

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Факультет прикладної математики та інформатики
Кафедра інформаційних систем

Затверджено

На засіданні
кафедри інформаційних систем
факультету прикладної математики та
інформатики
Львівського національного університету
імені Івана Франка
(протокол № 2 від 10.09.2024 р.)



Здобувача кафедри, доцент

Віталій ГОРЛАЧ

Силабус з навчальної дисципліни
“Обчислювальні платформи FEniCS та Agros2D”,
що викладається в межах ОПП “Інформатика”
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти для здобувачів з
спеціальності 122 Комп’ютерні науки

Львів 2024 р.

Назва дисципліни	Обчислювальні платформи FEniCS та Agros2D
Адреса викладання дисципліни	Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Університетська 1, м. Львів, Україна, 79000
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	Факультет прикладної математики та інформатики, кафедра інформаційних систем
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	Галузь знань: 12 Інформаційні технології Спеціальність: 122 Комп'ютерні науки
Викладачі дисципліни	Дреботій Роман Григорович, к.ф.-м.н., доцент кафедри інформаційних систем.
Контактна інформація викладачів	roman.drebotiy@lnu.edu.ua ; https://ami.lnu.edu.ua/employee/drebotij-r-h/ ; Головний корпус ЛНУ ім. І. Франка, каб. 261. м. Львів, вул. Університетська, 1
Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються	Консультації в день проведення лабораторних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі онлайн консультації у Microsoft Teams. Для погодження часу онлайн консультацій слід писати на електронну пошту викладача або дзвонити.
Сторінка курсу	https://ami.lnu.edu.ua/course/obchysliuvalni-platformy-fenics-ta-agros2d-kn
Інформація про дисципліну	Дисципліна “Обчислювальні платформи FEniCS та Agros2D” є вибірковою дисципліною для освітньої програми Інформатика зі спеціальності 122 – комп'ютерні науки, яка викладається в 8-му семестрі в обсязі 3.5 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	В межах дисципліни “Обчислювальні платформи FEniCS та Agros2D” буде розглянуто програмні засоби FEniCS та Agros2D і їх використання для моделювання деяких фізичних процесів при вирішуванні інженерних задач.
Мета та цілі дисципліни	Мета і цілі вивчення вибіркової дисципліни “Обчислювальні платформи FEniCS та Agros2D”: <ul style="list-style-type: none"> - ознайомити студентів з деякими існуючими програмними продуктами та бібліотеками, що реалізують метод скінченних елементів та з аспектами їх внутрішньої реалізації; - розглянути і закріпити на практиці використання вибраних програмних продуктів.
Література для вивчення дисципліни	1. https://fenicsproject.org 2. https://www.agros2d.org 3. Brenner S. C., Scott L. R. The mathematical theory of finite element methods. – New York: Springer, 2008.
Обсяг курсу	Загальний обсяг: 105 годин. Аудиторних занять: 56 год., з них 28 години лекцій та 28 години лабораторних занять. Самостійної роботи: 49 годин.
Очікувані результати навчання	Після завершення цього курсу студент буде : Знати: <ul style="list-style-type: none"> - базові підходи до моделювання фізичних процесів в інженерії; - основи багатовимірного аналізу - метод скінченних елементів - основні можливості середовища Agros2D - основні можливості бібліотеки FEniCS - модель теплопровідності - модель дифузії-адвекції-реакції - модель теорії пружності

	<ul style="list-style-type: none"> - модель поширення звуку - модель руху рідини <p>Вміти:</p> <ul style="list-style-type: none"> - самостійно розробляти прості алгоритми для вирішення задач; - моделювати фізичні процеси з використанням Agros2D - записувати варіаційне формулювання крайових задач математичної фізики - моделювати фізичні процеси з використанням FEniCS
<p>Компетенції</p>	<p>ПК. Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми у галузі комп'ютерних наук або у процесі навчання, що передбачають застосування теорій та методів інформаційних технологій і характеризується комплексністю та невизначеністю умов</p> <p>ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.</p> <p>ЗК2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.</p> <p>ЗК3. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.</p> <p>ЗК4. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.</p> <p>ЗК5. Здатність спілкуватися іноземною мовою.</p> <p>ЗК6. Здатність вчитися й оволодівати сучасними знаннями.</p> <p>ЗК7. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.</p> <p>ЗК8. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).</p> <p>ЗК11. Здатність приймати обґрунтовані рішення</p> <p>СК1. Здатність до математичного формулювання та досліджування неперервних та дискретних математичних моделей, обґрунтування вибору методів і підходів для розв'язування теоретичних і прикладних задач у галузі комп'ютерних наук, аналізу та інтерпретування.</p> <p>СК3. Здатність до логічного мислення, побудови логічних висновків, використання формальних мов і моделей алгоритмічних обчислень, проектування, розроблення й аналізу алгоритмів, оцінювання їх ефективності та складності, розв'язності та нерозв'язності алгоритмічних проблем для адекватного моделювання предметних областей і створення програмних та інформаційних систем.</p> <p>СК4. Здатність використовувати сучасні методи математичного моделювання об'єктів, процесів і явищ, розробляти моделі й алгоритми чисельного розв'язування задач математичного моделювання, враховувати похибки наближеного чисельного розв'язування професійних задач.</p>
<p>Програмні результати навчання</p>	<p>ПР1. Застосовувати знання основних форм і законів абстрактно-логічного мислення, основ методології наукового пізнання, форм і методів вилучення, аналізу, обробки та синтезу інформації в предметній області комп'ютерних наук.</p> <p>ПР2. Використовувати сучасний математичний апарат неперервного та дискретного аналізу, лінійної алгебри, аналітичної геометрії, в професійній діяльності для розв'язання задач теоретичного та прикладного характеру в процесі проектування та реалізації об'єктів інформатизації.</p> <p>ПР5. Проектувати, розробляти та аналізувати алгоритми розв'язання обчислювальних та логічних задач, оцінювати ефективність та складність алгоритмів на основі застосування формальних моделей алгоритмів та обчислюваних функцій.</p> <p>ПР6. Використовувати методи чисельного диференціювання та інтегрування функцій, розв'язання звичайних диференціальних та інтегральних рівнянь, особливостей чисельних методів та можливостей їх адаптації до інженерних задач, мати навички програмної реалізації чисельних методів.</p>

Ключові слова	Agros2D, FEniCS, теплопровідність, конвекція, адвекція, дифузія, теорія пружності, метод скінченних елементів, варіаційна задача.			
Формат курсу	Очний. Проведення лекцій, лабораторних робіт і консультацій.			
Теми	Детальний опис тем занять по тижнях:			
	Тиждень	Тема, короткі тези	Форма заняття	Тривалість., ак. год.
	1	Огляд курсу. Встановлення Agros2D. Пригадування основ МСЕ.	лекція	2
		Встановлення Agros2D. Пригадування основ МСЕ. Огляд документації.	лабор.	2
		Встановлення Agros2D. Пригадування основ МСЕ. Огляд документації і програмного середовища.	самоств.	3
	2	Середовище Agros2D. Огляд можливостей на прикладі задачі теплопровідності. Робота з геометрією.	лекція	2
		Моделювання поширення тепла. Створення геометрії у Agros2D та імпорт геометрії з інших програм. Задання крайових умов та інших параметрів моделі.	лабор.	2
		Закріплення матеріалу лекції. Виконання індивідуального завдання А1 (задача теплопровідності).	самоств.	3
	3	Основи багатовимірного аналізу. Похідна за напрямком. Градієнт та його зміст. Оператор Лапласа.	лекція	2
		Можливий захист контрольного завдання 1. Використання Agros2D до моделювання поширення звукових хвиль.	лабор.	2
		Закріплення матеріалу лекції. Виконання індивідуального завдання А2 (задача акустики).	самоств.	3
	4	Подвійні та криволінійні інтеграли. Формула Гаусса-Остроградського. Заміна змінних в інтегралі. Якобіан.	лекція	2
		Можливий захист контрольного завдання 1. Використання Agros2D до моделювання пружних деформацій.	лабор.	2
		Закріплення матеріалу лекції. Виконання індивідуального завдання А3 (задача теорії пружності).	самоств.	3
	5	Інтегрування частинами. Варіаційне формулювання, метод Гальоркіна та МСЕ на прикладі задачі теплопровідності (2D).	лекція	2

	Можливий захист контрольного завдання 1. Використання Agros2D до моделювання руху рідини (рівняння Нав'є-Стокса.).	лабор.	2	
	Закріплення матеріалу лекції. Виконання індивідуального завдання A4 (задача про рух рідини).	самоств.	3	До наступного лабор. зан.
6	Трикутні лінійні скінченні елементи. Генерування сітки. Обчислення компонент СЛАР.	лекція	2	
	Остання пара для захисту контрольного завдання 1. Закріплення матеріалу лекції. Обчислення компонент СЛАР для задачі дифузії-адвекції-реакції.	лабор.	2	
	Закріплення матеріалу лекції.	самоств.	3	
7	Бібліотека FEniCS. Встановлення та огляд документації.	лекція	2	
	Колоквіум	лабор.	2	
	Встановлення FEniCS.	самоств.	3	До наступного лабор. зан.
8	Використання FEniCS до моделі теплопровідності. Робота з геометрією.	лекція	2	
	Опис задачі теплопровідності у FEniCS. Початок виконання контрольного завдання F1. Можливий захист контрольного завдання 4.	лабор.	2	
	Виконання індивідуального завдання F1.	самоств.	4	До наступного лабор. зан.
9	Використання FEniCS та Agros2D до моделі дифузії-адвекції-реакції.	лекція	2	
	Можливий захист контрольного завдання 2 та 4. Опис задачі дифузії-адвекції-реакції у FEniCS. Початок виконання індивідуального завдання F2.	лабор.	2	
	Виконання індивідуального завдання F2.	самоств.	4	До наступного лабор. зан.
10	Задача оптимального розміщення джерела забруднень.	лекція	2	
	Остання пара для захисту контрольного завдання 2. Можливий захист контрольного завдання 4.	лабор.	2	
	Закріплення матеріалу лекції.	самоств.	4	

	11	Задача теорії пружності та її варіаційне формулювання. Застосування FEniCS до моделювання пружних деформацій.	лекція	2	
		Опис пружних деформацій тіла. Опис варіаційного формулювання задачі теорії пружності у FEniCS. Можливий захист контрольного завдання 4.	лабор.	2	
		Закріплення матеріалу лекції. Виконання контрольного завдання 3.	самоств.	4	До наступного лабор. зан.
	12	Контролювання похибки апроксимації. Априорні та апостеріорні оцінки похибки. Адаптивні схеми MCE у 1D та 2D. Перебудова сіток.	лекція	2	
		Захист контрольного завдання 3. Остання пара для захисту контрольного завдання 4.	лабор.	2	
		Закріплення матеріалу лекції. Програмування адаптивних алгоритмів MCE.	самоств.	4	До наступного лабор. зан.
	13	Задачі оптимізації у інженерії. Модуль Agros OptiLab. Поняття про градієнтні методи. Нестандартні підходи до деяких оптимізаційних задач.	лекція	2	
		Використання Agros OptiLab.	лабор.	2	
		Закріплення матеріалу лекції.	самоств.	4	До наступного лабор. зан.
	14	Використання FEniCS до нестационарних задач.	лекція	2	
		Програмування адаптивних алгоритмів MCE.	лабор.	2	
		Закріплення матеріалу лекції. Підготовка до заліку.	самоств.	4	
Підсумковий контроль, форма	Залік в кінці семестру				
Пререквізити	<p>Для вивчення курсу студенти потребують базових знань з курсів</p> <ul style="list-style-type: none"> - Програмування (Python); - Алгебра і геометрія; - Математичний аналіз; - Чисельні методи; - Методи комп'ютерних обчислень; - Диференціальні рівняння; - Алгоритми і структури даних. 				
Навчальні методи та техніки, які	Лекції, презентації. Індивідуальні завдання.				

будуть використовуватися під час викладання курсу																																			
Необхідне обладнання	Комп'ютер із програмним забезпеченням Agros2D, FEniCS, MS Teams, Python, PyCharm, Visual Studio Code, WSL. Доступ до мережі Internet.																																		
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	<p>Семестрове оцінювання результатів проходження курсу проводиться за 100-бальною шкалою.</p> <table border="1" data-bbox="478 448 1396 1025"> <thead> <tr> <th colspan="2">Оцінка за шкалою ECTS</th> <th>Оцінка в балах</th> <th>Оцінка за національною шкалою</th> </tr> <tr> <td colspan="3"></td> <th>Залік</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>Відмінно</td> <td>100 - 90</td> <td rowspan="5">зараховано</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>Дуже добре</td> <td>81- 89</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Добре</td> <td>71 -80</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>Задовільно</td> <td>61 - 70</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>Достатньо</td> <td>51- 60</td> </tr> <tr> <td>FX (F)</td> <td>Незадовільно</td> <td>0 - 50</td> <td>не зараховано</td> </tr> </tbody> </table> <p>Бали нараховуються за наступним співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> • контрольні завдання: 70% семестрової оцінки; максимальна кількість балів – 70 (2 завдання по 20 балів та 2 завдання по 15 балів); • колоквиум за матеріалами лекцій: 15% семестрової оцінки; максимальна кількість балів – 15. • залікова контрольна робота за матеріалами курсу: 15% семестрової оцінки; максимальна кількість балів – 15. <p>Критерії оцінювання контрольних завдань: Захист виконаних індивідуальних завдань відбувається на парі. Оцінка виставляється шляхом перевірки виконаного завдання. Перевірка включає в себе перегляд програмного коду, візуалізованих результатів тощо, а також задавання різних питань, пов'язаних із тематикою завдання, заслуховування відповіді студента на поставлені питання та аналіз її правильності.</p> <p>Оцінка за завдання розраховується за такою формулою:</p> $R = M - P,$ <p>де R – фінальна оцінка, M – оцінка отримана студентом при захисті завдання, P – кількість пар, на яку захист завдання було протерміновано відносно терміну визначеного у таблиці в розділі «Теми». Детальні критерії для розрахунку величини M описані у наступній таблиці:</p> <table border="1" data-bbox="491 1886 1444 2116"> <thead> <tr> <th>15 балів (контр. завд. 2, 3)</th> <th>20 балів (контр. завд. 1, 4)</th> <th>Критерії оцінювання при захисті завдання</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15 балів</td> <td>20 балів</td> <td>Студент повністю виконав умови завдання, алгоритм реалізовано правильно, відповідає на всі запитання, пов'язані з тематикою завдання, проводить чіткий аналіз та порівняння</td> </tr> </tbody> </table>	Оцінка за шкалою ECTS		Оцінка в балах	Оцінка за національною шкалою				Залік	A	Відмінно	100 - 90	зараховано	B	Дуже добре	81- 89	C	Добре	71 -80	D	Задовільно	61 - 70	E	Достатньо	51- 60	FX (F)	Незадовільно	0 - 50	не зараховано	15 балів (контр. завд. 2, 3)	20 балів (контр. завд. 1, 4)	Критерії оцінювання при захисті завдання	15 балів	20 балів	Студент повністю виконав умови завдання, алгоритм реалізовано правильно, відповідає на всі запитання, пов'язані з тематикою завдання, проводить чіткий аналіз та порівняння
Оцінка за шкалою ECTS		Оцінка в балах	Оцінка за національною шкалою																																
			Залік																																
A	Відмінно	100 - 90	зараховано																																
B	Дуже добре	81- 89																																	
C	Добре	71 -80																																	
D	Задовільно	61 - 70																																	
E	Достатньо	51- 60																																	
FX (F)	Незадовільно	0 - 50	не зараховано																																
15 балів (контр. завд. 2, 3)	20 балів (контр. завд. 1, 4)	Критерії оцінювання при захисті завдання																																	
15 балів	20 балів	Студент повністю виконав умови завдання, алгоритм реалізовано правильно, відповідає на всі запитання, пов'язані з тематикою завдання, проводить чіткий аналіз та порівняння																																	

		отриманих результатів, пропонує інші підходи до вирішення поставленого завдання.
10-14 балів	14-19 балів	Студент повністю виконав умови завдання, алгоритм реалізовано правильно, відповідає з незначними неточностями, проводить аналіз отриманих результатів з незначними неточностями.
7-9 балів	10-13 балів	Студент виконав завдання з незначними помилками, але самостійно їх виправляє, якщо на них вкаже викладач, на деякі запитання, пов'язані з тематикою завдання, відповідає з неточностями, проводить аналіз отриманих результатів з неточностями.
4-6 балів	6-9 балів	Студент виконав завдання частково, алгоритм реалізовано з помилками, які частково може виправити, якщо на них вкаже викладач, на запитання відповідає з помилками, проводить аналіз отриманих результатів з помилками.
1-3 бали	1-5 балів	Студент виконав завдання частково, алгоритм реалізовано з помилками, які самостійно не може виправити, переважно не відповідає на запитання.
0 балів	0 балів	Студент не володіє навчальним матеріалом і не виконав завдання.

Критерії оцінювання колоквіуму та залікової контрольної роботи:

15 балів	Критерії оцінювання
15 балів	Студент повністю виконав всі завдання, правильно, відповідає на всі запитання, пов'язані з тематикою завдань.
11-14 балів	Студент повністю виконав всі завдання; на запитання, пов'язані з тематикою завдань відповідає з незначними неточностями.
8-10 балів	Студент виконав завдання з незначними помилками, але частково може їх виправити, якщо на них вкаже викладач; на запитання, пов'язані з тематикою завдання, відповідає з неточностями.
5-7 балів	Студент виконав завдання частково; допущені помилки частково може виправити, якщо на них вкаже викладач, на запитання відповідає з помилками
1-4 бали	Студент виконав завдання частково, допущені помилки самостійно чи з допомогою викладача не може виправити, переважно не відповідає на запитання.
0 балів	Студент не володіє навчальним матеріалом

Академічна доброчесність: Очікується, що розроблені програми студентів будуть результатами їх оригінальних досліджень чи міркувань. Виявлення ознак академічної недоброчесності в програмі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману. Не допускається використання засобів генеративного штучного інтелекту (наприклад ChatGPT) для генерування програмного коду.

Відвідання занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають лабораторні заняття курсу. Студенти повинні інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому

	<p>випадку студенти зобов'язані дотримуватися термінів визначених для здачі індивідуальних завдань, передбачених курсом.</p> <p>Література. Уся література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надана викладачем виключно в освітніх цілях без права її передачі третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.</p> <p>Політика виставлення балів. Враховуються бали набрані при виконанні індивідуальних завдань, завдань колоквиуму та бали залікової контрольної роботи. При цьому недопустимим є: користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях не пов'язаних з навчанням; списування та плагіат. При несвоєчасному виконанні індивідуального завдання максимальна оцінка за нього зменшується на відповідну кількість штрафних балів: N штрафних балів віднімається за протермінування захисту завдання на N пар після визначеного терміну. Терміни захисту завдань описані вище у таблиці у розділі «Теми».</p> <p>Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p>
<p>Питання до заліку чи екзамену.</p>	<p>Залік включатиме виконання завдання по застосуванню Agros2D і написанню програмного коду на мові Python з використанням FEniCS, а також теоретичні питання, орієнтовний перелік яких наведено нижче (а також інші питання, що пов'язані з наведеними питаннями за змістом та розглядалися в межах курсу):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Задача теплопровідності. 2. Варіаційне формулювання задачі теплопровідності. 3. Задача дифузії-адвекції-реакції. 4. Варіаційне формулювання задачі дифузії-адвекції-реакції. 5. Задача теорії пружності. 6. Задача про рух рідини. 7. Похідна за напрямком та її зміст. Градієнт. 8. Означення подвійного інтегралу. 9. Означення криволінійного інтегралу. 10. Формула Гаусса-Остроградського. 11. Інтегрування частинами. 12. Заміна змінних у подвійному інтегралі. 13. Метод Гальоркіна. 14. Базисні функції на трикутниках. 15. Обчислення компонент СЛАР на трикутнику. 16. Адаптивні схеми МСЕ. 17. Використання FEniCS до нестационарних задач.
<p>Опитування</p>	<p>Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.</p>