



# ІНСТИТУТ ТЕХНІЧНОЇ ТЕПЛОФІЗИКИ НАН УКРАЇНИ

## Аерогідромеханіка потоку теплоносія

### Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

#### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти

*Третій (освітньо-науковий)*

Галузь знань	14 Електрична інженерія <sup>1</sup>
Спеціальність	144 Теплпеноергетика
Освітня програма	Назва
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	очна(денна)/дистанційна/змішана
Рік підготовки, семестр	2 курс, весійний
Обсяг дисципліни	3 кредити, годин 90, лекції 16 годин, семінари 14 годин, самостійна робота - 60 годин
Семестровий контроль/ контрольні заходи	екзамен
Розклад занять	За розкладом
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <sup>2</sup> д.т.н., професор, член-кореспондент НАН України, Авраменко Андрій Олександрович, tgetu.ittf@gmail.com, Семінарські: д.т.н., професор, член-кореспондент НАН України, Авраменко Андрій Олександрович, tgetu.ittf@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 «Аерогідромеханіка потоку теплоносія» є отримання аспірантами знань закономірностей гідродинаміки в складних гідрогазодинамічних процесах. Прослухавши курс аспіранти повинні вміти самостійно формулювати, аналізувати і вирішувати задачі гідродинаміки в елементах енергетичного устаткування, робити розрахунки гідродинаміки в елементах перспективних енергетичних установок та сучасного обладнання. А також, виконувати дослідження і робити обґрунтовані висновки при дослідженні гідродинамічних процесів в енергетичних системах і нових джерел енергії.

Відповідність формування у аспірантів компетентностей:

**ЗДАТНІСТЬ:**

- Формулювати, аналізувати і вирішувати задачі гідродинаміки в елементах енергетичного устаткування;
- Розраховувати гідродинамічні процеси в сучасних та перспективних енергетичних установках;
- ЗК 1 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;
- ЗК 2 Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної

<sup>1</sup> 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».

<sup>2</sup> 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.

діяльності;

– ФК 1 Здатність брати участь у плануванні та виконанні наукових та науково-технічних проєктів;

– 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 гідродинаміки у в складних гідро-газодинамічних процесах.

– методів розрахунку гідродинаміки в складних гідро-газодинамічних процесах

**УМІННЯ:**

– самостійно формулювати, аналізувати і вирішувати задачі гідродинаміки 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 «Спеціальні розділи механіки рідини і газу» базується на таких курсах: «Механіка рідини і газу», «Фізика», «Турбулентність і нестійкість», «Газодинаміка».

Отримані практичні навички та засвоєні теоретичні знання під час вивчення навчальної дисципліни «Спеціальні розділи механіки рідини і газу» можна використовувати в подальшому під час навчання спеціалізованих дисциплін фізико-енергетичного циклу, що забезпечує індивідуальну наукову роботу аспірантів.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

**Розділ 1. Базові теореми гідродинаміки та вивід рівнянь Нав'є – Стокса.**

**Тема 1.1. Базові теореми гідродинаміки.**

Перша теорема Гельмгольца. Друга теорема Гельмгольца. Теорема Стокса. Теорема Лагранжа.

**Тема 1.2. Вивід рівнянь Нав'є – Стокса. Гіпотеза Стокса. Вивід рівнянь Нав'є – Стокса.**

**Розділ 2. Повзучі течії та методи їх розрахунку.**

**Тема 2.1. Методи розрахунку повзучих течій.** Групи перетворення симетрій (групи Лі). Автомодельні форми та автомодельні рівняння. Метод розділу змінних.

**Тема 2.2. Перша та друга задачі Стокса.** Перша задача Стокса – отримання автомодельного диференційного рівняння. Аналітичне рішення. Друга задача Стокса – розділ змінних. Аналітичне рішення.

**Тема 2.3. Задача Стокса обтікання сфери.** Рівняння Нав'є – Стокса в формі Ламба. Розділ змінних. Аналітичне рішення. Сила Стокса. Вимірювання в'язкості.

### **Розділ 3. Нестационарні течії та методи їх розрахунку.**

**Тема 3.1. Методи операційного обчислення.** Основи методу операційного обчислення. Розгінна течія в плоскому каналі. Розгінна течія в круглому каналі.

**Тема 3.2. Методи симетрії.** Перехід до автомодельних форм рівняння руху. Приклади розрахунку течій в каналах різної геометрії.

### **Розділ 4. Наближення прикордонного шару та методи розрахунку параболічних течій.**

**Тема 4.1. Основи теорії прикордонного шару.** Припущення теорії прикордонного шару. Вивід рівняння Прандтля.

**Тема 4.2. Методи розрахунку параболічних течій. Диференційний метод.**

Автомодельні форми рівняння Прандтля. Інтегральні рівняння прикордонного шару. Розрахунок прикордонного шару на основі інтегральних рівнянь.

### **Розділ 5. Течії в каналах і методи їх розрахунку.**

**Тема 5.1. Основні рівняння руху в каналах.** Рівняння руху в каналах різної геометрії.

Канали різної геометрії – плоский, круглий, криволінійний, прямокутного перерізу.

**Тема 5.2. Методи розрахунку течій в каналі.** Метод рядів Фур'є. Метод операційного обчислення. Метод симетрії. Метод ґраток Больцмана.

### **Розділ 6. Гідродинамічна нестійкість.**

**Тема 6.1. Форми гідродинамічної нестійкості.** Нестійкість Релея – Бенара. Нестійкість Орра – Зоммерфельда. Відцентрова нестійкість.

**Тема 6.2. Методи дослідження нестійкості.** Метод збурень. Енергетичний метод. Модель Лоренца.

### **Розділ 7. Турбулентність.**

**Тема 7.1. Моделі турбулентності.** Класифікація моделей турбулентності. Побудова ренормалізаційно - групової моделі турбулентності.

**Тема 7.2. Турбулентні течії в пограничному шарі та каналах.** Структура течії. Профілі швидкості. Коефіцієнт тертя та гідравлічного опору.

### **Розділ 8. Спеціальні види течій.**

**Тема 8.1. Пористе середовище.** Закон Дарсі. Закон Форхаймера. Наближення Брінкмана. Профілі швидкості. Коефіцієнт гідравлічного опору.

**Тема 8.2. Нанорідини та мікроканали.** Структура течії. Профілі швидкості. Коефіцієнт тертя та гідравлічного опору.

## **4. Навчальні матеріали та ресурси**

### **Базова**

1 Н. Schlichting, K. Gersten *Boundary-Layer Theory*. Springer, 2017 – 833 p.

- 2 Авраменко А.О., Басок Б.І., Дмитренко Н.П., Ковецька М.М., Турінов А.І., Давиденко Б.В. Ренормалізаційно груповий аналіз турбулентності К: ТОВ «Видавничо - поліграфічний центр «Експрес», 2013 – 300с.
- 3 Авраменко А.О., Басок Б.І., Кузнєцов А.В. Групові методи в теплофізиці. К: Наукова думка, 2003 – 480с.
- 4 Avramenko A.A., Shevchuk S.V. Modeling of convective heat and mass transfer in nanofluids with and without boiling and condensation. Springer, 2022 – 263 p.
- 5 Авраменко А.О., Басок Б.І., Давиденко Б.В. Термогідродинамічна нестійкість у теплових процесах. К: Наукова думка, 2022 – 213 с.

### Допоміжна

1. L. G. Loitsianskii.. Mechanics of Liquids and Gases, Elsevier Science, 2014 – 816 p.
2. Frans T.M. Nieuwstadt, Jerry Westerweel, Bendiks J. Boersma. Turbulence. Introduction to theory and applications of turbulent flows. Springer-Verlag – 2016. 283 p.
3. Amir A. Aliabadi. Turbulence. A Fundamental Approach for Scientists and Engineers, Springer-Verlag – 2022, 586 p.
4. S. P. Venkateshan. Convection in Turbulent Flow. Springer-Verlag, New York. 2021. 319 p.
5. Monin A.S., Yaglom A.M.. Statistical Fluid Mechanics, Volume II: Mechanics of Turbulence, Mineola, New York, 2013 – 882 p.
6. M. Ciofalo. Thermofluid Dynamics of Turbulent Flows. Fundamentals and Modelling, Springer-Verlag 2022 – 600p.
7. Nield D.A, Bejan A. Convection in porous media. New York: Springer, 2014 – 640 p.

## Навчальний контент

### 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><b>Базові теореми гідродинаміки та вивід рівнянь Нав'є – Стокса. Перша теорема Гельмгольца. Друга теорема Гельмгольца. Теорема Стокса. Теорема Лагранжа. Гіпотеза Стокса. Введення рівнянь Нав'є – Стокса.</b></p> <p>Література:</p> <p>1. L.G. Loitsianskii. Mechanics of Liquids and Gases, Elsevier Science, 2014 – 816 p. [с.40-45, 158-159]</p> <p>2. H. Schlichting, K. Gersten Boundary-Layer Theory. Springer, 2017 – 833 p. [с. 51–79]</p>

	<p>ЗАВДАННЯ НА СРА Гипотеза Стокса. Зв'язок між тензором швидкостей деформації та тензором напруги.</p>
2	<p><b>Повзучі течії та методи їх розрахунку. Перша задача Стокса. Друга задача Стокса. Рівняння Нав'є – Стокса в формі Ламба. Аналітичне рішення. Сила Стокса.</b></p> <p>Література: 1. Авраменко А.О., Басок Б.І., Кузнецов А.В. Групові методи в теплофізиці. К: Наукова думка, 2003 – 480с. [с. 24-40, 64-74] 2. L.G. Loitsianskii. Mechanics of Liquids and Gases, Elsevier Science, 2014 – 816 p. [с. 403-409] 3. Н. Schlichting, К. Gersten Boundary-Layer Theory. Springer, 2017 – 833 p. [с. 65-66, 68-69, 73-76]</p> <p>ЗАВДАННЯ НА СРА Групи перетворення симетрій (групи Лі). Автомодельні форми та автомодельні рівняння. Метод розділу змінних.</p>
3	<p><b>Нестаціонарні течії та методи їх розрахунку. Методи операційного обчислення. Методи симетрії. Розгінна течія в плоскому каналі. Розгінна течія в круглomu каналі.</b></p> <p>Література: 1. Авраменко А.О., Басок Б.І., Кузнецов А.В. Групові методи в теплофізиці. К: Наукова думка, 2003 – 480с.[с. 21-24, 81-87] 2. L.G. Loitsianskii. Mechanics of Liquids and Gases, Elsevier Science, 2014 – 816 p.[с.167-171, 211-215] 3. Н. Schlichting, К. Gersten Boundary-Layer Theory. Springer, 2017 – 833 p. [с. 101-104, 139-141, 341-342] 4. Avramenko A.A., Shevchuk S.V. Modeling of convective heat and mass transfer in nanofluids with and without boiling and condensation. Springer, 2022 – 263 p.[13-33]</p> <p>ЗАВДАННЯ НА СРА Перехід до автомодельних форм рівняння руху. Приклади розрахунку течій в каналах різної геометрії.</p>
4	<p><b>Наближення прикордонного шару. Основи теорії прикордонного шару. Припущення теорії прикордонного шару. Вивід рівняння Прандтля. Методи розрахунку параболічних течій. Диференційний метод. Розрахунок прикордонного шару на основі інтегральних рівнянь.</b></p> <p>Література: 1. Авраменко А.О., Басок Б.І., Кузнецов А.В. Групові методи в теплофізиці. К: Наукова думка, 2003 – 480с. [с. 74-81, 119-131, 141-165, 173-183] 2. Н. Schlichting, К. Gersten Boundary-Layer Theory. Springer, 2017 – 833 p. [145-150, 195-202, 258-273] 3. L.G. Loitsianskii. Mechanics of Liquids and Gases, Elsevier Science, 2014 – 816 p. [439-</p>

	<p>451]</p> <p>ЗАВДАННЯ НА СРА. <i>Автомодельні форми рівняння Грандтля. Інтегральні рівняння прикордонного шару.</i></p>
5	<p><b><i>Течії в каналах і методи їх розрахунку. Рівняння руху в каналах різної геометрії. Канали різної геометрії – плоский, круглий, криволінійний, прямокутного перерізу. Метод ґраток Больцмана.</i></b></p> <p>Література:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Авраменко А.О., Басок Б.І., Кузнецов А.В. Групові методи в теплофізиці. К: Наукова думка, 2003 – 480с. [с. 64-87]</li> <li>2. L.G. Loitsianskii. Mechanics of Liquids and Gases, Elsevier Science, 2014 – 816 p. [31-40]</li> <li>3. H. Schlichting, K. Gersten Boundary-Layer Theory. Springer, 2017 – 833 p. [101-124]</li> <li>4. Авраменко А.О., Басок Б.І., Давиденко Б.В. Термогідродинамічна нестійкість у теплових процесах. К: Наукова думка, 2022 – 213 с. [5-15]</li> </ol> <p>ЗАВДАННЯ НА СРА <i>Метод рядів Фур'є. Метод операційного обчислення. Метод симетрії.</i></p>
6	<p><b><i>Гідродинамічна нестійкість. Форми гідродинамічної нестійкості. Нестійкість Релея – Бенара. Нестійкість Орра – Зоммерфельда. Відцентрова нестійкість. Методи дослідження нестійкості.</i></b></p> <p>Література:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. H. Schlichting, K. Gersten Boundary-Layer Theory. Springer, 2017 – 833 p. [415-434]</li> <li>2. Авраменко А.О., Басок Б.І., Дмитренко Н.П., Ковецька М.М., Тирінов А.І., Давиденко Б.В. Ренормалізаційно груповий аналіз турбулентності. К: ТОВ «Видавничо - поліграфічний центр «Експрес», 2013 – 300с. [128-138]</li> <li>3. Reynolds A.J. Turbulent flows in engineering. <i>John Wiley &amp; Sons. –1974. 462 p.</i> [9-40]</li> <li>4. Hinze J.O. Turbulence: An Introduction to Its Mechanism and Theory. Front Cover. McGraw-Hill, 1959 - Turbulence - 586 p. [с. 71-88, 160-169]</li> <li>5. Fletcher C.A.J. Computational Galerkin Method. Springer-Verlag, New York. 1984. 319 p. [24-39]</li> <li>6. Monin A.S., Yaglom A.M.. Statistical Fluid Mechanics, Volume I: Mechanics of Turbulence, Mineola, New York, 2013 – 882 p. [85-162]</li> <li>7. McComb W. D. The Physics of Fluid Turbulence. O: Oxford science publications, 1992 – 600p. [с. 29-31, 87-107]</li> <li>8. Avramenko A.A., Shevchuk S.V. Modeling of convective heat and mass transfer in nanofluids with and without boiling and condensation. Springer, 2022 – 263 p.[227-258]</li> <li>9. Авраменко А.О., Басок Б.І., Давиденко Б.В. Термогідродинамічна нестійкість у теплових процесах. К: Наукова думка, 2022 – 213 с. [23-43]</li> </ol> <p>ЗАВДАННЯ НА СРА <i>Метод збурень. Енергетичний метод. Модель Лоренца.</i></p>

7	<p><b>Турбулентність. Моделі турбулентності. Класифікація моделей турбулентності. Побудова ренормалізаційно - групової моделі турбулентності. Турбулентні течії в примежовому шарі та каналах.</b></p> <p>Література:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Авраменко А.О., Басок Б.І., Дмитренко Н.П., Ковецька М.М., Тирінов А.І., Давиденко Б.В. Ренормалізаційногруповий аналіз турбулентності. К: ТОВ «Видавничо - поліграфічний центр «Експрес», 2013 – 300с. [с. 20-93]</li> <li>2. Reynolds A.J. Turbulent flows in engineering. <i>John Wiley &amp; Sons.</i> –1974. 462 p. [с. 387-392]</li> <li>3. Hinze J.O. Turbulence: An Introduction to Its Mechanism and Theory. Front Cover. McGraw-Hill, 1959 - Turbulence - 586 p. [с. 9-35]</li> <li>4. Monin A.S., Yaglom A.M.. Statistical Fluid Mechanics, Volume II: Mechanics of Turbulence, Mineola, New York, 2013 – 882 p. [с. 162-166]</li> <li>5. McComb W. D. The Physics of Fluid Turbulence. O: Oxford science publications, 1992 – 600p. [с. 182-196]</li> </ol> <p>ЗАВДАННЯ НА СРА  <i>Структура течії. Профілі швидкості. Коефіцієнт тертя та гідравлічного опору.</i></p>
8	<p><b>Пористе середовище. Нанорідини та мікроканали. Закон руху в пористому середовищі та мікроканалах. Течія нанорідин. Закон Дарсі. Закон Форхаймера. Наближення Брінкмана. Профілі швидкості. Коефіцієнт гідравлічного опору.</b></p> <p>Література:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Авраменко А.О., Басок Б.І., Кузнецов А.В. Групові методи в теплофізиці. К: Наукова думка, 2003 – 480 с. [с. 440-456]</li> <li>2. Авраменко А.О., Басок Б.І., Дмитренко Н.П., Ковецька М.М., Тирінов А.І., Давиденко Б.В. Ренормалізаційно груповий аналіз турбулентності. К: ТОВ «Видавничо - поліграфічний центр «Експрес», 2013 – 300с. [с. 138-160]</li> <li>3. Nield D.A, Bejan A. Convection in porous media. New York: Springer, 2006 – 640 p. [с. 4-20]</li> <li>4. Авраменко А.О., Басок Б.І., Давиденко Б.В. Термогідродинамічна нестійкість у теплових процесах. К: Наукова думка, 2022 – 213 с. [с. 66-95]</li> <li>5. Avramenko A.A., Shevchuk S.V. Modeling of convective heat and mass transfer in nanofluids with and without boiling and condensation. Springer, 2022 – 263 p.[с. 1-11, 232-245]</li> </ol> <p>ЗАВДАННЯ НА СРА <i>Закони Дарсі, Форхаймера та наближення Брінкмана. Профілі швидкості. Коефіцієнт гідравлічного опору.</i></p>
9	<b>Екзамен</b>

## Назва теми практичних занять (Теми семінарів)

1	Вивід рівнянь гідродинаміки.
2	Задача Стокса обтікання сфери.
3	Розгінна течія в пласкому та круглому каналах.
4	Рішення задачі пограничного шару біля пласкої поверхні.
5	Задача течії в каналах прямокутного перерізу.
6	Розв'язання задач на власні значення.
7	Методика отримання ренормалізаційно – групових моделей турбулентності.

### 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.

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед аспірантом:

- відвідування лекцій та семінарських занять. Заняття проводяться згідно з розкладом, за допомогою додатку Zoom (за умови дистанційного навчання)
- активність на семінарських та лекційних заняттях, регулярна самостійна робота
- дотримання стандартів академічної доброчесності. <http://ittf.kiev.ua/wp-content/uploads/2022/08/polozhennja-pro-akademichnu-dobrochesnist-ta-etiku.pdf>
- 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)

**Поточний контроль:** експрес-опитування, робота на практичних заняттях.

**Семестровий контроль:** екзамен

Умови допуску до семестрового контролю: семестровий рейтинг більше 30 балів.

Загальна рейтингова оцінка аспіранта після завершення семестру складається з балів, отриманих за:

- відповіді під час проведення експрес-опитувань на лекціях;
- роботу на практичних заняттях;
- написання екзамену.

Робота на лекційних заняттях	Робота на практичних заняттях	Rc	Рекз	R
25	35	60	40	100



1. Рейтинг аспіранта розраховується виходячи із 100-бальної шкали, з них 60 балів складає стартова шкала. Стартовий рейтинг (протягом семестру) складається з балів, що аспірант отримує за:

- експрес-контролі на лекційних заняттях;
- роботу на практичних заняттях (7 занять).

2. Критерії нарахування балів:

2.1. Експрес-контролі на лекційних заняттях оцінюються в 5 балів кожний. Максимальна кількість балів за експрес-контролі – 5 балів \* 5 експрес-контролів = 25 балів.

Експрес-контроль проводиться у вигляді усного опитування аспірантів безпосередньо на лекційному занятті. Необхідно дати відповідь на одне запитання. Правильна відповідь оцінюється в 5 балів.

2.2. Практичне заняття оцінюється в 5 балів:

- активна творча робота – 4-5 балів;
- плідна робота – 2-3 бали;
- пасивна робота – 0-1 бали.

3. Умовою допуску до екзамену є рейтинг не менше 30 балів.

4. На екзамені аспіранти виконують письмову контрольну роботу. Кожне завдання містить два теоретичних запитання (завдання) і одне практичне. Кожне теоретичне запитання (завдання) оцінюється у 10 балів, а практичне у 20 балів за такими критеріями:

- «відмінно», повна відповідь, не менше 90% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь», (повне, безпомилкове розв'язування завдання) – 9-10; 18-20 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь або є незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними неточностями) – 7-8; 16-17 балів;
- «задовільно», неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) – 4-6; 10-15 балів;
- «незадовільно», відповідь не відповідає умовам до «задовільно» – 0 балів.

5. Сума стартових балів та балів за екзаменаційну контрольну роботу переводиться до екзаменаційної оцінки згідно з таблицею:

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. Авраменко

Ухвалено Вченою радою ІТТФ НАН України \_\_\_\_\_ (протокол № \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_)

Додаток

### Перелік питань, які виносяться на екзамен

1. Базові теореми гідродинаміки.
2. Вивід рівнянь Нав'є – Стокса.
3. Задача Стокса для сфери.
4. Перша задача Стокса.
5. Друга задача Стокса.
6. Розгінна течія в плоскому каналі.
7. Розгінна течія в круглому каналі.
8. Течія в каналі прямокутного перерізу.
9. Диференціальні методи розрахунку параболічних течій.
10. Інтегральні методи розрахунку параболічних течій.
11. Розв'язання задач на власні значення.
12. Нестійкість Релея – Бенара.
13. Нестійкість Орра – Зоммерфельда.
14. Відцентрова нестійкість.
15. Моделі турбулентності та їх класифікація.;
16. Побудова ренормалізаційно - групової моделі турбулентності.
17. Турбулентні течії в примежовому шарі.
18. Турбулентні течії та каналах.
19. Течія в пористому середовищі.
20. Модель течії нанорідин.
21. Течія в мікроканалах.