

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Механіко-математичний факультет
Кафедра механіки

Затверджено

На засіданні кафедри механіки
механіко-математичного факультету
Львівського національного університету
імені Івана Франка
(протокол № 1 від 31.08.2023 р.)



Завідувач кафедри:

 Олександр АНДРЕЙКІВ

Силабус з навчальної дисципліни
“Біомеханіка”,
що викладається в межах першого (бакалаврського) рівня
вищої освіти для здобувачів з спеціальності
113 – Прикладна математика

Львів 2023 р.

Назва дисципліни	Біомеханіка
Адреса викладання дисципліни	Головний корпус Львівського національного університету імені Івана Франка, м. Львів, вул. Університетська 1, 79000
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	Механіко-математичний факультет Кафедра механіки
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	11 – Математика та статистика 113 – Прикладна математика
Викладачі дисципліни	Долінська Ірина Ярославівна, доцент кафедри механіки, доктор технічних наук, старший дослідник
Контактна інформація викладачів	iryna.dolinska@lnu.edu.ua https://new.mmf.lnu.edu.ua/employee/dolinska-iryna-yaroslavivna Головний корпус ЛНУ ім. І. Франка, каб. 148. м. Львів, вул. Університетська, 1
Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються	Консультації в день проведення лекцій/лабораторних занять (за попередньою домовленістю). Головний корпус Львівського національного університету імені Івана Франка, м. Львів, вул. Університетська, 1. Кафедра механіки, каб. 148.
Сторінка курсу	https://new.mmf.lnu.edu.ua/course/biomechanic-educational-program-mathematical-modeling-and-computer-mechanics
Інформація про дисципліну	Дисципліна “Біомеханіка” є вибірковою дисципліною для спеціальності 113 – Прикладна математика для освітньої програми “Математичне моделювання та комп’ютерна механіка”, яка викладається в 8-му семестрі в обсязі 5-х кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	У даній дисципліні вивчаються основи механічного моделювання живих систем і процесів у живих системах. При цьому не розглядаються окремі атоми чи молекули, а розглядаються їх з’єднання в живих системах: клітини, тканини, органи, організми.
Мета та цілі дисципліни	Метою вивчення дисципліни є <ul style="list-style-type: none"> • формування у студентів загального уявлення про предмет біомеханіки, як сучасного напрямку механіки в дослідженнях живих (біологічних) систем; • формування навичок виконання механічного моделювання живих систем. Завданням вивчення навчальної дисципліни є <ul style="list-style-type: none"> • набуття студентами практичних навичок по моделюванню руйнування твердих і м’яких живих тканин; • формування у студентів навиків побудови простих математичних моделей деяких біомеханічних систем з використанням основних законів механіки.
Література для вивчення дисципліни	Основна література <ol style="list-style-type: none"> 1. Кашуба В. О. Біомеханіка просторової організації тіла людини: сучасні методи та засоби діагностики і відновлення порушень / В. О. Кашуба, Ю. А. Попадюха. – Наук. світ, 2018. – 301 с. 2. Huston R. Principles of Biomechanics / R. Huston. – United States, 2019. – 442 p.

	<ol style="list-style-type: none"> 3. Соловйова О. М. Модель руху крові по артеріальному руслу з урахуванням біоактивності стінки судин / О. М. Соловйова, Н. М. Кізілова // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – 2019. – Вип. 2. – С. 87–91. 4. Кізілова Н. М. Комп'ютерне моделювання в біомеханіці кровообігу / Н. М. Кізілова, О. М. Соловйова // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. – 2019. – № 41. – С. 39–45. 5. Кузь І. С. Методичні вказівки до вивчення теми ріст і перебудова органів і тканин курсу основи біомеханіки для студентів механіко-метематичного факультету / І. С. Кузь, І. М. Турчин. – Львів: ЛНУ, 2012. – 18 с. 6. Заїкін А. В. Біомеханіка: навчально-методичний посібник / А. В. Заїкін, Н. І. Судак. – Кам'янець-Подільський: КПНУ імені Івана Огієнка, 2020. – 144 с. 7. Duane Knudson. Fundamentals of biomechanics / Duane Knudson. – Springer Nature Switzerland AG, 2021. – 252 p. 8. Методичні вказівки до практичних занять з курсу «Основи біомеханіки» для студентів підготовки напрямки «Механіка» / Упоряд. М.Н. Кізілова. – Харків, ХНУ, 2012. – 54 с. <p style="text-align: center;">Додаткова література</p> <ol style="list-style-type: none"> 9. Куценко А. Г. Біомеханіка суцільних середовищ: Монографія / А. Г. Куценко, С. М. Бондар, В. М. Пришляк. – К.: Видавничий центр НУБіП України, 2014. – 512 с. 10. Чаусов М. Г. Біомеханіка / М. Г. Чаусов, А. Г. Куценко, М. М. Бондар. – Ніжин: Аспект-Поліграф, 2012. – 511 с. 11. Антонюк В. С. Біофізика і біомеханіка: підручник / В. С. Антонюк, М. О. Бондаренко, В. А. Ващенко та ін. – Київ: НТУУ «КПІ», 2012. – 346 с. 12. Guzik A. Biomechanika inzynierska: zagadnienia wybrane, laboratorium / A. Guzik, M. Gzik, B. Gzik-Zroska et all. – Gliwice, 2004. – 172 p. 13. Без'язична О. В. Методичні рекомендації до лабораторних занять з курсу «Біомеханіка» / О. В. Без'язична, Л. П. Коваленко. – Харків: ХНПУ ім. Г.С. Сковороди, 2014. – 49 с. 14. Guigen Zhang. Introduction to integrative engineering a computational approach to biomedical problems / Guigen Zhang. – New York: CRC Press, 2017. – 448 p. 15. Oomens C. Biomechanics Concepts and Computation: Second Edition / C. Oomens, M. Brekelmans, S. Loerakker, F. Baaijens. Cambridge University Press, 2018. – 422 p. 16. Jay D. Humphrey. An introduction to Biomechanics solids and fluids, analysis and design: second edition / Jay D. Humphrey, Sherry L. O'Rourke. Springer, 2015. – 710 p. 17. С.П. Панченко. Біомеханіка. Конспект лекцій / С.П. Панченко. - Дніпро: Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», 2022. – 73 с.
Обсяг курсу	Загальний обсяг: 150 годин. Аудиторних занять: 70 год., з них 42 години лекцій та 28 годин лабораторних занять. Самостійної роботи: 80 годин.

Очікувані результати навчання	У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен знати: <ul style="list-style-type: none"> • предмет біомеханіки; • основи моделювання росту і перебудови живих тканин; • ґрунтовно засвоїти поняття та методи біомеханіки, що стосуються моделювання напружено-деформованого стану в живих тканинах і органах; • визначальні співвідношення для живих тканин і біоматеріалів; вміти: <ul style="list-style-type: none"> • сформулювати початково–крайові задачі механіки відносно живих систем і побудувати їх розв'язки.
Ключові слова	Біомеханіка, клітини, тканини, біомеханічна система, перебудова органів і тканин, пошкоджуваність, біоматеріали, біоматеріали з ефектом пам'яті, початково-крайові задачі, напружено-деформований стан.
Формат курсу	Очний.
Теми	<ol style="list-style-type: none"> 1. Предмет, об'єкт дослідження, методи і завдання біомеханіки. Історія біомеханіки. Теорія розмірностей та подібності в біомеханіці. 2. Деформаційні та пружні властивості біологічних тканин. 3. Біомеханічна система, як модель живого рухового механізму. Механіка м'язового скорочення. 4. Елементи біологічної термодинаміки. Біомеханічні аспекти будови і функцій клітини. 5. Приклади розв'язування задач біомеханіки. 6. Ріст і перебудова органів і тканин. Постановка початкової-крайової задачі визначення деформацій росту в пружній системі. Визначальні співвідношення для ізотропного тіла з ростом. 7. Модель розвитку сколіозу. 8. Розрахунок деформацій росту. 9. Закон Вольфа про перебудову тканин кістки. 10. Залишкові напруження і перебудова. 11. Пошкоджуваність та перебудова кістки. Накопичення пошкоджуваності. Визначення пошкоджуваності. 12. Перебудова поверхні діяфіза кістки, зумовленого зменшенням навантаження кручення. 13. Деформування та міцність біоматеріалів. 14. Просторовий напружено-деформований стан при повзкості живих тканин і біоматеріалів. 15. Визначальні співвідношення для живих тканин і біоматеріалів. Визначення модуля Юнга трабекулярної кістки. 16. Біоматеріали з ефектом пам'яті форми. Розв'язки задач, що описують деформування матеріалів з пам'яттю форми.
Підсумковий контроль, форма	Залік у кінці восьмого семестру.
Пререквізити	Для вивчення дисципліни студенти потребують базові знання з курсів: <ul style="list-style-type: none"> - Рівняння математичної фізики; - Основи механіки суцільного середовища; - Математичні моделі механіки суцільного середовища; - Теоретична механіка; - Опір матеріалів; - Теорія пружності і пластичності; - Біоматеріали.

<p>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</p>	<p>Інформаційні методи (лекція, бесіда, ілюстрація, демонстрація); дедуктивні методи на основі узагальнень; евристичні методи (проблемна лекція); інтерактивні методи (дискусія).</p>
<p>Необхідне обладнання</p>	<p>Для проведення лекційних занять: комп'ютер (мінімальні характеристики: процесор Intel Core i3, 4ГБ оперативної пам'яті), доступ до мережі Internet, засоби мультимедіа (в т.ч. проектор). Для проведення практичних/лабораторних занять: комп'ютер (мінімальні характеристики: процесор Intel Core i3, 4ГБ оперативної пам'яті), доступ до мережі Internet. Необхідне програмне забезпечення включає в себе ОС Windows 10, програмні додатки (MS Teams, ZOOM).</p>
<p>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</p>	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> • модульний контроль № 1: 50% семестрової оцінки, максимальна кількість балів 50. • модульний контроль № 2: 50% семестрової оцінки, максимальна кількість балів 50. <p>Підсумкова максимальна кількість балів за семестр 100.</p> <p>Письмові роботи: Очікується, що студенти виконають дві письмові роботи (два тести з теоретичних і лабораторних завдань).</p> <p>Академічна доброчесність: Очікується, що роботи студентів будуть їх самостійними дослідженнями чи міркуваннями. Відсутність посилань на використані джерела, фабрикування джерел, списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману.</p> <p>Відвідування занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції та лабораторні заняття курсу. Студенти повинні інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися термінів, визначених для виконання всіх видів письмових робіт та 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, отримані при поточному опитуванні, самостійній роботі та бали підсумкового тестування. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час лабораторного заняття; недопустимість пропусків та запізнень на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях, не пов'язаних з навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.</p> <p>Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p> <p>Оцінювання модульного контролю відбувається шляхом оцінки письмових відповідей студента на поставлені запитання. Відсотки нарахування балів оцінювання відповіді на кожне запитання</p>

	<p>нараховуються за наступним співвідношенням: 75-100% – тема відтворюється в повному обсязі, правильно, обґрунтовано, логічно; 50-75% – відтворюється значна частина розглянутої теми, проте присутні неточності та/або невідповідності; 25-50% – виявлено множинні неточності та невідповідності, пояснення відсутні чи частково помилкові; 0-25% – тему майже не розкрито, кількість викладеного матеріалу не відповідає загальним нормам обраного виду роботи.</p> <p>Критерії оцінювання результатів неформальної освіти: Нарахування балів відбувається за публікацію студентом тез доповідей на конференціях, наукових статей, за участь студента у діяльності наукових гуртків, семінарів, круглих столів, конкурсів, участь у заходах неформальної освіти, за отримання сертифікатів про проходження навчання на різних освітніх платформах (Coursera, Prometheus тощо), курсах провідних ІТ компаній за тематикою навчальної дисципліни. Кількість балів визначається відсотком покриття результатів відповідної активності до вимог результатів навчання з навчальної дисципліни.</p>
<p>Питання до заліку чи екзамену</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Теорії розмірностей та подібності в біомеханіці. 2. Основні відмінності між задачами механіки для живих і неживих систем. 3. Деформація та еластичність біологічних тканин. 4. Пружні властивості біологічних тканин. 5. Біомеханічна система опорно-рухового апарату. 6. Важіль за яким відбуваються рухи голови і хребта. 7. Важіль за яким відбуваються рухи стопи і передпліччя. 8. «Ріст» і «перебудова» живої тканини. 9. Розрахунок напружень, які виникають в Ахіловому сухожиллі під час стрибка. 10. Деформації хребта: сколіоз, кіфоз і лордоз. 11. Відмінність теорії ростової деформації Хсю від теорії пружності. 12. Роль залишкових напружень в розвитку і функціонуванні живих систем, зокрема людини. 13. Суть сформульованих Вольфом законів перебудови кісток. 14. Приклади застосування законів Вольфа під час розв'язування задач. 15. Пошкоджуваність живої тканини. 16. Причини пошкоджуваності живої тканини. 17. Перебудова поверхні діяфіза кістки, зумовленого зменшенням навантаження кручення. 18. Деформування та міцність біоматеріалів. 19. Модель трансплантанта сегмента артерії. 20. Гіпотеза єдиної кривої. 21. Мікроскопічний, мезоскопічний і макроскопічний метод дослідження. 22. Пам'ять форми. 23. Мартенситний перехід. 24. Розв'язок задачі 1 про деформування матеріалу з пам'яттю форми. 25. Розв'язок задачі 2 про деформування матеріалу з пам'яттю форму.
<p>Опитування</p>	<p>Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенні курсу.</p>

Схема курсу

Тиж.	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності (заняття, лекція, самостійна, групова робота)	Література, ресурси в Інтернеті	Завдання, год	Термін виконання
1	Тема 1. Предмет, об'єкт дослідження, методи і завдання біомеханіки. Історія біомеханіки. Теорія розмірностей та подібності в біомеханіці.	лекція	[6, 7, 10, 11, 17]	1	1 тиждень
	Тема 1. Предмет, об'єкт дослідження, методи і завдання біомеханіки. Історія біомеханіки. Теорія розмірностей та подібності в біомеханіці.	лекція	[6, 7, 10, 11, 17]	1	1 тиждень
	Тема 1. Критерії подібності. Методи теорії розмірностей.	лабораторна	[8]	1	1 тиждень
2	Тема 2. Деформаційні та пружні властивості біологічних тканин.	лекція	[13, 15-17]	2	1 тиждень
	Тема 2. Визначення деформаційних характеристик біологічних тканин	лабораторна	[8, 13]	1	1 тиждень
3	Тема 3. Біомеханічна система, як модель живого рухового механізму. Механіка м'язового скорочення.	лекція	[1, 2]	2	1 тиждень
	Тема 3. Біомеханічна система, як модель живого рухового механізму. Механіка м'язового скорочення.	лекція	[1, 2]	2	1 тиждень
	Тема 3. Механіка м'язового скорочення.	лабораторна	[6]	1	1 тиждень
4	Тема 4. Елементи біологічної термодинаміки. Біомеханічні аспекти будови і функцій клітини.	лекція	[9, 10]	2	1 тиждень
	Тема 4. Біомеханічні аспекти будови і функцій клітини.	лабораторна	[9, 10]	1	1 тиждень
5	Тема 5. Приклади розв'язування задач біомеханіки.	лекція	[5]	2	1 тиждень
	Тема 6. Ріст і перебудова органів і тканин. Постановка початкової-крайової задачі визначення деформацій росту в пружній системі. Визначальні співвідношення для ізотропного тіла з ростом.	лекція	[5]	2	1 тиждень
	Тема 6. Ріст і перебудова органів і тканин.	лабораторна	[5]	1	1 тиждень
6	Тема 7. Модель розвитку сколіозу.	лекція	[5]	2	1 тиждень
	Тема 7. Модель розвитку сколіозу.	лабораторна	[5]	1	1 тиждень
7	Тема 8. Розрахунок деформацій росту.	лекція	[5]	2	1 тиждень
	Тема 9. Закон Вольфа про перебудову	лекція	[5]	2	1 тиждень

	тканин кісткі.				
	Модульний контроль № 1	лабораторна		-	-
8	Тема 10. Залишкові напруження і перебудова.	лекція	[11]	2	1 тиждень
	Тема 10. Залишкові напруження і перебудова.	лабораторна	[5]	1	1 тиждень
9	Тема 11. Пошкоджуваність та перебудова кістки. Накопичення пошкоджуваності. Визначення пошкоджуваності.	лекція	[2, 7]	2	1 тиждень
	Тема 12. Перебудова поверхні діафіза кістки, зумовленого зменшенням навантаження кручення.	лекція	[2, 7]	2	1 тиждень
	Тема 11. Визначення пошкоджуваності.	лабораторна	[2]	1	1 тиждень
10	Тема 13. Деформування та міцність біоматеріалів.	лекція	[2]	2	1 тиждень
	Тема 13. Деформування та міцність біоматеріалів.	лабораторна	[2]	1	1 тиждень
11	Тема 14. Просторовий напружено-деформований стан при повзкості живих тканин і біоматеріалів.	лекція	[14]	2	1 тиждень
	Тема 15. Визначальні співвідношення для живих тканин і біоматеріалів. Визначення модуля Юнга трабекулярної кістки.	лекція	[12]	2	1 тиждень
	Тема 15. Визначальні співвідношення для живих тканин і біоматеріалів.	лабораторна	[5]	1	1 тиждень
12	Тема 15. Визначальні співвідношення для живих тканин і біоматеріалів. Визначення модуля Юнга трабекулярної кістки.	лекція	[5]	2	1 тиждень
	Тема 15. Визначення модуля Юнга трабекулярної кістки.	лабораторна	[5]	1	1 тиждень
13	Тема 16. Біоматеріали з ефектом пам'яті форми. Розв'язки задач, що описують деформування матеріалів з пам'яттю форми.	лекція	[5]	2	1 тиждень
	Тема 16. Біоматеріали з ефектом пам'яті форми. Розв'язки задач, що описують деформування матеріалів з пам'яттю форми.	лекція	[14]	2	1 тиждень
	Тема 16. Розв'язок задачі 1 про деформування матеріалу з пам'яттю форми.	лабораторна	[14]	1	1 тиждень
14	Модульний контроль № 2	лекція		-	-
	Тема 16. Розв'язок задачі 2 про деформування матеріалу з пам'яттю форму.	лабораторна	[14]		

Матеріали для самостійного опрацювання					
2	Тема 17. Реологічні моделі. Механіка біологічних суцільних середовищ.	самостійне опрацювання	[9]	6	2 тижні
4	Тема 18. Класифікація моделей неньютонівських біологічних рідин. Основи реології крові	самостійне опрацювання	[3, 4]	6	2 тижні
6	Тема 19. Моделі розгалужених транспортних русел.	самостійне опрацювання	[10]	8	3 тижні
9	Тема 20. Біомеханіка спорту	самостійне опрацювання	[6]	10	4 тижні