



ОСНОВИ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМІНУ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>10 Природничі науки</i>
Спеціальність	<i>105 Прикладна фізика та наноматеріали</i>
Освітня програма	<i>Прикладна фізика</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна) /дистанційна</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>120 годин (4 кр.) Лекційних занять: 36 год. Практичних занять: 28 год. Самостійна робота студентів: 56 год.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік, поточний контроль, модульна контрольна робота, домашня контрольна робота</i>
Розклад занять	<i>Лекції (36 годин) кожний тиждень, практичні (28 годин) http://ipt.kpi.ua/navchalnij-protses</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: д.т.н., професор, академік НАН України, Халатов Артем Артемович, Artem.Khalatov1942@gmail.com, http://phes.ipt.kpi.ua/halatov-artem-artemovich Практичні: к.т.н., Панченко Надія Анатоліївна, napanchenko-ipt@i111.kpi.ua, http://phes.ipt.kpi.ua/panchenko-nadiya-anatoliyivna</i>
Розміщення курсу	<i>http://phes.ipt.kpi.ua/osnovy-konvektyvnogo-teploobminu Посилання на дистанційний ресурс Classroom https://classroom.google.com/u/1/c/MTQxODcxMDE1MzE5</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Основною метою навчальної дисципліни «Основи конвективного теплообміну» є отримання знань в області законів і рівнянь перенесення теплоти конвективним теплообміном. Прослухавши курс студенти повинні вміти робити розрахунки тепловіддачі в елементах перспективних енергетичних установок та сучасного обладнання. А також, виконувати дослідження і робити обґрунтовані висновки при дослідженні теплових процесів в енергетичних системах і установках.

Відповідність формування у студентів компетентностей:

ЗДАТНІСТЬ:

- Знати основні закони та рівняння, що визначають перенесення теплоти тепловіддачею,
- Знати та вміти застосовувати методи розрахунку тепловіддачі в різних умовах (зовнішнє обтікання, течія в каналах, при кипінні та конденсації, при вільній конвекції та ін.);

- *Вміти самостійно формулювати, аналізувати та вирішувати завдання конвективного теплообміну при різних граничних умовах;*
- *Мати досвід розрахунку конвективного теплообміну в елементах сучасних і перспективних енергетичних машин і установок;*
- *ЗК 1 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;*
- *ЗК 2 Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності;*
- *ЗК 13 Здатність критично оцінювати результати своєї діяльності в професійній сфері, навчанні і приймати обґрунтовані рішення з урахуванням наукових, соціальних, етичних, правових, економічних аспектів.*
- *ФК 6 Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем.*

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

ЗНАННЯ:

- *основних законів та рівнянь, що визначають перенесення теплоти конвективним теплообміном;*
- *фізичних основ переносу теплоти конвективним теплообміном.*

УМІННЯ:

- *застосовувати методи розрахунку тепловіддачі в різних умовах (зовнішнє обтікання, течія в каналах, при кипінні та конденсації, при вільній конвекції та ін.);*
- *самостійно формулювати, аналізувати та вирішувати завдання конвективного теплообміну при різних граничних умовах;*
- *мати досвід розрахунку конвективного теплообміну в елементах сучасних і перспективних енергетичних машин і установок.*
- *ПРН 17 Знання основ професійно-орієнтованих дисциплін спеціальності, зокрема хімії, ядерної фізики, статистичної радіофізики та оптики, електродинаміки суцільних середовищ для розв'язання практичних проблем прикладної фізики, в т.ч. високих фізичних технологій та/або фізики живих систем та/або фізики енергетичних систем.*

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

Вивчення курсу «Основи конвективного теплообміну» базується на таких курсах: «Термодинаміка газового потоку», «Фізика», «Фізика суцільних середовищ», «Теорія теплопровідності».

Отримані практичні навички та засвоєні теоретичні знання під час вивчення навчальної дисципліни «Основи конвективного теплообміну» можна використовувати в подальшому під час навчання спеціалізованих дисциплін фізико-енергетичного циклу (наприклад, «Спецглави теорії теплообміну»), що забезпечує індивідуальну наукову роботу студентів в рамках дипломних робіт та ін.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Вступ. Основні поняття та визначення

Розділ 2. Основи теорії подібності фізичних явищ

Розділ 3. Конвективний теплообмін при зовнішньому обтіканні тіл

Розділ 4. Конвективний теплообмін в трубах і каналах

Розділ 5. Тепловіддача при великій швидкості руху газу

Розділ 6. Теплообмін у розріджених газах

Розділ 7. Конвективний теплообмін при вільній конвекції

Розділ 8. Тепловіддача при кипінні і конденсації

Розділ 9. Теплообмін випромінюванням

Розділ 10. Способи теплового захисту енергетичних установок. Заключення.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова

1. Константинов С.М. Теплообмін. К.: Політехніка. 2005. -303 с. (бібліотека та кафедра)
2. Основи конвективного теплообміну [Електронний ресурс] : методичні вказівки до практичних занять з навчальної дисципліни «Основи конвективного теплообміну» для студентів напряму підготовки 6.040204 «Прикладна фізика» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. Н. А. Панченко, А. А. Халатов. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,07 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 32 с. – Назва з екрана. (elakpi <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/22710>)
3. Розрахунок системи охолодження сопла рідинного ракетного двигуна [Електронне видання] : методичні рекомендації до виконання курсової роботи з навчальної дисципліни «Основи конвективного теплообміну» для студентів напряму підготовки 6.040204 «Прикладна фізика» спеціалізації 6.04020401 «Фізика новітніх джерел енергії» / НТУУ «КПІ» ; уклад. А. А. Халатов, Н. А. Панченко, А. Ж. Мейріс . – Електронні текстові дані (1 файл: 2,33 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 34 с. – Назва з екрана. (elakpi <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/15651>)

Допоміжна

4. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. М.: Энергоиздат. 1981. - 416 с.(бібліотека та на гугл-диску викладача)
5. Мукачев Г.А., Щукін В.К. Термодинамика и теплопередача. М.: Высшая школа, 1991 – 470 с. (бібліотека та на гугл-диску викладача)
6. Авдугевский В.С., Галицейский Б.М., Глебов Г.А. и др. Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической технике. М.: Машиностроение. 1975.- 623 с. (кафедра)
7. Болгарский А.В., Голдобеев В.И. и др. Сборник задач по термодинамике и теплопередаче. М.: Изд. Высшая школа. 1972. – 302 с. (бібліотека та на гугл-диску викладача)
8. Амерханов Р.А., Харламов Б.Х. Теплотехника. М.: Энергоатомиздат. 2006. – 431 с.
9. Данилов Ю.И., Дзюбенко Б.В., Дрейцер Г.А., Ашмантас Л.А. Теплообмен и гидродинамика в каналах сложной формы. М.: Машиностроение, 1986, 199 с.
10. Волчков Э.П. Пристенные газове завесы. М.: Наука, 1983, 239 с.
11. Кутателадзе С.С., Леонтьев А.И. Тепло- массообмен и трение в турбулентном пограничном слое. М.: Энергия, 1972, 341 с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
--------------	---

1	Вступ. Предмет і завдання курсу. Місце дисципліни «Основи конвективного теплообміну» в розвитку енергетичних систем. Структура і звітність по курсу. Основні поняття та визначення. Ламінарна і турбулентна течія. Закон Ньютона і коефіцієнт тепловіддачі. Математичний опис тепловіддачі. Граничні умови.
	Література: [1, стор. 108-119], [5, стор.241-260], [6, стор. 4-8, 381-388].
	Завдання на СРС: Роль конвективного теплообміну у вдосконаленні енергетичних установок. Диференціальні рівняння конвективного теплообміну та умови однозначності. Вивчення матеріалу лекції.
2	Основи теорії подібності фізичних явищ. Подібні явища. Теореми подоби. Число подібності і рівняння подібності.
	Література: [1, стор. 129-140], [5, стор. 260-265], [6, стор. 66-86].
	Завдання на СРС: Основи теорії подібності. Вивчення матеріалу лекції.
3	Застосування теорії подібності до тепловіддачі. Фізичний зміст чисел подібності.
	Література: [1, стор. 129-140], [5, стор. 260-265], [6, стор. 66-86].
	Завдання на СРС: Числа подібності конвективного теплообміну. Вивчення матеріалу лекції.
4	Порядок розрахунку по рівнянням подібності. Аналогія між процесами переносу теплоти і кількості руху.
	Література: [1, стор. 129-140], [5, стор. 260-265], [6, стор. 66-86].
	Завдання на СРС: Розрахунок тепловіддачі за рівняннями подібності. Вивчення матеріалу лекції.
5	Конвективний теплообмін при зовнішньому обтіканні тіл. Теплообмін на пластині в умовах неізотермічності.
	Література: [1, стор. 192-201], [5, стор. 324-332].
	Завдання на СРС: Вивчення матеріалу лекції.
6	Теплообмін на пластині в умовах зовнішньої турбулентності. Метод ефективної довжини.
	Література: [1, стор. 192-201], [5, стор. 324-332].
	Завдання на СРС: Розрахунок конвективного теплообміну на пластині. Вивчення матеріалу лекції.
7	Зовнішнє обтікання одиночної труби.
	Література: [1, стор. 192-201], [5, стор. 324-332].
	Завдання на СРС: Розрахунок конвективного теплообміну одиночної труби. Вивчення матеріалу лекції.
8	Зовнішнє обтікання пучків труб.
	Література: [1, стор. 192-201], [5, стор. 324-332].
	Завдання на СРС: Розрахунок конвективного теплообміну пучків труб. Вивчення матеріалу лекції.
9	Конвективний теплообмін в трубах і каналах. Перехід ламінарної течії в турбулентну. Результати дослідження теплообміну в трубах.
	Література: [1, стор. 173-192], [5, стор. 326-332; 348-351], [6, стор. 381-386; 110-114; 129-140].
	Завдання на СРС: Теплообмін в трубах при ламінарній течії. Вивчення матеріалу лекції.
10	Вплив турбулентності. Теплообмін у каналах довільного поперечного перерізу. Тепловіддача в змійовиках і при закрученні потоку.
	Література: [1, стор. 173-192], [5, стор. 326-332; 348-351], [6, стор. 381-386; 110-114; 129-140].
	Завдання на СРС: Теплообмін в трубах при турбулентній течії. Вивчення матеріалу лекції.
11	Велика швидкість руху газу. Додаткова умова подібності. Диференціальні та інтегральні рівняння пограничного шару. Тепловіддача при зовнішньому обтіканні тіл.
	Література: [1, стор. 215-220], [5, стор. 363-375].

	Завдання на СРС:	Розрахунок конвективного теплообміну при великій швидкості руху газу. Вивчення матеріалу лекції.
12		Розріджений газ. Особливості течії та теплообміну. Додаткова умова подібності. Тепловіддача при свободомолекулярному режимі і температурному стрибку на поверхні теплообміну.
	Література:	[1, стор. 220-226], [5, стор.382-390], [6, стор. 519-545].
	Завдання на СРС:	Розрахунок конвективного теплообміну в розрідженому газі. Вивчення матеріалу лекції.
13		Конвективний теплообмін при вільній конвекції. Вплив гравітації на рух теплоносія. Додаткова умова подібності.
	Література:	[1, стор. 201-210], [5, стор. 340-348], [6, стор. 88-10].
	Завдання на СРС:	Розрахунок конвективного теплообміну за рівняннями подібності. Вивчення матеріалу лекції.
14		Тепловіддача в гравітаційному і інерційному полях.
	Література:	[1, стор. 201-210], [5, стор. 340-348], [6, стор. 88-10].
	Завдання на СРС:	Розрахунок конвективного теплообміну за рівняннями подібності. Вивчення матеріалу лекції.
15		Тепловіддача при кипінні і конденсації. Тепловіддача при кипінні у великому об'ємі. Тепловіддача при конденсації на вертикальній пластині.
	Література:	[1, стор. 226-240; 250-266], [5, стор. 391-401], [6, стор. 188-203; 238-241].
	Завдання на СРС:	Режими теплообміну при кипінні. Криза кипіння. Вивчення матеріалу лекції.
16		Теплообмін випромінюванням. Основні поняття та визначення. Закони теплообміну випромінюванням. Теплообмін випромінюванням між паралельними стінками.
	Література:	[1, стор. 312-326], [5, стор. 407-424], [6, стор. 245-271].
	Завдання на СРС:	Вивчення матеріалу лекції.
17		Вплив екранування. Теплообмін випромінюванням між газом і оболонкою. Радіаційно-конвективний теплообмін.
	Література:	[1, стор. 312-326], [5, стор. 407-424], [6, стор. 245-271].
	Завдання на СРС:	Розрахунок теплообміну випромінюванням в камерах згоряння. Вивчення матеріалу лекції.
18		Способи теплового захисту енергетичних установок. Конвективне охолодження. Тугоплавкі матеріали. Абліруюче покриття. Пористе охолодження. Плівкове охолодження.
	Література:	[5, стор.454-468].
	Завдання на СРС:	Перспективні схеми плівкового охолодження. Вивчення матеріалу лекції.

Практичні заняття

Основні завдання циклу практичних занять направлені на закріплення теоретичних знань, отриманих на лекціях і прищеплюють їм навички їх використання при вирішенні практичних завдань.

Необхідний матеріал, для підготовки до практичних занять можна знайти, зокрема, у [2], який містить основні формули, необхідні для розв'язування задач. В кінці збірника міститься довідковий матеріал та перелік літератури для підготовки.

№ з/п	<i>Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)</i>	
1		Математичний опис тепловіддачі. Граничні умови.
	Література:	[5, стор. 245-260]

Завдання на СРС:	Система рівнянь конвективного теплообміну. Задачі.
2	Основи теорії подібності фізичних явищ. Подібні явища, числа подібності, рівняння подібності. Фізичний зміст чисел подібності. Рівняння подібності для тепловіддачі при вимушеній і вільній конвекції.
	Література: [5, стор. 260-265].
Завдання на СРС:	Теореми подібності і числа подібності. Рівняння подібності для тепловіддачі при вимушеній та вільній конвекції. Задачі.
3	Тепловіддача при зовнішньому обтіканні пластини. Вплив зовнішньої турбулентності та неізотермічності.
	Література: [7, стор. 184-188]
Завдання на СРС:	Розрахунок тепловіддачі пластини при ламінарному і турбулентному режимі. Задачі.
4	Обтікання одиночного циліндра і пучка труб. Тепловіддача при обтіканні пучків труб.
	Література: [5, стор. 324-326]
Завдання на СРС:	Режими течії при обтіканні пучка труб. Розрахунок тепловіддачі пучків труб. Задачі.
5	Тепловіддача в трубі при ламінарному і турбулентному режимі. Критичні числа Рейнольдса при різних умовах входу.
	Література: [5, стор. 326-332]
Завдання на СРС:	Ламінарна і турбулентна течія в трубі. Розрахунок тепловіддачі. Задачі.
6	Тепловіддача при вільній конвекції. Вільна конвекція біля нескінченної плоскої стінки. Вільна конвекція в замкнутому просторі.
	Література: [7, стор. 177-180]
Завдання на СРС:	Додаткова умова подібності. Розрахунок тепловіддачі за рівняннями подібності. Задачі.
7	Тепловіддача при кипінні. Розрахунок тепловіддачі при кипінні у великому об'ємі. Розрахунок тепловіддачі при конденсації.
	Література: [5, стор. 211-214]
Завдання на СРС:	Криза кипіння. Вплив відцентрових сил на вільну конвекцію. Задачі.
8	Теплообмін при великій швидкості руху газу.
	Література: [5, стор. 363-370]
Завдання на СРС:	Додаткові числа подібності. Розрахунок тепловіддачі за рівняннями подібності. Задачі.
9	Теплообмін випромінюванням. Радіаційно-конвективний теплообмін.
	Література: [5, стор. 382-390]
Завдання на СРС:	Розрахунок теплообміну випромінюванням. Задачі.

Домашня контрольна робота

ДКР виконується протягом семестру і захищається до складання заліку з дисципліни "Основи конвективного теплообміну". Не пізніше ніж за два тижні до захисту студент подає ДКР на перевірку. Здача електронного варіанту ДКР обов'язкова, для цього його необхідно направити на електронну пошту викладача або загрузити на відповідну теку дистанційного ресурсу Classroom. Передбачено 10 годин на роботу з ДКР. Необхідний матеріал для написання ДКР зібраний у [3].

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота, а саме певна частка навчального матеріалу, на який виділено лише години СРС не передбачена.

Завданням самостійної роботи студентів є навчити студентів самостійно працювати з літературою, творчо сприймати навчальний матеріал і осмислювати його.

На самостійну роботу відводяться наступні види завдань:

- обробка і осмислення інформації, отриманої безпосередньо на заняттях;
- робота з відповідними підручниками та особистим конспектом лекцій;
- виконання підготовчої роботи до практичних занять та до написання МКР;
- виконання ДКР;
- підготовка до складання заліку.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед студентом:

- відвідування лекцій, практичних занять, а також відсутність на них, не оцінюється. Однак, студентам рекомендується відвідувати заняття (як лекцій, так і практичних), оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для успішного складання заліку;
- активність на практичних та лекційних заняттях, підготовка коротких доповідей на практичні заняття, використання засобів зв'язку – дистанційний ресурс Classroom та інші інтернет-ресурси, що надає викладач тощо);
- виконання домашньої контрольної роботи;
- проміжна атестація студентів (далі — атестація). Атестація є календарним рубіжним контролем. Метою проведення атестації є підвищення якості навчання студентів та моніторинг виконання графіка освітнього процесу студентами. Зазвичай атестація проводиться в два етапи на 8-ому та 16-ому тижні навчання;
- результат модульної контрольної роботи для студента(-ки), який не з'явився на контрольний захід, є нульовим. У такому разі, студент(-ка) має можливість написати модульну контрольну роботу, але максимальний бал за неї буде дорівнювати 50% від загальної кількості балів. Повторне написання модульної контрольної роботи не допускається;
- дотримання стандартів академічної доброчесності. Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>;
- дотримання норм етичної поведінки студентів, що визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» для студентів і працівників. Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

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

Основними видами контролю успішності засвоєння матеріалу дисципліни є поточний контроль, МКР, ДКР та семестровий контроль.

Вказуються всі види контролю та бали за кожен елемент контролю:

- Поточний контроль: опитування за темою заняття. На практичних заняттях за кожен самостійно розв'язану біля дошки задачу дається до 2 балів. Конструктивна ідея або вірна

відповідь з «місця» 1 бал. Можливі і інші варіанти оцінки роботи на розсуд викладача, що веде практику.

Максимальна кількість балів – 27.

● **Календарний контроль:** проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу. Передбачається модульна контрольна робота, що проводиться в два етапи: МКР1 (Розділ 1-3) на 8-ому тижні та МКР2 (Розділ 4-5) на 16-ому тижні.

Максимальна кількість балів – 16.

● **Домашня контрольна робота.** Рейтингова оцінка з ДКР має дві складові. Перша (стартова) складова характеризує роботу студента з протягом проектування та її результат – якість оформленої роботи. Друга складова характеризує якість захисту студентом ДКР. Розмір шкали стартової складової дорівнює 10 балів, а складової захисту – 7 балів.

1. Стартова складова 10 балів:

- своєчасність виконання графіка роботи – 0-2 бали;
- своєчасне завершення домашньої контрольної роботи та здача її на перевірку – 0-2 бали;
- правильність застосування методів аналізу і розрахунку – 0-2 балів;
- правильність розрахунків студента відповідно до заданого варіанту – 0-2 балів;
- якість оформлення і дотримання вимог нормативних документів – 0-2 бали;

2. Складова захисту домашньої контрольної роботи 7 балів:

- якість доповіді – 0-1 балів;
- ступінь володіння матеріалом та обґрунтування прийнятих рішень – 0-2 балів;
- здатність зрозуміти суть запитань і сформулювати правильні відповіді на них – 0-2 балів;
- вміння захищати свою думку – 0-2 балів.

Максимальна кількість балів – 17.

● **Заохочувальні та штрафні бали.** Також, передбачені заохочувальні бали за конспект лекційних занять (мають бути законспектовані всі лекції власноруч, після перевірки конспекту лекційних занять конспект позначається для запобігання його передачі іншим студентам) – 2 б., участь у міжнародних, всеукраїнських та/або інших заходах та/або конкурсах (за тематикою навчальної дисципліни) – до 5 б.

Штрафні бали за порушення термінів виконання завдань (за кожну роботу) – 2 б. ;

● **Семестровий контроль:** залік – 40 балів.

Умови допуску до семестрового контролю: захищена ДКР та семестровий рейтинг більше 30 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

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- *перелік питань, які виносяться на семестровий контроль, надається у вигляді додатка до силабусу.*

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено

В.о. завідувача кафедри, доктор технічних наук, професор, Халатов Артем Артемович

Старший викладач, кандидат технічних наук, Панченко Надія Анатоліївна

Ухвалено кафедрою Фізики енергетичних систем (протокол № 2 від 4 вересня 2020 р.)

Затверджено Вченою радою ФТІ (протокол № 7/1 від 7 вересня 2020 р.)