

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Теплоенергетичний факультет

Кафедра автоматизації проектування енергетичних процесів і систем

МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ
З РОЗПОДІЛЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання самостійної роботи студентів

для напряму підготовки 6.050101 “Комп'ютерні науки”
для спеціальності
8.05010105 “Комп'ютерний еколого-економічний моніторинг”

Рекомендовано вченою радою теплоенергетичного факультету

Київ
НТУУ «КПІ»
2016

Методичні вказівки до виконання самостійної роботи студентів з кредитного модуля “Математичні методи моделювання систем з розподіленими параметрами” для студентів напряму підготовки 6.050101 “Комп’ютерні науки” для спеціальності 8.05010105 “Комп’ютерний еколого-економічний моніторинг” / Уклад.: О.А. Гуржій – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 16 с.

Електронне навчальне видання

МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ
З РОЗПОДІЛЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання самостійної роботи студентів

*для студентів напряму підготовки 6.050101 “Комп’ютерні науки”
для спеціальності 8.05010105 “Комп’ютерний еколого-економічний моніторинг”*

Укладач: *Гуржій О. А., д.ф.-м.н., проф. каф. АПЕПС*

Відповідальний
редактор: *Сидоренко Ю.В., к.т.н., доц.*

Рецензент: *Туз В.О., д.т.н., проф. каф. АЕС і ІТФ*

За редакцією укладача

Методичні вказівки розроблені на підставі робочої програми кредитного модуля “Математичні методи моделювання систем з розподіленими параметрами” та призначені для якісної організації самостійної роботи студентів при вивченні кредитного модуля, підвищення свідомості студентів у навчанні і поліпшення результатів навчання.

1. МЕТА І ЗАВДАННЯ КРЕДИТНОГО МОДУЛЯ

Відповідно до робочого навчального плану кредитний модуль “Математичні методи моделювання систем з розподіленими параметрами” викладається студентам другого року підготовки ОКР “магістр” для спеціальності 8.05010105 “Комп'ютерний еколого-економічний моніторинг” у третьому навчальному семестрі.

Метою кредитного модуля є формування у студентів здатностей:

- застосувати засоби комп'ютерного проектування для вирішення актуальних задач науки, техніки (КСП.25);
- побудови математичних моделей систем з розподіленими параметрами (КСП.44);
- моделювання у процесі дослідження, проектування та експлуатації інформаційних систем, продуктів, сервісів інформаційних технологій, інших об'єктів професійної діяльності; здатність реалізовувати алгоритми моделювання для дослідження характеристик і поведінки складних об'єктів (КСП.18).

Згідно з вимогами програми навчальної дисципліни студенти після засвоєння кредитного модуля мають продемонструвати такі результати навчання:

знання:

- основні фізичні закони механіки суцільних середовищ;
- сучасні моделі, концепції та методи оцінювання процесів переносу скалярних полів в аеро- і гідродинамічних системах;
- розробки програмного забезпечення для прогнозу та оцінки наслідків екологічних катастроф;

вміння:

1.ПФ.Д.01.01 Розробляти та перетворювати математичні моделі явищ, процесів і систем для їх ефективної програмно-апаратної реалізації, а саме:

- застосовувати одержані знання при розв'язку конкретних технічних задач;
- ставити коректну математичну гідродинамічну задачу і застосувати коректні чисельні методи розв'язку задач математичної фізики;
- проводити математичне моделювання процесів переносу скалярних полів в системах з розподіленими параметрами;
- проводити якісну і кількісну оцінки наслідків техногенних аварій і розробляти заходи мінімізації наслідків екологічних катастроф.

досвід:

- використання методів та алгоритмів при вирішенні проблем прогнозування розповсюдження забруднень в суцільних середовищах.

Для кращого засвоєння матеріалу кредитного модуля навчальною програмою курсу передбачено проведення лабораторних робіт. Головною метою виконання

лабораторних робіт є поглиблення теоретичних знань щодо сучасних методів моделювання процесів тепло- і масопереносу в полі швидкості великомасштабних вихрових структур.

У структурно-логічній схемі навчання курс “Математичні методи моделювання систем з розподіленими параметрами” розміщується тоді, коли студенти вже прослухали такі дисципліни, як “Основи наукових досліджень”, “Основи сталого розвитку суспільства”, “Комп’ютерне моделювання складних об’єктів і систем”, “Системи обробки даних реального часу”, та набули певного досвіду у програмуванні і можуть виконати складні завдання комп’ютерного практикуму.

Компетенції, отримані студентами в процесі вивчення, і матеріал даної дисципліни може бути використаний при виконанні курсової та дипломної робіт.

2. СТРУКТУРА КРЕДИТНОГО МОДУЛЯ

Розподіл навчальних годин кредитного модуля за видами навчальних занять здійснюється відповідно до робочих планів напрямку підготовки 6.050101 “Комп’ютерні науки” для спеціальності 8.05010105 “Комп’ютерний еколого-економічний моніторинг”

Всього		Розподіл навчального часу за видами занять			Семестровий контроль
кредити в ЄКТС	годин	лекції	лабораторні роботи	СРС	
5,0	150	36	36	78	екзамен

3. КАЛЕНДАРНО-ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН

Тиждень	Зміст навчальної роботи	Рекомен-дований час СРС
1	Лекція 1. Вступ до курсу лекцій. Векторні множення. Векторна функція скалярного аргументу. Скалярні і векторні поля.	2
2	Лекція 2. Похідна скалярного поля по напрямку. Градієнт скалярного поля. Криволінійний інтеграл. Потенціал векторного поля.	2
3	Лекція 3. Поверхневі інтеграли в скалярних і векторних полях. Похідна за об’ємом. Дивергенція векторного поля. Ротор векторного поля.	2
4	Лекція 4. Оператори Гамільтона і Лапласа. Інтегральні формули Остроградського-Гауса, Гріна і Стокса.	2

Тиждень	Зміст навчальної роботи	Рекомендований час СРС
	Лабораторна робота 1. Топологічне представлення розв'язку двовимірного нелінійного рівняння.	
5	Лекція 5. Ламінарні і турбулентні течії. Рівняння Бернуллі. Рівняння нерозривності. Рівняння руху Нав'є-Стокса. Рівняння руху Ейлера. Граничні умови. Рівняння конвективної теплопровідності. Граничні умови. Рівняння стану суцільного середовища. Рівняння дифузії. Граничні умови.	2
6	Лекція 6. Плоско-паралельний рух ідеальної нестисливої рідини. Потенціал швидкості. Функція току.	2
7	Лекція 7. Двовимірна ламінарна течія в нескінченному прямолінійному каналі. Вісесиметрична ламінарна течія в нескінченній трубі. Об'ємна і масова витрати.	2
8	Лекція 8. Джерела і стоки. Обтікання циліндра потенційним потоком ідеальної нестисливої рідини в поперечному напрямі.	2
9	Лекція 9. Основні положення. Вихрова швидкість. Вихрова лінія. Вихрова трубка. Вихрова нитка. Перша теорема Гельмгольца. Друга теорема Гельмгольца. Теорема Кельвіна.	2
10	Лекція 10. Рівняння Гельмгольца-Фрідмана. Поле швидкості, наведене вихорами. Точковий вихор. Рівняння руху. Інваріанти руху. Гамільтонова форма запису рівнянь руху. Основні властивості траєкторій руху системи точкових вихорів.	2
11	Лекція 11. Взаємодія двох точкових вихорів в безмежному просторі. Вихрова пара. Особливості руху вихрової пари. Центр завихореності. Окремий випадок взаємодії трьох точкових вихорів. Лабораторна робота 2. Динаміка великомасштабних вихрових структур в областях з різною геометрією обмежуючих поверхонь	2
12	Лекція 12. Стійкі вихрові структури. Зустрічна взаємодія двох	2

Тиждень	Зміст навчальної роботи	Рекомендований час СРС
	вихрових пар в безмежному просторі. Періодична взаємодія двох коаксіальних вихрових пар.	
13	Лекція 13. Взаємодія системи точкових вихорів над безмежною твердою поверхнею. Взаємодія системи точкових вихорів усередині кругової порожнини.	2
14	Лекція 14. Взаємодія системи точкових вихорів біля круга в зовнішній незбудженій потенційній течії. Взаємодія системи точкових вихорів усередині півкола.	2
15	Лекція 15. Взаємодія системи точкових вихорів усередині прямолінійного нескінченного каналу.	2
16	Лекція 16. Адвекція рідини в полі швидкості одного точкового вихору. Адвекція рідини в полі швидкості вихрової пари. Адвекція рідини в полі швидкості трьох точкових вихорів. Адвекція рідини в полі швидкості двох вихрових пар.	6
17	Лекція 17. Адвекція рідини в полі швидкості системи точкових вихорів усередині кола і півкола. Адвекція рідини в полі швидкості системи точкових вихорів усередині нескінченного прямолінійного каналу. Лабораторна робота 3. Адвекція виділеної рідини в полі швидкості великомасштабних вихрових структур.	3
18	Лекція 18. Адвекція рідини в полі швидкості системи точкових вихорів в зовнішній потенційній течії біля кругової поверхні. <i>Модульна контрольна робота.</i>	3

4. САМОСТІЙНА РОБОТА

Впродовж семестру студентам видаються теми для виконання СРС, яка оцінюється згідно положення про рейтингову систему оцінювання кредитного модуля (п.6).

Теми, які виносяться на самостійну роботу студентів.

Тиждень	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Література	Кількість годин СРС
1	Методи і способи представлення скалярних і фізичних полів на площині і в просторі.	[13], с.162-170, [16], с.39-43.	2
2	Основні властивості потенційних векторних полів.	ДЛ: [13], с.170- 174, [16], с.43-50.	2
3	Основні види векторних і скалярних потоків через виділену поверхню.	[16], с.62-71.	2
4	Основні властивості диференціальних операторів скалярних і векторних фізичних полів. Стисливість і циркуляція векторного поля.	[6], с.12-14, [13], с.162-179.	2
5	Гідростатичні закони для рідини, що знаходиться у відносному спокої.	[16], с.112-117.	2
6	Векторні співвідношення, що зв'язують швидкість і вихор, функцію току для рівномірного потoku, рівняння для визначення тиску.	[14], с.129-136.	2
7	Особливості обтікання сферичної поверхні потенційним незбудженим потокom ідеальної нестисливої рідини та ламінарним потоком в наближенні Стокса.	[15], с.76-83.	2
8	Умови стаціонарної взаємодії вісесиметричного вихрового кільця зі сферою в потенційному потоці ідеальної рідини.	[17], с.235-242, 263-265.	2
9	Основні властивості динаміки вихрових трубок в ідеальній нестисливій рідині.	[7], с.9-23, [14], с.144-154, [16], с.58-60, 71- 75].	2
10	Основні властивості траєкторій руху системи точкових вихорів в безмежному просторі.	[7], с.24-30, 63- 72], [9], с.106-124.	2
11	Основні властивості динаміки вихрової пари і оточуючої її рідини в безмежному середовищі.	[7], с.63-72.	2
12	Умови стійкості вихрових конфігурацій системи точкових вихорів на площині.	[3], с.51-72, [7], с.151-157, [14], с.207-229.	2

Тиждень	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Література	Кількість годин СРС
13	Основні закономірності зустрічної взаємодії вихрової пари з площиною.	[5], с.279-281.	2
14	Основні закономірності взаємодії системи точкових вихорів біля прямого двогранного кута.	[7], с.76-79.	2
15	Основні закономірності взаємодії системи точкових вихорів усередині прямокутної порожнини.	[7], с.79-80.	2
16	Особливості формування вихрової хмари в полі швидкості системи великомасштабних вихрових структур. Структура атмосферного урагану і особливості його еволюції в атмосфері.	[6], с.175-177, [10], [19].	6
17	Особливості адвекції рідини в полі швидкості системи точкових вихорів усередині прямокутної порожнини	[4], с.57-67, [12].	3
18	Особливості процесів переносу скалярних полів вихровими структурами в областях, прилеглих до твердих поверхонь.	[4], с.68-89, [12], [19].	3

5. КОНТРОЛЬНІ РОБОТИ

В кінці семестру проводиться модульна контрольна робота (МКР) по матеріалах усіх тем кредитного модуля у письмовій формі.

Метою проведення контрольної роботи є:

- перевірка якості засвоєння поточного навчального матеріалу аудиторних занять та самостійної роботи студентів по рекомендованій літературі;
- виявлення студентів з недостатнім рівнем засвоєння навчального матеріалу, з'ясування причин їх відставання та надання їм необхідної допомоги для підвищення успішності.

МКР складається з двох теоретичних питань та двох задач.

Теоретичні питання:

1. Скалярний і векторний добутки. Векторна функція скалярного аргументу.
2. Похідна скалярного поля за напрямком. Градієнт скалярного поля.

3. Криволінійний інтеграл. Потенціал векторного поля. Поверхневі інтеграли в скалярних і векторних полях.
4. Похідна за об'ємом в скалярних і векторних полях.
5. Дивергенція векторного поля.
6. Ротор векторного поля.
7. Оператор Гамільтона. Оператор Лапласа в скалярному та векторному полях.
8. Інтегральні формули в скалярних і векторних полях.
9. Підходи до опису руху суцільного середовища. Основні моделі суцільного середовища.
10. Сили, що діють в суцільному середовищі. Тиск.
11. Лінія току. Трубка току. Рівняння Бернуллі.
12. Рівняння нерозривності.
13. Рівняння Нав'є-Стокса. Рівняння Ейлера.
14. Рівняння стану. Показник адіабати досконалого газу.
15. Потенціал швидкості. Функція току. Комплексний потенціал.
16. Двовимірне течія в'язкої рідини в нескінченному прямолінійному каналі.
17. Осесиметричне течія в'язкої рідини в нескінченній прямолінійній трубці.
18. Джерела і стоки. Гідродинамічний диполь.
19. Поперечне обтікання ідеальної нестисливої рідиною нескінченного кругового циліндра.
20. Вихрова швидкість. Вихрова лінія. Вихрова трубка. Інтенсивність вихрової трубки.
21. Перша і друга теореми Гельмгольца.
22. Теорема Кельвіна.
23. Рівняння переносу вихорів.
24. Точковий вихор. Поле швидкості, наведене точковим вихором.
25. Вихор Ренкіна.
26. Взаємодія двох точкових вихорів в безмежному середовищі. Вихрова пара.
27. Взаємодія трьох точкових вихорів в безмежному середовищі при наявності симетрії.
28. Взаємодія двох колінеарних вихрових пар в безмежному середовищі.
29. Точкові вихори над безмежною площиною. Рівняння руху.
30. Точкові вихори всередині кругової порожнини. Рівняння руху.
31. Точкові вихори усередині півкола. Рівняння руху.
32. Точкові вихори біля прямого кута, утвореного площинами. Рівняння руху.
33. Точкові вихори всередині нескінченного прямолінійного каналу. Рівняння руху.
34. Точкові вихори всередині нескінченного прямокутної порожнини. Рівняння руху.
35. Точкові вихори біля двогранного кута. Теорема Рауса. Рівняння руху.
36. Метод дискретних відображень для внутрішніх течій з довільною геометрією обмежуючих поверхонь.
37. Метод дискретних особливостей, адаптований до задач переносу скалярних полів.
38. Явище адвекції рідин. Рівняння пасивної адвекції.

39. Адвекція рідини в полі швидкості точкових вихорів в безмежному просторі. Атмосфера вихровий пари.
40. Адвекція рідини в полі швидкості трьох точкових вихорів в безмежному просторі. Рівняння адвекції.
41. Адвекція рідини в полі швидкості двох колінеарних пар в безмежному просторі. Рівняння адвекції.
42. Адвекція рідини в полі швидкості точкових вихорів всередині кругової порожнини. Рівняння адвекції.
43. Адвекція рідини в полі швидкості точкових вихорів усередині півкола. Рівняння адвекції.
44. Адвекція рідини в полі швидкості точкових вихорів всередині нескінченного прямолінійного каналу. Рівняння адвекції.
45. Адвекція рідини в полі швидкості точкових вихорів всередині прямокутної порожнини. Рівняння адвекції.
46. Адвекція рідини в полі швидкості точкових вихорів при обтіканні кругової поверхні. Рівняння адвекції.
47. Адвекція рідини морськими течіями.

Виконання студентами завдань модульної контрольної роботи оцінюється згідно положення про рейтингову систему оцінювання (п. 6).

6. ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

Рейтинг студента з кредитного модуля складається з балів, що він отримав за наступні види навчальної діяльності:

1. Участь у бліцопитуванні на лекціях.
2. Виконання лабораторних робіт.
3. Написання контрольної роботи (МКР).
4. Складання іспиту.

Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання

1. Участь у бліцопитуваннях на лекціях

На лекціях може бути проведено бліцопитування студентів. Такі опитування проводяться на довільних лекціях 5 разів протягом семестру, наприкінці лекції. Ваговий бал за вірну відповідь - 1. Максимальна кількість балів, що може отримати кожен студент за семестр - 5.

2. Виконання лабораторних робіт

Оцінюються 3 робіт, передбачених робочою програмою. Максимальний ваговий бал – $10 + 20 + 20 = 50$

Оцінювання лабораторних робіт:

- якщо робота виконана невчасно знімається 10-30% від максимальної кількості балів (кількість процентів залежить від терміну запізнення);

- якщо робота виконана не самостійно та простежується не індивідуальне виконання то знімається 50% від максимальної кількості балів;
- якщо в програмі не витримані основні правила створення програмних продуктів (модульність, дружній інтерфейс, наявність коментарів та т.п.) знімається 5%.

За кожен тиждень запізнення здачі лабораторної роботи нараховується штрафний -1 бал.

3. Написання модульної контрольної роботи

На останній лабораторній роботі семестру проводиться модульна контрольна робота: максимальний ваговий бал – 10.

Оцінювання модульної контрольної роботи виконується наступним чином:

- якщо на всі питання дані повні та чітко аргументовані відповіді, контрольна виконана охайно, з дотримання основних правил, то виставляється 90- 100% від максимальної кількості балів;
- якщо методика виконання запропонованого завдання розроблена вірно, але допущені неprincipові помилки у теоретичному описі або програмі, то виставляється 75-90% від максимальної кількості балів;
- від 5 до 6 балів нараховується, якщо методика виконання завдання розроблена в основному вірно, але допущені деякі з наступних помилок: помилки у представленні вихідних даних, не обґрунтовані теоретичні рішення, значні помилки у програмі;
- нижче 5 балів нараховується, якщо завдання не виконане або допущені грубі помилки.

4. Складання іспиту

Максимальний ваговий бал – 40.

Наприкінці семестру студенті складають іспит за змістом кредитного модуля. Кожне завдання містить два теоретичних запитання та одну задачу.

Теоретичні запитання оцінюються із 15 балів, а задача із 10 балів.

Система оцінювання теоретичних запитань:

- “відмінно”, повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 14-15 балів;
- “добре”, достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації, або незначні неточності) – 11-13 балів;
- “задовільно”, неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 9-10 балів;
- “незадовільно”, незадовільна відповідь – 0 балів.

Система оцінювання розв’язку задачі:

- “відмінно” – повне, безпомилкове розв’язування завдання – 8-10 балів;
- “добре” – повне розв’язування завдання із несуттєвими неточностями – 5-7 балів;
- “задовільно” – завдання виконане з певними недоліками – 2-4 балів;

– “незадовільно”, завдання не виконано.

Перелік теоретичних питань, що виносяться на іспит:

1. Скалярний і векторний добутки. Основні властивості. Векторна функція скалярного аргументу. Скалярні і векторні поля.
2. Похідна скалярного поля за напрямком. Градієнт скалярного поля.
3. Криволінійний інтеграл. Потенціал векторного поля. Поверхневі інтеграли в скалярних і векторних полях.
4. Похідна за об'ємом в скалярних і векторних полях. Дивергенція векторного поля.
5. Похідна за об'ємом в скалярних і векторних полях. Ротор векторного поля.
6. Оператор Гамільтона. Оператор Лапласа в скалярному та векторному полях.
7. Інтегральні формули в скалярних і векторних полях. Формула Остроградського-Гаусса. Формула Гріна. Формула Стокса.
8. Основні положення механіки суцільного середовища. Підходи до опису руху суцільного середовища. Основні моделі суцільного середовища.
9. Сили, що діють в суцільному середовищі. Тиск. Закон сполучених судин. Закон Архімеда.
10. Лінія току. Трубка току. Рівняння Бернуллі.
11. Рівняння нерозривності.
12. Рівняння руху суцільного середовища. Рівняння Нав'є-Стокса. Рівняння Ейлера.
13. Рівняння конвективної теплопровідності.
14. Баротропне середовище. Барокліне середовище. Рівняння стану. Показник адіабати досконалого газу.
15. Плоско-паралельний рух ідеальної рідини. Потенціал швидкості. Функція току. Комплексний потенціал.
16. Двовимірне течія в'язкої рідини в нескінченному прямолінійному каналі.
17. Осесиметричне течія в'язкої рідини в нескінченній прямолінійній трубці. Об'ємний і масова витрата рідини.
18. Джерела і стоки. Розподіл функції току. Гідродинамічний диполь.
19. Поперечне обтікання ідеальної нестисливої рідиною нескінченного кругового циліндра.
20. Основи теорії вихрового руху. Вихрова швидкість. Вихрова лінія. Вихрова трубка. Інтенсивність вихрової трубки.
21. Перша і друга теореми Гельмгольца.
22. Теорема Кельвіна.
23. Рівняння переносу вихорів.
24. Точковий вихор. Поле швидкості, наведене точковим вихором. Розподіл полів функції току, наведеної швидкості і завихоренності.
25. Рівняння руху системи точкових вихорів. Інваріанти руху.
26. Вихор Ренкіна. Розподіл полів функції току, наведеної швидкості і завихоренності.
27. Взаємодія двох точкових вихорів в безмежному середовищі. Вихрова пара.

28. Окремі випадки взаємодії трьох точкових вихорів в безмежному середовищі при наявності симетрії.
29. Взаємодія двох колінеарних вихрових пар в безмежному середовищі. Лобове зіткнення. Чехарда вихрових пар.
30. Точкові вихори над безмежною площиною. Рівняння руху. Приклади траєкторій взаємодії вихорів.
31. Точкові вихори всередині кругової порожнини. Рівняння руху. Приклади траєкторій взаємодії вихорів.
32. Точкові вихори усередині півкола. Рівняння руху. Приклади траєкторій взаємодії вихорів.
33. Точкові вихори біля прямого кута, утвореного площинами. Рівняння руху. Приклади траєкторій взаємодії вихорів.
34. Точкові вихори всередині нескінченного прямолінійного каналу. Рівняння руху. Приклади траєкторій взаємодії вихорів.
35. Точкові вихори всередині нескінченного прямокутної порожнини. Рівняння руху. Приклади траєкторій взаємодії вихорів.
36. Точкові вихори біля двогранного кута. Теорема Рауса. Рівняння руху. Приклади траєкторій взаємодії вихорів.
37. Метод дискретних відображень для внутрішніх течій з довільною геометрією обмежуючих поверхонь.
38. Метод дискретних особливостей, адаптований до задач переносу скалярних полів.
39. Основні механізми перемішування рідин. Явище адвекції рідин. Рівняння пасивної адвекції. Основні критерії інтенсивних режимів адвекції рідини. Хаотична і регулярна адвекції.
40. Адвекція рідини в полі швидкості точкових вихорів в безмежному просторі. Рівняння адвекції. Приклади різних випадків адвекції. Атмосфера вихровий пари.
41. Адвекція рідини в полі швидкості трьох точкових вихорів в безмежному просторі. Рівняння адвекції. Приклади різних випадків адвекції.
42. Адвекція рідини в полі швидкості двох колінеарних пар в безмежному просторі. Рівняння адвекції. Приклади різних випадків адвекції.
43. Адвекція рідини в полі швидкості точкових вихорів всередині кругової порожнини. Рівняння адвекції. Приклади різних випадків адвекції.
44. Адвекція рідини в полі швидкості точкових вихорів усередині півкола. Рівняння адвекції. Приклади різних випадків адвекції.
45. Адвекція рідини в полі швидкості точкових вихорів всередині нескінченного прямолінійного каналу. Рівняння адвекції. Приклади різних випадків адвекції.
46. Адвекція рідини в полі швидкості точкових вихорів всередині прямокутної порожнини. Рівняння адвекції. Приклади різних випадків адвекції.
47. Адвекція рідини в полі швидкості точкових вихорів при обтіканні кругової поверхні. Рівняння адвекції. Приклади різних випадків адвекції.
48. Застосування адвекції при моделюванні процесів переносу гідродинамічними течіями. Адвекція рідини морськими течіями.

Максимальна сума балів стартової складової складає 60. Необхідною умовою допуску до екзамену є зарахування всіх комп'ютерних практикумів, позитивна оцінка із модельної контрольної та стартовий рейтинг не менш ніж 35 балів.

За результатами навчальної роботи за перші 7 тижнів "ідеальний студент" має набрати 20 балів. На першій атестації (8-й тиждень) студент отримує "зараховано", якщо його поточний рейтинг не менш ніж 10 балів.

За результатами 13 тижнів навчання "ідеальний студент" має набрати 40 балів. На другій атестації (14-й тиждень) студент отримує "зараховано", якщо його поточний рейтинг не менш ніж 20 балів.

Сума стартових балів і балів за екзаменаційну контрольну роботу переводиться до екзаменаційної оцінки згідно з таблицею.

Бали $R = r_{\text{старт}} + r_{\text{екзам}}$	ECTS оцінка	Екзаменаційна оцінка
95 ... 100	A	відмінно
85 ... 94	B	добре
75 ... 84	C	
65 ... 74	D	задовільно
60 ... 64	E	
Менш ніж 60	Fx	незадовільно
Є не зараховані комп'ютерні практикуми	F	не допущено

7. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна література

1. Биркгоф Г. Гидродинамика / М.: Изд-во иностранной литературы, 1963. - 244с.
2. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / М.: Наука, 1980. – 976с.
3. Виля Г. Теория вихрей / М.-Л.: Гостехиздат, 1936. - 266с.
4. Кошель К.В., Пранц С.В. Хаотическая адвекция в океане / М. Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", Институт компьютерных исследований, 2008. – 360с.
5. Ламб Г. Гидродинамика / М.-Л.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1947. - 929с.
6. Мелешко В.В., Константинов М.Ю. Динамика вихревых структур / К.: Наукова думка, 1993. - 280с.
7. Пуанкаре А. Теория вихрей / Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2000. - 160с.

8. Ottino J.M. The Kinematics of Mixing: Stretching, Chaos and Transport / Cambridge: Cambridge University Press, 1989. - 364p.

Додаткова література

9. Алексеенко С.В., Куйбин П.А., Окулов В.Л. Введение в теорию концентрированных вихрей / Новосибирск: Институт теплофизики Со РАН, 2003. – 504с.
10. Гуржий А.А. Анализ взаимодействия двухмерных вихревых структур / Прикладная гидромеханика. - 1999. - Т.1, N.2. - С.44-51.
11. Гуржий А.А. Мелешко В.В., ван Хейст Г.Я.Ф. Режимы хаотического перемешивания жидкости в круге парой точечных вихрей / в кн.: “Фундаментальные и прикладные проблемы теории вихрей” (под ред. Борисова А.В. и др.). - М. Ижевск: Ин-т компьютерных исследований. 2003. - С.441-467.
12. Гуржий А.А. Перемешивание жидкости в поле скорости двух точечных вихрей за бесконечным цилиндром в сдвиговом течении идеальной жидкости / Прикладная гидромеханика. - 2005. - Т.7, N.1. - С.3-16.
13. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике / Л.М.: Наука, 1973. - 832с.
14. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. Т.1 /М.: Физматгиз, 1963. - 584с.
15. Ла-Салль Ж., Лефшец С. Исследование устойчивости прямым методом Ляпунова / М.: Мир, 1964. - 168с.
16. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа / М.: Наука, 1987. - 840с.
17. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т.1. / М.: Наука, 1970. - 492с.
18. Aref H. Stirring by chaotic advection // Journal of Fluid Mechanics. - 1984. - Vol.143. - P.1-23.
19. Mancho A.M., Small D., Wiggins S. A tutorial on dynamical systems concept applied to Lagrangian transport in oceanic flows defined as finite time data sets: Theoretical and computational issues // Physics Reports. - 2006. - Vol.437. - P.55-124.

8. КОНСУЛЬТАЦІЇ І КОНТАКТИ ІЗ НАУКОВО-ПЕДАГОГІЧНИМ ПРАЦІВНИКОМ

Консультації проводяться щоп'ятниці з 12:20 до 13:55 в к. 400-5.

Контактний телефон: (044)406-83-71.

Контактний e-mail: a.gourjii@gmail.com

ЗМІСТ

	стор.
1. Мета і завдання кредитного модуля.....	3
2. Структура кредитного модуля.....	4
3. Календарно-тематичний план.....	4
4. Самостійна робота.....	6
5. Контрольні роботи.....	8
6. Оцінювання результатів навчання.....	10
7. Рекомендована література.....	14
8. Консультації і контакти із науково-педагогічним працівником.....	15