Вінницький національний технічний університет
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
Кафедра біомедичної інженерії

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Перший проректор з науково-педагогічної роботи по організації навчального процесу та його науково-методичного забезпечення

_____ Василевський О. М.

"09" _____ 2020 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

1.22 Біомедична механіка
(шифр і назва навчальної дисципліни)

підготовки бакалавра
(назва рівня вищої освіти)
галузь знань 16 – Хімічна та біоінженерія
(шифр і найменування галузі знань)
спеціальність 163 – Біомедична інженерія
(код і найменування спеціальності)
освітня програма Біомедична інженерія

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Розроблено в рамках проекту "Erasmus+ (CBHE) BioArt "Інноваційна мультидисциплінарна освітня програма зі штучних імплантів для біоінженерії для бакалаврів та магістрів"

Developed in the frame of project "Erasmus+ (CBHE) BioArt "Innovative Multidisciplinary Curriculum in Artificial Implants for Bio-Engineering BSc / MSc Degrees" (586114-EPP- 1-2017- 1-ES- EPPKA2-CBHE- JP).

Вінниця – 2020 рік

Робоча програма навчальної дисципліни «Біомедична механіка»
для здобувачів освітнього ступеня бакалавра
галузі знань 16 – Хімічна та біоінженерія
спеціальності 163 – Біомедична інженерія
освітня програма Біомедична інженерія, 2020. – 15 с.

Розробник:
Штофель Дмитро Хуанович, доцент кафедри БМІ, канд. техн. наук, доцент

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри біомедичної інженерії

Протокол від «9» 06 2020 року № 19

Завідувач кафедри _____ доц. Коваль Л. Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Схвалено Методичною комісією ФІРЕН

Протокол від «10» 06 2020 року № 10

Голова Методичної комісії ФІРЕН_ _____ проф. Кичак В. М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Схвалено Методичною радою ВНТУ

Протокол від «17» 09 2020 року № 1

Голова _____ проф. Васілевський О. М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

© Д. Х. Штофель, 2020 рік.
© ВНТУ, 2020 рік

1. Опис навчальної дисципліни

<table>
<tr><td rowspan="2">Найменування показників</td><td rowspan="2">Галузь знань, спеціальність, освітньо-кваліфікаційний рівень</td><td colspan="2">Характеристика навчальної дисципліни</td></tr>
<tr><td>денна форма навчання</td><td>заочна форма навчання</td></tr>
<tr><td>Кількість кредитів – 5</td><td>Галузь знань
16 – Хімічна та біоінженерія
(шифр і найменування)</td><td colspan="2">Обов’язкова
Професійна</td></tr>
<tr><td>Модулів – 2</td><td rowspan="6">спеціальність 163 – Біомедична інженерія
освітня програма Біомедична інженерія</td><td colspan="2">Рік підготовки:</td></tr>
<tr><td>Змістових модулів – 2</td><td>3б</td><td>3б</td></tr>
<tr><td>Індивідуальне науково-дослідне завдання (реферати, розрахункові, графічні, розрахунково-графічні роботи, контрольні роботи, що виконуються під час СРС (домашні контрольні роботи), курсові роботи, дипломні проекти (роботи) та ін. визначаються робочим навчальним планом чи рішенням кафедри) – 45 год.</td><td colspan="2">Семестр</td></tr>
<tr><td>Загальна кількість годин – 150</td><td>5-й</td><td>6-й</td></tr>
<tr><td rowspan="10">Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 4
самостійної та індивідуальної роботи студента – 4,33</td><td rowspan="10">Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)</td><td colspan="2">Лекції</td></tr>
<tr><td>36 год.</td><td>10 год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Практичні, семінарські</td></tr>
<tr><td>9 год.</td><td>4 год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Лабораторні</td></tr>
<tr><td>27 год.</td><td>6 год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Курсова робота</td></tr>
<tr><td>45 год.</td><td>45 год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Самостійна робота</td></tr>
<tr><td>33 год.</td><td>85 год.</td></tr>
<tr><td>Вид контролю: іспит</td><td>Вид контролю: іспит</td></tr>
</table>

Примітка.
Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить:
для денної форми навчання – 36 % / 64 %,
для денної форми навчання – 13,3 % / 16,7 %

Мова навчання – українська.

2. Передумови для вивчення дисципліни

Дисципліна «Біомедична механіка» базується на знаннях, отриманих студентами при вивченні дисциплін «Фізика», «Анатомія та фізіологія людини», «Вища математика», «Біофізика». Ця дисципліна є передумовою і передує проходженню виробничої практики та підготовці бакалаврської дипломної роботи.

3. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета вивчення дисципліни. Вивчення студентами фізико-механічних закономірностей будови та функціонування тіла людини в статичному та динамічному режимі, дослідження взаємодії природних та штучних механічних систем з метою реабілітації та підвищення якості життя людей.

Програмні результати навчання

В результаті опанування дисципліни здобувачі освіти набувають знань та умінь, які формують такі результати навчання (згідно з вимогами освітньо-професійної програми):

ПРН 1. Застосовувати знання основ математики, фізики та біофізики, біоінженерії, хімії, інженерної графіки, механіки, опору та міцності матеріалів, властивості газів і рідин, електроніки, інформатики, отримання та аналізу сигналів і зображень, автоматичного управління, системного аналізу та методів прийняття рішень на рівні, необхідному для вирішення задач біомедичної інженерії.

ПРН 2. Формулювати логічні висновки та обґрунтовані рекомендації щодо оцінки, експлуатації та впровадженні біотехнічних, медико-технічних та біоінженерних засобів і методів.

ПРН 5. Вміти використовувати бази даних, математичне і програмне забезпечення для обробки даних та комп’ютерного моделювання біотехнічних систем.

ПРН 6. Вміти спілкуватися з професіоналами в області охорони здоров’я державною та іноземною (англійською або однією з інших офіційних мов ЄС) мовами та розуміти їхні вимоги до біомедичних продуктів і послуг.

ПРН 9. Розуміти теоретичні та практичні підходи до створення та застосування штучних біологічних і біотехнічних об’єктів та матеріалів медичного призначення.

ПРН 10. Вміти планувати, організовувати, направляти і контролювати медико- технічні та біоінженерні системи і процеси.

ПРН 11. Здійснювати контроль якості та умов експлуатації медичної

техніки та матеріалів медичного призначення, штучних органів та протезів.

ПРН 13. Вміти аналізувати сигнали, які передаються від органів на прилади, та проводити обробку діагностичної інформації.

ПРН 16. Вміти вибирати та рекомендувати відповідне медичне обладнання і біоматеріали для оснащення медичних закладів та забезпечення основних стадій технологічного процесу діагностики, профілактики та лікування.

ПРН 17. Вміти використовувати системи автоматизованого проектування для розробки технологічної та апаратної схеми медичних приладів та систем.

ПРН 20. Проектувати, вибирати матеріал та розробляти технологію виготовлення біомедичних імплантів.

Компетентності, формування яких забезпечує вивчення дисципліни.

ЗК1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК3. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.

ЗК4. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.

ЗК9. Здатність спілкуватися з представниками інших професійних груп різного рівня (з експертами з інших галузей знань/видів економічної діяльності).

ЗК11. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.

ЗК12. Здатність реалізувати свої права і обов’язки як члена суспільства, усвідомлювати цінності громадянського (вільного демократичного) суспільства та необхідність його сталого розвитку, верховенства права, прав і свобод людини і громадянина України.

ЗК13. Здатність зберігати та примножувати моральні, культурні, наукові цінності і досягнення суспільства на основі розуміння історії та закономірностей розвитку предметної області, її місця у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій, використовувати різні види рухової активності для активного відпочинку та ведення здорового способу життя.

ЗК14. Здатність дотримуватись принципів академічної доброчесності під час навчання та в подальшій професійній діяльності.

СК1. Здатність застосовувати пакети інженерного програмного забезпечення для проведення досліджень, аналізу, обробки та представлення результатів, а також для автоматизованого проектування медичних приладів та систем.

СК3. Здатність вивчати та застосовувати нові методи та інструменти аналізу, моделювання, проектування та оптимізації медичних приладів і систем.

СК4. Здатність забезпечувати технічні та функціональні характеристики систем і засобів, що використовуються в медицині та біології (при профілактиці, діагностиці, лікуванні та реабілітації).

СК5. Здатність застосовувати фізичні, хімічні, біологічні та математичні методи в аналізі, моделюванні функціонування живих організмів та біотехнічних систем.

СК6. Здатність ефективно використовувати інструменти та методи для аналізу, проектування, розрахунку та випробувань при розробці біомедичних продуктів і послуг.

СК8. Здатність проводити дослідження та спостереження щодо взаємодії біологічних, природних та штучних систем (протези, штучні органи та ін.).

СК9. Здатність ідентифікувати, формулювати і вирішувати інженерні проблеми, пов'язані з взаємодією між живими і неживими системами.

СК12. Здатність проектувати і визначати умови застосування біомедичних імплантів.

Поточний контроль знань здійснюється у формі фронтального, індивідуального чи комбінованого контролю знань студентів під час виконання і захисту лабораторних, практичних робіт, інших видів самостійної роботи; підсумковий контроль – тестування, колоквіум, опитування, іспит.

На самостійну роботу виноситься вивчення окремих питань курсу та опрацювання проблемних завдань, написання есеїв, розробка презентацій та виголошення доповідей, підготовка до лабораторних робіт і практичних занять, колоквіумів, тестування, іспиту, виконання окремих індивідуальних науково-дослідних робіт.

4. Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Основи біомеханіки.

Тема 1. Механічні властивості біологічних матеріалів.

Історія розвитку біомеханіки. Механічні властивості м'яких, твердих та рідких біоматеріалів та тканин. Деформація біотканин. В'язко-пружні властивості біоматеріалів. Біореологія. В'язкість крові. Основи біостатики. Дослідження матеріалів на стискання, розтягування, згинання, зсув, кручення. Температурні напруження (кріалогічний фактор). Міцність матеріалу. Геометричні характеристики стрижня. Напружений і деформований стан. Опір матеріалу. Стійкість рівноваги системи, що деформується. Топографія тіла людини. Біомеханічні властивості кісток. Механічні коливання.

Тема 2. Біомеханіка м’язового скорочення.

Будова м’язів та м’язових білків. Модель м’язових ниток. Біофізика м’яза. Механохімічна система м’язового волокна. Потужність скорочення м’яза. Рівняння Хіла. Сила м’яза. Дослідження м’язів у різних режимах. Моделювання м’язового скорочення. Електрохімічна та електромеханічна взаємодія в м’язі.

Тема 3. Біомеханіка кровообігу.

Механіка серцевих скорочень. Рух крові по судинах; пульсова хвиля; кров’яний тиск. Ламінарний потік. Моделювання серцево-судинної системи: історія розвитку та сучасний стан. Модель Франка. Гідродинамічний опір судинної системи, деформація судин, швидкість кровотоку. Моделювання динаміки потоку (CFD). Неоднорідності кровоносного русла. Явище турбулентності та зміни профілю швидкості крові. Теплова модель людини і тепловий баланс. Гіпертермія та гіпотермія.

Тема 4. Біомеханіка дихання.

Дифузія газів і процес дихання. Легенева вентиляція, фази дихального циклу. Механічні властивості легень. Легеневі об’єми і ємності. Механіка вентиляції легень; робота дихання, рух повітря. Порушення і методи дослідження механіки дихання. Контактна і дистанційна спірометрія.

Тема 5. Механічні впливи на організм людини.

Сили, що діють на людину в просторі. Вплив вібрацій, прискорень та ударних навантажень на організм людини. Фізіологічні механізми захисту від механічних пошкоджень. Класифікація і характеристики вібраційних навантажень. Терапевтичний вплив вібрацій. Тискові навантаження та їх вплив на внутрішнє середовище організму. Звукові впливи на організм людини. Характеристики звуку. Механічні властивості слухового аналізатора. Біофізика та біомеханіка зору. Механічна модель тіла людини. Вплив інфразвуку та ультразвуку. Перебування людини у стані невагомості. Космічна медицина.

Змістовий модуль 2. Комп’ютерне моделювання багатотільних систем.

Тема 6. Біомеханіка опорно-рухового апарату.

Декомпозиція тіла людини. Кінематичні ланцюги. З’єднання кісток та м’язів. Біомеханічна класифікація рухового апарату людини. Біомеханічні характеристики руху. Площини. Закономірності антропометричної будови тіла людини. Аксіоми статики. Теорема трьох сил. Момент сили. Пара сил. Системи сил. Сили тертя та їх температурна залежність. Рівновага тіл. Центр мас тіла. Теоретична кінематика. Рух точки. Поздовжній і обертальний рух тіла. Плоско-паралельний рух. Складний рух точки. Інструменти для моделювання статичних навантажень.

Тема 7. Динамічне моделювання багатотільних систем.

Динаміка поведінки взаємозв’язаних тіл. Сили реакції між тілами. Формалізми Лагранжа. Методи теорії багатотільних систем. Деталі та типи з’єднань. Прості механізми. Передача руху в механізмах. Поняття ступеня свободи. Розрахунок ступенів свободи. Рівняння руху. Диференційні рівняння руху точки. Теорема про рух центра мас системи. Закон збереження руху центру мас. Теорема про зміни кількості руху системи. Закон збереження кількості руху системи. Головний момент кількості руху системи. Теорема про зміну кінетичної енергії системи. Закон збереження механічної енергії. Принцип Даламбера. Принцип можливих переміщень. Координати системи. Загальне рівняння динаміки. Рівняння Лагранжа другого роду. Принцип Гамільтона-Остроградського. Удар. Зміна кінетичного моменту при ударі. Динаміка опорно-рухового апарату та інструменти для її моделювання.

Тема 8. Застосування біомеханіки в медицині та спорті.

Структура рухів людини і керування ними. Теорія рухової активності Бернштейна. Керування локальними рухами. Рухи на місці. Рух навколо осі. Переміщувальні рухи. Біомеханічний аналіз. Декомпозиція рухів. Контроль технічної підготовленості професійних рухів. Біомеханіка в спорті. Техніка виконання вправ. Спортивне оснащення і тренажери. Біомеханіка в медицині. Хода, її класифікація та аналіз. Реабілітація при рухових патологіях. Протезування. Методи і засоби реєстрація рухів людини. Моделювання рухів в медицині, спорті та цифровій індустрії. Застосування біомеханіки в інших професійних сферах (крім спорту і медицини).

5. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	денна форма						Заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л.	п.	лаб.	інд.	с.р.		л.	п.	лаб.	інд.	с.р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Змістовий модуль 1. Основи біомеханіки												
Тема 1. Механічні властивості біологічних матеріалів.	12	4	1	3	-	4	10	1		1		8
Тема 2. Біомеханіка м'язового скорочення.	12	3	1	3	-	5	10	1	1			8
Тема 3. Біомеханіка кровообігу.	12	4	1	3	-	4	10	1	1			8
Тема 4. Біомеханіка дихання.	12	3	1	3	-	5	9	1		1		7
Тема 5. Механічні впливи на організм людини.	12	4	1	3	-	4	10	1		1		8
Разом за змістовим модулем 1	60	18	5	15	-	22	49	5	2	3		39
Змістовий модуль 2. Комп'ютерне моделювання багатотільних систем												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Тема 6. Біомеханіка опорно-рухового апарату.	12	6	1	3	-	2	14	1		1		12
Тема 7. Динамічне моделювання багатотільних моделей.	18	6	1	6	-	5	18	2	1	1		14
Тема 8. Застосування біомеханіки в медицині та спорті.	15	6	2	3	-	4	16	2	1	1		12
Разом за змістовим модулем 2	45	18	4	12	-	11	48	5	2	3		38
Курсова робота	45				45		45				45	
Контрольна робота для студентів заочної форми навчання					-		8				8	
Усього годин	**150**	36	9	27	45	33	**150**	10	4	6	53	77

6. Теми семінарських занять – *навчальним планом не передбачені*

7. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Розрахунок міцності конструкції.	1
2	Розрахунок силових параметрів м’яза.	1
3	Розрахунок гідро-динамічних параметрів крові.	1
4	Розрахунок легеневих об’ємів та ємностей.	1
5	Створення динамічної моделі засобами MatLab.	1
6	Розрахунок моменту сили та максимального статичного навантаження.	1
7	Побудова біомеханічної моделі тіла людини в ANSYS Motion.	1
8	Біомеханічний аналіз рухів людини.	2
	Разом	9

8. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Дослідження механічних властивостей кісткової тканини.	3
2	Дослідження механічних властивостей м’язів.	3
3	Дослідження фізичної та математичної моделі системи кровообігу.	3
4	Дослідження процесу дихання методом спірографії та міографії.	3
5	Дослідження впливу вібрацій на біологічний об’єкт.	3
6	Визначення центру мас тіла людини.	3
7	Динамічне моделювання в MatLab, Simscape Multibody, Simulink.	3
8	Динамічне моделювання засобами LS-DYNA software.	3
9	Дослідження прямостояння і ходи людини.	3
	Разом	27

9. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	2	3
1	Топографія тіла людини. Біомеханічні властивості кісток. Механічні коливання.	4
2	Моделювання м’язового скорочення. Електрохімічна та електромеханічна взаємодія в м’язі.	5
3	Явище турбулентності та зміни профілю швидкості крові. Теплова модель людини і тепловий баланс. Гіпертермія та гіпотермія.	4
4	Механіка вентиляції легень; робота дихання. Порушення і методи дослідження механіки дихання. Дистанційна спірометрія.	5

1	2	3
5	Звукові впливи на організм людини. Характеристики звуку. Механічні властивості слухового аналізатора. Біофізика та біомеханіка зору. Механічна модель тіла людини. Вплив інфразвуку та ультразвуку. Перебування людини у стані невагомості. Космічна медицина.	4
6	Особливості рухового апарату верхніх та нижніх кінцівок. Біомеханіка хрящів та суглобів. Плоско-паралельний рух. Інструменти для моделювання статичних навантажень.	2
7	Диференційні рівняння руху точки. Рівняння Лагранжа другого роду. Принцип Гамільтона-Остроградського. Удар. Зміна кінетичного моменту при ударі. Динаміка опорно-рухового апарату та інструменти для її моделювання.	5
8	Спортивна техніка. Спортивне оснащення і тренажери. Біомеханіка в медицині. Реабілітація при рухових патологіях. Застосування біомеханіки в інших професійних сферах (крім спорту і медицини).	4
	Усього	51

10. Індивідуальні завдання

Під час вивчення дисципліни студенти розв’язують задачі, готують доповіді, презентації, есеї, виконують індивідуальні домашні завдання. Крім того, за рішенням кафедри та за узгодженням з науковим керівником студенти готують доповіді на щорічну науково-технічну конференцію ВНТУ.

Згідно з навчальним планом за індивідуальними завданнями студентами виконується курсова робота, яка присвячена питанням біомеханічного аналізу рухів людини. Курсова робота присвячена теоретичному опрацюванню відповідної теми за індивідуальним завданням, яке присвячене біомеханічному аналізу певного руху людини та розрахунку відповідного протезу суглоба. Зразки тем для теоретичного опрацювання: стрибок в довжину; стрибок з жердиною; стрільба з луку; спринтерський біг. Практична частина курсової роботи містить розроблення моделі обраного суглоба та проектування його протеза. Ілюстративна частина роботи включає результати моделювання руху, модель протезу, а також може включати схеми, зображення, діаграми, гістограми, узагальнюючі таблиці та графіки, які ілюструють тему роботи. Теми курсових робіт затверджуються на засіданні кафедри БМІ.

На виконання курсової роботи відводиться 45 годин, 1,5 кредити ECTS.

11. Методи навчання

Лекція, проблемна лекція, фасилітація, тренінг, демонстрація, зокрема, з використанням мультимедійних засобів навчання, практичні заняття, лабораторні роботи (під час їх проведення використовується відповідне комп’ютерне і лабораторне устаткування, розташоване в аудиторіях кафедри, презентації,

електронні матеріали та програмні засоби), консультації, підготовка статей і доповідей науково-дослідного характеру.

12. Засоби діагностування результатів навчання

Поточний контроль здійснюється у формі фронтального, індивідуального чи комбінованого контролю знань студентів під час виконання і захисту практичних і лабораторних робіт та індивідуальних завдань; підсумковий контроль – тестування, колоквіум, опитування, іспит.

13. Розподіл балів, які отримують студенти

Таблиця 13.1 – Вид контролю – іспит

<table>
<tr><td colspan="8">Поточне тестування та самостійна робота</td><td>Підсумковий тест (іспит)</td><td>Сума</td></tr>
<tr><td colspan="5">Модуль 1</td><td colspan="3">Модуль 2</td><td rowspan="4">25</td><td rowspan="4">100</td></tr>
<tr><td colspan="5">Змістовий модуль № 1</td><td colspan="3">Змістовий модуль № 2</td></tr>
<tr><td>Т1</td><td>Т2</td><td>Т3</td><td>Т4</td><td>Т5</td><td>Т6</td><td>Т7</td><td>Т8</td></tr>
<tr><td colspan="5">38</td><td colspan="3">37</td></tr>
</table>

Т1, Т2 ... Т8 – теми змістових модулів.

Таблиця 13.2 – Оцінювання знань, умінь та навичок студентів з окремих видів роботи та в цілому по модулях (в балах)

Вид робіт	Модуль	
	1	2
1. Виконання лабораторних робіт / 1 робота	15 / 3	12 / 3
2. Виконання практичних завдань / 1 завдання	10 / 2	9 / 3
2. Колоквіум	12 / 12	11 / 11
3. Виконання завдань з СРС	2	2
4. Активна робота на лекційних, лабораторних, практичних заняттях	1	1
Всього	40	35

Таблиця 13.3 – Розподіл балів за курсову роботу

Пояснювальна записка (оцінюються результати проектування та їх оформлення)	Ілюстративна частина	Захист роботи	Сума
50	10	40	100

Таблиця 13.4 – Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою (для екзамену, диференційованого заліку, курсового проекту (роботи), практики)
90 – 100	A	відмінно
82 – 89	B	добре
75 – 81	C	
64 – 74	D	задовільно
60 – 63	E	
35 – 59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання
0 – 34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням

14. Критерії оцінювання знань, умінь та навичок студентів

Рівень компетентності	**Національна шкала**	**Шкала ECTS**	**Критерії оцінювання**
IV Високий (творчий) «5»	відмінно	A	Виставляється, якщо при відповіді на питання виявлено всебічні, систематизовані, глибокі знання матеріалу, який виноситься на контроль, уміння вільно виконувати завдання, передбачені програмою, знання основної і додаткової літератури, передбаченої програмою на творчому рівні.
III Достатній (конструк-тивний) «4»	добре «4+»	B	Повні знання з питань і задач, що стоять перед студентом. Уміння викладати основні ідеї. Вміння професійно відстоювати свою точку зору. Припускаються несуттєві неточності у викладенні матеріалу та у відповідях.
	добре «4»	C	Достатньо повні знання з поставлених питань і задач. Вміння викладати основні ідеї. Здатність самостійно застосовувати вивчений матеріал на рівні стандартних ситуацій, наводити окремі власні приклади на підтвердження власних тверджень. Вміння доводити правильність своїх рішень. Несуттєві неточності у відповідях та деякі нераціональності при програмуванні задач.
II Середній (репро-дуктив-ний) «3»	задовільно «3+»	D	Студент може відтворити значну частину теоретичного матеріалу, виявляє знання та розуміння основних положень, з допомогою викладача може аналізувати матеріал, робити висновки та розробляти програмні блоки. Пояснення неповні, нелаконічні, не завжди точні. Відповіді на питання неповні, містять неточності, при вирішенні задач застосовуються не найраціональніші рішення.
	задовільно «3»	E	Задовільні знання програмного матеріалу на рівні вищому за початковий. Здатність за допомогою викладача логічно відтворювати значну частину матеріалу. При відповіді на запитання виникають труднощі у деяких положеннях, відповіді не повні, програми пишуться нераціонально, не використовуються всі ефективні засоби програмування.

I Низький «2»	«незадо-вільно з можливістю повторного складання»	FX	Теорією володіє на рівні фрагментів, викладає матеріал уривчасто. Утруднюється в обгрунтуванні рішень, на запитання викладача дає неправильні відповіді (40-60%), пояснення не до ладу. Самостійно, без допомоги викладача, не може сформувати алгоритм рішення задачі. Програми не раціональні та неефективні, при програмуванні використовуються лише прості конструкції.
	«незадо-вільно з обо-в'язковим повторним вивченням дисципліни»	F	Теорією володіє на рівні фрагментів, викладає матеріал уривчасто. Утруднюється в обгрунтуванні рішень, на запитання викладача дає неправильні відповіді (60-100%). Самостійно, без допомоги викладача, не може сформувати алгоритм рішення задачі.

15. Рекомендована література

Базова

1. Humphrey, J. Introduction to Biomechanics / Jayd Humphrey, Sherry L. Delange. – Springer-Verlag New York, 2016.
2. Richards, J. The Comprehensive Textbook of Biomechanics-E-Book: with access to e-learning course [formerly Biomechanics in Clinic and Research] / Jim Richards. – Elsevier Health Sciences, 2018.
3. De Jalon, J. G. Kinematic and dynamic simulation of multibody systems: the real-time challenge / Javier Garcia De Jalon, Eduardo Bayo. – Springer Science & Business Media, 2012.
4. Shabana, A. A. Dynamics of multibody systems / Ahmed A. Shabana. – Cambridge university press, 2013.
5. Костюк І. В. Введення в біомеханіку : навчальний посібник / І. В. Костюк. – Львів : Львівська політехніка, 2000. – 224 с.
6. Біофізика і біомеханіка : підручник / В. С. Антонюк, М. О. Бондаренко, В. А. Ващенко та ін. – К. : Політехніка, 2012. – 344 с.
7. Григор'єва Л. І. Основи біофізики і біомеханіки / Л. І. Григор'єва, Ю. А. Томілін. – Миколаїв : ЧДУ ім. Петра Могили, 2011. – 298 с.
8. Біомеханіка фізичного виховання і спорту : навч. посібник / М. О. Носко, О. В. Бріжатий, С. В. Гаркуша, І. А. Бріжата. – К. : Леся, 2012. – 287 с.
9. Дубровский В. И. Биомеханика : учеб. для сред, и высш. учеб. заведений / В. И. Дубровский, В. Н. Федорова. — М. : ВЛАДОС-ПРЕСС, 2003. — 672 с.

Допоміжна

1. Nordin, Margareta, and Victor Hirsch Frankel, eds. Basic biomechanics of the musculoskeletal system. Lippincott Williams & Wilkins, 2001.
2. Schiehlen, Werner, ed. Multibody systems handbook. Vol. 6. Berlin etc: Springer, 1990.
3. Roberson, Robert E., and Richard Schwertassek. Dynamics of multibody systems. Springer Science & Business Media, 2012.
4. Бегун П. И. Моделирование в биомеханике : учеб. пособие / П. И. Бегун, П. Н. Афонин. – М. : Высшая школа, 2004. – 390 с.

5. Бегун П. И. Биомеханика : учебник для вузов / П. И. Бегун, Ю. А. Шукейло. – СПб. : Политехника, 2000. – 463 с.

6. Бранков Г. Основы биомеханики / Георги Бранков ; пер. с болг. – М. : Мир, 1981. – 255 с.

7. Механика кровообращения / К. Каро, Т. Педли, Р. Шротер, У. Сид. – М. : Мир, 1981. – 624 с.

8. Huynh, K. T., Gibson, I., Jagdish, B. N., & Lu, W. F. (2015). Development and validation of a discretised multi-body spine model in LifeMOD for biodynamic behaviour simulation. Computer methods in biomechanics and biomedical engineering, 18(2), 175-184.

9. Huynh, K. T., Gibson, I., Jagdish, B. N., & Lu, W. F. (2015). Development and validation of a discretised multi-body spine model in LifeMOD for biodynamic behaviour simulation. Computer methods in biomechanics and biomedical engineering, 18(2), 175-184.

16. Інформаційні ресурси

1. Free Online Courses in Biomechanics / Class central. – Access mode : https://www.classcentral.com/tag/biomechanics

2. Григор'єва Л. І. Основи біофізики і біомеханіки : навчальний посібник [Електронний ресурс] / Л. І. Григор'єва, Ю. А. Томілін ; Чорноморський державний університет імені Петра Могили. – Миколаїв : ЧДУ ім. Петра Могили. – Режим доступу : http://lib.chdu.edu.ua/index.php?m=2&b=309

3. Кизилова Н. Н. Биомеханика : конспект лекций [Електронний ресурс] / Н. Н. Кизилова ; Харьковский технический университет радиоэлектроники. – Режим доступу : http://theormech.univer.kharkov.ua/ biocons0.html

4. Patient-specific mechanical properties of a flexible multi-body model of the scoliotic spine / Y. Petit, C. É. Aubin, H. Labelle // Medical & biological engineering & computing. – 2017. – 55(6). – P. 1039-1050. – Access mode : https://link.springer.com/article/10.1007/BF02351011

5. Virtual Lumbar Spine of Multi-body Model Based on Simbody / Gao, Z., Gibson, I., Ding, C., Wang, J., & Wang, J. // Procedia Technology. – 2015. – No. 20. – P. 26-31. – Access mode : https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212017315001838

This project has been funded with support from the European Commission. This publication / communication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsibility for any use which may be made of the information contained therein.