

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Факультет прикладної математики та інформатики
Кафедра теорії оптимальних процесів

Затверджено

на засіданні
кафедри теорії оптимальних процесів
факультету прикладної математики та
інформатики Львівського національного
університету імені Івана Франка
(протокол № 1 від 28 серпня 2024 р.)

Завідувач кафедри: проф. Шахно С.М.



Силабус з навчальної дисципліни
“Оптимізація складних систем”,
що викладається в межах ОПП “Системний аналіз”
другого (магістерського) рівня вищої освіти
для здобувачів зі спеціальності 124 – системний аналіз

Назва дисципліни	Оптимізація складних систем
Адреса викладання дисципліни	Головний корпус ЛНУ імені Івана Франка м. Львів, вул. Університетська 1
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	Факультет прикладної математики та інформатики, кафедра теорії оптимальних процесів
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	12 – інформаційні технології 124 – системний аналіз
Викладачі дисципліни	Демидюк Мирослав Васильович, д.т.н., професор кафедри теорії оптимальних процесів
Контактна інформація викладачів	myroslav.demydyuk@lnu.edu.ua, m_demydyuk@ukr.net Головний корпус ЛНУ ім. І. Франка, каб. 269.
Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються	Консультації в день проведення лекцій/практичних занять (за попередньою домовленістю).
Сторінка курсу	https://ami.lnu.edu.ua/course/optymizatsiia-skladnykh-system
Інформація про дисципліну	Дисципліна “Оптимізація складних систем” є дисципліною за вибором зі спеціальності “124 – системний аналіз” для освітньої програми “Системний аналіз”, яка викладається в 3-му семестрі в обсязі 4-ох кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Курс розроблено для ознайомлення студентів з основними принципами і методами аналізу, математичного моделювання та оптимізації складних систем, зокрема, систем мережевої структури, маніпуляційних систем та локомоційних систем антропоморфного типу. В курсі представлено метод параметричної оптимізації нелінійних механічних систем, який ґрунтується на параметризації узагальнених координат лінійною комбінацією заданих функцій (часу) з невідомими коефіцієнтами, що зводить вихідну задачу оптимального керування динамічною системою до задачі нелінійного програмування. Також наводяться результати числового моделювання субоптимальних режимів керування рухом дволанкової маніпуляційної системи, керування ходом двоногого робота антропоморфного типу, описано кінематичні та динамічні характеристики ходи людини як у “нормі”, так і з різними ортопедичними пристроями (ортез, екзоскелет).

<p>Мета та цілі дисципліни</p>	<p>Метою вивчення дисципліни “Оптимізація складних систем” є освоєння студентами методів математичного моделювання складних систем, зокрема, систем мережевої структури, маніпуляційних систем та локомоційних систем антропоморфного типу, алгоритмів параметричної оптимізації законів руху та конструктивних параметрів зазначених систем.</p> <p>Ціль дисципліни – вироблення у студентів таких навичок:</p> <ul style="list-style-type: none"> – аналіз систем мережевої структури; – математичне моделювання динаміки механічних систем (на прикладі дволанкової маніпуляційної системи, дев’ятиланкової механічної моделі двоногого крокуючого робота); – вибір критерія якості руху керованої механічної системи, аналіз та формалізація накладених кінематичних та динамічних обмежень; – формулювання задач оптимального керування рухом нелінійних механічних систем з врахуванням накладених обмежень; – побудова алгоритмів параметричної оптимізації законів руху дволанкової маніпуляційної системи, двоногого крокуючого робота; – аналіз результатів числового моделювання.
<p>Література для вивчення дисципліни</p>	<p>Основна література:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Демидюк М.В., Гошовська Н.В. Параметрична оптимізація руху дволанкового маніпулятора з використанням ортогональних поліномів // <i>Прикл. пробл. механіки і математики</i>. – 2016. – Вип. 14. – С. 168-175. 2. Demidyuk M.V., Hoshovs'ka N.V. Parametric optimization of the transport operations of a two-link manipulator // <i>J. of Mathematical Sciences</i>. – 2019. – 238, Is. 2. – P. 174-188. 3. Демидюк М.В., Демидюк В.М. Параметрична оптимізація кінематичної структури та руху дволанкового маніпулятора // <i>Вісн. Харків. нац. ун-ту імені В. Н. Каразіна. Серія: Математ. моделювання. Інформ. технології. Автомат. сис. управління</i>. – 2020. Вип. 48. – С. 36-48. 4. Демидюк М., Демидюк В. Алгоритмічно-програмна реалізація методу параметричної оптимізації в задачі оптимального керування дволанковим маніпулятором // <i>Інформаційні системи та технології: результати і перспективи (IST 2024): праці 1-ї Міжн. наук.-практ. конф., 6 березня 2024 р., Київ</i>. – Київ: ФІТ КНУТШ, 2024. – С.147-150 5. Демидюк М., Демидюк В. Використання методу Понтрягіна у задачі оптимального керування дволанковим маніпулятором // <i>Математика в сучасному технічному університеті: праці VIII Міжн. наук.-практ. конф., 26–27 грудня 2019 року, Київ</i>. – Вінниця: Видавець ФОП Кушнір Ю.В., 2020. – С.51–55. 6. Demidyuk M.V., Lytwyn V.A. Optimization of the parameters of feet and the laws of motion of bipedal walking robots // <i>J. of Mathematical Sciences</i>. – 2023. – 270, Is. 1. – P. 214-236. 7. Демидюк М.В., Литвин Б.А. Математичне моделювання та відновлення ходи людини з електромеханічним екзоскелетом // <i>Прикл. пробл. механіки і математики</i>. – 2019. – Вип. 17. – С. 147-159. 8. Demidyuk M. V., Lytwyn V.A. The Mathematical Modeling of the Human Gait with Ankle Hinged Orthosis // <i>J. of Automation and Information Sciences</i>. – 2015. – Vol. 47, Is. 4. – P. 64-77. 9. Поліщук О., Яджак М. Моделі та методи комплексного дослідження складних мережевих систем та міжсистемних взаємодій. – Львів: Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача

	<p>НАН України, 2023. – 385 с.</p> <p>10. Штанько П.К., Шевченко В.Г., Дзюба Л.Ф., Пасіка В.Р., Поляков О.М. Теоретична механіка: Навч. посібник. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2013. –376 с.</p> <p>11. Chernousko F.L., Bolotnik N.N., Gradetsky V.G. Manipulation Robots: Dynamics, Control, and Optimization. – CRC Press, 1993. – 288 p.</p> <p>Допоміжна література:</p> <p>12. Бартіш М.Я., Дудзяний І.М. Дослідження операцій. Частина 4. Нелінійне програмування. – Львів: Вид. центр ЛНУ імені Івана Франка. Підручник (гриф МОН)., 2011. – 208 с.</p> <p>13. Нефьодов Ю.М., Балицька Т.Ю. Методи оптимізації в прикладах і задачах: Навчальний посібник. – Київ: Кондор, 2011. – 324 с.</p> <p>14. Теоретична механіка: збірник задач /О.С.Апостолук, В.М.Воробйов, Д.І.Льчишина та ін. – К.: Техніка, 2007. – 400 с.</p> <p>15. Федорченко А.М. Теоретична механіка. – Київ: Вища школа, 1975. –516 с.</p>
<p>Обсяг курсу</p>	<p>Загальний обсяг курсу складає 120 год., з них: 16 год. практичних занять, 32 год. – лабораторні роботи, 72 год. – самостійна робота студента.</p>
<p>Очікувані результати навчання</p>	<p>Після завершення цього курсу студент буде знати:</p> <ul style="list-style-type: none"> – основні поняття теорії складних систем (на прикладах систем мережевого, маніпуляційних систем, локомоційних систем антропоморфного типу), їх особливості, призначення та типи керувань; – базові поняття механіко-математичного моделювання динаміки нелінійних механічних систем та їх використання в побудові рівнянь руху маніпуляційних та локомоційних систем; – типові постановки задач динаміки та оптимального керування маніпуляційними та локомоційними системами; – методику параметричної оптимізації в задачах оптимального керування нелінійними механічними системами; <p>вміти:</p> <ul style="list-style-type: none"> – аналізувати структуру та функціональні зв'язки систем мережевого типу; – математично змодельовати динаміку механічних систем (на прикладі дволанкової маніпуляційної системи, дев'ятиланкової моделі двоногого крокуючого робота); – вибирати критерій якості руху керованої механічної системи, проаналізувати накладені кінематичні та динамічні обмеження; – формулювати задачі оптимального керування рухом типових маніпуляційних та локомоційних систем; – будувати алгоритми параметричної оптимізації законів руху дволанкової маніпуляційної системи, двоногого крокуючого робота; – програмно реалізувати алгоритми параметричної оптимізації керованого руху дволанкової маніпуляційної системи; – обробляти та аналізувати результати числового моделювання динамічних характеристик субоптимального руху маніпуляційних нелінійних систем. <p>Набуті студентами знання та уміння дадуть їм можливість ефективно виконувати науковоємні завдання в області проектування та аналізу складних динамічних систем різноманітної природи.</p>

	<p>Курс забезпечує набуття таких компетентностей та програмних результатів навчання:</p> <p>а) загальні компетентності (ЗК) і спеціальні (фахові, предметні) компетентності (СК):</p> <p>ЗК1 – здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу; ЗК3 – здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел; ЗК4 – здатність спілкуватися з представниками інших професійних груп різного рівня (з експертами з інших галузей знань/видів економічної діяльності);</p> <p>СК1 – здатність інтегрувати знання та здійснювати системні дослідження, застосовувати методи математичного та інформаційного моделювання складних систем та процесів різної природи; СК8 – здатність розробляти і реалізовувати наукові та прикладні проекти в галузі інформаційних технологій та дотичні до неї міждисциплінарні проекти; СК10 – здатність до самоосвіти та професійного розвитку.</p> <p>б) результати навчання (РН):</p> <p>РН1 – спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки у сфері системного аналізу та інформаційних технологій і є основою для оригінального мислення та проведення досліджень. РН10 – зрозуміло і недвозначно доносити власні знання, висновки та аргументацію до фахівців і нефахівців, зокрема до осіб, які навчаються РН11 – вільно презентувати та обговорювати усно і письмово результати досліджень та інновацій, інші питання професійної діяльності державною та англійською мовами. РН12 – застосовувати, модифікувати і досліджувати чисельні методи для розв’язування прикладних нелінійних задач.</p>
Ключові слова	Нелінійна механічна система, система мережевого типу, математична модель, маніпуляційна система, двоногий крокуючий робот, пряма та обернена задача динаміки, задача оптимального керування, сукупна оптимізація параметрів та керувань, параметрична оптимізація, програмна реалізація алгоритму.
Формат курсу	Очний
Теми	Наведено нижче в таблиці Схеми курсу «Оптимізація складних систем».
Підсумковий контроль, форма	Залік у кінці семестру
Пререквізити	<p>Для вивчення курсу студенти потребують базових знань з:</p> <ul style="list-style-type: none"> – теорії диференціальних рівнянь, – теоретичної механіки, – методів оптимізації, – чисельних методів, <p>достатніх для сприйняття категоріального апарату методів математичного моделювання складних систем, керованого руху нелінійних механічних систем, алгоритмів оптимального керування та параметричної оптимізації маніпуляційних та локомотивних систем.</p>

Навчальні методи, які будуть використуватися	Практичні та лабораторні заняття, презентації, модульний контроль. Виконання індивідуальних завдань.																																					
Необхідне обладнання	Комп'ютер з операційною системою Microsoft Windows 7/10 та офісними пакетами MS Office 365, програмами перегляду pdf-файлів та файлів презентацій, програмне забезпечення доступу до мережі Internet. Для виконання індивідуальних завдань необхідне програмне забезпеченням (на вибір студента): MATLAB, Visual Studio Community 2022 (C#), JetBrains PyCharm (Python 3.12).																																					
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	<p>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</p> <table border="1" data-bbox="523 622 1442 1424"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Оцінка ЄКТС</th> <th rowspan="2">Оцінка в балах</th> <th colspan="3">Оцінка за національною шкалою</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Екзамен, диференційований залік</th> <th>Залік</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>90-100</td> <td>5</td> <td>відмінно</td> <td rowspan="4">зараховано</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>81-89</td> <td rowspan="2">4</td> <td>дуже добре</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>71-80</td> <td>добре</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>61-70</td> <td rowspan="2">3</td> <td>задовільно</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>51-60</td> <td>достатньо</td> </tr> <tr> <td>FX</td> <td>21-50</td> <td>2</td> <td>незадовільно</td> <td>не зараховано</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>0-20</td> <td>2</td> <td>незадовільно (без права перездачі)</td> <td>не зараховано (без права перездачі)</td> </tr> </tbody> </table> <p>Впродовж семестру студент може отримати 100 балів, з яких:</p> <ul style="list-style-type: none"> - за роботу на лабораторних заняттях: максимальна кількість – 50 балів, з яких 30 балів за три контрольні роботи (по 10 балів за кожну роботу) та 20 балів за виконання двох індивідуальних завдань: <ol style="list-style-type: none"> 1) завдання №1 (максимум 10 балів) – для заданої транспортної операції та заданих параметрів дволанкової маніпуляційної системи за допомогою комп'ютерної програми параметричної оптимізації побудувати субоптимальний динамічний процес; 2) завдання №2 (максимум 10 балів) – для заданої транспортної операції та заданих параметрів дволанкової маніпуляційної системи за допомогою комп'ютерної програми (за принципом максимуму Понтрягіна) побудувати оптимальний динамічний процес; <p>Для кожного індивідуального завдання встановлено терміни здачі. Роботи, які здаються із порушенням термінів без поважних причин, оцінюються на нижчу кількість балів (за кожний додатковий день на 1 бал менше).</p> <ul style="list-style-type: none"> - залік: максимальна кількість – 50 балів, письмова відповідь на п'ять питань 	Оцінка ЄКТС	Оцінка в балах	Оцінка за національною шкалою			Екзамен, диференційований залік		Залік	A	90-100	5	відмінно	зараховано	B	81-89	4	дуже добре	C	71-80	добре	D	61-70	3	задовільно	E	51-60	достатньо	FX	21-50	2	незадовільно	не зараховано	F	0-20	2	незадовільно (без права перездачі)	не зараховано (без права перездачі)
Оцінка ЄКТС	Оцінка в балах			Оцінка за національною шкалою																																		
		Екзамен, диференційований залік		Залік																																		
A	90-100	5	відмінно	зараховано																																		
B	81-89	4	дуже добре																																			
C	71-80		добре																																			
D	61-70	3	задовільно																																			
E	51-60		достатньо																																			
FX	21-50	2	незадовільно	не зараховано																																		
F	0-20	2	незадовільно (без права перездачі)	не зараховано (без права перездачі)																																		

по 10 балів кожне.

Критерії оцінювання індивідуальних завдань (10 балів):

кількість балів	критерії оцінювання
10 балів	студент повністю виконав умови завдання, правильно відповідає на всі запитання, пов'язані з тематикою завдання;
8-9 балів	студент повністю виконав умови завдання, на деякі запитання, пов'язані з тематикою завдання, відповідає з незначними неточностями;
6-7 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;
4-5 бали	студент виконав завдання частково, побудований динамічний процес коментує з певними неточностями, на запитання відповідає з помилками;
2-3 бали	студент виконав завдання частково, побудований динамічний процес описує з помилками, переважно не відповідає на запитання;
1 бал	студент виконав завдання частково з грубими помилками, які самостійно не може виправити, демонструє незнання матеріалу;
0 балів	студент не виконав завдання.

Критерії оцінювання питань контрольної роботи (5 питань):

2 бали: питання розкрито повністю, відповідь правильна;

1 бал: питання розкрито частково, відповідь в цілому правильна, але з незначними неточностями;

0 балів: відповідь неправильна.

Критерії оцінювання питань колоквиуму (всього 5 питань):

10 балів: відповідь правильна;

8-9 балів: відповідь в цілому правильна, але містить окремі незначні неточності;

6-7 балів: відповідь частково правильна, містить певні неточності;

4-5 балів: відповідь містить окремі помилки принципового характеру;

2-3 бали: відповідь містить значні помилки;

0 балів: студент не відповів на питання.

Відвідування занять: очікується, що всі студенти відвідають усі практичні та лабораторні заняття. У разі, коли студент не може бути (з поважних причин) присутнім на занятті, він повинен повідомити викладача.

Академічна доброчесність: відсутність посилань на використані джерела та списування є проявами академічної недоброчесності. Ознаки академічної недоброчесності в письмовій роботі студента є підставою для її не зарахування. Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.

Література: уся література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надана викладачем виключно в освітніх цілях без права її передачі третім особам. Водночас студенти заохочуються також до використання й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.

<p>Питання до колоквіуму</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Системи мережевого типу, їх структура та основні визначення. 2. Локальні характеристики елементів мережевих систем. 3. Глобальні характеристики мережевих систем. 4. Потоки в мережевих системах. 5. Зважені характеристики мережевих систем. 6. Комплексне оцінювання складних мережевих систем. 7. Система твердих тіл: основні поняття та визначення. 8. Головний вектор та головний момент сил. 9. В'язі, реакції типових в'язей. 10. Умови статичної рівноваги твердого тіла. 11. Кінематика матеріальної точки. 12. Кінематика твердого тіла, види руху твердого тіла. 13. Динаміка матеріальної точки, пряма та обернена задачі динаміки. 14. Рівняння руху системи матеріальних точок. 15. Кінетична та потенціальна енергії. 16. Рівняння Лагранжа (другого роду) для моделювання руху механічної системи. 17. Основні поняття та визначення теорії маніпуляційних систем. 18. Узагальнені координати, транспортна операція маніпуляційної системи. 19. Критерії якості руху маніпуляційних систем. 20. Типові задачі оптимізації маніпуляційних систем. 21. Загальна постановка задачі оптимізації маніпуляційних систем. 22. Алгоритм параметричної оптимізації маніпуляційних систем. 23. Параметрична оптимізація руху дволанкової маніпуляційної системи. 24. Оптимальне керування дволанковим маніпулятором на основі принципу максимуму Понтрягіна. 25. Механіко-математична модель ходи двоногого робота антропоморфного типу. 26. Параметрична оптимізація ходи двоногого робота. 27. Сукупна оптимізація ходи двоногого робота та розмірів нижніх кінцівок. 28. Моделювання ходи людини як задача оптимального керування. 29. Моделювання ходи людини з гомілковостопним шарнірним ортезом. 30. Моделювання ходи людини з екзоскелетом нижніх кінцівок.
<p>Опитування</p>	<p>Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.</p>

Схема курсу «Оптимізація складних систем»

Тиж-день	Тема, план, короткі тези	Форма заняття	Література, ресурси в Інтернеті	Завдання, години	Термін виконання
1	<p>Вступ.</p> <p>Складні системи та їх моделі: основні поняття, складність моделей систем.</p>	практичне (2 год.)	[9]	Опрацювання лекц. матеріалу (3 год.)	1 день
	Модуль “Системи мережевого типу”.				

	1. Мережеві системи: основні поняття, означення та структура; приклади типових мережевих систем.	практичне (2 год.)	[9]	Опрацювання лекц. матеріалу (3 год.)	1 день
	2. Локальні та глобальні характеристики елементів мережевих систем.	лаб. робота (2 год.)	[9]	Опрацювання матеріалу лаб. роботи (3 год.)	1 день
2	3. Функціональні характеристики мережевих систем, потоки та зважені характеристики, приклади мережевих систем.	лаб. робота (2 год.)	[9]	Опрацювання матеріалу лаб. роботи (3 год.)	1 день
	4. Комплексне оцінювання мережевих систем.	лаб. робота (2 год.)	[9]	Опрацювання матеріалу лаб. роботи (3 год.)	1 день
	5. <i>Контрольна робота №1</i>	лаб. робота (2 год.)			під час заняття
3	Модуль “Основи моделювання динаміки механічних систем”				
	6. Система матеріальних точок, система твердих тіл; головний вектор та головний момент сил; в’язі та їх реакції; статична рівновага системи твердих тіл.	лаб. робота (2 год.)	[10, 14, 15]	Опрацювання матеріалу лаб. роботи (3 год.)	1 день
	7. Розв’язування задач: а) визначення головного вектора та головного моменту сил; б) статична рівновага системи твердих тіл.	лаб. робота (2 год.)	[10, 14, 15]	Розв’язування заданих задач (5 год.)	2 дня
	8. Кінематика твердого тіла; рівняння руху системи матеріальних точок, пряма та обернена задачі динаміки; розв’язування задач на кінематику твердого тіла.	лаб. робота (2 год.)	[10, 14, 15]	Розв’язування заданих задач (5 год.)	2 дня
4	9. Узагальнені координати системи твердих тіл; кінетична та потенціальні енергії; рівняння Лагранжа (другого роду) для моделювання руху системи твердих тіл.	лаб. робота (2 год.)	[10, 14, 15]	Опрацювання матеріалу лаб. роботи (3 год.)	1 день
	10. Розв’язування задач на побудову рівнянь руху систем твердих тіл.	лаб. робота (2 год.)	[10, 14, 15]	Розв’язування заданих задач (5 год.)	2 дня
	11. <i>Контрольна робота №2.</i>	лаб. робота (2 год.)			під час заняття
5	Модуль “Параметрична оптимізація маніпуляційних систем”				
	12. Основні поняття теорії маніпуляційних систем: транспортна операція, критерії якості руху, типові задачі оптимізації.	практичне (2 год.)	[11]	Опрацювання лекц. матеріалу (3 год.)	1 день
	13. Загальна постановка задачі оптимізації маніпуляційних систем; алгоритм параметричної оптимізації.	Практичне (2 год.)	[1, 2]	Опрацювання лекц. матеріалу (3 год.)	1 день

	14. Параметрична оптимізація транспортних операцій дволанкової маніпуляційної системи.	Практичне (2 год.)	[1, 2]	Опрацювання лекц. матеріалу (3 год.)	1 день
6	15. Оптимізація керування дволанковим маніпулятором на основі принципу максимуму Понтрягіна.	Практичне (2 год.)	[5]	Опрацювання лекц. матеріалу (3 год.)	1 день
	16. Комп'ютерна програма для параметричної оптимізації руху дволанкового маніпулятора. <i>Індивідуальне завдання №1</i>	лаб. робота (2 год.)	[4, 5]	робота з програмою Виконання інд. завдань №1 (6 год.)	під час заняття 1 тиждень
	17. Комп'ютерна програма для оптимізації керування дволанковим маніпулятором на основі принципу максимуму Понтрягіна. <i>Індивідуальне завдання №2</i>	лаб. робота (2 год.)	[4, 5]	робота з програмою Виконання інд. завдань №2 (6 год.)	під час заняття 1 тиждень
7	Модуль “Параметрична оптимізація локомотивних систем антропоморфного типу”				
	18. Математична модель ходи двоногого робота: механічна модель, рівняння руху, умови антропоморфної ходи.	практичне (2 год.)	[6]	Опрацювання лекц. матеріалу (3 год.)	1 день
	19. Параметрична оптимізація ходи двоногого робота.	практичне (2 год.)	[6]	Опрацювання лекц. матеріалу (3 год.)	1 день
	20. Сукупна оптимізація ходи двоногого робота і розмірів нижніх кінцівок	лаб. робота (2 год.)	[6]	Опрацювання матеріалу лаб. роботи (3 год.)	1 день
8	21. Математичне моделювання ходи людини в “нормі” та з ортопедичними пристроями (гомілково-стопний ортез, екзоскелет).	лаб. робота (2 год.)	[6, 7, 8]	Опрацювання матеріалу лаб. роботи (3 год.)	1 день
	22. <i>Контрольна робота №3.</i>	лаб. робота (2 год.)			під час заняття
	23. <i>Колоквіум (письмова відповідь на п'ять питань білета).</i>	лаб. робота (2 год.)			під час заняття