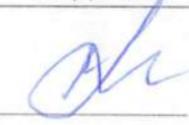


ЛИСТ ПОГОДЖЕННЯ

Посада	Назва факультету	Підпис	Ініціали, прізвище
Завідувач кафедри галузевого машинобудування та агроінженерії, канд. техн. наук, доц.	Факультет інженерії, транспорту та архітектури		Андрій МАРТИНЮК
Гарант освітньо-професійної програми, канд. техн. наук, доц.	Факультет інженерії, транспорту та архітектури		Віктор ФЕДОРІВ
/ Декан	Факультет інженерії, транспорту та архітектури		Олег ПОЛІЩУК

3 ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Дисципліна «Обчислювальна термо- гідродинаміка» є обов'язковою дисципліною фахової підготовки і займає провідне місце у підготовці здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Технологічні машини та обладнання харчових виробництв» в межах спеціальності G11 «Машинобудування (за спеціалізаціями) G11.03 Технологічні машини та обладнання».

Пререквізити – Вихідний КОП

Постреквізити – ОФП.04 Проєктування підприємств харчової промисловості, ОФП.06 Кваліфікаційна робота.

Відповідно до освітньої програми дисципліна має забезпечити:

– **компетентності**: Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології (ЗК 1); Здатність бути критичним і самокритичним (ЗК 4); Здатність до адаптації та дій в новій ситуації (ЗК 5); Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми (ЗК 7); Здатність створювати, удосконалювати та застосовувати кількісні математичні, наукові й технічні методи та комп'ютерні програмні засоби, застосовувати системний підхід для розв'язування інженерних задач машинобудування, зокрема, в умовах технічної невизначеності (ФК 1); Критичне осмислення передових для машинобудування наукових фактів, концепцій, теорій, принципів та здатність їх застосовувати для розв'язання складних задач машинобудування і забезпечення сталого розвитку (ФК 2); Здатність застосовувати сучасні інформаційні технології і спеціалізоване прикладне програмне забезпечення для вирішення інженерних завдань в галузі харчового машинобудування (УК 1).

– **програмні результати навчання**: Знання і розуміння засад технологічних, фундаментальних та інженерних наук, що лежать в основі машинобудування відповідної галузі (ПРН 1); Знати і розуміти процеси машинобудування, мати навички їх практичного використання (ПРН 3); Здійснювати інженерні розрахунки для вирішення складних задач і практичних проблем у галузевому машинобудуванні (ПРН 4); Аналізувати інженерні об'єкти, процеси та методи (ПРН 5); Використовувати методи автоматизованого проєктування для розрахунку деталей та вузлів технологічного обладнання харчових виробництв (ПРН 8).

Мета дисципліни. Формування системних знань, професійних компетентностей та практичних навичок щодо математичного моделювання, чисельного розв'язання та комп'ютерного аналізу процесів руху рідин і газів, тепло- та масообміну в технічних системах із використанням сучасних методів обчислювальної термодинаміки, з урахуванням енергоефективності, надійності, екологічності та інноваційного розвитку інженерних технологій.

Предмет дисципліни. Основи математичного моделювання та чисельного аналізу процесів руху рідин і газів, тепло- та масопереносу в інженерних системах, а також сучасні методи розробки, вдосконалення і впровадження обчислювальних технологій для оптимізації технічних процесів у харчовій промисловості.

Завдання дисципліни. Ознайомлення з основними фізичними процесами руху рідин і газів та теплообміну в технічних системах, вивчення математичних моделей і чисельних методів розв'язання задач термодинаміки, формування навичок застосування сучасних обчислювальних технологій та програмного забезпечення для моделювання та аналізу гідродинамічних і теплових процесів, розроблення та обґрунтування інженерних рішень з урахуванням енергоефективності, надійності й екологічності систем, ознайомлення з сучасними підходами до автоматизації та оптимізації технічних процесів на основі комп'ютерного моделювання.

Результати навчання. Знати основні фізичні закономірності руху рідин і газів, тепло- та масопереносу у технічних системах; розуміти математичні моделі та чисельні методи, що застосовуються в обчислювальній термодинаміці; володіти навичками використання сучасного програмного забезпечення для моделювання та аналізу термодинамічних процесів; обирати раціональні підходи до чисельного розв'язання задач залежно від специфіки інженерної задачі; аналізувати та оцінювати результати чисельних експериментів, робити технічні висновки щодо ефективності та надійності систем; розробляти та обґрунтовувати інженерні рішення з урахуванням енергоефективності, екологічності та технологічних вимог; брати участь у проєктуванні, оптимізації і модернізації технічних процесів із застосуванням методів комп'ютерного моделювання; приймати обґрунтовані рішення щодо вибору і впровадження обчислювальних технологій для розв'язання конкретних інженерних задач.

4. Структура залікових кредитів дисципліни

Назва розділу (теми)	Кількість годин, відведених на:					
	Денна форма			Заочна форма		
	Лекції	Лабораторні роботи	СРС	Лекції	Лабораторні роботи	СРС
Тема 1. Фізичні властивості рідин і газів. Основні поняття гідрогазодинаміки.	2	2	10	2	2	12
Тема 2. Теорія руху рідин і газів.	2	2	10			12
Тема 3. Термодинаміка ідеальних та реальних газів.	2	2	10			12
Тема 4. Основи теплообміну.	2	2	10			12
Тема 5. Основи масообміну.	2	2	10			12
Тема 6. Турбулентність і моделі турбулентного руху.	2	2	10	2	2	14
Тема 7. Гідродинамічна стабільність та хвильові процеси в рідинах і газах.	2	2	10			16
Тема 8. Чисельні методи та алгоритми в обчислювальній термогідродинаміці.	2	4	16	2	2	18
Разом за семестр:	16	18	86	6	6	108

5. Програма навчальної дисципліни

5.1 Зміст лекційного курсу

Номер лекції	Перелік тем лекцій, їх анотації	Кількість годин
1	Фізичні властивості рідин і газів. Основні поняття гідрогазодинаміки. Фізичні властивості рідин і газів. Параметри стану та термодинамічні характеристики суцільних середовищ. Густина, в'язкість, стисливість, теплопровідність і теплоємність. Ідеальні та реальні рідини і гази. Ньютонівські та неньютонівські рідини. Поверхневий натяг і капілярні явища. Основні кінематичні характеристики потоку. Поле швидкостей і лінії току. Витрата та рівняння нерозривності. Сили в рідинах і газах. Основи гідростатики та гідродинаміки. Базові поняття гідрогазодинаміки як основа чисельного моделювання термо-гідродинамічних процесів. Літ.: [1] с. 463-576, [8-10], [12-13], [16-17].	2
2	Теорія руху рідин і газів. Рівняння руху рідин і газів. Закони збереження маси, імпульсу та енергії. Рівняння нерозривності. Рівняння Ейлера та Нав'є—Стокса. Поняття про в'язкість і внутрішнє тертя. Сили тиску, вагові та інерційні сили в потоці. Ламінарна і турбулентна течія. Число Рейнольдса та критерії подібності. Граничний шар і умови прилипання. Потенціальна течія та циркуляція. Стаціонарні й нестационарні потоки. Основи теорії подібності та безрозмірні критерії гідрогазодинаміки. Теоретична база для чисельного розв'язання задач руху рідин і газів.	2
3	Термодинаміка ідеальних та реальних газів. Основні закони термодинаміки. Параметри стану та рівняння стану газів. Ідеальний газ і рівняння Клапейрона. Теплоємність, внутрішня енергія, ентальпія та ентропія. Ізотермічні, ізобарні, ізохорні та адіабатні процеси. Політропні процеси. Швидкість звуку в газі та показник адіабати. Реальні гази та відхилення від ідеальної поведінки. Рівняння Ван-	2

	дер-Ваальса. Коефіцієнт стисливості. Фазові переходи та критичний стан. Термодинамічні діаграми стану. Основи термодинамічного аналізу газових процесів як база для обчислювальної термо-гідродинаміки.	
4	Основи теплообміну. Механізми теплообміну: теплопровідність, конвекція та теплове випромінювання. Закон Фур'є і рівняння теплопровідності. Закон Ньютона охолодження та коефіцієнт тепловіддачі. Рівняння енергії в потоках рідин і газів. Спільний розгляд полів швидкості та температури. Теплові граничні умови першого, другого і третього роду. Безрозмірні критерії теплообміну: Nusselt, Prandtl, Reynolds, Peclet. Ламінарна і турбулентна конвекція. Теплообмін у каналах і при обтіканні тіл. Чисельне моделювання теплообміну методами CFD. Дискретизація рівнянь енергії, сіткова модель, турбулентні моделі та їх вплив на теплові розрахунки. Аналіз температурних полів і теплових потоків у програмних комплексах	2
5	Основи масообміну. Механізми масообміну в рідинах і газах. Дифузія та конвективний перенос речовини. Закон Фіка і рівняння дифузії. Концентраційні градієнти як рушійна сила масопереносу. Молекулярна і турбулентна дифузія. Рівняння конвективно-дифузійного переносу. Масовий потік і коефіцієнт масовіддачі. Аналогія між тепло- і масообміном. Безрозмірні критерії: Sherwood, Schmidt, Reynolds, Peclet. Масообмін у прикордонному шарі та в потоках у каналах. Моделювання процесів масопереносу методами CFD. Задання граничних умов за концентрацією та масовим потоком. Аналіз полів концентрації та швидкості в чисельних моделях термо-гідродинамічних процесів.	2
6	Турбулентність і моделі турбулентного руху. Турбулентність як складний режим руху рідин і газів із хаотичними флуктуаціями швидкості та тиску. Основні характеристики турбулентного потоку: турбулентна кінетична енергія, довжина та часова шкала турбулентності. Причини виникнення турбулентності та перехід від ламінарного режиму. Моделі турбулентності: ламінарна, RANS (середнє за часом), LES (великомасштабне моделювання), DNS (пряме чисельне моделювання). Популярні турбулентні моделі у CFD: k- ϵ , k- ω , SST. Особливості налаштування та застосування моделей у SolidWorks Flow Simulation. Вплив турбулентності на тепло- і масообмін. Основи чисельного моделювання турбулентних процесів у термо-гідродинаміці.	2
7	Гідродинамічна стабільність та хвильові процеси в рідинах і газах. Гідродинамічна стабільність як властивість потоку протистояти збуренням і переходу в нестабільний режим. Лінійна та нелінійна теорія стабільності. Механізми виникнення хвильових процесів у рідинах і газах: поверхневі хвилі, внутрішні хвилі, акустичні коливання. Аналіз збурень у потоці, критерії стабільності (число Рейнольдса, критерій Релея). Характеристика хвильових процесів: швидкість поширення, довжина хвилі, амплітуда. Взаємодія хвиль із турбулентністю та вплив на тепло- і масообмін. Моделювання гідродинамічної стабільності та хвильових явищ методами CFD. Практичне значення у прогнозуванні переходу течії та у динаміці технологічних процесів.	2
8	Чисельні методи та алгоритми в обчислювальній термогідродинаміці. Чисельні методи розв'язання рівнянь руху та теплопереносу в рідинах і газах. Дискретизація просторової області: методи скінченних різниць, скінченних об'ємів та скінченних елементів. Часові схеми: явні, неявні та напівявні алгоритми. Турбулентні моделі та їх чисельна реалізація. Особливості реалізації CFD у SolidWorks Flow Simulation. Методи контролю збіжності і оцінки точності розв'язку. Оптимізація обчислень та паралельні обчислення. Практичні аспекти чисельного моделювання термо-гідродинамічних процесів.	2
Разом:		16

Перелік оглядових лекцій для студентів заочної форми здобуття освіти

Номер лекції	Тема лекції	Кількість годин
1	Теорія руху рідин і газів. Рівняння руху рідин і газів. Закони збереження маси, імпульсу та енергії. Рівняння нерозривності. Рівняння Ейлера та Нав'є—Стокса. Поняття про в'язкість і внутрішнє тертя. Сили тиску, вагові та інерційні сили в потоці. Ламінарна і турбулентна течія. Число Рейнольдса та критерії подібності. Граничний шар і умови прилипання. Потенціальна течія та циркуляція. Стаціонарні й нестаціонарні потоки. Основи теорії подібності та безрозмірні критерії гідрогазодинаміки. Теоретична база для чисельного розв'язання задач руху рідин і газів.	2
2	Турбулентність і моделі турбулентного руху. Турбулентність як складний режим руху рідин і газів із хаотичними флуктуаціями швидкості та тиску. Основні характеристики турбулентного потоку: турбулентна кінетична енергія, довжина та часова шкала турбулентності. Причини виникнення турбулентності та перехід від ламінарного режиму. Моделі турбулентності: ламінарна, RANS (середнє за часом), LES (великомасштабне моделювання), DNS (пряме чисельне моделювання). Популярні турбулентні моделі у CFD: k-ε, k-ω, SST. Особливості налаштування та застосування моделей у SolidWorks Flow Simulation. Вплив турбулентності на тепло- і масообмін. Основи чисельного моделювання турбулентних процесів у термо-гідродинаміці.	2
3	Чисельні методи та алгоритми в обчислювальній термогідродинаміці. Чисельні методи розв'язання рівнянь руху та теплопереносу в рідинах і газах. Дискретизація просторової області: методи скінченних різниць, скінченних об'ємів та скінченних елементів. Часові схеми: явні, неявні та напівявні алгоритми. Турбулентні моделі та їх чисельна реалізація. Особливості реалізації CFD у SolidWorks Flow Simulation. Методи контролю збіжності і оцінки точності розв'язку. Оптимізація обчислень та паралельні обчислення. Практичні аспекти чисельного моделювання термо-гідродинамічних процесів.	2
Разом:		6

5.2 Зміст лабораторний робіт

Перелік лабораторних робіт для студентів денної форми здобуття освіти

№ Лр. заняття	Тема лабораторної роботи	Кількість годин
1	Ознайомлення з інтерфейсом та функціоналом програмного комплексу SolidWorks Flow Simulation. Дослідження розподілу гідростатичного тиску рідини в посудині.: [11] с. 32-46, [8-10].	2
2	Моделювання ламінарного та турбулентного ріху рідини в трубі за допомогою SolidWorks Flow Simulation	2
3	Моделювання теплопередачі через плоску стінку за допомогою SolidWorks Flow Simulation	2
4	Моделювання конвективного теплообміну у повітряному каналі за допомогою SolidWorks Flow Simulation	2
5	Моделювання скалярного перемішування рідин за допомогою SolidWorks Flow Simulation	2
6	Моделювання протікання рідини через звуження (ефект Вентурі) за допомогою SolidWorks Flow Simulation	2
7	Моделювання охолодження нагрітого тіла повітряним потоком за допомогою SolidWorks Flow Simulation	2
8	Моделювання теплообміну у теплообміннику «Труба в трубі» за допомогою SolidWorks Flow Simulation	4
Разом:		18

Перелік лабораторних робіт для студентів заочної форми здобуття освіти

№ Лр. заняття	Тема лабораторної роботи	Кількість годин
1	Ознайомлення з інтерфейсом та функціоналом програмного комплексу SolidWorks Flow Simulation. Дослідження розподілу гідростатичного тиску рідини в посудині.: [11] с. 32-46, [8-10].	2
2	Моделювання протікання рідини через звуження (ефект Вентурі) за допомогою SolidWorks Flow Simulation	2
3	Моделювання теплообміну у теплообміннику «Труба в трубі» за допомогою SolidWorks Flow Simulation	2
Разом:		6

5.3 Зміст самостійної (у т. ч. індивідуальної) роботи здобувача вищої освіти

Самостійна робота студентів усіх форм здобуття освіти полягає у систематичному опрацюванні програмного матеріалу з відповідних джерел інформації та підготовці до лабораторних робіт тощо. Студенти заочної форми здобуття освіти виконують ще й контрольну роботу. Вимоги до її виконання та варіанти визначаються методичними рекомендаціями до виконання контрольних робіт, які кожний здобувач вищої освіти отримує у викладача у період настановної сесії. Крім цього до послуг студентів сторінка навчальної дисципліни у Модульному середовищі для навчання, де розміщені Робоча програма дисципліни та необхідні документи з її навчально-методичного забезпечення.

Зміст самостійної роботи студентів денної форми здобуття освіти

Номер тижня	Вид самостійної роботи	Кількість годин
1	Опрацювання теоретичного матеріалу з Т1, підготовка до лабораторної роботи.	5
2	Опрацювання теоретичного матеріалу з Т1, підготовка до захисту лабораторної роботи.	5
3	Опрацювання теоретичного матеріалу з Т2, підготовка до лабораторної роботи.	5
4	Опрацювання теоретичного матеріалу з Т2, підготовка до захисту лабораторної роботи.	5
5	Опрацювання теоретичного матеріалу з Т3, підготовка лабораторної роботи.	5
6	Опрацювання теоретичного матеріалу з Т3, підготовка до захисту лабораторної роботи.	5
7	Опрацювання теоретичного матеріалу з Т4, підготовка до лабораторної роботи.	5
8	Опрацювання теоретичного матеріалу з Т4, підготовка до захисту лабораторної роботи.	5
9	Опрацювання теоретичного матеріалу з Т5, підготовка до лабораторної роботи.	5
10	Опрацювання теоретичного матеріалу з Т5, підготовка до захисту лабораторної роботи.	5
11	Опрацювання теоретичного матеріалу з Т6, підготовка до лабораторної роботи.	5
12	Опрацювання теоретичного матеріалу з Т6, підготовка до захисту лабораторної роботи.	5

13	Опрацювання теоретичного матеріалу з Т7, підготовка до лабораторної роботи.	5
14	Опрацювання теоретичного матеріалу з Т7, підготовка до захисту лабораторної роботи.	5
15	Опрацювання теоретичного матеріалу з Т8, підготовка до лабораторної роботи.	5
16	Опрацювання теоретичного матеріалу з Т8, підготовка до захисту лабораторної роботи.	5
17	Опрацювання теоретичного матеріалу.	5
Разом:		86

На самостійне опрацювання студентів виносяться визначені у Модульному середовищі для навчання питання з кожної теми. Керівництво самостійною роботою та контроль за виконанням індивідуального завдання здійснюється викладачем згідно з розкладом консультацій у позаурочний час.

Вимоги до виконання контрольної роботи (для студентів заочної форми здобуття освіти) та індивідуального домашнього завдання (для студентів денної форми здобуття освіти) викладені в Модульному середовищі для навчання на сторінці навчальної дисципліни.

6 Технології та методи навчання

Процес навчання з дисципліни ґрунтується на використанні традиційних та сучасних технологій, зокрема: лекції (з використанням методів проблемного навчання і візуалізації); лабораторні роботи (комп'ютерне моделювання, проведення чисельного експерименту, налаштування граничних умов, візуалізація течій та теплових полів, аналіз розрахункових даних у середовищі SolidWorks Flow Simulation), самостійна робота (опрацювання теоретичного матеріалу, тестування).

Процес навчання з дисципліни ґрунтується на використанні традиційних та сучасних технологій та методів навчання, зокрема: методи навчання за джерелом передачі і сприймання інформації (словесні (пояснення, дискусія, консультування), практичні (інструктування, розв'язування ситуаційних задач), наочні (демонстрування, ілюстрування, спостереження); за логікою передачі і сприймання навчальної інформації; за рівнем самостійності пізнавальної діяльності (методи проблемного викладу, частково пошукові, дослідницькі); методи стимулювання і мотивації здобувача освіти, інтерактивні; метод аналізу конкретних ситуацій (case-study) з використанням технологій візуалізації, інформаційно-комунікаційних та технологій дистанційного навчання (сервіс для проведення онлайн конференцій Zoom, Модульне середовище для навчання тощо).

7 Методи контролю

Поточний контроль здійснюється під час захисту лабораторних робіт, а також у дні проведення контрольних заходів, встановлених робочою програмою і графіком освітнього процесу.

При цьому використовуються такі методи поточного контролю:

- усне опитування;
- захист лабораторних робіт;
- тестовий контроль теоретичного матеріалу.

При виведенні підсумкової семестрової атестації враховуються результати як поточного контролю, так і підсумкового контролю, який проводиться з усього матеріалу дисципліни за білетами, попередньо розробленими і затвердженими на засіданні кафедри. Здобувач вищої освіти, який набрав з будь-якого виду навчальної роботи, суму балів нижчу за 60 відсотків від максимального балу, не допускається до семестрового контролю, поки не виконає обсяг роботи, передбачений Робочою програмою. Здобувач вищої освіти, який набрав позитивний середньозважений бал (60 відсотків і більше від максимального балу) з усіх видів поточного контролю і не склав іспит, вважається таким, який має академічну заборгованість. Ліквідація академічної заборгованості із семестрового контролю здійснюється у період екзаменаційної сесії або за графіком, встановленим деканатом відповідно до «Положення про контроль і оцінювання результатів навчання здобувачів вищої освіти у ХНУ».

8 Політика дисципліни

Політика навчальної дисципліни загалом визначається системою вимог до здобувача вищої освіти, що передбачені чинними положеннями Університету про організацію і навчально-методичне забезпечення освітнього процесу. Зокрема, проходження інструктажу з техніки безпеки; відвідування занять з дисципліни є обов'язковим. За об'єктивних причин (підтверджених документально) теоретичне навчання за погодженням із лектором може відбуватись в індивідуальному режимі. Успішне опанування дисципліни і формування фахових компетентностей і програмних результатів навчання передбачає необхідність підготовки до практичних занять (вивчення теоретичного матеріалу з теми, активно працювати на занятті, розв'язувати задачі, брати участь у дискусіях щодо прийнятих рішень при виконанні здобувачами задач).

Здобувачі вищої освіти зобов'язані дотримуватися термінів виконання усіх видів робіт у встановлені терміни, передбачених робочою програмою навчальної дисципліни. Пропущене практичне заняття здобувач зобов'язаний відпрацювати у встановлений викладачем термін, але не пізніше, ніж за два тижні до кінця теоретичних занять у семестрі.

Засвоєння студентом теоретичного матеріалу з дисципліни оцінюється за результатами опитування під час практичних занять, тестування й виконання індивідуального домашнього завдання. Виконання індивідуального завдання завершується його здачею на перевірку у терміни, встановлені графіком самостійної роботи. У якості ІДЗ здобувач може підготувати реферат або тези доповіді на конференцію за однією з тем навчальної дисципліни при дотриманні узгоджених з викладачем термінів його виконання.

Здобувач вищої освіти, виконуючи самостійну роботу з дисципліни, має дотримуватися політики доброчесності (заборонені списування, підказки, плагіат, використання штучного інтелекту (без вірного цитування)). У разі порушення політики академічної доброчесності в будь-яких видах навчальної роботи здобувач вищої освіти отримує незадовільну оцінку і має повторно виконати завдання з відповідної теми (виду роботи), що передбачені робочою програмою. Будь-які форми порушення академічної доброчесності під час вивчення навчальної дисципліни не допускаються та не толеруються.

У межах вивчення навчальної дисципліни здобувачам вищої освіти передбачено визнання і зарахування результатів навчання, набутих шляхом неформальної освіти, що розміщені на доступних платформах (<https://prometheus.org.ua/>, <https://www.coursera.org/>, <https://www.edx.org/>, <https://www.udemy.com/>, <https://osvita.dii.gov.ua/>), які сприяють формування компетентностей і поглибленню результатів навчання, визначених робочою програмою дисципліни, або забезпечують вивчення відповідної теми та/або виду робіт з програми навчальної дисципліни (детальніше у Положенні про порядок визнання та зарахування результатів навчання здобувачів вищої освіти у ХНУ).

9 Оцінювання результатів навчання студентів у семестрі

Оцінювання академічних досягнень здобувача вищої освіти здійснюється відповідно до «Положення про контроль і оцінювання результатів навчання здобувачів вищої освіти у ХНУ». При поточному оцінюванні виконаної здобувачем роботи з кожної структурної одиниці і отриманих ним результатів викладач виставляє йому певну кількість балів із призначених робочою програмою для цього виду роботи. При цьому кожна структурна одиниця (робота) може бути зарахована, якщо здобувач набрав не менше 60 відсотків (мінімальний рівень для позитивної оцінки) від максимально можливої суми балів, призначеної структурній одиниці.

Будь-які форми порушення академічної доброчесності не допускаються та не толеруються.

Отриманий здобувачем бал за зарахований вид навчальної роботи (структурну одиницю) після її оцінювання викладач виставляє в електронному журналі обліку успішності здобувачів вищої освіти. За умови виконання усіх видів навчальної роботи за результатами поточного контролю протягом вивчення навчальної дисципліни, встановлених її Робочою програмою, здобувач денної форми здобуття освіти з навчальної дисципліни, підсумковим контролем для якої є іспит, може набрати до 60 балів (здобувач заочної форми – до 50 балів). Позитивну підсумкову оцінку здобувач може отримати, якщо за результатами поточного та підсумкового контролів набере від 60 до 100 балів. Семестрова підсумкова оцінка розраховується в автоматизованому режимі в інформаційній підсистемі «Електронний журнал» (ІС «Електронний університет») і відповідно до накопиченої суми балів визначається оцінка за інституційною шкалою та шкалою ЄКТС (див. таблицю Співвідношення...), яка заноситься в екзаменаційну відомість, а також до Індивідуального навчального плану здобувача вищої освіти.

Структурування дисципліни за видами навчальної роботи і оцінювання результатів навчання студентів денної форми здобуття освіти у 1 семестрі

Аудиторна робота								Самостійна робота		Семестровий контроль	Разом
<i>Перший семестр</i>											
Захист лабораторних робіт								Тестовий контроль:		Іспит	Сума балів
1	2	3	4	5	6	7	8	T*1-4	T5-8		
Кількість балів за вид навчальної роботи (мінімум-максимум)											
3-5	3-5	3-5	3-5	3-5	3-5	3-5	3-5	3-5	3-5	24-40	60-100**
24-40								6-10	6-10	24-40	

Примітка: T* – тема навчальної дисципліни;

**За набрану з будь-якого виду навчальної роботи з дисципліни кількість балів, нижче встановленого мінімуму, здобувач отримує незадовільну оцінку і має її перездати у встановлений викладачем (деканом) термін. Інституційна оцінка встановлюється відповідно до таблиці «Співвідношення інституційної шкали оцінювання і шкали оцінювання ЄКТС».

Структурування дисципліни за видами навчальної роботи і оцінювання результатів навчання студентів заочної форми здобуття освіти

Аудиторна робота			Самостійна, індивідуальна робота				Семестровий контроль	Разом
<i>Перший семестр</i>								
Захист лабораторної роботи			Контрольна робота		Тестовий контроль		Іспит	Сума балів
1	2	3	Якість виконання	Захист роботи	T1-4	T5-8		
Кількість балів за кожний вид навчальної роботи (мінімум-максимум)								
3-5	3-5	3-5	12-20	3-5	3-5	3-5	30-50	60-100
9-15			15-25		6-10		30-50	

Оцінювання якості виконання контрольної роботи студентами заочної форми здобуття освіти

Контрольна робота передбачає виконання трьох завдань – два теоретичних і одне – практичне (розрахунки полів швидкості та тиску, визначення гідравлічного опору та пропускної здатності, розрахунки теплових потоків і температурних розподілів, аналіз аеродинамічних характеристик). Кількість завдань у контрольній роботі залежно від особливостей дисципліни визначає кафедра. Зміст завдань наведено в Модульному середовищі для навчання на сторінці дисципліни. При оцінюванні контрольної роботи враховуються якість її виконання та захист, кожен з цих показників оцінюється максимально: кожне з теоретичних завдань – 5 балами, практичне завдання 10 балами, загальна максимальна сума балів становить 20. Критерії оцінювання контрольної роботи:

Таблиця – Розподіл балів між завданнями контрольної роботи здобувача вищої освіти

Види завдань	Для кожного окремого виду завдань		
	Мінімальний (достатній) бал	Потенційні позитивні бали* (середній бал)	Максимальний (високий) бал
Теоретичне питання № 1	3	4	5
Теоретичне питання № 2	3	4	5
Практичне завдання	6	8	10
Всього балів	12		20

Примітка. Позитивний бал за контрольну роботу, відмінний від мінімального (12 балів) та максимального (20 балів), знаходиться в межах 13-19 балів та розраховується як сума балів за усі структурні елементи (завдання) контрольної роботи.

Кожне завдання контрольної роботи здобувача вищої освіти оцінюється з використанням нижченаведених у таблиці критеріїв оцінювання навчальних досягнень здобувача вищої освіти (щодо визначення достатнього, середнього та високого рівня досягнення здобувачем запланованих ПРН та сформованих компетентностей).

Оцінювання лабораторних робіт

Оцінка, яка виставляється за лабораторну роботу, складається з таких елементів: перевірка теоретичної підготовки (допуск до виконання); правильність побудови розрахункової моделі та завдання граничних умов у середовищі SolidWorks Flow Simulation; здатність аналізувати та фізично інтерпретувати отримані поля розподілу параметрів (тиску, швидкості, температури тощо); якість оформлення та захист звіту. При оцінюванні результатів навчання здобувачів вищої освіти на лабораторних заняттях викладач користується наведеними нижче критеріями:

Таблиця – Критерії оцінювання навчальних досягнень здобувача вищої освіти

Оцінка та рівень досягнення здобувачем запланованих ПРН та сформованих компетентностей	Узагальнений зміст критерія оцінювання
Відмінно (високий)	Здобувач вищої освіти глибоко і у повному обсязі опанував зміст навчального матеріалу, легко в ньому орієнтується і вміло використовує понятійний апарат; уміє пов'язувати теорію з практикою, вирішувати практичні завдання, впевнено висловлювати і обґрунтовувати свої судження. Відмінна оцінка передбачає логічний виклад відповіді мовою викладання (в усній або у письмовій формі), демонструє якісне оформлення завдань, вміє заповнювати форми звітності, аналізувати їх на помилки та виправляти їх, шукати взаємозв'язки між формами. Здобувач не вагається при видозміні запитання, вміє робити детальні та узагальнюючі висновки, демонструє практичні навички з вирішення фахових завдань. При відповіді допустив дві-три несуттєві помилки.
Добре (середній)	Здобувач вищої освіти виявив повне засвоєння навчального матеріалу, володіє понятійним апаратом, орієнтується у вивченому матеріалі; свідомо використовує теоретичні знання для вирішення практичних задач; виклад відповіді грамотний, але у змісті і формі відповіді можуть мати місце окремі неточності, нечіткі формулювання правил, закономірностей тощо. Відповідь здобувача вищої освіти будується на основі самостійного мислення. Здобувач вищої освіти у відповіді допустив дві-три несуттєві помилки.
Задовільно (достатній)	Здобувач вищої освіти виявив знання основного програмного матеріалу в обсязі, необхідному для подальшого навчання та практичної діяльності за професією, справляється з виконанням практичних завдань, передбачених програмою. Як правило, відповідь здобувача вищої освіти будується на рівні репродуктивного

	мислення, здобувач вищої освіти має слабкі знання структури навчальної дисципліни, допускає неточності і <i>суттєві помилки</i> у відповіді, вагається при відповіді на видозмінене запитання. Разом з тим, набув навичок, необхідних для виконання нескладних практичних завдань, які відповідають мінімальним критеріям оцінювання і володіє знаннями, що дозволяють йому під керівництвом викладача усунути неточності у відповіді.
Незадовільно (недостатній)	Здобувач вищої освіти виявив розрізнені, безсистемні знання, не вміє виділяти головне і другорядне, допускається помилок у визначенні понять, перекручує їх зміст, хаотично і невпевнено викладає матеріал, не може використовувати знання при вирішенні практичних завдань. Як правило, оцінка «незадовільно» виставляється здобувачеві вищої освіти, який не може продовжити навчання без додаткової роботи з вивчення навчальної дисципліни.

Оцінювання результатів тестового контролю

Кожен з двох тестів, передбачених робочою програмою, складається із 25 тестових завдань. Максимальна сума балів, яку може набрати студент за результатами тестування, складає 5.

Відповідно до таблиці структурування видів робіт за тематичний контроль здобувач залежно від кількості правильних відповідей може отримати від 3 до 5 балів:

Таблиця – Розподіл балів в залежності від наданих правильних відповідей на тестові завдання

Кількість правильних відповідей	1–13	14–16	17–22	23–25
Відсоток правильних відповідей	0-59	60-74	75-89	90-100
Кількість балів	-	3	4	5

На тестування відводиться 25 хвилин. Правильні відповіді студент записує у талоні відповідей. Студент може також пройти тестування і в онлайн режимі у Модульному середовищі для навчання на сторінці навчальної дисципліни. Тестування здобувачів вищої освіти у Модульному середовищі для навчання автоматично оцінюються за критеріями, наведеними у таблиці вище.

При отриманні негативної оцінки тест слід перездати до терміну наступного контролю.

Оцінювання результатів підсумкового семестрового контролю (іспит)

Освітня програма передбачає підсумковий семестровий контроль з дисципліни у формі іспиту, завданням якого є системне й об'єктивне оцінювання як теоретичної, так і практичної підготовки здобувача з навчальної дисципліни. Складання іспиту відбувається за попередньо розробленими і затвердженими на засіданні кафедри білетами. Відповідно до цього в екзаменаційному білеті пропонується поєднання питань як теоретичного (в т.ч. у тестовій формі), так і практичного характеру.

Таблиця – Оцінювання результатів підсумкового семестрового контролю здобувачів денної форми навчання (40 балів для підсумкового контролю)

Види завдань	Для кожного окремого виду завдань		
	Мінімальний (достатній) бал (задовільно)	Потенційні позитивні бали* (середній бал) (добре)	Максимальний (високий) бал (відмінно)
Теоретичне питання № 1	6	8	10
Теоретичне питання № 2	6	8	10
Практичне завдання	12	16	20
Разом:	24		40

Примітка. Позитивний бал за іспит, відмінний від мінімального (24 бали) та максимального (40 балів), знаходиться в межах 25-39 балів та розраховується як сума балів за усі структурні елементи (завдання) іспиту.

Таблиця – Оцінювання результатів підсумкового семестрового контролю здобувачів заочної форми навчання (50 балів для підсумкового контролю)

Види завдань	Для кожного окремого виду завдань		
	Мінімальний (достатній) бал (задовільно)	Потенційні позитивні бали* (середній бал) (добре)	Максимальний (високий) бал (відмінно)
Теоретичне питання № 1	6	10	15
Теоретичне питання № 2	6	10	15
Практичне завдання	8	14	20
Разом:	30		50

Примітка. Позитивний бал за іспит, відмінний від мінімального (30 балів) та максимального (50 балів), знаходиться в межах 31-49 балів та розраховується як сума балів за усі структурні елементи (завдання) іспиту.

Для кожного окремого виду завдань підсумкового семестрового контролю застосовуються критерії оцінювання навчальних досягнень здобувача вищої освіти, наведені вище (Таблиця – Критерії оцінювання навчальних досягнень здобувача вищої освіти).

Таблиця – Співвідношення інституційної шкали оцінювання і шкали оцінювання ЄКТС

Оцінка ЄКТС	Рейтингова шкала балів	Інституційна шкала (Опис рівня досягнення здобувачем вищої освіти запланованих результатів навчання з навчальної дисципліни)	
		Залік	Іспит/диференційований залік
A	90-100	Зараховано	<i>Відмінно/Excellent</i> – високий рівень досягнення запланованих результатів навчання з навчальної дисципліни, що свідчить про безумовну готовність здобувача до подальшого навчання та/або професійної діяльності за фахом
B	83-89		<i>Добре/Good</i> – середній (максимально достатній) рівень досягнення запланованих результатів навчання з навчальної дисципліни та готовності до подальшого навчання та/або професійної діяльності за фахом
C	73-82		
D	66-72		
E	60-65		<i>Задовільно/Satisfactory</i> – Наявні мінімально достатні для подальшого навчання та/або професійної діяльності за фахом результати навчання з навчальної дисципліни
FX	40-59	Незараховано	<i>Незадовільно/Fail</i> – Низка запланованих результатів навчання з навчальної дисципліни відсутня. Рівень набутих результатів навчання є недостатнім для подальшого навчання та/або професійної діяльності за фахом
F	0-39		<i>Незадовільно/Fail</i> – Результати навчання відсутні

Підсумкова семестрова оцінка за інституційною шкалою і шкалою ЄКТС визначається в автоматизованому режимі після внесення викладачем результатів оцінювання з усіх видів робіт до електронного журналу. Співвідношення інституційної шкали оцінювання і шкали оцінювання ЄКТС у наведеній нижче таблиці.

Семестровий іспит виставляється, якщо загальна сума балів, яку набрав студент з дисципліни за результатами поточного та підсумкового контролю, знаходиться у межах від 60 до 100 балів. При цьому за інституційною шкалою ставиться оцінка «відмінно/добре/задовільно», а за шкалою ЄКТС – буквене позначення оцінки, що відповідає набраній студентом сумі балів відповідно до таблиці Співвідношення.

11. Питання для самоконтролю результатів навчання

1. Предмет, мета і завдання дисципліни.
2. Що таке рідина в широкому розумінні (fluid)?
3. Сформулюйте гіпотезу суцільного середовища.
4. Що таке число Кнудсена і як воно визначає межі застосування гіпотези суцільного середовища?
5. Дайте визначення густини та питомої ваги.
6. Як залежить густина газів від температури та тиску?
7. Як залежить густина крапельних рідин від температури?
8. Що таке стисливість рідини?
9. Що таке модуль об'ємної пружності?
10. Дайте визначення динамічної в'язкості.
11. Що таке кінематична в'язкість і як вона пов'язана з динамічною?
12. Як змінюється в'язкість газів при підвищенні температури?
13. Як змінюється в'язкість рідин при підвищенні температури?
14. Сформулюйте закон внутрішнього тертя Ньютона.
15. У чому різниця між ньютонівськими та неньютонівськими рідинами?
16. Наведіть приклади псевдопластичних та дилатантних рідин.
17. Що таке поверхневий натяг?
18. Поясніть явище капілярності.
19. Що таке тиск насиченої пари і як він пов'язаний з кипінням?
20. Що таке поле швидкостей?
21. У чому різниця між методом Лагранжа та методом Ейлера?
22. Що таке лінія течії (streamline)?
23. Що таке траєкторія частинки (pathline)?
24. Коли лінія течії та траєкторія збігаються?
25. Дайте визначення сталої (стаціонарної) течії.
26. Що таке трубка течії?
27. Запишіть та поясніть рівняння нерозривності (збереження маси).
28. Що таке середня швидкість потоку та як вона визначається?
29. Які сили діють на рідину (масові та поверхневі)?
30. Сформулюйте рівняння Бернуллі для ідеальної рідини.
31. Який енергетичний зміст кожного члена рівняння Бернуллі?
32. Що таке статичний, динамічний та повний тиск?
33. Опишіть рівняння Нав'є-Стокса (фізичний зміст доданків).
34. Що таке рівняння Ейлера для руху рідини?
35. У чому фізичний зміст числа Рейнольдса (Re)?
36. Які існують режими руху рідини?
37. Що таке критичне число Рейнольдса?
38. Що таке гідравлічний діаметр і коли він застосовується?
39. Що таке пограничний шар?
40. Дайте визначення термодинамічної системи.
41. Які параметри стану визначають стан газу?
42. Сформулюйте рівняння стану ідеального газу (Менделєєва-Клапейрона).
43. Що таке універсальна газова стала і газова стала конкретного газу?
44. Чим реальний газ відрізняється від ідеального?
45. Напишіть рівняння Ван дер Ваальса (які поправки воно містить?).
46. Що таке внутрішня енергія газу?
47. Дайте визначення ентальпії.
48. Що таке ентропія і як вона змінюється в реальних процесах?
49. Сформулюйте перший закон термодинаміки.
50. Що таке теплоємність?
51. Що таке показник адіабати (коефіцієнт Пуассона)?
52. Опишіть ізохорний процес.

53. Опишіть ізобарний процес.
54. Опишіть ізотермічний процес.
55. Опишіть адіабатний процес.
56. Що таке повна енергія потоку (total energy)?
57. Назвіть три основні види теплообміну.
58. Сформулюйте закон теплопровідності Фур'є.
59. Що таке коефіцієнт теплопровідності?
60. Від чого залежить теплопровідність газів і рідин?
61. Що таке конвективний теплообмін?
62. Сформулюйте закон Ньютона-Ріхмана.
63. Що таке коефіцієнт тепловіддачі?
64. У чому різниця між вільною (природною) та вимушеною конвекцією?
65. Що таке теплове випромінювання?
66. Сформулюйте закон Стефана-Больцмана.
67. Що таке абсолютно чорне тіло?
68. Що таке сіре тіло?
69. У чому фізичний зміст числа Нуссельта (Nu)?
70. У чому фізичний зміст числа Прандтля (Pr)?
71. Що таке тепловий пограничний шар?
72. Як пов'язані товщина гідродинамічного та теплового пограничних шарів?
73. Що таке число Грасгофа (Gr) і де воно використовується?
74. Що таке число Релея (Ra)?
75. Що таке число Пекле (Pe)?
76. Поясніть поняття "спряжений теплообмін" (Conjugate Heat Transfer).
77. Що таке термічний опір стінки?
78. Як впливає шорсткість стінки на тепловіддачу?
79. Що таке масообмін?
80. Що таке концентрація (масова, молярна, об'ємна)?
81. Сформулюйте закон Фіка (молекулярна дифузія).
82. Що таке коефіцієнт дифузії?
83. Чим відрізняється ламінарна дифузія від турбулентної?
84. Що таке конвективний масообмін?
85. Сформулюйте закон масовіддачі (аналог закону Ньютона-Ріхмана).
86. Що таке коефіцієнт масовіддачі?
87. У чому фізичний зміст числа Шмідта (Sc)?
88. У чому фізичний зміст числа Льюїса (Le)?
89. Що таке число Шервуда (Sh)?
90. Що таке аналогія Рейнольдса (тепло-масообмінна аналогія)?
91. Що таке концентраційний пограничний шар?
92. Як впливає температура на швидкість дифузії?
93. Опишіть процес масообміну у багатофазних системах (на прикладі випаровування).
94. Дайте визначення турбулентності.
95. Що таке ламінарно-турбулентний перехід?
96. Що таке пульсація швидкості?
97. Що таке осереднена за часом швидкість?
98. Запишіть процедуру осереднення Рейнольдса.
99. Що таке напруження Рейнольдса?
100. Що таке турбулентна в'язкість (eddy viscosity)?
101. Поясніть концепцію енергетичного каскаду турбулентності.
102. Що таке мікромасштаб Колмогорова?
103. Що таке RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes)?
104. Що таке LES (Large Eddy Simulation)?
105. Що таке DNS (Direct Numerical Simulation)?

106. У чому суть k - ϵ моделі турбулентності?
107. Що означають параметри k та ϵ ?
108. У чому суть k - ω моделі турбулентності?
109. Яку модель краще використовувати для пристінних течій?
110. Що таке пристінні функції (Wall Functions)?
111. Що таке параметр y^+ і яким він має бути?
112. Що таке інтенсивність турбулентності?
113. Що таке масштаб турбулентності?
114. Що таке швидкість звуку в середовищі?
115. Як швидкість звуку залежить від температури газу?
116. Що таке число Маха (Ma)?
117. Класифікація течій за числом Маха (дозвукова, трансзвукова, надзвукова, гіперзвукова).
118. Що відбувається при $Ma = 1$?
119. Що таке ударна хвиля?
120. Чим пряма ударна хвиля відрізняється від косої?
121. Як змінюються тиск, температура та швидкість за фронтом ударної хвилі?
122. Що таке хвиля розрідження (віяло Прандтля-Майєра)?
123. Що таке критичний переріз сопла (сопло Лавалє)?
124. Що таке гідродинамічна кавітація?
125. Які умови необхідні для виникнення кавітації?
126. Які негативні наслідки кавітації?
127. Що таке нестійкість Кельвіна-Гельмгольца?
128. Що таке нестійкість Релея-Тейлора?
129. Що таке гідроудар?
130. Як запобігти гідроудару в системах?
131. Що таке CFD (Computational Fluid Dynamics)?
132. У чому суть методу скінченних об'ємів (FVM)?
133. Чим FVM відрізняється від методу скінченних елементів (FEM)?
134. Що таке розрахункова сітка (mesh)?
135. Які бувають типи комірок сітки (тетраедри, гексаедри, поліедри)?
136. Що таке структурована та неструктурована сітка?
137. Як якість сітки впливає на точність розрахунку?
138. Що таке адаптація сітки (mesh adaptation)?
139. Перелічіть основні типи граничних умов (Boundary Conditions).
140. Коли використовувати граничну умову "Pressure Outlet", а коли "Mass Flow Outlet"?
141. Що таке умова симетрії і коли її доцільно використовувати?
142. Що таке початкові умови (Initial Conditions) і на що вони впливають?
143. Що таке дискретизація рівнянь?
144. Що таке нев'язки (residuals) розрахунку?
145. Які критерії збіжності рішення?
146. Що таке число Куранта-Фрідрікса-Леві (CFL) і як воно впливає на стійкість?
147. Що таке релаксація рішення?
148. У чому різниця між верифікацією та валідацією моделі?
149. Як перевірити сіткову незалежність рішення?
150. Які основні етапи CFD-аналізу в SolidWorks Flow Simulation?

12 Навчально-методичне забезпечення

Освітній процес з дисципліни «Інноваційне обладнання харчових виробництв» забезпечений необхідними навчально-методичними матеріалами, що розміщені в Модульному середовищі для навчання MOODLE:

1. Курс «Обчислювальна гідро-термодинаміка»: <https://msn.khmnu.edu.ua/course/view.php?id=10238>
2. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт та самостійної роботи для здобувачів

- вищої освіти денної форми навчання з дисципліни «Інноваційне обладнання харчових виробництв». URL: <https://msn.khmnu.edu.ua/course/view.php?id=10238>
3. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт та контрольної роботи для здобувачів вищої освіти заочної форми навчання з дисципліни «Інноваційне обладнання харчових виробництв». URL: <https://msn.khmnu.edu.ua/course/view.php?id=10238>

Роздатковий матеріал: технічні характеристики гідравлічного обладнання

13 Матеріально-технічне та програмне забезпечення дисципліни (за потреби)

Інформаційна та комп'ютерна підтримка: ПК, проєктор. Програмне забезпечення: SolidWorks Flow Simulation

Вивчення навчальної дисципліни не потребує використання спеціального програмного прикладного забезпечення, крім загальноновживаних програм і операційних систем.

14. Рекомендована література:

Основна

1. Engineering design and technology series : An introduction to flow analysis applications with SolidWorks Flow Simulation / Dassault Systèmes — SolidWorks Corporation. — Concord, Massachusetts, USA : SolidWorks, 2011. — 36 с. (Student workbook) — Електронний ресурс : PDF. — Режим доступу: https://www.solidworks.com/sw/docs/flow_sim_studentwb_2011_eng.pdf
2. Гідрогазодинаміка. Курс лекцій: навч. посіб. / В.М. Турик; КПІ ім. Ігоря Сікорського. — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. — 145 с.
3. Баранюк О. В. CFD-моделювання процесів теплообміну і гідродинаміки засобами програмного комплексу : монографія / О. В. Баранюк, М. В. Воробйов, А. Ю. Рачинський. — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2023. — 164 с.
4. Колісніченко, Е. В. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи : конспект лекцій / Е. В. Колісніченко, А. С. Мандрика, В. О. Панченко. — Суми : Сумський державний університет, 2021. — 176 с.
5. Співак, О. Ю. Тепломасообмін : навчальний посібник / О. Ю. Співак, Н. В. Резидент. — Вінниця : ВНТУ, 2021. — Ч. 1. — 113 с.
6. Омельченко, О. В. Тепломасообмін : навчальний посібник / О. В. Омельченко, Л. О. Цвіркун. - Кривий Ріг : ДонНУЕТ, 2021. - 100 с.
7. Прикладна гідроаеромеханіка і механотроніка : підручник / О. М. Яхно, О. В. Узунов, О. Ф. Луговський та ін. ; за ред. О. М. Яхна. — Вінниця: ВНТУ, 2017. — 711 с.:
8. Загорулько, А. В. Програмний комплекс ANSYS в інженерних задачах : навчальний посібник / А.В. Загорулько. — Суми : СумДУ, 2008. — 201 с.

Додаткова

9. Anderson, John D., Tannehill, Richard H., Pletcher, Robert H. Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer / J. D. Anderson, R. H. Tannehill, R. H. Pletcher. — Fourth Edition. — Boca Raton, FL, USA : CRC Press, 2021. — 974 p. — Бібліогр.: с. 950–974. — ISBN 978-0-8153-5712-4.
10. Sazhin, Sergei S. Computational Fluid Dynamics: An Introduction for Mechanical Engineering Students / S. S. Sazhin. — Cham, Switzerland : Springer Nature, 2025. — 185 p. — ISBN 978-3-030-18637-21.
11. Rodriguez, Sal Applied Computational Fluid Dynamics and Turbulence Modeling: Practical Tools, Tips and Techniques / Sal Rodriguez. — Cham, Switzerland : Springer, 2019. — xvi, 544 p. — ISBN 978-3-030-28691-0.
12. Kajishima, Takeo, Taira, Kunihiko Computational Fluid Dynamics: Incompressible Turbulent Flows / T. Kajishima, K. Taira. — Cham, Switzerland : Springer, 2017. — xv, 358 p. — ISBN 978-3-319-45304-0.
13. Talebizadeh Sardari, Pouyan. Ahmadi, Goodarz, Inthavong, Kiao (Eds.) Computational Heat Transfer and Fluid Mechanics / P. Talebizadeh Sardari, G. Ahmadi, K. Inthavong. — Basel, Switzerland : MDPI Books, 2022. — 280 p. — ISBN 978-3-0365-4543-1.

15 Інформаційні ресурси

1. Електронна бібліотека університету. [Електронний ресурс]. – Доступ до ресурсу: <https://msn.khmnu.edu.ua/course/view.php?id=1023>
2. Інституційний репозитарій ХНУ. [Електронний ресурс]. – Доступ до ресурсу: <https://elar.khmnu.edu.ua/home>
3. Модульне середовище для навчання. [Електронний ресурс]. – Доступ до ресурсу: <https://msn.khmnu.edu.ua/>.