

## І СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

<b>1. Загальна інформація про навчальну дисципліну</b>	
Повна назва навчальної дисципліни	Комп'ютерне моделювання задач прикладної математики
Повна офіційна назва закладу вищої освіти	Сумський державний університет
Повна назва структурного підрозділу	Факультет електроніки та інформаційних технологій, кафедра прикладної математики та моделювання складних систем
Розробник(и)	Сушко Тетяна Сергіївна, к.ф.-м. наук, старший викладач
Рівень вищої освіти	другий рівень вищої освіти, НРК – 7 рівень, QF-LLL – 7 рівень, FQ-EHEA – другий цикл
Семестр вивчення навчальної дисципліни	14 тижнів протягом 1-го семестру
Обсяг навчальної дисципліни	Обсяг навчальної дисципліни становить 10 кредитів ЄКТС, 300 годин, з яких 78 годин становить контактна робота з викладачем (34 години лекцій, 44 години лабораторних робіт), 222 годин становить самостійна робота
Мова(и) викладання	Українська
<b>2. Місце навчальної дисципліни в освітній програмі</b>	
Статус дисципліни	Обов'язкова навчальна дисципліна для спеціальності 113 «Прикладна математика»
Передумови для вивчення дисципліни	студенти мають базисні знання та навички з таких дисциплін професійної підготовки бакалавра як «Програмування», «Чисельні методи», «Лінійна алгебра», «Математичний аналіз», «Диференціальні рівняння» та дисципліну «Основи теорії узагальнених функцій»
Додаткові умови	відсутні
Обмеження	Обмеження відсутні

### 3. Мета навчальної дисципліни

Метою навчальної дисципліни є формування фахівців здатних з використанням фундаментальних та спеціальних прикладних методів математичних і комп'ютерних наук розробляти та досліджувати математичні та комп'ютерні моделі та алгоритми, створювати відповідне програмне забезпечення

### 4. Зміст навчальної дисципліни

#### МОДУЛЬ 1 ЕЛЕМЕНТИ МОВИ ПРОГРАМУВАННЯ PYTHON

##### Тема 1 Структура даних в Python

Вступ. Програмне забезпечення. Історія мови Python. Інтерпретатори мови. Синтаксис мови (типи даних, основні методи, керуючі конструкції). Інтерактивна оболонка IPython.

##### Тема 2 Функціональне програмування

2.1 Функції в Python. Синтаксис оголошення функцій. Упаковка і розпакування аргументів. Ключові аргументи і аргументи за умовчанням. Розпакування і оператор присвоєння. Області видимості, правило LEGB, оператори global та nonlocal. Функціональне програмування, анонімні функції. Функції map, filter та zip. Генератори списків, множин і словників. PEP 8.

2.2 Декоратори і модуль functools. Синтаксис декораторів. Декоратори з аргументами, без аргументів. Приклади використання декораторів. Модуль functools.

##### Тема 3 ООП

Класи. Синтаксис оголошення класів. Атрибути, пов'язані і не пов'язані методи, \_\_dict\_\_, \_\_slots\_\_. Статичні методи і методи класу. Властивості, декоратор @property. Спадкування, перевантаження методів і функція super. Декоратори класів. Магічні методи.

##### Тема 4 Тестування

Тестування. Тестування в інтерпретаторі і доктести. Модуль unittest. Пакет py.test. Тестування властивостей і пакет hypothesis.

##### Тема 5 Математичний Python

Numpy, Scipy. Візуалізація даних з matplotlib, pylab, seaborn, plotly.

##### Тема 6 Оптимізація програм

6.1 Прискорення роботи програми Python. Вимірювання часу роботи коду на Python з допомогою модулів timeit, cProfile і line\_profiler. NumPy. JIT і AOT компіляція коду на Python на прикладі Numba і Cython.

6.2 Багатопотоковість і GIL. Модулі threading, queue і concurrent.futures. Використання потоків для паралельних обчислень на Python. GIL. Паралельність і конкурентність. Модуль asyncio. Модуль multiprocessing.

#### МОДУЛЬ 2. МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ПРИКЛАДНОЇ МАТЕМАТИКИ

##### Тема 7 Лінійна алгебра для аналізу даних (базові поняття)

7.1 Операції з матрицями. Швидке множення матриць (алгоритм Штрассена та Винограда-Штрассена). Лінійні перетворення у лінійних просторах. Прямі методи лінійної алгебри. LU- розклад матриці.

7.2 Ортогональність та споріднені поняття. Ортогональні вектори та підпростори. Проекції та проектори; ортогональна проти косої проекції. Ортогоналізація Грама-Шмідта.

7.3. Власні значення та власні вектори. Метод PageRank (ітераційний, матричний та

функціональні методи). Спектральна декомпозиція. Діагоналізація матриць.

### **Тема 8 Лінійна алгебра (застосування матричних декомпозицій)**

8.1 Факторний аналіз і метод головних компонент. Математичні моделі аналізу головних компонент і факторного аналізу. Інтерпретація факторів. Математичні модель SVD (Singular Value Decomposition) розкладу. SVD розкладання і аналіз головних компонент. SVD розкладання як основа латентно - семантичного аналізу (LSA). SVD розкладання матриці даних, що містить пропуски. Метод Simon'a Funk'a Регуляризація методі Simon'a Funk'a. SVD розкладання при побудові рекомендаційної системи.

8.2 QR-факторизація з використанням ортогоналізації Грама-Шмідта. Ортогональні та унітарні перетворення та їх властивості. QR-факторизації за допомогою обертання Гейнса.

### **Тема 9 Проблеми оптимізації**

9.1 Тести першого та другого порядку. Градієнтний спуск та методи Ньютонa. Опуклий аналіз

9.2 Умовна оптимізація

### **Тема 10 Інтегральні рівняння**

10.1 Алгоритм чисельного розв'язку інтегральних рівнянь Фредгольма другого роду. Інтегральні рівняння Фредгольма першого роду. Метод регуляризації Тихонова.

10.2 Метод механічних квадратур для сингулярних інтегральних рівнянь на замкнених та розімкнутих контурах.

### **Тема 11 Крайові задачі для диференціальних рівнянь**

11.1 Апроксимація крайових задач. Збіжність різницевих схем. Розв'язання сіткових рівнянь.

11.2 Апроксимація крайових задач для еліптичних рівнянь. Різницеві рівняння у гільбертовому просторі. Розв'язання сіткових рівнянь.

11.3 Нестационарні задачі математичної фізики. Різницеві методи. Стійкість операторно-різницевих схем

## **5. Очікувані результати навчання навчальної дисципліни**

Після успішного вивчення навчальної дисципліни здобувач вищої освіти зможе:

РН1	Використовувати й адаптувати математичні теорії, методи та прийоми для задач прикладної математики
РН2	Обирати та застосовувати математичні методи для розв'язання прикладних задач.
РН3	Розробляти алгоритми та структури даних, програмні засоби та програмну документацію
РН4	Розробляти алгоритми чисельного розв'язку побудованих математичних моделей
РН5	Використовувати сучасні технології програмування та тестування програмного забезпечення.
РН6	Проводити математичне і комп'ютерне моделювання, аналіз та обробку даних, обчислювальний експеримент, розв'язання формалізованих задач за допомогою спеціалізованих програмних бібліотек

РН7	Сформулювати математичну постановку задачі, спираючись на постановку мовою предметної галузі, та обирати метод її розв'язання, що забезпечує потрібні точність і надійність результату
<b>6. Роль навчальної дисципліни у досягненні програмних результатів</b>	
Програмні результати, досягнення яких забезпечує навчальна дисципліна:	
ПРН1	Знати сучасні мови програмування та основні напрями задач, в яких вони застосовуються найбільш ефективно. Бути здатним до самостійного оволодіння мовою програмування, найбільш пристосованою для певної задачі та її надбудовами.
ПРН2	Уміти формалізувати задачі певної предметної галузі, формулювати їх математичну постановку та обирати раціональний метод вирішення; розв'язувати отримані задачі аналітичними та чисельними методами, оцінювати точність та достовірність отриманих результатів.
ПРН3	Виконувати математичний опис, аналіз та синтез складних систем та динамічних процесів у цих системах.
ПРН4	Уміти розробляти та використовувати на практиці алгоритми, пов'язані з апроксимацією функціональних залежностей, чисельним диференціюванням та інтегруванням, розв'язанням систем алгебраїчних, диференціальних та інтегральних рівнянь, розв'язанням крайових задач, пошуком оптимальних рішень.
ПРН5	Бути здатним проводити аналітичне дослідження математичних моделей об'єктів і процесів на предмет існування та єдиності їх розв'язку.
ПРН6	Бути здатним проводити дослідження та знаходити розв'язок некоректних задач з використанням методів регуляризації.
ПРН8	Уміти будувати ефективні щодо точності обчислень, стійкості, швидкодії та витрат системних ресурсів алгоритми для чисельного дослідження математичних моделей та розв'язання практичних задач.
ПРН9	Застосовувати сучасні технології програмування та розроблення програмного забезпечення, програмної реалізації чисельних і символьних алгоритмів в галузях аналізу великих даних та побудови комп'ютерного експерименту.
ПРН11	Уміти будувати комп'ютерний експеримент для конкретних задач прикладної математики, та виконувати опис та аналіз результатів експерименту.
ПРН16	Уміти обирати оптимальний метод дискретизації математичної моделі комп'ютерного експерименту для задач прикладної математики.
<b>7. Види навчальних занять та навчальної діяльності</b>	
<b>7.1 Види навчальних занять</b>	
Видами навчальних занять при вивченні дисципліни є лекції (Л) та лабораторні	

заняття (ЛЗ):

## Модуль 1 ЕЛЕМЕНТИ МОВИ ПРОГРАМУВАННЯ PYTHON

### Тема 1 Структура даних в Python

(Л 1) ВСТУП. Програмне забезпечення. Історія мови Python. Інтерпретатори мови. Синтаксис мови (типи даних, основні методи, керуючі конструкції). Інтерактивна оболонка IPython.

(ЛЗ 1) Програмування завдань на тему структури даних

### Тема 2 Функціональне програмування

(Л 2) 2.1 Функції в Python. Синтаксис оголошення функцій. Упаковка і розпакування аргументів. Ключові аргументи і аргументи за умовчанням. Розпакування і оператор присвоєння. Області видимості, правило LEGB, оператори global та nonlocal. Функціональне програмування, анонімні функції. Функції map, filter та zip. Генератори списків, множин і словників. РЕР 8.

(ЛЗ 2) Програмування завдань на тему «Кортежі. Словники. Сортування» з використанням функціонального програмування та генераторів.

(Л 3) 2.2 Декоратори і модуль functools. Синтаксис декораторів. Декоратори з аргументами, без аргументів. Приклади використання декораторів. Модуль functools.

(ЛЗ 3) «Корисні декоратори». Застосування прикладів, наведених у лекції.

### Тема 3 ООП

(Л 4) 3.1 Класи. Синтаксис оголошення класів. Атрибути, пов'язані і не пов'язані методи, dict, slots. Статичні методи і методи класу. Властивості, декоратор @property. Спадкування, перевантаження методів і функція super. Декоратори класів. Магічні методи.

(ЛЗ 4) Перевантаження методів класів. Програмування задач за темою Л4.

### Тема 4 Тестування

(Л 5) Тестування. Тестування в інтерпретаторі і доктести. Модуль unittest. Пакет py.test. Тестування властивостей і пакет hypothesis.

(ЛЗ 5) Тестування програм, що написані у попередніх лабораторних роботах.

### Тема 5 Математичний Python

(Л 6) 1.6 Математичний Python: Numpy, Scipy. Візуалізація даних з matplotlib, pylab, seaborn, plotly.

(ЛЗ 6) Модуль Numpy. Візуалізація даних.

### Тема 6 Оптимізація програм

(Л 7) 6.1 Прискорення роботи програми Python. Вимірювання часу роботи коду на Python з допомогою модулів timeit, cProfile і line\_profiler. NumPy. JIT і AOT компіляція коду на Python на прикладі Numba і Cython.

(ЛЗ 7) Програмування завдань за модулем Numpy з вимірюванням часу.

(Л 8) 6.2 Багатопотоковість і GIL. Модулі threading, queue і concurrent.futures. Використання потоків для паралельних обчислень на Python. GIL. Паралельність і конкурентність. Модуль asyncio. Модуль multiprocessing.

(ЛЗ 8) Паралельні обчислення з використання мови Python.

## Модуль 2 МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ПРИКЛАДНОЇ МАТЕМАТИКИ

### Тема 7 Лінійна алгебра для аналізу даних (базові поняття)

(Л 9) 7.1 Операції з матрицями. Швидке множення матриць (алгоритм Штрассена та Винограда-Штрассена). Лінійні перетворення у лінійних просторах. Прямі методи лінійної алгебри. LU- розклад матриці.

(ЛЗ 9) Множення матриць, як перетворення систем координат. LU- розклад матриці з вибором ведучого елемента.

(ЛЗ 10) Швидке множення матриць (алгоритм Штрассена та Винограда-Штрассена)

(Л 10) 7.2 Ортогональність та споріднені поняття. Ортогональні вектори та підпростори. Проекції та проектори; ортогональна проти косої проекції. Ортогоналізація Грама-Шмідта.

(ЛЗ11) Ортогоналізація Грама-Шмідта.

(ЛЗ 12) Проектування зображень.

(Л 11) 7.3. Власні значення та власні вектори. Метод PageRank (ітераційний, матричний та функціональні методи). Спектральна декомпозиція. Діагоналізація матриць.

(ЛЗ 13) Власні значення та власні вектори. Спектральна декомпозиція. PageRank (ітераційний, матричний та функціональні методи)

### Тема 8 Лінійна алгебра (застосування матричних декомпозицій)

(Л12) 8.1 Факторний аналіз і метод головних компонент. Математичні моделі аналізу головних компонент і факторного аналізу. Інтерпретація факторів. Математичні моделі SVD (Singular Value Decomposition) розкладу. SVD розкладання і аналіз головних компонент. SVD розкладання як основа латентно - семантичного аналізу (LSA). SVD розкладання матриці даних, що містить пропуски.

(Л13) Метод Simon'a Funk'a Регуляризація методі Simon'a Funk'a. SVD розкладання при побудові рекомендаційної системи.

(ЛЗ14) SVD розкладання і аналіз головних компонент Зниження розмірності даних. SVD розкладання матриці даних, що містить пропуски. Метод Simon'a Funk'a SVD розкладання при побудові рекомендаційної системи.

(Л14) 8.2 QR-факторизація з використанням ортогоналізації Грама-Шмідта. Ортогональні та унітарні перетворення та їх властивості. QR-факторизації за допомогою обертаня Гейнса.

(ЛЗ 15) QR-факторизація з використанням ортогоналізації Грама-Шмідта.

(ЛЗ 16) QR-факторизації за допомогою обертаня Гейнса.

### Тема 9 Проблеми оптимізації.

(Л15) 9.1 Тести першого та другого порядку. Градієнтний спуск та методи Ньютона.

Опуклий аналіз 9.2 Умовна оптимізація

(ЛЗ 17) Градієнтний спуск та методи Ньютона.

(ЛЗ 18) Задачі умовної мінімізації

### Тема 10 Інтегральні рівняння

(Л16) 10.1 Алгоритм чисельного розв'язку інтегральних рівнянь Фредгольма другого роду. Інтегральні рівняння Фредгольма першого роду. Метод регуляризації Тихонова.

10.2 Метод механічних квадратур для сингулярних інтегральних рівнянь на замкнених та розімкнутих контурах

(ЛЗ 19) Алгоритми чисельного розв'язку інтегральних рівнянь Фредгольма.

Інтегральні рівняння Фредгольма першого роду. Метод регуляризації Тихонова.  
(ЛЗ 20) Алгоритми чисельного розв'язку сингулярних інтегральних рівнянь.

Тема 11 Крайові задачі для диференціальних рівнянь

(Л 17) 11.1 Апроксимація крайових задач. Збіжність різницевих схем. Розв'язання сіткових рівнянь. 11.2 Апроксимація крайових задач для еліптичних рівнянь.

Різницеві рівняння у гільбертовому просторі. Розв'язання сіткових рівнянь.

11.3 Нестационарні задачі математичної фізики. Різницеві методи. Стійкість операторно-різницевих схем

(ЛЗ 21) Апроксимація крайових задач. Метод стрільби.

(ЛЗ 22) Апроксимація крайових задач для еліптичних рівнянь. Різницеві рівняння у гільбертовому просторі. Розв'язання сіткових рівнянь.

## **7.2 Види навчальної діяльності**

НД1 Виконання ситуативних завдань за темами 1-2. Програмна реалізація

НД2 Електронне навчання у системах GoogleMeet, MIX, Youtube канал

НД3 Написання програм алгоритмів (аналітичних, чисельних) за темами 2-6

НД4 Виконання індивідуальних завдань за темами 3-6

НД 5 Участь у лекціях-дискусіях

НД6 Підготовка до лекційних занять

НД7 Формування звіту за результати лабораторних робіт

НД 8 Підготовка до поточних та підсумкового контролю

## **8. Методи викладання, навчання**

Дисципліна передбачає навчання через:

МН1 мультимедійні лекції - пояснювально-ілюстративний метод у комбінації з методом проблемного в кладання (викладення й засвоєння алгоритмів та підходів до їх реалізації та формулювання висновків, наведення прикладів шляхом постановки проблеми та пошуку способів розв'язання поставленого завдання);

МН2 репродуктивний метод, що передбачає набування практичних умінь і навичок програмування під час виконання лабораторних робіт, що сприяють використанню пізнаного за матеріалами лекцій - програмна реалізація алгоритмів, викладених у лекційних матеріалах

МН3 частково-пошуковий метод - організація активного пошуку розв'язання висунутих викладачем (чи самостійно сформульованих) пізнавальних завдань (в тому числі їх програмна реалізація) під час виконання індивідуальних завдань

МН4 дослідницький метод, що передбачає аналіз матеріалу, постановку проблем і завдань з можливістю консультацій з викладачем, як безпосередньо, так і опосередковано через Telegram канал та використання платформи Mix за окремими освітніми компонентами (розміщення матеріалів дисципліни, літератури, тестування знань, тощо).

## **9. Методи та критерії оцінювання**

### **9.1. Критерії оцінювання**

Під час проведення контрольних заходів використовується 100-бальна шкала оцінювання

a. рейтингові бали шкали оцінювання з навчальної дисципліни розподіляються між модульними атестаціями і додатковим семестровим контролем (ДСК) відповідно 60 і 40 балів. Захід ДСК проводиться в період екзаменаційної сесії;

b. при отриманні студентом рейтингового балу за наслідками модульних атестацій менше 35% від призначених на них ( $60 \cdot 35\% = 21$  бал), він не допускається до заходу ДСК, студент відраховується з університету.

c. при отриманні за наслідками модульних атестацій та складання ДСК загального рейтингового балу, що відповідає незадовільній оцінці (не менше 35 балів), студентові надається право на дворазове перескладання (викладачеві та комісії) заходу підсумкового семестрового контролю (ПСК);

d. при повторному складанні ПСК оцінювання здійснюється без урахування рейтингових балів модульних атестацій. При успішному складанні заходу підсумкового семестрового контролю використовується оцінка «задовільно 60 балів», яка засвідчує виконання студентом мінімальних вимог без урахування накопичених балів.

e. при отриманні за наслідками модульних атестацій та складання ДСК загального рейтингового балу, що відповідає незадовільній оцінці менше 35 балів студент відраховується з університету.

f. за наявністю документально підтверджених поважних причин, визначених положенням про організацію навчального процесу СумДУ, допускається ліквідація заборгованості відповідно до правил встановлених у нормативних документах.

## 9.2 Методи поточного формативного оцінювання

За дисципліною передбачені такі методи поточного формативного оцінювання: опитування та усні коментарі викладача за його результатами, настанови викладача в процесі виконання практичних завдань, формування навичок само оцінювання, обговорення та взаємооцінювання студентами виконаних практичних завдань.

## 9.3 Методи підсумкового сумативного оцінювання

Оцінювання протягом семестру проводиться у формі усних опитувань та захисту виконуваних лабораторних робіт. Індивідуальні завдання, схожі між собою, будуть відхилені.

Оцінка студента формується таким чином:

1. Звіт за результатами виконання лабораторних робіт  
. Середній бал захисту 90% кращих лабораторних робіт 1-16 (кожна робота оцінюється у 20 балів)- максимально 20 балів; (МСО1ЛР)
2. Поточні контрольні роботи (проміжний модульний контроль)  
. Оцінки за підсумкові роботи під час атестаційних тижнів (2 модульні цикли, по 10 балів кожен) – максимально 20 балів; (МСО2)
3. Виконання індивідуальних розрахунково-аналітичних завдань  
Індивідуальні завдання за темами 8-11 - максимально 20 балів; (МСО3)
4. Підсумковий контроль: іспит  
. Проведення додаткового семестрового контролю (тестування) – максимально 40 балів. (МСО4)



## 10. Ресурсне забезпечення навчальної дисципліни

### 10.1 Засоби навчання

Мультимедійний проектор для проведення Л. або робоче місце для проведення Л (МП)  
Комп'ютерний клас для ЛЗ (КК)

### 10.2 Інформаційне та навчально-методичне забезпечення

#### **Основна література:**

1. Маккинли Уэс Python и анализ данных - М. : ДМК Пресс, 2015. – 482 с.
2. А. Мюллер, С. Гвидо Введение в машинное обучение с помощью Python: руководство для специалистов по работе с данными - М., 2017. – 393 с.
3. Вабищевич П.Н. Численные методы: Вычислительный практикум - М.: ЛЕНАНД, 2016. – 320 с.

#### **Додаткова література:**

4. Бардзокас Д.И., Фильштинский Л.А., Фильштинский М.Л. Актуальные проблемы связанных физических полей в деформируемых телах: В 5 т. – Т.1. Математический аппарат физических и инженерных наук. – М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2010.- 864 с.
5. A. C. Muller, S. Guido Introduction to Machine Learning with Python - 2017. – 393 p.
6. W. Richert, L. P. Coelho Building Machine Learning Systems with Python - Birmingham : Packt Publishing, 2013. – 290 pp.
7. Wes McKinney Python for Data Analysis: Data Wrangling with Pandas, NumPy, and IPython. - O'Reilly Media, Inc., 2015.- 466 pp.

#### **Інформаційні ресурси в Інтернеті:**

1. Anaconda individual edition  
<https://www.anaconda.com/products/individual>
2. Documentation for Python's standard library, along with tutorials and guides, are available online  
<https://docs.python.org/3/>