



# Моделювання складних систем

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський) /</i>
Галузь знань	<i>11 Математика та статистика</i>
Спеціальність	<i>113 Прикладна математика</i>
Освітня програма	<i>ОНП Наука про дані та математичне моделювання</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>6.5 кредитів, 150 годин</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>екзамен</i>
Розклад занять	<i>Тижневих годин : 2 год. - лекція, 2 год. – лаб. та практичні заняття</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: д.т.н., проф., Ориняк Ігор Володимирович, 099-602-0559 Практичні: аспірант, Мазурик Р.В. Лабораторні: аспірант, Мазурик Р.В.
Розміщення курсу	

### Програма навчальної дисципліни

#### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Мета дисципліни «Моделювання складних систем» полягає в дослідженні та математичному моделюванні різноманітних матеріальних об'єктів. В дисципліні з єдиних позицій розглядається методологія і послідовність дій з моделювання механічних (будівельна механіка), електричних (електричні ланцюги), гідравлічних (розгалужені трубопровідні системи) систем. Оскільки в багатьох науках геометрична сторона невіддільна від фізичної, то описуються також принципи моделювання і геометричних систем з врахуванням можливої зміни їх положення. На прикладі розглянутих проблем студент чітко уявить що таке елемент і чим (якими визначальними параметрами) він характеризується; як математично описується поведінка (зміна стану чи положення) елемента, і як це відображається на поведінці (характеристиці) всієї системи. Студент навчиться: а) алгоритмам обходу складної розгалуженої системи – тобто складати перелік невідомих та їх нумерацію; б) формулювати фізичні рівняння зв'язку між параметрами на початку елемента та на його кінці; в) складати рівняння спряження для сусідніх країв різних елементів, в тому числі при наявності геометричних та фізичних розривів (наприклад, порушення геометричної неперервності, наявність додаткових зосереджених впливів на границі між ними) та розглядати розгалужені системи, коли в одній точці межують три і більше елементів; г) формулювати граничні умови для складних систем з багатьма зовнішніми краями; д) формувати систему лінійних визначальних рівнянь та рішення її з можливістю представляти результати для кожної точки кожного елемента. Особлива увага приділяється побудові сплайнів, як систем криволінійних ділянок, на основі фізичних моделей деформування просторових криволінійних балок на жорстких, пружних і неперервних пружних опорах. Це дозволяє проводити неперервні (аж до другої, третьої чи четвертої похідної) криві для точок, що виміряні: а) точно; б) для далеко розміщених точок, що виміряні з похибкою; та

в) для щільних масивів точок (великий розкид даних), що має велике застосування в статистиці та техніці. Можливо, вузькі спеціалісти в окремих галузях знань можуть краще усвідомлювати фізичні зв'язки і математичну суть елементу, але прикладний математик зможе побудувати комплексну модель всього об'єкту і правильно організувати її розрахунок і представлення результатів, саме в цьому його беззаперечна перевага як універсального спеціаліста влюбій галузі знань.

В результаті навчання студент отримає наступні знання та компетентності, які прописані в Освітній Програмі спеціальності.

ЗК 3	Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми.
ФК 2	Здатність проводити наукові дослідження з розроблення нових та адаптацією існуючих математичних та комп'ютерних моделей для дослідження різноманітних процесів, явищ і систем, проводити відповідні експерименти з аналізом одержаних результатів.
ФК 3	Здатність розробляти методи побудови й дослідження моделей складних систем у різних галузях людської діяльності, будувати скінченновимірні математичні моделі фізичних явищ та чисельно їх розраховувати.
ФК 4	Здатність створювати та досліджувати математичні та комп'ютерні моделі за допомогою спеціалізованих програмних засобів.
ЗН2	Процедур формального опису системи та результатів дослідження реальних технічних, природних, біомедичних та соціально-економічних систем, впливів некерованих чинників, потрібних для прийняття раціональних рішень.
ЗН5	Шляхів самостійного освоєння нових методів дослідження, нового наукового й науково-виробничого профілю діяльності.
УМ4	Виявляти ініціативу, інноваційність та підприємливість.
УМ5	Застосовувати математичний апарат в інженерній практиці.
УМ6	Будувати моделі складних систем і вибирати методи їх дослідження, реалізовувати побудовані моделі програмно та перевіряти їх адекватність за допомогою комп'ютера.

## **2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

Для успішного засвоєння курсу необхідно (Н) або доцільно (Д) засвоїти наступні курси.

(Н): - Алгебра і геометрія; Математичний аналіз; Програмування; Прикладна механіка; Диференціальні рівняння; Функціональний аналіз;

(Д): Забезпечення якості ПЗ; Алгоритмічні основи обчислювальної геометрії та комп'ютерної графіки; Математичне моделювання; Алгоритми і системи комп'ютерної математики

Результати курсу можуть мати значення і сприяти освоєнню наступних курсів:

Основи наукових досліджень та організації науки; Системна інженерія. Математичне моделювання біомедичних систем і процесів.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

### **Розділ 1. Основи моделювання складних систем**

Лекція 1. Побудова загального алгоритму рішення складної одновимірної задачі

Лекція 2. Узагальнений метод Кривога рішення системи звичайних диференціальних рівнянь як основа застосування МПП

Лекція 3. Розподіл струмів і напруги в електричних схемах

Лекція 4. Розподіл тисків та потоків в рідинних системах

## *Лекція 5. Газові трубопровідні системи*

### *Розділ 2. Геометричне моделювання складних систем*

*Лекція 6-7. Геометрія лінії на площині.*

*Лекція 8. Побудова складних фігур та траєкторій на площині*

*Лекція 9-10. Гвинтова лінія, геометрія лінії в просторі, поворот відносно довільної осі.*

*Лекція 11. 3D геометричний елемент, деформування складної просторової системи*

*Лекція 12. Особливості застосування методу Кривола в 3D криволінійних координатах гвинтової лінії*

### *Розділ 3. Деформування просторових балок*

*Лекція 13. Векторна постановка задач деформування балок*

*Лекція 14. Елемент балки, що має форму частини круга*

*Лекція 15. Майже кругова балка під внутрішнім тиском*

*Лекція 16. Втрата стійкості балки*

*Лекція 17. Рівняння спряження для прямолінійних балок*

*Лекція 18. Поворотні елементи для криволінійних балок, розгалуження балкової системи*

### *Розділ 4. Застосування теорії балок для побудови сплайнів*

*Лекція 19. Енергетичні сплайни – точна відповідність*

*Лекція 20. Згладжування похибок чи відхилень*

*Лекція 21. Приклад. Застосування теорії балок для побудови гладких замкнутих кривих по неточним дискретним даним*

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

*До розділу 1. Базова література*

1. В. М. Дубовой, Р. Н. Кветний, О. І. Михальов, А. В. Усов. МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМ. Підручник. Вінниця. ВНТУ. 2017.

[http://ksu.vntu.edu.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=59&Itemid=211&lang=uk](http://ksu.vntu.edu.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=59&Itemid=211&lang=uk)

2. Richard Khoury, Douglas Wilhelm Harder. Numerical Methods and Modelling for Engineering. Springer International Publishing, 2016, 332 p. DOI 10.1007/978-3-319-21176-3

Є в електронному вигляді. Даються загальні методи рішення складних систем

*До розділу 2. Базова література*

1. Лаптев Г.Ф. Элементы векторного исчисления. М.: Наука, Главная редакция физ.-мат литературы. 1975., 336 стр. Чудова книжка – є все про вектори, аналітичну геометрію лінії (Див Розділ 2), а також, хоча це за межами курсу (але не межами освіти по Прикл Мат) – по теорії поля та криволінійним координатам. Є в електронному вигляді.

2. Павловський М.А. Теоретична механіка. Київ.: Техніка. 2002

Про складний рух Параграф 7.13. 8.3 та Розділ 9

До розділу 3. Базова література.

1. Баженов В. А., Перельмутер А. В., Шишов А. В. Будівельна механіка. Комп'ютерні технології. Київ: Каравела. 2012, 695 стр. Чудово описані основні поняття будівельної механіки. Даються загальні методи рішення одномірних задач статичної і динаміки.

До розділу 4. Базова література

1. Sung Joon Ahn. Least Squares Orthogonal Distance Fitting of Curves and Surfaces in Space. Springer, Berlin, 2004, 125 p. doi: 10.1007/b104017

2. Алберг Дж., Нильсон Э., Уолш Дж. Теория сплайнов и ее приложения. Пер с англ. М.: Мир. 1972 318 с.

## Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Перший розділ є загальним і визначає загальні підходи до рішення практичних задач, та проблеми які можуть виникнути. Розділ дає загальні уявлення до формалізації та алгоритмізації рішення задач методом початкових параметрів. Розглядаються підходи до аналізу складних, практично необмежених по кількості змінних, задач на основі розгляду проблем електричних систем, а також пневматичних та гідравлічних контурів.

Другий розділ в основному присвячений побудові та деформації плоских та просторових кривих. Розглядаються задачі побудови траєкторій, що мають певні властивості неперервної зміни кривизни.

Третій розділ присвячений розв'язку складних систем з великою кількістю невідомих на прикладі задач будівельної механіки. Розглядається загальна постановка задач просторового деформування.

Четвертий розділ присвячений використанні модифікованої теорії балок для побудови сплайнів, як для точок визначених точно, так і для точок, що отримуються наближено.

### 6. Самостійна робота студента/аспіранта

Задачі лабораторного контролю сформульовані так, щоб у студента виникло бажання глибше ознайомитися з темою і дослідити наукову чи методичну літературу. Немає задач, які б робилися по одному і тому же шаблону, просто підставляючи інші вхідні дані. Всі консультації надаються викладачем практично без обмежень. Єдина вимога, щоб студент чітко прив'язував свої питання до конспекту лекцій, вказуючи які саме моменти їм не зрозумілі. Абсолютно не сприймається, коли студент, нічого не прочитавши, просить пояснити йому методологію і кроки рішення задачі. При узгодженні часу і можливостей викладач може відкривати додаткові консультації в ЗУМ.

## Політика та контроль

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

Зазначається система вимог, які викладач ставить перед студентом/аспірантом:

- Неможливо оволодіти курсом лише з лекцій, тому через ЗУМ надається велика кількість додаткових консультацій. Спеціальних вимог щодо присутності на лекціях немає, бо є контрольні роботи, екзамен, а особливо лабораторні, бо кожна лабораторна це невелика дослідницька робота. Успішне виконання лабораторної є свідченням кваліфікації

- Спеціальних вимог щодо на заняттях немає, якщо все в межах пристойності. Звичайно, заохочується активність, підготовка додаткових повідомлень, тощо. В кінці (останній місяць) студенти активно залучаються до навчального (себе і одногрупників) процесу шляхом проведення активного захисту і демонстрації свої результатів. Осільки завдання індивідуальні, то результати є цікавими і пізнавальними для інших. Враховується активність як демонстрантів, так і слухачів
- Лабораторні роботи оформляються як наукові роботи з постановкою задачі, рішенням, висновками і оформлюються наглядно, повно, логічно і красиво. Такі вимоги до оформлення. Дозволяється здавати необмежене число раз, викладач ставить питання (або усно, при явному навчанні, або письмово в тексті лабораторної – при карантинному навчанні), які вимагають відповіді. Починаючи з певного рівня (60 відносних балів) студенту дається вибір: або покращити роботу (є дуже конкретні зауваження викладача) або отримати запропоновану оцінку.

## 8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

### 1. Робота на практичних заняттях

Викладач має право заохотити студента певною додатковою кількістю балів (максимально – 4 бали за семестр) за надання оригінального рішення, відповіді чи питання на практичних заняттях. За одне заняття студент не може отримати більше, ніж 1 бал.

### 2. Модульний контроль

Максимальна кількість балів за двогодинну МКР дорівнює:

$$8 \text{ балів} \times 1 = \mathbf{8 \text{ балів.}}$$

Кожне завдання контрольної роботи оцінюється (в залежності від його складності) в один, півтора чи два бала.

Максимальну кількість балів студент отримує у випадку, якщо він навів повний та правильний розв'язок задачі або припустився незначних арифметичних помилок/описок, які не вплинули суттєво на розв'язок.

Меншу ніж максимальну кількість балів (як правило, половину від цієї максимальної кількості) студент отримує у випадку, коли наведений ним розв'язок є правильним, проте неповним (задача не розв'язана до кінця), або хід розв'язку є правильним та повним, проте студент припустився помилок, які суттєво вплинули на відповідь.

Нуль балів студент отримує у випадку, коли задача взагалі не розв'язана, або наведений хід розв'язку містить грубі помилки, або наведено тільки відповідь на задачу.

### 3. Бали за виконання та захист лабораторних робіт

Протягом семестру студент виконує 3 лабораторні роботи. Максимальна кількість балів за кожну лабораторну роботу: 14 балів. Максимальна кількість балів за всі лабораторні роботи дорівнює:  $14 \text{ балів} \times 3 = \mathbf{42 \text{ балів.}}$  Бали нараховуються за:

- відповіді на теоретичні запитання викладача: 0 – 5 балів,
- за повноту і естетичність оформлення звіту: 0-4 бали
- відповіді на запитання викладача по програмній реалізації: 0 – 5 балів;

штрафні бали можна отримати за:

- несвоєчасність подання роботи до захисту: за кожен прострочений тиждень мінус 1 бал, але сумарний штраф не повинен перевищувати мінус 6 балів.

Граничні терміни виконання лабораторних робіт		
1	2	3

20 жовтня	15 листопада	12 грудня
-----------	--------------	-----------

Кожна лабораторна робота повинна супроводжуватись відповідним звітом, в форматі WORD, поданим в електронному вигляді. Звіт має містити титульну сторінку, назву предмета, номер лабораторної, дату відправлення, прізвище студента, постановку задачі. В описовій частині треба привести опис загального алгоритму і теоретичні відомості до роботи, ілюстрації, тестові приклади і розрахунки з відповідними їм знімками екрану комп'ютера (скріншотами), висновки, програмні коди. Звіт може відсилатися назад на доопрацювання. Додаткові питання викладач може задавати письмово, тоді і відповідь в звіті повинна бути викладена студентом письмово.

#### 4. Відповідь на екзамені

Ваговий бал – **50**.

Форма проведення екзамену залежить від того – буде він відбуватися у традиційному (очному) режимі чи у дистанційному:

Очна форма	Дистанційна форма
На екзамені студент отримує білет з двома теоретичними та двома практичними завданнями.	На екзамені студент отримує білет з одним теоретичним та двома практичними завданнями.
<p>За відповіді на кожне з теоретичних чи практичних завдань нараховується максимум 10 балів. На вказані завдання студент надає письмову відповідь, яку викладач перевіряє у день проведення екзамену.</p> <p>За відповідь на кожне запитання білету студент отримує:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– 8-10 балів, якщо він надав повну та правильну відповідь або припустився незначних похибок, які істотно не вплинули на саму відповідь,</li> <li>– 5-7 балів, якщо відповідь правильна лише частково або не є повною (наприклад, наведена лише схема необхідного доведення теореми або під час розв'язання прикладу не перевірена можливість застосування відповідного методу),</li> <li>– 2-4 бали, якщо відповідь частково правильна, але містить значні прогалини (наприклад, відсутнє необхідне доведення теореми чи під час розв'язання прикладу враховані не всі можливі випадки),</li> <li>– 0-1 бали, якщо відповідь на запитання взагалі не була надана або містить грубі помилки.</li> </ul> <p>Для встановлення степені знання студентом матеріалу дисципліни після перевірки письмової відповіді викладач додатково задає студенту одне чи декілька нових запитань – на уточнення наданої відповіді або, взагалі, на іншу тему з матеріалу, що перевіряється.</p>	
Відповіді на сукупність додаткових запитань оцінюються загалом від 0 до 10 балів в залежності від їх точності та повноти за тим же принципом, що і відповіді на письмові завдання.	Відповіді на сукупність додаткових запитань оцінюються загалом від 0 до 20 балів в залежності від їх точності та повноти за тим же принципом, що і відповіді на письмові завдання.
<p>Викладач має право заохотити студента певною кількістю балів (максимально – 3 бали) за надання оригінального рішення чи відповіді на екзамені.</p>	

#### 6. Заохочувальні бали за:

- виступ на лекції (за попередньою домовленістю з лектором) із доповіддю по матеріалам навчального курсу (або близьким до них), надається до 3-х заохочувальних балів;
- активність на лекціях, тобто за

- відповіді на запитання лектора до загальної аудиторії,
  - знаходження описок/помилки у лекціях,
  - задавання «правильних запитань», тобто запитань, які свідчать про вдумливу роботу студента з навчальним матеріалом
- нараховується загалом до 3-х заохочувальних балів.

**Розрахунок шкали (R) рейтингу:**

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$R_C = 8 + 14 \cdot 3 = 50 \text{ балів.}$$

Із цієї суми за семестр студент може набрати певну кількість балів  $r_C$ .

Екзаменаційна складова ( $R_E$ ) шкали дорівнює 50 балам, тобто складає 50% від  $R$ .

За відповідь на екзамені студент може набрати певну кількість балів  $r_E$ .

Рейтингова шкала з дисципліни складає  $R = R_C + R_E = 100$  балів.

Сумарна кількість заохочувальних балів ( $r_S$ ) за роботу студента з дисципліни під час семестру (див. п. 1 та п. 6) не повинна перевищувати  $0,1 \times R_C$ , тобто  $0,1 \times 50$  балів = 5 балів.

Необхідною умовою допуску до екзамену є виконання як мінімум, двох розрахункових робіт.

Студенти, які допущені до екзамену, отримують свою попередню оцінку з дисципліни ( $R_D$ ) автоматично.

Вона повідомляється студентам на консультації перед екзаменом і розраховується таким чином:

$$R_D = 2 * (r_C + r_S).$$

Якщо навчання відбувалося у дистанційному режимі й студент погоджується із попередньою оцінкою, то вона стає остаточною та виставляється у екзаменаційну відомість.

Якщо навчання відбувалося у дистанційному режимі й студент не згоден із попередньою оцінкою, яку він отримав «автоматом», то він здає екзамен за наведеними раніше правилами, а його остаточна рейтингова оцінка  $R_D$  розраховується за формулою:  $R_D = r_C + r_S + r_E$ .

Якщо навчання відбувалося у очному режимі, то оцінка за екзамен автоматично не виставляється, а студенти здають екзамен у традиційному форматі за наведеними раніше правилами, при цьому остаточна рейтингова оцінка  $R_D$  студента розраховується за формулою:  $R_D = r_C + r_S + r_E$ .

Для отримання відповідних оцінок рейтингова оцінка студента  $R_D$  переводиться згідно з такою таблицею:

Межі переведення рейтингових оцінок	$R_D$	Оцінка
$R_D \geq 0,95R$	$\geq 95$	відмінно
$0,85R \leq R_D < 0,95R$	85 .. 94,5	дуже добре
$0,75R \leq R_D < 0,85R$	75 .. 84,5	добре
$0,65R \leq R_D < 0,75R$	65 .. 74,5	задовільно
$0,6R \leq R_D < 0,65R$	60 .. 64,5	достатньо
$R_D < 0,6R$	< 60	незадовільно
Розрахункові роботи не виконано		не допущено

**9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)**

**Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено:** професором каф. ПМА Ориняк І.В.

**Ухвалено** кафедрою *прикладної математики* (протокол № 12 від 02 червня 2021 р. )

**Погоджено** Методичною комісією факультету *прикладної математики* (протокол № 7 від 24.06.21)