



**ТЕРМОГАЗОДИНАМІКА ВИХРОВИХ ТА ЗАКРУЧЕНИХ ПОТОКІВ
В ЕЛЕМЕНТАХ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ**
Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Третій (освітньо-науковий)
Галузь знань	14 Електрична інженерія ¹
Спеціальність	144 Теплпеленергетика
Освітня програма	Назва
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	очна(денна)/дистанційна/змішана
Рік підготовки, семестр	2 курс, осінній
Обсяг дисципліни	
Семестровий контроль/ контрольні заходи	екзамен
Розклад занять	
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: ² д.т.н., професор, академік НАН України, Халатов Артем Артемович, Artem.Khalatov1942@gmail.com , Семінарські: д.т.н., професор, академік НАН України, Халатов Артем Артемович, Artem.Khalatov1942@gmail.com
Розміщення курсу	Посилання на дистанційний ресурс (Moodle, Google classroom, тощо)

Програма навчальної дисципліни

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

Основною метою навчальної дисципліни «Термогазодинаміка вихрових та закручених потоків в елементах енергетичного обладнання» є отримання аспірантами знань закономірностей теплообміну в складних термогазодинамічних процесах. Прослухавши курс аспіранти повинні вміти самостійно формулювати, аналізувати і вирішувати задачі теплообміну в елементах енергетичного устаткування, 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 нових джерел енергії.

Відповідність формування у аспірантів компетентностей:

ЗДАТНІСТЬ:

- Формулювати, аналізувати і вирішувати задачі теплообміну в елементах енергетичного устаткування;
- Розраховувати теплові процеси в сучасних та перспективних енергетичних

¹ В полях Галузь знань/Спеціальність/Освітня програма:

Для дисциплін професійно-практичної підготовки зазначається інформація відповідно до навчального плану. Для соціально-гуманітарних дисциплін вказується перелік галузей, спеціальностей, або «для всіх».

² Електронна пошта викладача або інші контакти для зворотного зв'язку, можливо зазначити прийомні години або години для комунікації у разі зазначення контактних телефонів. Для силабусу дисципліни, яку викладає багато викладачів (наприклад, історія, філософія тощо) можна зазначити сторінку сайту де представлено контактну інформацію викладачів для відповідних груп, факультетів, інститутів.

установках;

- ЗК 1 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;
- ЗК 2 Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності;
- ФК 1 Здатність брати участь у плануванні та виконанні наукових та науково-технічних проектів;
- ФК 2 Здатність брати участь у плануванні і виконанні експериментів та лабораторних досліджень властивостей фізичних систем, фізичних явищ і процесів, обробленні й презентації їхніх результатів;
- ФК 5 Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп'ютерних технологій.

Після засвоєння навчальної дисципліни аспіранти мають продемонструвати такі результати навчання:

ЗНАННЯ:

- закономірностей теплообміну в складних термогазодинамічних процесах.
- методів розрахунку теплообміну в складних термогазодинамічних процесах

УМІННЯ:

- самостійно формулювати, аналізувати і вирішувати задачі теплообміну в елементах енергетичного устаткування.
- ПРН 9 Вміння застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів, нових матеріалів, речовин і наукоємних технологій.
- ПРН 11 Вміння знаходити науково-технічну інформацію з різних джерел з використанням сучасних інформаційних технологій;
- ПРН 12 Вміння класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики;
- ПРН 13 Вміння організовувати результативну професійну діяльність індивідуально і як член команди.

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

Вивчення курсу «Термогазодинаміка вихрових та закручених потоків в елементах енергетичного обладнання» базується на таких курсах:

«Термодинаміка газового потоку», «Фізика», «Основи конвективного теплообміну», «Газодинаміка».

Отримані практичні навички та засвоєні теоретичні знання під час вивчення навчальної дисципліни «Термогазодинаміка вихрових та закручених потоків в елементах енергетичного обладнання» можна використовувати в подальшому під час навчання спеціалізованих дисциплін фізико-енергетичного циклу, що забезпечує індивідуальну наукову роботу аспірантів.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Теплообмін в закручених потоках.

Тема 1.1. Характеристика закрученого потоку.

Особливості закрученого потоку. Способи закрутки течії. Фізична подoba течій з початковою закруткою. Локальний та інтегральний параметри закрутки потоку.

Тема 1.2. Теплообмін та гідродинаміка закручених потоків. Теплообмін та гідродинаміка біля завихрювача. Квазітурбулентний режим. Енергія закрученого потоку та гідравлічний опір в трубах.

Розділ 2. Теплообмін в каналах, що обертаються.

Тема 2.1. Структура течії в каналах, що обертаються навколо своєї осі. Особливості структури потоку. Стійкість та фізична подоба в каналах, що обертаються навколо своєї осі. Теплообмін та гідравлічний опір в трубах, що обертаються навколо своєї осі.

Тема 2.2. Теплообмін та гідравлічний опір в трубі, що обертається радіально. Особливості структури течії в трубі, що обертається радіально. Сила Кориоліса. Фізична подоба. Теплообмін та гідравлічний опір в трубі, що обертається радіально.

Тема 2.3. Теплообмін в зазорі між коаксіальними циліндрами, що обертаються. Стійкість потоку в зазорі між коаксіальними циліндрами, що обертаються. Фізична подоба. Теплообмін та гідравлічний опір.

Розділ 3. Теплообмін в каналах енергетичних установок

.Тема 3.1. Тепловіддача у відривних зонах. Відрив потоку за уступом. Тепловіддача у відривних зонах. Плівкове охолодження на пласкій поверхні. Пористе охолодження.

Тема 3.2. Сопло Лавалля. Одно- та двофазна течія (газ-тверді частинки) в соплах Лавалля.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова

- 1 Халатов А.А. Теория и практика закрученных потоков. К.: Наукова Думка, 1989, 200с.
- 2 Халатов А.А., Шевчук І.В., Авраменко А.О. и др. Термогазодинамика сложных потоков около криволинейных поверхностей. К.: Изд ИТТФ НАНУ, 1999, 300 с. (бібліотека та на кафедрі)
- 3 Халатов А.А., Авраменко А.А., Шевчук И.В. Теплообмен и гидродинамика около криволинейных поверхностей. К.: Наукова Думка, 1992, 135 с. (бібліотека та на кафедрі)

Допоміжна

1. Щукин В.К., Халатов А.А. Теплообмен, массообмен и гидродинамика закрученных потоков в осесимметричных каналах. М.: Машиностроение, 1982, 240 с.
2. Щукин В.К., Халатов А.А. Теплообмен, массообмен и гидродинамика закрученных потоков в осесимметричных каналах. М.: Машиностроение, 1982, 240 с.
3. Щукин В.К., Халатов А.А. Теплообмен, массообмен и гидродинамика закрученных потоков в осесимметричных каналах. М.: Машиностроение, 1982, 240 с.
4. Щукин В.К., Халатов А.А. Теплообмен, массообмен и гидродинамика закрученных потоков в осесимметричных каналах. М.: Машиностроение, 1982, 240 с.
5. Халатов А.А. и др. Теплообмен и гидродинамика в полях центробежных массовых сил. Том 9: Теплообмен и гидродинамика при циклонном охлаждении лопаток газовых турбин. К.: Изд. ИТТФ НАНУ, 2010, 317 с.
6. Халатов А.А., Борисов И.И., Шевцов С.В. Теплообмен и гидродинамика в полях центробежных массовых сил. Том 5: Тепломассообмен гидравлическая эффективность вихревых и закрученных потоков. К.: Изд. ИТТФ НАНУ, 2005, 500 с.
7. Доник Т.В., Письменный Д.Н. Теплообмен и гидродинамика закрученных и вихревых потоков в каналах. К.: Наукова Думка, 2014, 188 с.
Rao Yu, Biegger C., Weigand B. Flow and heat transfer measurements in swirl tubes with one and multiple tangential inlet jets for internal gas turbine blade. Internal Journal Heat and Mass Transfer, 73, 2018, p.174-187
8. Hamza Fawzy, Qun Zheng, and Naseem Ahmad. Effect of slot area ratio and slot angle on swirl cooling in a gas turbine blade leading edge. Journ. Aerospace Eng., 2020, 33(5): 04020046 (1-13).
9. Gang Lin, Karsten Kusterer, et al. Investigation on heat transfer enhancement and pressure loss of double swirl chambers cooling. Propulsion and Power Research, 2013, 2(3), p.177-187

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, завдання на СРА з посиланням на літературу)
1	<p>Вступ. Теплові процеси в енергетичних установках. Характеристика закрученого потоку. Особливості закрученого потоку. Способи закрутки течії. Фізична подоба течій з початковою закруткою. Локальний та інтегральний параметри закрутки потоку.</p> <p>Література</p> <ol style="list-style-type: none"> Халатов А.А., Щукин В.К. Теплообмен, массообмен и гидродинамика закрученных потоков в осесимметричных каналах. М.: Машиностроение, 1982, с. 6-73. Халатов А.А. Теория и практика закрученных потоков. К.: Наукова Думка, 1989, с. 6-50.с. <p>ЗАВДАННЯ НА СРА</p> <p>Локальні та інтегральні числа подоби. Зв'язок між ними. Затухання закрутки в трубі. Теплообмін та гідродинаміка в скручених трубах.</p>
2	<p>Теплообмін та гідродинаміка закручених потоків. Теплообмін та гідродинаміка біля завихрювача. Квазітурбулентний режим. Енергія закрученого потоку та гідравлічний опір в трубах.</p> <p>Література</p> <ol style="list-style-type: none"> Щукин В.К., Халатов А.А. Теплообмен, массообмен и гидродинамика закрученных потоков в осесимметричных каналах. М.: Машиностроение, 1982, с. 32-38. Халатов А.А. Теория и практика закрученных потоков. К.: Наукова Думка, 1989, с. 117-121. Щукин В.К. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил. М.: Машиностроение, 1980, с. 63-66. Данилов Ю.И., Дзюбенко Б.В., Дрейцер Г.А., Ашмантас Л.А. Теплообмен и гидродинамика в каналах сложной формы. М.: Машиностроение, 1986, с. 149-170. <p>ЗАВДАННЯ НА СРА</p> <p>Затухання турбулентності біля завихрювача. Рівняння подібності в квазітурбулентному режимі. Фізична структура потоку в пучках скручених труб. Фактори інтенсифікації теплообміну. Віхрове перемішування потоку.</p>
3	<p>Структура течії в каналах, що обертаються навколо своєї осі. Особливості структури потоку. Стійкість та фізична подоба в каналах, що обертаються навколо своєї осі. Теплообмін та гідравлічний опір в трубах, що обертаються навколо своєї осі.</p> <p>Література</p> <ol style="list-style-type: none"> Щукин В.К., Халатов А.А. Теплообмен, массообмен и гидродинамика закрученных потоков в осесимметричных каналах. М.: Машиностроение, 1982, с 141-157 <p>ЗАВДАННЯ НА СРА</p> <p>Стабільність потоку в трубі, що обертається навколо своєї осі. Режими течій, рівняння подібності, границі режимів</p>
4	<p>Структура течії в каналах, що обертаються навколо своєї осі. Теплообмін та гідравлічний опір в трубах, що обертаються навколо своєї осі. Диск, що обертається.</p> <p>Література</p> <ol style="list-style-type: none"> Щукин В.К., Халатов А.А. Теплообмен, массообмен и гидродинамика закрученных потоков в осесимметричных каналах. М.: Машиностроение, 1982, с 141-157 <p>ЗАВДАННЯ НА СРА. Труба, що обертається радіально. Сила Коріоліса.</p>

5	<p>Теплообмін та гідравлічний опір в трубі, що обертається радіально. <i>Особливості структури течії в трубі, що обертається радіально. Сила Кориоліса. Фізична подоба. Теплообмін та гідравлічний опір в трубі, що обертається радіально.</i></p> <p>Література 1. Шукин В.К., Халатов А.А. Теплообмен, массообмен и гидродинамика закрученных потоков в осесимметричных каналах. М.: Машиностроение, 1982, с 141-157 ЗАВДАННЯ НА СРА Структура потоку в трубі з закруткою, що радіально обертається. Кутовий розподіл теплообміну. Лівостороннє та правостороннєобертання каналу. Вплив сили Кориоліса</p>
6	<p>Теплообмін в зазорі між коаксіальними циліндрами, що обертаються. <i>Стійкість потоку в зазорі між коаксіальними циліндрами, що обертаються. Структура потоку. Фізична подоба. Теплообмін та гідравлічний опір.</i></p> <p>Література 1. Шукин В.К., Халатов А.А. Теплообмен, массообмен и гидродинамика закрученных потоков в осесимметричных каналах. М.: Машиностроение, 1982, с 141-157 ЗАВДАННЯ НА СРА Мапа режимів течій. Вплив осьового потоку на теплообмін та гідравлічний опір. Рівняння подібності Індуційованні віхори</p>
7	<p>Тепловіддача у відривних зонах. Відрив потоку за уступом. Тепловіддача у відривних зонах. Плівкове охолодження на плоскій поверхні. Пористе охолодження. Одно- та двофазна течії (газ-тверді частинки) в соплах Лавалля.</p> <p>Література 1. Шукин В.К., Халатов А.А. Теплообмен, массообмен и гидродинамика закрученных потоков в осесимметричных каналах. М.: Машиностроение, 1982, с 141-157 2. Халатов А.А. Теория и практика закрученных потоков. К.: Наукова Думка, 1989, с. 129-135. ЗАВДАННЯ НА СРА Фізика відриву потоку перед уступом та за ним. Вторинна течія. Вплив кривизни поверхні та неізотермічності на ефективність плівкового охолодження.</p>
8	<p>Тепловіддача у відривних зонах. Тяга сопла с двофазным потоком</p> <p>Література 1. Шукин В.К., Халатов А.А. Теплообмен, массообмен и гидродинамика закрученных потоков в осесимметричных каналах. М.: Машиностроение, 1982, с 141-157 ЗАВДАННЯ НА СРА Використання закрутки потоку для регулювання тяги сопла Лавалля.</p>
	Заключення

Назва теми практичних занять (Теми семінарів)

1	Теплообмін в закручених потоках
2	Теплообмін в каналах, що обертаються.
3	Теплообмін в каналах енергетичних установок

6. Самостійна робота аспіранта

Завданням самостійної роботи аспірантів є навчити аспірантів 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;
- підготовка до складання екзамену.

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед аспірантом:

- відвідування лекцій та семінарських занять
- активність на семінарських та лекційних заняттях, регулярная самостійна робота
- дотримання стандартів академічної доброчесності.
- Відвідування лекцій та семінарських занять, а також відсутність на них, не оцінюється. Однак, аспірантам рекомендується відвідувати усі види занять (як лекцій, так і семінарів);
- Moodle та інші інтернет ресурси, що надає викладач тощо).

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

Вказуються всі види контролю та бали за кожен елемент контролю, наприклад:

Поточний контроль: експрес-опитування, опитування за темою заняття

Семестровий контроль: екзамен

Умови допуску до семестрового контролю: мінімально позитивна оцінка за індивідуальне завдання семестровий рейтинг більше 30 балів.

Поточний контроль: опитування за темою лекції. Максимальна кількість балів – 20.

Контроль на семінарських заняттях.

Максимальна кількість балів – 40.

Семестровий контроль.:

Екзамен – 40 балів.

Умови допуску до екзамена - більше 30 балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

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 (наприклад, як додаток до силабусу);
- можливість зарахування сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою;
- інша інформація для аспірантів щодо особливостей опанування навчальної дисципліни.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено

Професор, доктор технічних наук



А.А. Халатов

Ухвалено Вченою радою ІТТФ НАН України _____ (протокол № 6 від 25.03.2021)