості роботи. Термосифони. Конструкції. Особливості виготовлення. Переваги та недоліки. Область використання
	Тема 2.2. Основні характеристики випаровувально-конденсаційних систем.
12.	**ЛЕКЦІЯ 12.** Геометричні та транспортні характеристики капілярно-пористих структур. Ефективний діаметр пір. Проникність
13.	**ЛЕКЦІЯ 13.** Термічний опір теплової труби, термосифона, його складові. Залежність термічного опору від геометричних та режимних параметрів.
14.	**ЛЕКЦІЯ 14.** Явища, що спричиняють виникнення кризових явищ у тепловій трубі. Вплив геометричних та режимних параметрів на теплопередавальні характеристики теплових труб. Максимальна теплопередавальна здатність теплових труб. Капілярне обмеження потужності, яка передається. Рівняння балансу тисків у тепловій трубі. Теплообмін в зоні випаровування теплових труб.
15.	**ЛЕКЦІЯ 15.** Коефіцієнт заповнення в термосифонах. Його вплив на максимальний тепловий потік і термічний опір. Пульсаційні явища в двофазних термосифонах. ***Модульна контрольна робота.*** *Частина II*

Основні завдання циклу практичних занять:
Набуття практичних навичок складання плану і методики проведення дослідження, використання методів математичного планування експерименту, теорії похибок і статистичної обробки експериментальних даних, отримання математичних моделей робочих процесів, а також проведення наукових семінарів.

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
Розділ 1. Фізика процесів генерації парової фази	
1.	Інтенсивність теплообміну при кипінні у великому об'ємі. Відривні діаметри парових бульбашок при кипінні однокомпонентної рідини.
2.	Процеси теплообміну в дисперсно-кільцевому потоці. Інтенсивність теплообміну при кипінні в умовах направленого руху рідини. .
3.	Природа кризи теплообміну при кипінні в каналах. Криза теплообміну другого роду при кипінні у круглих трубах.
Розділ 2. Основи теорії замкнених випаровувально-конденсаційних систем	
4.	Матеріали, що використовуються при виготовленні теплових труб. Теплоносії, їх характеристики, межі застосування
5.	Амплітуда температурних пульсацій в зоні нагріву термосифона. Вплив кута нахилу на максимальний тепловий потік.
6.	Вплив кількості витків на максимальний тепловий потік пульсаційної теплової труби.
7.	Вплив геометричних характеристик елементів теплової труби на перехідне число Рейнольдса. Перехід від ламінарного характеру течії до турбулентного

6. Самостійна робота аспіранта

Теми самостійної роботи до лекційних занять:

1. Інтенсивність теплообміну при кипінні у великому об'ємі. Теплообмін при плівковому кипінні.
2. Поняття про гідродинамічну стійкість системи паралельних парогенеруючих каналів.
3. Інтенсивність теплообміну при кипінні на пористій поверхні
4. Поверхневий натяг і поверхнева енергія. Теплові труби зі складеною та комбінованою капілярною структурою.
5. Сумісність корпусу теплових труб та теплоносіїв.
6. Комбіновані капілярні структури.
7. Баланс тиску в теплових трубах. Умова роботи пульсаційної теплової труби.
8. Максимальний капілярний тиск. Вплив пористості капілярної структури на термічний опір
9. Вплив пористості капілярної структури і довжин зон теплообміну на максимальні теплові потоки.
10. Амплітуда температурних пульсацій в зоні нагріву термосифона. Вплив кута нахилу на максимальний тепловий потік.
11. Вплив кількості витків на максимальний тепловий потік.
12. Зміна тиску пари по довжині труби. Вплив теплофізичних характеристик теплоносіїв на коефіцієнт тепловіддачі

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед аспірантом:

- *обов'язкове відвідування лекцій, а також готовність відповідей при опитуванні;*
- *необхідне виконання таких вимог: активність, підготовка коротких доповідей чи текстів, відключення мобільних телефонів; відповідно до завдання викладача використання засобів зв'язку для пошуку інформації в Інтернеті;*
- *заохочувальні бали надаються у відповідності до «системи оцінювання результатів навчання», штрафні бали є засобом протидії плагіату та несвоєчасному виконанню завдань;*
- *політика дедлайнів та перескладань полягає у виконанні поточних модульних робіт і реферату до початку сесії;*
- *політика щодо академічної доброчесності відповідає загальним положенням, прийнятим у «КПІ ім. Сікорського» (детальніше*: https://kpi.ua/code*);*

– *політика навчальної дисципліни спрямована на розвиток індивідуальних здібностей в напрямку набуття компетентностей щодо створення та модернізації сучасних енергетичних систем, унікального обладнання в енергетичній галузі, а також в напрямку розширення сфер застосування отриманих знань, умінь і досвіду.*
– *за бажанням аспірантів, допускається вивчення матеріалу за допомогою онлайн-курсів за тематикою, яка відповідає тематиці конкретних занять.*

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (РСО)

Види контролю знань аспірантів з дисципліни:

- відповіді на лекційних заняттях;
- виконання МКР (дві частини);
- відповідь на екзамену.

Рейтинг аспіранта з дисципліни складається з балів, які він отримує за:

1) *в середньому чотири відповіді кожного аспіранта на лекційних заняттях (на одному занятті опитуються приблизно 2 аспіранти; при середній чисельності групи 10 осіб і пятнадцати лекційних занять (30 годин) отримуємо: 2·15/10≈ 3 відповіді);*
2) *виконання завдань СРС;*
3) *виконання МКР (дві частини);*
4) *відповідь на екзамену.*

1. Опитування на лекційних заняттях

Ваговий бал — 5. Максимальна кількість балів аспіранта на всіх заняттях: $\mathbf{r_1}$=6 балів х 3 = **18 балів.**

Критерії оцінювання:

6 балів — повна вірна відповідь на поставлене питання; **5 бали** — відповідь містить несуттєві помилки; **4 бали** — неповна відповідь; **2…3 бала** — наявність суттєвих помилок в неповній відповіді; **0 балів** — відсутність відповіді.

2. Виконання завдань СРС

Ваговий бал — 1 (за кожне завдання). Максимальна кількість балів (завдання СРС видаються після лекції, строк задачі завдання – не пізніше ніж через тиждень): $\mathbf{r_2}$=1 бал х 12 = **12 балів.** *Виконане завдання надається викладачу у вигляді конспекту, виконання завдань СРС обов'язкове.*

Критерії оцінювання:

1 бал — в повному об'ємі і вчасно надане завдання; **0 балів** — не вчасно надане завдання.

3. Модульна контрольна робота (МКР)

Проводиться дві частини МКР. Ваговий бал кожної частини — 10. Максимальна кількість балів за МКР дорівнює $\mathbf{r_3}$= 10 х 2 = **20 балів.**

Критерії оцінювання:

10 балів — повна вірна відповідь на завдання; **7…8 балів** — відповідь має несуттєві помилки; **4…6 балів** — неповна відповідь; **0…3 бала —** наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді, МКР не зараховано.

4. Відповіді на екзамену

Екзамен проводиться в усній формі. Білет складається з трьох теоретичних питань. Перелік питань наведений у додатку до силабусу дисципліни. Перші два теоретичних питання оцінюються по 15 балів, а трете – 20 балів. Тобто, максимальна кількість балів за виконане завдання **15+15+20 = 50 балів**.

Критерії оцінювання:

Кожне питання оцінюється згідно до системи оцінювання:

– повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – **13…15 (18…20) балів**;
– достатньо повна відповідь (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) – **10…12 (14…17) балів**;
– неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – **7…9 (11…13) балів**;
– незадовільна відповідь (менше 60% потрібної інформації та помилки) – менше **6 (10) балів**.

Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни (R_D):

Сума вагових балів контрольних заходів в семестрі (стартовий рейтинг) складає:

$$R_c = r_1 + r_2 + r_3.$$

де r_i — рейтингові або вагові бали за кожний вид робіт з дисципліни.

Максимально можливий стартовий рейтинг: $\mathbf{R_C = 18+12+20 = 50}$ **балів.**

Необхідною умовою допуску до *екзамену* є позитивна оцінка з виконання всіх завдань СРС та стартовий рейтинг не менше 0,5 х Rc = 25 балів.

Аспіранти, які набрали у семестрі рейтинг з дисципліни менше, ніж 25 балів, зобов'язані до початку екзаменаційної сесії підвищити його, інакше вони не допускаються до *екзамену* з цієї дисципліни і мають академічну заборгованість.

Екзаменаційна складова R_E шкали дорівнює: $\boldsymbol{R_E}$ **= 50 балів.**

Таким чином, максимальна кількість балів за рейтинговою шкалою з дисципліни складає

$$R_D = Rc + R_E = 50 + 50 = 100 \text{ балів.}$$

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

Процедура оскарження результатів контрольних заходів

Аспіранти мають право і можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами (детальніше: https://osvita.kpi.ua/2020_7-170, https://document.kpi.ua/files/2020_7-170.pdf).

Аспіранти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов’язково аргументовано, пояснивши з яким критерієм не погоджуються відповідно до оціночного листа та/або зауважень.

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (детальніше: https://kpi.ua/code).

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

1. Дистанційне навчання:

В умовах дистанційного режиму організація освітнього процесу здійснюється з використанням технологій дистанційного навчання: платформи дистанційного навчання «Сікорський» та «Електронний кампус». Навчальний процес у дистанційному режимі здійснюється відповідно до затвердженого розкладу навчальних занять. Заняття проходять з використанням сучасних ресурсів проведення онлайн-зустрічей (організація відео-конференцій на платформі Zoom).

2. *Навчання в умовах правового режиму воєнного стану*:

– передбачає проведення усіх видів занятьдистанційно (з використанням синхронної або асинхронної моделі освітньої взаємодії), у відповідності до Регламенту організаціїосвітнього процесу в дистанційному режимі та Положення про дистанційне навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського;
– кінцеві терміни виконання індивідуальних завдань і завдань самостійної роботи переносяться на кінець семестру (з обов’язковим виконанням і захистом);
– у рейтингову систему оцінювання вносяться зміни стосовно нарахування штрафних балів за не своєчасне виконання завдань: штрафні бали не нараховуються.

3. Для аспірантів існує можливість зарахування (у вигляді додаткових балів до рейтингу до 20 балів):

– сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за тематикою дисципліни;
– сертифікатів, які підтверджують участь у науково–практичних і наукових конференціях за тематикою дисципліни;
– публікація статті у науковому журналі за тематикою дисципліни.

Додаток 1

Список питань на залік

1. Принцип роботи випарно-конденсаційних систем. Процеси, що мають місце в тепловій трубі.
2. Класифікація теплових труб: за принципом роботи, за типом капілярної структури; за робочим температурним діапазоном.
3. Матеріали, що використовуються при виготовленні теплових труб. Теплоносії, їх характеристики, межі застосування.

4. Капілярні структури: Порошкові, сітчасті, металоволокневі. Особливості виготовлення. Переваги та недоліки.
5. Газорегульовані теплові труби. Конструкція. Особливості роботи.
6. Контурні теплові труби. Конструкція. Особливості роботи.
7. Пульсаційні теплові труби. Конструкція. Особливості роботи.
8. Термосифони. Конструкції. Особливості виготовлення. Переваги та недоліки. Область використання.
9. Термічний опір теплової труби, його складові. Залежність термічного опору від геометричних та режимних параметрів.
10. Термічний опір термосифона, його складові. Залежність термічного опору від геометричних та режимних параметрів.
11. Пульсаційні явища в двофазних термосифонах .
12. Коефіцієнт заповнення в термосифонах. Його вплив на максимальний тепловий потік і термічний опір.
13. Вплив кута нахилу на максимальний тепловий потік теплових труб і термосифонів.
14. Методи виготовлення теплових труб і термосифонів.
15. Вплив теплофізичних характеристик теплоносіїв на коефіцієнт тепловіддачі в зонах теплообміну термосифонів і теплових труб.
16. Звичайні теплові труби. Мініатюрні і мікротеплові труби. Конструкція. Особливості роботи.
17. Межі теплопередавальної здатності теплових труб.
18. Умови виникнення пробки конденсату в мініатюрних термосифонах.
19. Вплив геометричних характеристик елементів теплової труби на перехідне число Рейнольдса. Перехід від ламінарного характеру течії до турбулентного.
20. Залежність швидкості течії пари від теплового потоку і властивостей теплоносія.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено професором каф. АЕ, д.т.н., Кравцем Володимиром Юрійовичем

Ухвалено: кафедрою АЕ (протокол № 26 від 22.06. 2026 р.)

Погоджено: Методичною комісією НН ІАТЕ (протокол № 9 від 26. 06. 2026 р.)