

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА АКАДЕМІЯ
Кафедра «Автоматизація виробничих процесів»



Затверджую:

Зав. факультету машинобудування
Касов В.Д.
«08» травня 2024р.

Заступник освітньої програми:

Д.Т.Н., доцент
Бережна О.В.
«08» травня 2024р.

Розглянуто і схвалено
на засіданні кафедри автоматизації
виробничих процесів
Протокол №_13 від 06.05.2024р.
Зав. кафедри


Марков О.Є.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
„ОСНОВИ МЕХАТРОНІКИ”

(назва дисципліни)

галузь знань № 17 – «Електроніка, автоматизація та електронні
комунікації»

спеціальність № 174 – «Автоматизація, комп'ютерно-
інтегровані технології та робототехніка»

освітній рівень перший (бакалаврський)

ОПП «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології»

Факультет «Машинобудування»

Розробник: Періг О.В., к. т. н., доцент

Краматорськ – Тернопіль, 2024 р.

Робоча програма навчальної дисципліни «Основи мехатроніки» для студентів галузі знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації» спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» 77 с.

Розробник Періг О.В., к.т.н., доцент



Погоджено з групою забезпечення освітньої програми (для обов'язкових дисциплін)

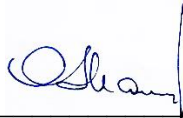
Керівник групи забезпечення



О.В. Разживін, к.т.н., доцент

Розглянуто і затверджено на засіданні кафедри «Автоматизація виробничих процесів», протокол № 13 від 06.05.2024 року.

Зав кафедри АВП:



О.Є. Марков, д.т.н., професор

Розглянуто і затверджено на засіданні Вченої ради факультету машинобудування, протокол № 10-24/05 від 27.05.2024 року

Голова Вченої ради факультету



В.Д. Кассов, д.т.н., професор

1. Опис навчальної дисципліни «Основи мехатроніки»

Показники		Галузь знань, спеціальність, ОПП (ОНП), професійне (наукове) спрямування, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни	
			денна/денна (прискорена)	заочна/заочна (прискорена)
Кількість кредитів		Галузь знань: № 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації». Спеціальність: № 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка».	Обов'язкова дисципліна	
4/2,5	4/1			
Загальна кількість годин				
120/75	120/30			
Модулів – 1		ІЗ 3. [П'ять задач ({A1, A2, A3} + B11) ... ({A1, A2, A3} + B15) для 4х випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху];	Рік підготовки	
Змістових модулів – 1			1/1	1/1
Індивідуальні обчислювальні завдання: ІЗ 1 (Дод. А). [П'ять задач ({A1, A2, A3} + B1) ... ({A1, A2, A3} + B5) для 4х випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху]; ІЗ 2 (Дод. В). [П'ять задач ({A1, A2, A3} + B6) ... ({A1, A2, A3} + B10) для 4х випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху];		ІЗ 4. [П'ять задач ({A1, A2, A3} + B16) ... ({A1, A2, A3} + B20) для 4х випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху]; ІЗ 5. [П'ять задач ({A1, A2, A3} + B21) ... ({A1, A2, A3} + B25) для 4х випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху];	Семестр	
			1/2	2/2
			ІЗ 6. [Шість задач ({A1, A2, A3} + B26) ... ({A1, A2, A3} + B31) для 4х випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху];	
Тижневих годин ▪ для <u>денної</u> форми навчання (15 тижнів семестру 1): аудиторних – 3 год.; самостійної роботи студентів – 5 год.; ▪ для <u>денної прискореної</u> форми навчання (18 тижнів семестру 2): аудиторних – 2 год.; самостійної роботи студентів – 2,166 год.		Рівень вищої освіти: <u>перший</u> (бакалаврський)	Лекції	
			30/18	8/4
			Практичні	
			15/18	4/2
			Лабораторні	
			0/0	0
			Самостійна робота	
			75/39	108/24
Вид контролю				
залік	залік			

2. Загальні відомості, мета і завдання навчальної дисципліни «Основи мехатроніки»

2.1 Актуальність вивчення дисципліни «Основи мехатроніки» у зв'язку із завданнями професійної діяльності та навчання студентів-першокурсників.

Обов'язкова освітня компонента ОК8 «Основи мехатроніки» для ОПП «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» – це навчальна дисципліна, пов'язана із теорією та практикою широкомасштабного застосування мультидисциплінарних підходів електричних, механічних та комп'ютерно-кібернетичних дисциплін до розробки та комп'ютерно-інтегрованої апаратної імплементації простих та ефективних прикладних алгоритмів для електромеханічного моделювання, чисельної оптимізації та подальшої візуалізації та інженерно-фізичної інтерпретації детерміністичних, ймовірнісних, статистичних та стохастичних моделей у прикладних автоматизаційних задачах управління рухом керованих багатомасових динамічних та багаторівневих кіберфізичних систем із багатьма ступенями свободи. Сучасна динаміка управління рухом керованих кібер-фізичних систем охоплює широкий спектр інформаційно-обчислювальних задач для технічних процесів і систем у таких прикладних інженерних галузях як елементи теорії автоматичного та оптимального управління, елементи прикладної електромеханіки керованого руху, а також відповідні прямі та обернені задачі мультидисциплінарних науково-технічних обчислень.

Потужними та принципово важливими для першокурсників прикладними методами основ мехатроніки є методи автоматичного та оптимального управління у застосуванні до задач керованої динаміки в рамках використання обчислювальних можливостей сучасних Modelica-подібних мов кіберфізичного моделювання керованих процесів та систем, а саме безкоштовного програмного забезпечення JModelica.org-1.17 із розширенням Optimica.

Методи, концепції, підходи, обчислювальні методики, комп'ютерні алгоритми та комплекс відповідних Modelica-моделей, які вивчаються в дисципліні «Основи мехатроніки», широко застосовуються для навчально-методичного викладення основних положень сучасної керованої динаміки для регульованих електромеханічних процесів у складних кіберфізичних системах.

Навчальна дисципліна «Основи мехатроніки» має на меті як фізико-електромеханічне та інформаційно-математичне ознайомлення студентів-першокурсників автоматизаційних спеціальностей із багаторівневою та мультидисциплінарною сферою комп'ютерно-інтегрованих наукових досліджень із керованої динаміки сучасних кібер-фізичних систем, так і практичного забезпечення надання студентам ефективного інструментарію у вигляді розрахунково-обчислювальних методик та прикладних комп'ютерних алгоритмів в рамках широкого застосування обчислювальних можливостей сучасних високорівневих мов каузального та акаузального програмування.

2.2 Мета дисципліни «**Основи мехатроніки**» – формування когнітивних, афективних та моторних компетенцій в прикладній мультидисциплінарній електромеханічній сфері керованої динаміки та комп'ютерно-інтегрованого оптимального управління автоматизованими системами та процесами в рамках ефективної та успішної реалізації відповідних розрахунково-чисельних машинних алгоритмів із використанням обчислювальних можливостей сучасних мов каузального та акаузального програмування та існуючого вільного програмного забезпечення.

2.3 Завдання дисципліни «**Основи мехатроніки**»:

– ознайомлення першокурсників із різноманітними напрямками та методологією дослідження керованої механіки та оптимального управління перехідними динамічними процесами у сучасних кіберфізичних системах;

– навчання майбутніх фахівців із автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ефективному та кваліфікованому використанню прикладних електромеханічних та фізико-математичних, тобто кількісних, інженерно-технічних методів для побудови широкого спектру обчислювальних детерміністичних та оптимізаційних моделей каузального та акаузального типу для динаміки керованих процесів у сучасних кіберфізичних системах в рамках використання обчислювальних можливостей Modelica-подібних мов та загальнодоступного відкритого софту JModelica.org-1.17 із розширенням Optimica;

– ознайомлення студентів-першокурсників із математичним синтаксисом та математичними методами для постановки детерміністичних та варіаційно-оптимізаційних задач, а також відповідними комп'ютерними алгоритмами та сучасним акаузальним програмним забезпеченням для чисельного розв'язання та візуалізації відповідних моделей для керованих процесів та систем;

– ознайомлення студентів-першокурсників із основними законами прикладної електромеханіки регульованих динамічних систем та відповідними детерміністичними та оптимізаційними математичними моделями, пов'язаними із фізико-математичним та/або механіко-феноменологічним описом процесів управління перехідними процесами у керованих мехатронних системах;

– забезпечення формування прикладних теоретичних знань та набуття практичних програмно-обчислювальних навичок для успішного подальшого узагальнення та творчої феноменологічної формалізації поставлених та непоставлених інформаційно-розрахункових завдань, які виникають у різних сферах динаміки керованих електромеханічних систем в рамках повсякденної науково-технічної активності інженера-дослідника з автоматизації;

– розвинення у першокурсників базового розуміння та початкових навичок мультифізичного прикладного математичного моделювання регульованої динаміки керованих процесів для кіберфізичних систем із широким залученням розрахунково-обчислювальних можливостей сучасних високорівневих каузальних та акаузальних мов програмування;

– докладний дидактичний розгляд широкого спектру прикладних електромеханічних інформаційно-обчислювальних задач нелінійної динаміки, оптимального та автоматизованого управління для всіх мультидисциплінарних областей людської науково-технічної діяльності на рівні інженера-дослідника, який практично має справу із керованими процесами та системами;

– набуття студентами-першокурсниками практичних навичок каузального та акаузального алгоритмічного мислення та формування додаткової аргументації при раціональному виборі релевантних чисельних методів для ефективного комп'ютерного розв'язання прикладних детерміністичних та оптимізаційних моделей для феноменологічної динаміки та управління складними керованими кіберфізичними системами та процесами;

– забезпечення базового рівня розуміння та усвідомленого застосування першокурсниками набутих нових знань, умінь та навичок шляхом розробки каузальних та акаузальних комп'ютерних алгоритмів та при розробці та складанні прикладних розрахункових програм із застосуванням розрахунково-обчислювальних можливостей сучасних Modelica-подібних мов програмування для проведення комп'ютерних експериментів в процесі індивідуального вивчення студентами складних прикладних задач детерміністичної та оптимізаційної динаміки керованих процесів та кіберфізичних систем;

– додаткове формування у першокурсників здатності до послідовного і логічного мислення та належного рівня інформаційно-обчислювальної культури, а також забезпечення розширення професійного науково-технічного кругозору майбутнього інженера-дослідника із автоматизації.

2.4 Передумови для вивчення дисципліни «**Основи мехатроніки**»: попереднє вивчення студентами дисциплін «Загальна фізика», «Теоретична механіка», «Виконавчі механізми і регулюючі органи», «Вища математика», «Електротехніка і електромеханіка» та «Чисельні методи».

2.5 Мова викладання: українська.

2.6 Обсяг навчальної дисципліни «**Основи мехатроніки**» та його розподіл за видами навчальних занять:

– загальний обсяг **для денної форми навчання** становить 120 годин / 4,0 кредити, в тому числі: лекції – 30 годин, лабораторні роботи – не плануються, практичні заняття – 15 годин, самостійна робота студентів – 75 годин; курсовий проект – курсова робота не планується;

– загальний обсяг **для денної прискореної форми навчання** становить 75 годин / 2,5 кредита, в тому числі: лекції – 18 годин, лабораторні роботи – не плануються, практичні заняття – 18 годин, самостійна робота студентів – 39 годин; курсовий проект – курсова робота не планується;

– загальний обсяг для **заочної повної форми навчання** становить 120 годин / 4,0 кредити, в тому числі: лекції – 8 годин, лабораторні роботи – не плануються, практичні заняття – 4 години, самостійна робота студентів – 108 годин; курсовий проект – курсова робота не планується;

– загальний обсяг **для заочної прискореної форми навчання** становить 30 годин / 1,0 кредит, в тому числі: лекції – 4 години, лабораторні роботи – не плануються, практичні заняття – 2 години, самостійна робота студентів – 24 години; курсовий проект – курсова робота не планується.

3. Програмні результати навчання з дисципліни «Основи мехатроніки»

Освітня компонента «**Основи мехатроніки**» (ОК8) повинна сформувати наступні програмні результати навчання, що передбачені освітньо-професійною програмою підготовки бакалаврів спеціальності № 174 – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», які навчаються за ОПІ «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»:

ІК. Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми, що характеризуються комплексністю та невизначеністю умов, під час професійної діяльності у галузі автоматизації, або у процесі навчання, що передбачає застосування теорій та методів галузі.

ЗК04. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.

СКІЗ. Здатність виконувати аналіз об'єктів автоматизації на основі знань про процеси, що в них відбуваються та застосовувати методи теорії автоматичного керування для дослідження, аналізу та синтезу систем автоматичного керування.

ПРН04. Розуміти суть процесів, що відбуваються в об'єктах автоматизації (за галузями діяльності) та вміти проводити аналіз об'єктів автоматизації і обґрунтовувати вибір структури, алгоритмів та схем керування ними на основі результатів дослідження їх властивостей.

У результаті вивчення навчальної дисципліни «Основи мехатроніки» студент повинен продемонструвати достатній рівень сформованості наступних програмних результатів навчання.

В узагальненому вигляді їх можна навести наступним чином:

у когнітивній сфері

студент здатний продемонструвати:

– загальне розуміння, усвідомлення та практичне творче використання прикладних евристичних прийомів аналізу, синтезу, аналізу через синтез, класифікації, узагальнення, систематизації та генерування асоціацій тощо в рамках аналізу керованих електромеханічних систем та процесів;

– стійку індивідуальну здатність до прикладного електромеханічного аналізу, абстрактного інформаційно-математичного мислення, конструктивного інженерного уявлення, допустимого експериментально-теоретичного узагальнення, успішної багатоітеративної опосередкованості одержуваних нових знань, критичного аналізу об'єктивних переваг та наявних недоліків існуючих підходів та моделей, творчої оцінки та самостійного синтезу нових оригінальних ідей, методик та пропозицій;

– впевнену спроможність до докладного, але до певної міри обмеженого аналітично-інформаційного пошуку, уважного оброблення та порівняльного аналізу доступної науково-технічної інформації з різних джерел, до індивідуальної побудови логічних та послідовних висновків, усвідомленого використання різноманітного математичного формалізму та комп'ютерного синтаксису в рамках індивідуального прогресу щодо загального розуміння, застосування та творчого переосмислення прикладних детерміністичних, оптимізаційних, ймовірнісних, статистичних та стохастичних моделей в рамках творчого опанування студентами основ керованої динаміки електромеханічних та мехатронних процесів і систем;

– здатність до математичного та логічного мислення, адекватного розуміння, формулювання, інтерпретації, допустимої модифікації та зацікавленого дослідження детерміністичних, оптимізаційних, ймовірнісних, статистичних та стохастичних математичних моделей керованих мехатронних процесів та систем, зокрема дискретних та неперервних феноменологічних математичних моделей, обґрунтування раціонального вибору ефективних методів і підходів для каузального та акаузального розв'язування теоретичних і прикладних задач в галузі автоматизаційних та комп'ютерно-інтегрованих наук, інженерного інтерпретування отриманих графічних, чисельних та аналітичних результатів в різних цільових предметних галузях керованої динаміки кіберфізичних систем;

– здатність намагатися постійно вчитися, послідовно, наполегливо і цілеспрямовано оволодівати сучасними автоматизаційними, інформаційно-технічними знаннями, прикладними математичними моделями динаміки та продуктивності керованих процесів та систем, релевантними мовами ефективного комп'ютерного та комп'ютерно-інтегрованого програмування, об'єктивно оцінювати та відповідально забезпечувати якість виконуваних розрахунково-обчислювальних та лабораторних робіт;

– впевнене вміння адекватно, релевантно, послідовно та творчо застосувати детерміністичні, оптимізаційні, ймовірнісні, статистичні та стохастичні математичні моделі нелінійних процесів та систем керованої динаміки та технологічної продуктивності відповідно до наявних об'єктивних технічних умов, в яких наразі функціонують існуючі об'єкти автоматизації, інформатизації та системної комп'ютеризації в різних предметних галузях;

– вміння грамотно обробляти, згладжувати, інтерполювати, апроксимувати, візуалізувати, електромеханічно тлумачити та коректно

узагальнювати отримані чисельні, графічні та аналітичні результати, аналізувати, переосмислювати та представляти їх для цільової аудиторії та непрофесійного загалу, обґрунтувати запропоновані інформаційні рішення на сучасному науково-технічному рівні;

– вміння використовувати, розробляти та досліджувати математичні методи та алгоритми керованої динаміки із застосуванням обчислювальних можливостей сучасних мов каузального та акаузального програмування;

– продемонструвати розуміння базової термінології та наступних означень у галузі динаміки, управління та оптимізації динамічних систем: (а) фазова змінна; (б) керуюча змінна управління; (в) обмеження на величини фазових та керуючих змінних управління; (г) область значень допустимих керувань; (д) керована динамічна система визначальних диференціальних рівнянь із розімкненим контуром регулювання; (е) початкові та кінцеві умови для крайової задачі; (є) множина можливих траєкторій, що виходять із початкової точки фазової площини для різних допустимих значень керуючої змінної управління; (ж) пряма задача керованої динаміки; (з) обернена (зворотна) задача керованої динаміки; (и) крайова задача керованої динаміки; (і) оптимальна (оптимізаційна) крайова задача керованої динаміки; (й) оптимальне за швидкодією керування; (к) мінімізований функціонал як цільова функція та як критерій якості досліджуваного технологічного процесу;

– продемонструвати розуміння відповідного прикладного математичного, системно-динамічного та комп'ютерно-алгоритмічного Modelica-формалізму, а також акаузальної JModelica.org, Optimica та Pyplot кібер-фізичної імплементації у промислово-практичних задачах динаміки, управління, автоматизації та мульти-критеріальної інженерної оптимізації багатомасових керованих динамічних систем;

– пояснити основні принципи акаузального комп'ютерно-математичного та кібер-фізичного моделювання із застосуванням Modelica-подібних мов JModelica.org, Optimica та Pyplot;

– докладно продемонструвати практичні знання методики, алгоритму та основних етапів розрахунково-обчислювальної прикладної математичної роботи із послідовного побудування найпростіших акаузально-оптимізаційних моделей у галузі динаміки, управління та оптимізації керованих динамічних систем в рамках прикладного комп'ютерного розв'язання обернених крайових задач оптимальної швидкодії методом нелінійного програмування шляхом застосування обчислювальних можливостей безкоштовного ПЗ JModelica.org із розширенням Optimica;

– продемонструвати загальне розуміння, інженерно-практичне витлумачення та технічно-прикладні імплікації одержаних графічних результатів чисельного моделювання в рамках програмної обробки акаузальних оптимізаційних моделей керованих динамічних систем в контексті виконання початкових та кінцевих умов керованого руху, графічної візуалізації наявності точок переключень, перевірки виконання та дотримання обмежень на фазові

змінні та на змінні управління, а також графічної оцінки якості одержаного процесу оптимального управління;

– докладне розуміння, загальне усвідомлення та кваліфіковане практичне використання як сучасних феноменологічних і нелінійних динамічних моделей керованих систем, комп'ютерних мереж та інформаційних потоків, так і доступних акаузально-кіберфізичних обчислювальних можливостей безкоштовного та вільного програмного забезпечення ([SageMath](#); [JModelica.org](#); [Scilab](#); [OpenModelica](#); [Wolfram Language](#) через [Wolfram Cloud](#); [Wolfram|Alpha](#); [GNU Octave](#); [C++](#); [LibreOffice Calc](#); [GNU R](#) та ін.) до формулювання та комплексного розв'язку багаторівневих автоматизаційно-мережних задач опису та оптимізації керованих інформаційних потоків мережного трафіку з подальшою розробкою практичних рекомендацій щодо налаштування, уточнення, коригування та наступного формулювання ефективних, етичних та дружніх-до-мережного користувача підходів, політик та автоматизаційних стратегій системно-мережного обслуговування, моніторингу та адміністрування;

– впевнене вміння адекватно, релевантно, послідовно та творчо застосовувати актуальні сучасні методи, стратегії, концепції та системні підходи нелінійно-динамічного комп'ютерно-мережного моделювання в рамках практичної імплементації європейських та міжнародних автоматизаційних комп'ютерно-мережних стандартів до оцінки надійності, якості та потокової швидкості передачі даних для інформаційно-комунікаційних послуг;

– впевнену спроможність до докладного, але до певної міри обмеженого аналітично-інформаційного пошуку актуальних автоматизаційних, інформаційних та комп'ютерно-інтегрованих трендів, концептів та форм організації процесу комп'ютерно-мережного моніторингу, уважного оброблення та порівняльного аналізу доступної системно-мережної інформації з різних джерел, до індивідуальної побудови логічних та послідовних автоматизаційних, комп'ютерно-інженерних та технічно-соціальних висновків, усвідомленого використання різноманітного математичного формалізму та комп'ютерного синтаксису в рамках індивідуального прогресу щодо загального розуміння, застосування та творчого переосмислення прикладних детерміністичних, ймовірнісних, статистичних, стохастичних, інформаційних, мережних та кіберфізичних моделей для соціально-технічного опису нелінійних процесів людино-керованої інформаційно-мережної динаміки;

– вміння кваліфіковано-професійно, якісно, ненав'язливо, алгоритмічно-послідовно, системно-обґрунтовано та людино-центрично забезпечувати постійне дотримання міжнародних автоматизаційних, інформаційно-технічних, технічно-етичних та технічно-соціальних принципів системно-динамічної, комп'ютерно-інженерної та системно-мережної доброчесності в рамках всебічного намагання забезпечення ефективного досягнення цілей сталості розвитку та всебічного повсякденного добробуту для усіх учасників автоматизаційної та інформаційно-мережної спільноти;

– стійку індивідуальну здатність до людино-центричного

інформаційно-мережного мислення у новій для себе автоматизаційній та комп'ютерно-інженерній області; спроможність до об'єктивно-високого рівня комп'ютерно-моделювального, системно-мережного та системно-інженерного прогнозування; здатність до допустимого соціально-технічного узагальнення, успішної багатоітеративної опосередкованості нових мережно-спостережуваних потокових даних та їх трендів, критичного аналізу об'єктивних переваг та наявних недоліків існуючих технічних рішень та технічно-соціальних стратегій в рамках феноменологічного та статистичного мережного аналізу за-замовчуванням, а також креативної творчої оцінки та самостійного синтезу нових оригінальних соціально-технічних ідей та обчислювальних стратегій, а також більш гнучких політик та пропозицій;

– здатність до каузального, акаузально-алгоритмічного, прикладного математичного та послідовного логічного мислення; здатність до адекватного та об'єктивно-неупередженого технічно-соціального розуміння, комп'ютерно-автоматизаційного та інформаційно-мережного формулювання, системно-динамічної та соціально-мережної інтерпретації, допустимої модифікації та зацікавленого дослідження детерміністичних, ймовірнісних, статистичних та стохастичних прикладних математичних моделей для керованих мехатронних, технічно-соціальних процесів та соціотехнічно-керованих нелінійних кіберфізичних систем транспортної динаміки, інформаційно-мережної динаміки, статистичної механіки мереж, а також інженерно-технічної та соціально-інженерної продуктивності діяльності автоматизаційно-комп'ютерного інженера, зокрема дискретних та неперервних акаузальних феноменологічних комп'ютерно-математичних моделей нелінійних систем автоматизованого та оптимального управління, комп'ютерно-мережного моделювання; обґрунтування раціонального вибору ефективних розрахунково-обчислювальних методів і підходів для каузального та акаузального розв'язування теоретичних і прикладних системно-динамічних, соціально-технічних та інформаційно-комунікаційних задач системного та мережного аналізу в галузях автоматизації та комп'ютерних наук, соціально-технічного інтерпретування отриманих графічних, чисельних та аналітичних результатів в цільових предметних галузях системно-динамічного менеджменту та суміжної соціально-технічної динаміки;

– здатність намагатися постійно вчитися в рамках безперервної (постійної) освіти та самоосвіти (*lifelong learning*), послідовно, наполегливо, систематично і цілеспрямовано оволодівати сучасними комп'ютерно-математичними, технічно-соціальними, психологічно-управлінськими, адміністративно-менеджерськими, комп'ютерно-системними та інформаційно-технічними знаннями; прикладними інформаційно-мережними та комп'ютерно-обчислювальними нелінійними моделями інженерно-соціальної динаміки та системно-мережної ефективності інформаційно-мережних процесів та соціально-керованих управлінських систем; здатність опанувати релевантними та сучасними [Modelica](#)-подібними мовами кіберфізичного комп'ютерного програмування; об'єктивно оцінювати та відповідально забезпечувати якість

виконуваних індивідуальних розрахунково-обчислювальних, лабораторних та практичних робіт, а також відповідних творчих індивідуальних завдань з комп'ютерного моделювання мереж в рамках формування, становлення та розвитку «твердих» (*hard skills*) та «м'яких» (*soft skills*) навичок майбутніх фахівців з автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій, робототехніки та комп'ютерних систем та мереж;

– досягнення здатності до усвідомленого та творчого застосування детерміністичних, ймовірнісних, статистичних та стохастичних прикладних комп'ютерно-математичних аналітичних та обчислювальних моделей для інформаційно-кіберфізичного мережного опису динаміки соціально-керованих та технічно-регульованих соціотехнічних процесів у багаторівневих соціально-технічних системах інформаційно-комунікаційної мережної динаміки та системно-управлінської ефективності інженера-адміністратора відповідно до наявних об'єктивних соціально-технічних умов та існуючих багаторівневих обмежень, в яких наразі практично функціонують усі учасники нелінійної динамічної соціотехнічної системи «комп'ютерно-автоматизаційні інженери інформаційної мережі-користувачі» упродовж моделювання, проектування та системно-динамічної реалізації поставлених інженерних цілей і задач;

– вміння інженерно використовувати, системно-динамічно розробляти та комп'ютерно-обчислювально аналізувати кібернетично-соціальні методи та прикладні комп'ютерно-мережні алгоритми для ефективної машинної обробки узагальнених соціально-технічних даних із широким практичним застосуванням комп'ютерно-автоматизаційних, інформаційно-мережних та комунікаційно-обчислювальних можливостей сучасних кіберфізичних мов каузального та акаузального програмування;

– здатність розуміти мультидисциплінарні підходи сучасної автоматизаційної, комп'ютерно-мережної інформаційно-обчислювальної науки про соціально-технічні дані (*data science*) в рамках підготовки майбутнього переходу до Освіти 4.0 (*Education 4.0*) та Індустрії 4.0 (*Industry 4.0*) в контексті практичного набуття вміння кваліфіковано оброблювати багатофакторні технічні та соціальнонаукові дані, згладжувати, інтерполювати, апроксимувати, візуалізовувати, аналізувати, тлумачити та адекватно узагальнювати чисельні, графічні та аналітичні результати системно-мережних, інженерно-технічних досліджень та комп'ютерно-математичного або інформаційно-мережного моделювання керованої соціально-технічної динаміки для соціально-мережних процесів у соціальних та технічно-соціальних системах, а також інженерно переосмислювати та дружньо-до-користувача представляти оброблені соціально-технічні дані для цільової користувацької аудиторії з подальшою практичною необхідністю наступного докладного клієнто-центричного обґрунтування запропонованого соціально-інформаційного рішення на сучасному інформаційно-технологічному рівні Інтернет-інженерії;

– вміння розробляти авторські оригінальні (та підкріплені результатами власного комп'ютерно-мережного моделювання) системно-інженерні, та мережно-адміністративні підходи для ефективних людино-центричних форм

організації комп'ютерно-автоматизаційного та мережно-управлінського процесу із можливою подальшою експериментальною нелінійно-динамічною, системно-динамічною, автоматизаційно-інженерною та соціально-інженерною верифікацією раціональних пропозицій управлінсько-мережного авторського підходу в рамках прийняття обґрунтованих рішень щодо здійснення системно-мережного адміністрування високошвидкісними Інтернет-потоками із широким лабораторно-практичним застосуванням комп'ютерно-обчислювальних прогностичних можливостей актуальних та ефективних інформаційно-комунікаційних технологій сучасних автоматизації та системної інженерії.

в афективній сфері

студент здатний:

– критично осмислювати лекційний та позалекційний навчально-практичний матеріал; вільно, компетентно, послідовно та раціонально будувати власну аргументацію; застосовувати вивчені детерміністичні, оптимізаційні, ймовірнісні, статистичні та стохастичні математичні моделі кіберфізичних процесів та систем керованої динаміки та електромеханічної продуктивності до відповідних інформаційно-практичних задач сучасної автоматизації;

– успішно розв'язувати прикладні обчислювальні задачі керованої динаміки та технологічної продуктивності шляхом застосування розрахунково-обчислювальних можливостей сучасних мов каузального та акаузального програмування, а також багаторівневого використання сучасних систем комп'ютерної алгебри та кіберфізичного моделювання в рамках використання персональних комп'ютерів, реалізовувати високопродуктивні хмарні обчислення на основі сучасних інтернет-сервісів та інформаційних технологій;

– критично осмислювати лекційний та позалекційний навчально-методичний матеріал, аргументувати на основі вивченого теоретичного матеріалу, практично застосовувати обчислювальні можливості сучасних акаузальних Modelica-подібних мов оптимізаційного кібер-фізичного програмування та вільного програмного забезпечення JModelica.org, Optimica та Ruptot під час побудови та при графічній візуалізації чисельних розв'язків обернених крайових задач оптимальної швидкодії для оптимізаційних моделей багатомасових керованих динамічних систем;

– регулярно співпрацювати із іншими студентами та викладачем в процесі обговорення проблемних моментів на лекційних, обчислювальних лабораторних та практичних заняттях, при виконанні та захисті індивідуальних розрахункових завдань; ініціювати та брати участь у предметній дискусії з прикладних питань навчальної дисципліни «**Основи мехатроніки**», повною мірою розділяти цінності колективної та наукової етики;

– критично та спокійно осмислювати лекційний, позалекційний, основний та додатковий навчально-практичний та навчально-методичний матеріал; вільно, компетентно, зважено, послідовно, раціонально та без поспіху будувати власну дидактичну аргументацію; обґрунтовано та творчо застосовувати вивчені технічні та соціально-етичні стандарти системно-

динамічної та мережної діяльності автоматизаційно-комп'ютерного інженера, застосовувати комп'ютерно-аналітичні методи обчислювального системно-мережного адміністрування та сучасні форми ефективної організації інформаційно-комунікаційного процесу у власній автоматизаційній, комп'ютерно-інженерній та мережно-адміністративній практиці; а також кваліфіковано та творчо застосовувати вивчені детерміністичні, ймовірнісні, статистичні, стохастичні, інформаційно-мережні та кіберфізичні комп'ютерно-математичні моделі керованих соціально-управлінських процесів у соціально-адміністративних та технічно-соціальних мережних динамічних системах в рамках реалізації обчислювально-прогностичного опису керованих режимів нормальної та порушеної інформаційно-мережної динаміки та стійкої системно-динамічної ефективності шляхом побудови інженерно-математичного розв'язання та реалізації подальшого автоматизаційного, комп'ютерно-мережного, мережно-адміністративного та соціально-управлінського витлумачення одержаних результатів інформаційно-комунікаційного моделювання для системно-динамічних, автоматизаційних та комп'ютерно-інженерних задач системно-мережного аналізу та моніторингу нелінійної керованої динаміки виконавчих механізмів та інформаційних потоків;

– успішно розв'язувати прикладні управлінські задачі забезпечення спокійної, врівноваженої, доброзичливої, робочої та дружньої-до-колег робочої атмосфери упродовж виконання обов'язків інженера з автоматизації та системно-мережного адміністратора в рамках забезпечення формування «твердих» (*hard skills*) та «м'яких» (*soft skills*) навичок в професійній та/або академічній ІТ-спільноті із дотриманням принципів сталості (*sustainability*) та добробуту (*wellbeing*) професійного розвитку інформаційної спільноти;

– ефективно та кваліфіковано розв'язувати прикладні соціотехнічні задачі обчислювального та кібернетичного системно-мережного інжинірингу в рамках акаузального комп'ютерно-моделювального опису інформаційно-мережної динаміки соціально-керованих процесів та систем для нормального та порушеного режимів системно-мережного адміністрування шляхом практичного застосування розрахунково-обчислювальних та мережно-моделювальних інформаційно-комунікаційних можливостей акаузальних [Modelica](#)-мов сучасного кіберфізичного програмування, у тому числі із комп'ютерно-автоматизаційним застосуванням актуальних хмарних обчислювальних ресурсів;

– регулярно-повсякденно спілкуватися як державною українською, так і міжнародною англійською мовами як усно так і письмово, як на роботі з колегами, так і вдома, як на аудиторних так і на он-лайн заняттях, як на офіційних організаційних заходах, так і упродовж міжособистісного спілкування, як у навчально, так і у науковій міждисциплінарних комунікативних сферах;

– регулярно та ефективно співпрацювати зі студентами-одногрупниками та зі своїми викладачами упродовж аудиторних та віддалених занять в процесі дружнього обговорення дидактичних проблемних моментів, що виникають упродовж прослуховування та докладного обговорення лекційних, практичних та лабораторних занять, при авторському виконанні та

прилюдному захисті індивідуально-сформульованих творчих системно-інженерних, соціально-інженерних та розрахунково-обчислювальних завдань з комп'ютерно-обчислювальних питань автоматизації та комп'ютерної інженерії; а також ініціювати та брати участь у предметній дискусії з прикладних освітньо-методологічних питань навчальної дисципліни «**Основи мехатроніки**», причому повною мірою розділяти *integrity*-цінності освітньої, академічної, інституційної та дослідницької доброчесності та етики.

у психомоторній сфері

студент здатний:

- самостійно аналізувати і оцінювати прикладні електромеханічні та математичні методи, а також відповідні комп'ютерні алгоритми для чисельного розв'язування інформаційно-автоматизаційних завдань;
- застосовувати математичні методи та моделі феноменологічної керованої динаміки та продуктивності у науково-практичних ситуаціях;
- контролювати результати власних зусиль в навчальному процесі та коригувати (за допомогою викладача) ці зусилля для ліквідації пробілів у засвоєнні навчального матеріалу або формуванні умінь, вмінь та навичок;
- самостійно здійснювати пошук, систематизацію, узагальнення навчально-методичного матеріалу, розробляти варіанти розв'язування завдань й обрати найбільш раціональні з них;
- студент здатний виконати та оформити обчислювальну лабораторну роботу або індивідуальне розрахунково-графічне завдання щодо програмної обробки акаузальної оптимізаційної моделі керованої динамічної системи із розімкненим контуром регулювання, чисельного визначення та графічної візуалізації результатів розв'язання обернених крайових задач оптимальної швидкодії в рамках прикладного комп'ютерного моделювання автоматизованих керованих процесів та систем;
- самостійно аналізувати і обґрунтовано оцінювати технічні перспективи та переваги, практичні складнощі та можливі недоліки автоматизаційного, системно-динамічного та мережного застосування актуальних автоматизаційних та комп'ютерно-обчислювальних методів та оптимально вибирати до використання один із існуючих технічних стандартів діяльності інженера для практичної реалізації ефективного та успішного досягнення поточних цілей і задач в рамках залучення найбільш релевантних методів системно-динамічних, інформаційно-комунікаційних, кіберфізичних та комп'ютерно-автоматизаційних технологій;
- ефективно застосовувати опановані методи автоматизаційного та комп'ютерного інжинірингу у власній автоматизаційній, системно-динамічній та системно-мережній практичній діяльності;
- критично аналізувати і людино-центрично оцінювати інженерну ефективність вибору інформаційно-математичних методів та акаузальних комп'ютерних алгоритмів для розв'язування прикладних мехатронних завдань з

нелінійної системно-мережної динаміки алгоритмічно-керованих комп'ютерно-автоматизаційних процесів та систем;

– успішно контролювати результати власних психолого-педагогічних зусиль в індивідуальному навчальному процесі та ефективно коригувати (за допомогою викладача та студентів-одногрупників) ці освітні зусилля з метою вчасної ліквідації наявних пробілів у засвоєнні попередньо-вивченого навчального та дидактичного матеріалу або формуванні умінь, вмінь та навичок;

– самостійно та успішно здійснювати літературний пошук, логічну структурну систематизацію, ефективне інженерне узагальнення навчально-методичного матеріалу, самостійно розробляти власні варіанти системно-динамічного формулювання та шляхи методично-грамотного комп'ютерного розв'язування індивідуальних навчальних завдань, а також правильно обирати найбільш раціональні з них.

4. Програма та структура навчальної дисципліни «Основи мехатроніки»

4.1. Денна прискорена форма навчання – «Основи мехатроніки»

Розподіл обсягу дисципліни «Основи мехатроніки» за видами навчальних занять для денної прискореної форми навчання у другому (зимово-весняному) семестрі навчального року наведено нижче:

Вид навчальних занять або контролю	Розподіл між учбовими тижнями								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Л – Лекції	1	1	1	1	1	1	1	1	1
П. р. – Практичні роботи	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Л.р. – Лабораторні роботи	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сам. робота	2	2	2	2	2	2	2	2	3,5
Контр. роботи	ВК								
Модулі	Модуль 1 – ...								
Контроль по модулю	ВК ІЗ1	ІЗ1	ІЗ1 ІЗ2	ІЗ1 ІЗ2	ІЗ2	ІЗ2 ІЗ3	ІЗ3	ІЗ3	ІЗ3 ІЗ4

Вид навчальних занять або контролю	Розподіл між учбовими тижнями								
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Л – Лекції	1	1	1	1	1	1	1	1	1
П. р. – Практичні роботи	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Л.р. – Лабораторні роботи	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сам. робота	2	2	2	2	2	2	2	2	3,5
Контр. роботи									КР
Модулі	... – Модуль 1								
Контроль по модулю	ІЗ3 ІЗ4	ІЗ3 ІЗ4	ІЗ4	ІЗ4 КР2	ІЗ5	ІЗ5 ІЗ6	ІЗ5 ІЗ6	ІЗ5 ІЗ6	ІЗ6 КР

ВК – вхідний контроль; Л – Лекція; ПР – практична робота; КР – контрольна робота; ІЗ – індивідуальне завдання; М – модуль;

4.2. Денна форми навчання – «Основи мехатроніки»

Розподіл обсягу дисципліни «Основи мехатроніки» за видами навчальних занять для денної форми навчання у першому (осінньому) семестрі навчального року наведено нижче:

Вид навчальних занять або контролю	Розподіл між учбовими тижнями								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Л – Лекції	2	2	2	2	2	2	2	2	2
П. р. – Практичні роботи	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Л.р. – Лабораторні роботи	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сам. робота	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Контр. роботи	ВК					КР1			
Модулі	Модуль 1 – ...								
Контроль по модулю	ВК І31	І31	І31 І32	І31 І32	І32	І32 І33 КР1	І33	І33	І33 І34

Вид навчальних занять або контролю	Розподіл між учбовими тижнями					
	10	11	12	13	14	15
Л – Лекції	2	2	2	2	2	2
П. р. – Практичні роботи	1	1	1	1	1	1
Л.р. – Лабораторні роботи	0	0	0	0	0	0
Сам. робота	5	5	5	5	5	5
Контр. роботи						КР2
Модулі	... – Модуль 1					
Контроль по модулю	І33 І34	І34	І34 І35	І35 І36	І35 І36	І36 КР2

ВК – вхідний контроль; Л – Лекція; ПР – практична робота; КР – контрольна робота; ІЗ – індивідуальне завдання; М – модуль;

4.3. Заочна та заочна прискорена форми навчання – «Основи мехатроніки»

Розподіл обсягу дисципліни «Основи мехатроніки» за видами навчальних занять для заочної та заочної прискореної форм навчання у другому (зимово-весняному) семестрі навчального року наведено нижче, де чисельник a горизонтального дроби $a/(b)$ відповідає навчальним годинам для заочної форми та знаменник (b) горизонтального дроби $a/(b)$ відповідає навчальним годинам для заочної прискореної форми навчання:

Вид навчальних занять або контролю	Розподіл між учбовими тижнями								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Л – Лекції	6/(4)	0/(0)	0/(0)	0/(0)	0/(0)	2/(0)	0/(0)	0/(0)	0/(0)
П. р. – Практичні роботи	2/(0)	0/(0)	0/(0)	0/(0)	0/(0)	2/(2)	0/(0)	0/(0)	0/(0)
Л.р. – Лабораторні роботи	0/(0)	0/(0)	0/(0)	0/(0)	0/(0)	0/(0)	0/(0)	0/(0)	0/(0)
Сам. робота	6/(1)	6/(1)	6/(1)	6/(1)	6/(1)	6/(1)	6/(1)	6/(1)	6/(1)
Контр. роботи	ВК								
Модулі	Модуль 1 – ...								
Контроль по модулю	ВК І31	І31	І31 І32	І31 І32	І32	І32 І33	І33	І33	І33 І34

Вид навчальних занять або контролю	Розподіл між учбовими тижнями								
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Л – Лекції	0/(0)	0/(0)	0/(0)	0/(0)	0/(0)	0/(0)	0/(0)	0/(0)	0/(0)
П. р. – Практичні роботи	0/(0)	0/(0)	0/(0)	0/(0)	0/(0)	0/(0)	0/(0)	0/(0)	0/(0)
Л.р. – Лабораторні роботи	0/(0)	0/(0)	0/(0)	0/(0)	0/(0)	0/(0)	0/(0)	0/(0)	0/(0)
Сам. робота	6/(1)	6/(1)	6/(1)	6/(2)	6/(2)	6/(2)	6/(2)	6/(2)	6/(2)
Контр. роботи									КР
Модулі	... – Модуль 1								
Контроль по модулю	І33 І34	І33 І34	І34	І34 КР2	І35	І35 І36	І35 І36	І35 І36	І36 КР

ВК – вхідний контроль; Л – Лекція; ПР – практична робота; КР – контрольна робота; ІЗ – індивідуальне завдання; М – модуль;

4.4. Розподіл обсягу лекційних та практичних навчальних годин дисципліни «Основи мехатроніки» за темами занять для денної, денної прискореної, заочної та заочної прискореної форм навчання

Розподіл обсягу дисципліни «Основи мехатроніки» за темами занять для денної, денної прискореної, заочної та заочної прискореної форм навчання наведено нижче, причому цифрами в дужках **синім кольором** зазначаються години для денної прискореної форми навчання та цифрами в дужках **фіолетовим кольором** – для заочної прискореної форм навчання:

Найменування розділів, тем та семестрових атестацій навчальної дисципліни «Основи мехатроніки»	Розподіл за темами та за видами занять						
	Аудиторні заняття				Самост. робота		
	Всього	Лекції	Лаб.	Практ.	Всього	У т. ч. ІСЗ	
<p>Тема 1. Акаузальні Modelica-подібні мови кіберфізичного моделювання нелінійної динаміки електромеханічних перехідних процесів автоматичного та оптимального управління керованими мехатронними системами та їх обчислювальна реалізація у сучасному Modelica-подібному засновано-му-на-рівняннях відкритому програмному забезпеченні (ВПЗ) Optimica, OpenModelica, JModelica.org, Pyplot та Scicos Modelica. Пояснення інженерних концепцій та фізичних розмірностей для фазових змінних (або змінних стану) та змінних управління для керованої динамічної системи. Пояснення механічної, фізичної та обчислювальної різниці між переключеннями сигналу управління та переключеннями напряму руху керованого об'єкту.</p>	Для <u>денної форми навчання</u>						
	4	2	2	0	0	2	0
	Для <u>денної прискореної форми навчання</u>						
	(4)	(2)	(1)	(0)	(1)	(2)	(0)
	Для <u>заочної форми навчання</u>						
3	1	1	0	0	2	0	
Для <u>заочної прискореної форми навчання</u>							
(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	
<p>Тема 2. Застосування заснованого-на-рівняннях акаузального відкритого програмного забезпечення (ВПЗ) JModelica.org, Optimica та Pyplot до обчислювального знаходження чисельного “Bang-Bang”</p>	Для <u>денної форми навчання</u>						
	21	9	6	0	3	12	6
	Для <u>денної прискореної форми навчання</u>						

<p>розв'язку оберненої крайової ($J = t_f$) варіаційної задачі оптимальної швидкодії в рамках побудови (Open-Loop)-управління рухом керованої матеріальної точки для трьох випадків руху: (а) за відсутності переключень напрямку руху точки; (б) для одного переключення напрямку руху точки; (в) для двох переключень напрямку руху керованої точки. Програмна візуалізація та електромеханічне витлумачення результатів Modelica-моделювання.</p> <p>Докладне покрокове роз'яснення типового індивідуального алгоритмічного завдання ІЗ1 для чисельного знаходження оптимального за швидкістю розв'язку крайової задачі керованої динаміки точки $[(m \cdot (d^2(x(t))/dt^2) = u(t)); (u_{min} \leq u(t) \leq u_{max}); (J = t_f)]$ із застосуванням обчислювальних можливостей вільного та безкоштовного програмного забезпечення JModelica.org із розширенням Optimica:</p> <p>☼ Для керованої динамічної системи один $\{[(d(x(t))/dt) = V(t)]; [m \cdot (d(V(t))/dt) = u(t)]\}$ скласти, написати та Modelica-реалізувати акаузальні алгоритми та запропонувати відповідні *.mop та *.py файли для чисельного розв'язку поставленої задачі оптимальної швидкодії ($J = t_f$) щодо визначення, за який мінімальний проміжок часу ($t_f = ?$) [с] можна перемістити технічно-обмеженою силою $u(t)$ $\{u(t) \in [u_{min}; u_{max}]\}$ уздовж вісі Ox керовану матеріальну точку M масою m із початкового $[(x_{10}); (x_{20})]$ у кінцеве $[(x_{1f}); (x_{2f})]$ фазове положення, якщо $u_{min} \leq u(t) \leq u_{max}$, фактично замінивши розв'язання задачі оптимального за швидкістю управління ($J = t_f$) чисельним Modelica- та Optimica-розв'язанням задачі нелінійного програмування.</p> <p>☼ Також визначити невідомі функціональні залежності від поточного часу t [с] руху для змінної з часом керуючої сили $u = u(t) = ?$ [Н], змінної координати</p>	<u>навчання</u>						
	(14)	(8)	(4)	(0)	(4)	(6)	(5)
	Для <u>заочної форми навчання</u>						
	21	3	1	0	2	18	6
	Для <u>заочної прискореної форми навчання</u>						
(5)	(1)	(0,5)	(0)	(0,5)	(4)	(3)	
Рекомендована література до ІЗ01: [1-2, 6, 12, 24]							

<p>$x_1 = x_1(t) = ?$ [М] та змінної з часом швидкості $x_2 = x_2(t) = ?$ [м/с] точки М, тобто треба визначати <u>як закон руху матеріальної точки</u> ($x(t) = ?$), <u>так і діючі на точку сили</u> $u(t) = ?$ [Н].</p>																													
<p>Тема 3. Застосування принципу максимуму Понтрягіна до знаходження теоретичного “Bang-Bang” розв’язку оберненої крайової ($J = t_f$) варіаційної задачі оптимальної швидкодії в рамках побудови (Open-Loop)-управління рухом керованої матеріальної точки. Зіставлення результатів чисельного та аналітичного інтегрування для ($J = t_f$)-задачі. Програмна візуалізація, графічне порівняння шляхом зіставлення обох одержаних результатів.</p>	<p>Для <u>денної форми навчання</u></p> <table border="1" data-bbox="874 465 1415 510"> <tr> <td>13</td><td>7</td><td>4</td><td>0</td><td>3</td><td>6</td><td>0</td> </tr> </table> <p>Для <u>денної прискореної форми навчання</u></p> <table border="1" data-bbox="874 689 1415 734"> <tr> <td>(5)</td><td>(4)</td><td>(2)</td><td>(0)</td><td>(2)</td><td>(1)</td><td>(0)</td> </tr> </table> <p>Для <u>заочної форми навчання</u></p> <table border="1" data-bbox="874 869 1415 913"> <tr> <td>17</td><td>2</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>15</td><td>0</td> </tr> </table> <p>Для <u>заочної прискореної форми навчання</u></p> <table border="1" data-bbox="874 1093 1415 1137"> <tr> <td>(1,5)</td><td>(0,5)</td><td>(0,5)</td><td>(0)</td><td>(0)</td><td>(1)</td><td>(0)</td> </tr> </table>	13	7	4	0	3	6	0	(5)	(4)	(2)	(0)	(2)	(1)	(0)	17	2	2	0	0	15	0	(1,5)	(0,5)	(0,5)	(0)	(0)	(1)	(0)
13	7	4	0	3	6	0																							
(5)	(4)	(2)	(0)	(2)	(1)	(0)																							
17	2	2	0	0	15	0																							
(1,5)	(0,5)	(0,5)	(0)	(0)	(1)	(0)																							
<p>Тема 4. Застосування відкритого програмного забезпечення (ВПЗ) JModelica.org, Optimica та Pyplot до знаходження чисельного “Bang-Bang” розв’язку оберненої крайової ($J = t_f$) варіаційної задачі оптимальної швидкодії в рамках побудови (Open-Loop)-управління рухом керованим маятниковим осцилятором Ван-дер-Полівського типу. Програмна візуалізація та електромеханічне витлумачення результатів Modelica-моделювання.</p> <p>Докладне покрокове роз’яснення типового індивідуального алгоритмічного завдання ІЗ2 для чисельного знаходження <u>оптимального за швидкодією</u> розв’язку крайової задачі для руху керованого ван-дер-полівського осцилятора із застосуванням програмного забезпечення JModelica.org та Optimica:</p>	<p>Для <u>денної форми навчання</u></p> <table border="1" data-bbox="874 1272 1415 1317"> <tr> <td>18</td><td>6</td><td>4</td><td>0</td><td>2</td><td>12</td><td>6</td> </tr> </table> <p>Для <u>денної прискореної форми навчання</u></p> <table border="1" data-bbox="874 1496 1415 1541"> <tr> <td>(10)</td><td>(4)</td><td>(2)</td><td>(0)</td><td>(2)</td><td>(6)</td><td>(5)</td> </tr> </table> <p>Для <u>заочної форми навчання</u></p> <table border="1" data-bbox="874 1675 1415 1720"> <tr> <td>21</td><td>3</td><td>1</td><td>0</td><td>2</td><td>18</td><td>6</td> </tr> </table> <p>Для <u>заочної прискореної форми навчання</u></p> <table border="1" data-bbox="874 1899 1415 1944"> <tr> <td>(5)</td><td>(1)</td><td>(0,5)</td><td>(0)</td><td>(0,5)</td><td>(4)</td><td>(3)</td> </tr> </table>	18	6	4	0	2	12	6	(10)	(4)	(2)	(0)	(2)	(6)	(5)	21	3	1	0	2	18	6	(5)	(1)	(0,5)	(0)	(0,5)	(4)	(3)
18	6	4	0	2	12	6																							
(10)	(4)	(2)	(0)	(2)	(6)	(5)																							
21	3	1	0	2	18	6																							
(5)	(1)	(0,5)	(0)	(0,5)	(4)	(3)																							

☉ Для керованої динамічної системи два

$$\begin{cases} \left(\frac{d(x_1(t))}{dt}\right) = \left(1 - (x_2(t))^2\right) \cdot x_1(t) - x_2(t) + u(t); \\ \left(\frac{d(x_2(t))}{dt}\right) = x_1(t); \end{cases}$$

скласти, написати та **Modelica**-реалізувати акаузальні алгоритми та запропонувати відповідні *.**mop** та *.**py** файли для чисельного розв'язку поставленої задачі оптимальної швидкодії ($J = t_f$) щодо визначення, за який мінімальний проміжок часу ($t_f = ?$) [с] можна перемістити технічно-обмеженою силою $u(t)$ $\{u(t) \in [u_{min}; u_{max}]\}$ уздовж вісі **Ox** керований осцилятор ван-дер-полівського типу із початкового $[(x_{10}); (x_{20})]$ у кінцеве $[(x_{1f}); (x_{2f})]$ фазове положення, якщо $u_{min} \leq u(t) \leq u_{max}$.

☉ Також визначити невідомі функціональні залежності від поточного часу t [с] руху для керуючого сигналу $u = u(t) = ?$ [с⁻¹], а також для графіків першої та другої фазових координат (змінних стану) $x_1 = x_1(t) = ?$ [рад] та $x_2 = x_2(t) = ?$ [рад] рухомого об'єкту.

Рекомендована література до І302: [1-2, 6, 12, 24]

Тема 5. Застосування заснованого-на-рівняннях акаузального відкритого програмного забезпечення (ВПЗ) JModelica.org, Optimica та Pyplot до інженерно-фізичної постановки, якісного механічного та докладного математичного формулювання, наступного комп'ютерного визначення чисельного розв'язку "Bang-Bang"-типу та 2D візуалізації прикладних нелінійних задач для чисельного знаходження форми оптимального сигналу управління осциляційним маятниковим розгойдуванням переносно-переміщуваного вантажу при керованому повороті стріли баштового (стрілового) крану {для випадків сталої та змінної величин довжини тросу} та при керованому переміщенні рухомого візка крану мостового

Для денної форми навчання

43	13	8	0	5	30	24
----	----	---	---	---	----	----

Для денної прискореної форми навчання

(31)	(10)	(5)	(0)	(5)	(21)	(20)
------	------	-----	-----	-----	------	------

Для заочної форми навчання

36	1	1	0	0	35	24
----	---	---	---	---	----	----

Для заочної прискореної форми навчання

<p>типу. $[J = t_f]$-оптимізаційна задача для опису впливу сили інерції Коріолісу на динаміку відносного та абсолютного розгойдування керованої системи «вантаж-стріла крану» для руху математичного маятника з обертовою точкою підвісу [13-14, 16-17]]; $[J = t_f]$-оптимізаційна задача для динаміки розгойдування керованої системи «вантаж-стріла крану» у випадку руху математичного маятника зі змінною довжиною троса [18]]; $[J = t_f]$-оптимізаційна задача Сакави для опису динаміки розгойдування керованої системи «вантаж-стріла крану» [15]]; $[J = t_f]$-оптимізаційна задача для опису динаміки розгойдування керованої системи «два $\{u_1, u_2\}$-керовані візки 2D мостового крану – транспортована траверса» [19]].</p>	(15,5)	(2,5)	(1,5)	(0)	(1)	(13)	(12)
<p>Рекомендована література до І303–І306: [1-2, 6, 12, 24]</p>							
<p>Тема 6. Застосування відкритого програмного забезпечення (ВПЗ) JModelica.org, Optimica та Pyplot до знаходження чисельного розв'язку задачі автоматичного управління рівнями рідини для зв'язаної гідравлічної системи чотирьох поєднаних резервуарів та двох керованих насосів (quadruple tank system). Програмна візуалізація та електро-механічне витлумачення одержаних результатів Modelica-моделювання в рамках ілюстрації задач оцінки параметрів (parameter estimation problem).</p>	10	4	3	0	1	6	0
	(5)	(4)	(2)	(0)	(2)	(1)	(0)
	<p>Для <u>заочної форми навчання</u></p>						
	11	1	1	0	0	10	0
	<p>Для <u>заочної прискореної форми навчання</u></p>						
	(1,5)	(0,5)	(0,5)	(0)	(0)	(1)	(0)
<p>Тема 7. Застосування відкритого програмного забезпечення (ВПЗ) JModelica.org, Optimica та Pyplot до знаходження чисель-</p>	11	4	3	0	1	7	0
<p>Для <u>денної форми навчання</u></p>							

<p>ного розв'язку задачі автоматичного управління температурами та концентрацією для реакційного хімічного реактора із неперервним механічним перемішуванням у резервуарі-мішалці (Continuously Stirred Tank Reactor). Програмна візуалізація та електромеханічне витлумачення одержаних результатів Modelica-моделювання в рамках ілюстрації задач нелінійного програмування для керованих динамічних систем із урахуванням визначальних диференціально-алгебраїчних рівнянь.</p>	<p>Для <u>денної прискореної форми навчання</u></p>						
	(6)	(4)	(2)	(0)	(2)	(2)	(0)
	<p>Для <u>заочної форми навчання</u></p>						
	11	1	1	0	0	10	0
	<p>Для <u>заочної прискореної форми навчання</u></p>						
	(1,5)	(0,5)	(0,5)	(0)	(0)	(1)	(0)
<p>Всього для денної форми навчання</p>							
120	45	30	0	15	75	36	
<p>Всього для <u>денної прискореної форми навч.</u></p>							
(75)	(36)	(18)	(0)	(18)	(39)	(30)	
<p>Всього для <u>заочної форми навчання</u></p>							
120	12	8	0	4	108	36	
<p>Всього для <u>заочної прискорен. форми навч.</u></p>							
(30)	(6)	(4)	(0)	(2)	(24)	(18)	

4.5. Лекції з навчальної дисципліни «Основи мехатроніки»

№ лек	Зміст тем, лекцій, дидактичних засобів. Завдання на СРС	Год.	Літера-тура
1	2	3	4
1	<p>Лекція 1: Задача оптимальної швидкодії $\{A1, A2, A3\} + B1$, де</p> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <p>□ Нижній A-рівень (або нижній A-поверх) задачі оптимального управління:</p> <p>□ A1. $u(t)$-керована динамічна система, яка містить визначальні диференціальні рівняння (ДР) та/або диференціально-алгебраїчні рівняння (ДАР) руху мехатронної системи.</p> <p>□ Найпростішою є Ньютонівська динамічна система, тобто другий закон Ньютона, записаний у вигляді системи двох ДР першого порядку для випадку одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси:</p> $\begin{cases} \left(\frac{d(x_1(t))}{dt}\right) = (x_2(t)); \\ \left(\frac{d(x_2(t))}{dt}\right) = \left(\frac{u(t)}{m}\right); \end{cases} \quad (A1)$ <p>$x_1(t)$ – це перша фазова координата, причому наразі $\dim(x_1(t)) = [\text{meter}] = [m]$;</p> <p>$x_2(t)$ – це друга фазова координата, причому наразі $\dim(x_2(t)) = [\text{meter/second}] = [m/s]$;</p> <p>$u(t)$ – це управління (сигнал управління), причому наразі $\dim(u(t)) = [\text{Newton}] = [N]$;</p> <p>$m$ – це маса $u(t)$-керованої точки, причому $\dim(m) = [\text{kilogram}] = [kg]$.</p> <p>□ A2. Початкові (стартові) умови (Стани)</p> <p>□ Початкові стани Ньютонівської динамічної системи з фазовими змінними $x_1(t)$ та $x_2(t)$:</p> $\begin{cases} x_1(0) = x_{10}; \\ x_2(0) = x_{20}; \end{cases} \quad (A2)$ <p>□ A3. Кінцеві (граничні, термінальні, фінальні, остаточні) умови (Обмеження)</p> <p>□ Обмеження, накладені на $u(t)$-керовану Ньютонівську динамічну систему:</p>	<p>5 год. лек. ден.</p> <p>2 год. лек. ден. при ско рен.</p> <p>2 год. лек. зао чне</p>	<p>[1-2, 6, 12, 24]</p>

	$\begin{cases} x_1(t_f) = x_{1f}; \\ x_2(t_f) = x_{2f}; \\ u_{\min} \leq u(t) \leq u_{\max}; \end{cases} \quad (\mathbf{A3})$ <p>-----</p> <p>□Верхній B-рівень (або верхній B-поверх) задачі оптимального управління:</p> <p>□B1. Нелінійно-динамічна варіаційна задача оптимального управління з мінімальним часом руху керованого об'єкту з початкового у кінцеве фазове положення – задача оптимальної швидкодії $\min_{u(t)}(J_1) = \min_{u(t)}(t_f)$, (B1) де {Modelica, Optimica}-оптимізоване чисельне значення $(t_f) = (t_f)_1 = \left((t_f)_{(J_1)} \right)$ фінального часу руху $u(t)$-керованого об'єкта є попередньо невідомою величиною $(t_f) = (t_f)_1 = ?$</p> <p>-----</p> <p>□B1mor. Постановка та комп'ютерний розв'язок першої оптимізаційної задачі оптимальної швидкодії для мінімізації часу руху керованого об'єкта з початкового у кінцеве фазове положення, сформульованої у вигляді системи рівнянь {A1, A2, A3} + B1.</p> <p>-----</p> <p><i>Застосовуються авторські слайди оригінальних PowerPoint презентацій та мультимедійний проектор.</i></p>	1 год. лек. заочне при ско рен.	
2	<p>Лекція 2: Задача оптимального управління мехатронною системою з квадратичним критерієм якості {A1, A2, A3} + B2, де</p> <p>-----</p> <p>□B2. Нелінійно-динамічна варіаційна задача оптимального управління керованим мехатронним об'єктом з цільовою функцією (критерієм якості, критерієм оптимальності, мінімізованим функціоналом) у вигляді інтегрального квадратичного критерію якості зі сталим наперед-заданим значенням верхньої межі інтегрування:</p> <p>-----</p> $\min_{u(t)}(J_2) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f^*)} \left([x_1(t)]^2 + [x_2(t)]^2 + [u(t)]^2 \right) dt \right), \quad (\mathbf{B2})$ <p>де $(t_f^*) = \left((t_f^*)_2 \right) = \text{const}(s)$, причому $\left((t_f^*)_2 \right) \leq \left((t_f)_1 \right)$ та/або $\left((t_f^*)_2 \right) \approx \left((t_f)_1 \right) + \varepsilon$.</p> <p>-----</p> <p>□B2mor. Постановка та комп'ютерний розв'язок другої задачі оп-</p>	5 год. лек. ден. 2 год. лек. ден. при ско рен. 2 год. лек. заочне	[1-2, 6, 12, 24]

	<p>тимального управління {A1, A2, A3} + B2. Мета другої оптимізаційної задачі B2mor – це згладження квадратичними параболою $x_2(t)$-зламів швидкостей у першій задачі B1mor. Поставлена мета B2mor досягається квадратичним критерієм якості (B2) та належним вибором часу інтегрування, який має дорівнювати або бути трохи більшим за мінімальний час руху у відповідній задачі B1mor.</p> <p>-----</p> <p><i>Застосовуються авторські слайди оригінальних PowerPoint презентацій та мультимедійний проектор.</i></p>	<p>1 год. лек. заочне при ско рен.</p>	
3	<p>Лекція 3: Задачі оптимального управління мехатронною системою з квадратичними критеріями якості ({A1, A2, A3} + B3); ({A1, A2, A3} + B4); ({A1, A2, A3} + B5) та ({A1, A2, A3} + B6), де</p> <p>-----</p> <p>□B3. Нелінійно-динамічна варіаційна задача оптимального управління керованим мехатронним об'єктом з цільовою функцією (критерієм якості, критерієм оптимальності, мінімізованим функціоналом) у вигляді інтегрального квадратичного критерію якості:</p> <p>-----</p> $\square \min_{u(t)}(J_3) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left[(x_1(t))^2 + (x_2(t))^2 + (u(t))^2 \right] dt \right), \quad (\mathbf{B3})$ <p>де {Modelica, Optimica}-оптимізоване значення фінального часу $(t_f) = (t_f)_3 = ((t_f)_{(J_3)})$ руху $u(t)$-керованого об'єкта у змінній верхній межі інтегрування для мінімізованого J_3-функціоналу є попередньо-невідомою величиною $(t_f) = ((t_f)_3) = ?$</p> <p>-----</p> <p>□B3mor. Постановка та комп'ютерний розв'язок третьої задачі оптимального управління {A1, A2, A3} + B3.</p> <p>-----</p> <p>□B4. Нелінійно-динамічна варіаційна задача оптимального управління керованим мехатронним об'єктом з цільовою функцією (критерієм якості, критерієм оптимальності, мінімізованим функціоналом) у вигляді інтегрального квадратичного критерію якості, записаному у вигляді квадратів різниць обох фазових змінних $x_1(t)$; $x_2(t)$ та змінної управління $u(t)$: □ $\min_{u(t)}(J_4) =$</p> <p>-----</p>	<p>[1-2 6, 12, 24]</p> <p>2 год. лек. ден.</p> <p>2 год. лек. ден. при ско рен.</p> <p>2 год. лек. заочне</p>	

$$\square \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_1(t) - x_2(t))^2 + (x_1(t) - u(t))^2 + (x_2(t) - u(t))^2 \right) dt \right), \quad (\mathbf{B4})$$

де {Modelica, Optimica}-оптимізоване значення фінального часу $(t_f) = (t_f)_4 = ((t_f)_{(J4)})$ руху $u(t)$ -керованого об'єкта у змінній верхній межі інтегрування для мінімізованого J_4 -функціоналу є попередньо-невідомою величиною $(t_f) = ((t_f)_4) = ?$

□B4mor. Постановка та комп'ютерний розв'язок четвертої задачі оптимального управління {A1, A2, A3} + B4.

□B5. Нелінійно-динамічна варіаційна задача оптимального управління керованим мехатронним об'єктом з цільовою функцією (критерієм якості, критерієм оптимальності, мінімізованим функціоналом) у вигляді $(|u(t)|^5)$ -модифікованого інтегрального квадратичного критерію якості, записаному у вигляді квадратів різниць обох фазових змінних $x_1(t)$; $x_2(t)$ та змінної управління $u(t)$ із додаванням до підінтегрального виразу інтегральної цільової функції модульно-степеневого доданку $(|u(t)|^5)$ для п'ятого ступеня модуля сигналу управління: $\square \min_{u(t)} (J_5) =$

$$\square \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_1(t) - x_2(t))^2 + (x_1(t) - u(t))^2 + (x_2(t) - u(t))^2 + (|u(t)|^5) \right) dt \right),$$

(B5) де {Modelica, Optimica}-оптимізоване значення фінального часу $(t_f) = (t_f)_5 = ((t_f)_{(J5)})$ руху $u(t)$ -керованого об'єкта у змінній верхній межі інтегрування для мінімізованого J_5 -функціоналу є попередньо-невідомою величиною $(t_f) = ((t_f)_5) = ?$

□B5mor. Постановка та комп'ютерний розв'язок п'ятої задачі оптимального управління {A1, A2, A3} + B5.

□B6. Нелінійно-динамічна варіаційна задача оптимального управління керованим мехатронним об'єктом з цільовою функцією (критерієм якості, критерієм оптимальності, мінімізова-

1
год.
лек.
заочне
при
ско
рен.

	<p>ним функціоналом) у вигляді $\left\{1/(x_i(t)); 1/(x_i^2(t))\right\}$-модифікованого інтегрального квадратичного критерію якості, записаному у вигляді квадратів різниць обох обернених фазових змінних $(1/(x_1(t))); (1/(x_2(t)))$ та змінної управління $u(t)$: $\square \min_{u(t)}(J_6) =$</p> <hr/> $\square \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left(\left(\frac{1}{x_1(t)} - \frac{1}{x_2(t)} \right)^2 + \left(\frac{1}{x_1(t)} - u(t) \right)^2 + \left(\frac{1}{x_2(t)} - u(t) \right)^2 \right) dt \right),$ <p>(B6) де {Modelica, Optimica}-оптимізоване значення фінального часу $(t_f) = (t_f)_6 = \left((t_f)_{(J_6)} \right)$ руху $u(t)$-керovanого об'єкта у змінній верхній межі інтегрування для мінімізованого J_6-функціоналу є попередньо-невідомою величиною $(t_f) = \left((t_f) \right)_6 = ?$</p> <hr/> <p>$\square$B6тор. Постановка та комп'ютерний розв'язок шостої задачі оптимального управління {A1, A2, A3} + B6.</p> <hr/> <p><i>Застосовуються авторські слайди оригінальних PowerPoint презентацій та мультимедійний проектор.</i></p>		
4	<p>Лекція 4: Задачі оптимального управління мехатронною системою з квадратичними критеріями якості ({A1, A2, A3} + B7); ({A1, A2, A3} + B8); ({A1, A2, A3} + B9) та ({A1, A2, A3} + B10), де</p> <hr/> <p>\squareB7. Нелінійно-динамічна варіаційна задача оптимального управління керованим мехатронним об'єктом з цільовою функцією (критерієм якості, критерієм оптимальності, мінімізованим функціоналом) у вигляді $(d(x_1(t))/dt)^2$-модифікованого інтегрального квадратичного критерію якості, який містить квадрат першої похідної за часом від першої фазової змінної $x_1(t)$:</p> <hr/> $\square \min_{u(t)}(J_7) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_1(t))^2 + \left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^2 \right) dt \right), \text{ (B7)}$ <p>де {Modelica, Optimica}-оптимізоване значення фінального часу $(t_f) = (t_f)_7 = \left((t_f)_{(J_7)} \right)$ руху $u(t)$-керovanого об'єкта у змінній верхній межі інтегрування для мінімізованого J_7-функціоналу є попередньо-невідомою величиною $(t_f) = \left((t_f) \right)_7 = ?$</p> <hr/>	<p>[1-2, 6, 12, 24]</p> <p>2</p> <p>год. лек. ден.</p>	
		<p>2</p> <p>год. лек. ден. при ско рен.</p>	

□ **B7тор**. Постановка та комп'ютерний розв'язок сьомої задачі оптимального управління {A1, A2, A3} + B7.

□ **B8**. Нелінійно-динамічна варіаційна задача оптимального управління керованим мехатронним об'єктом з цільовою функцією (критерієм якості, критерієм оптимальності, мінімізованим функціоналом) у вигляді $(d(x_2(t))/dt)^2$ -модифікованого інтегрального квадратичного критерію якості, який містить квадрат першої похідної за часом від другої фазової змінної $x_2(t)$:

$$\square \min_{u(t)}(J_8) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_2(t))^2 + \left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right)^2 \right) dt \right), \text{ (B8)}$$

де {Modelica, Optimica}-оптимізоване значення фінального часу $(t_f) = (t_f)_8 = ((t_f)_{(J_8)})$ руху $u(t)$ -керованого об'єкта у змінній верхній межі інтегрування для мінімізованого J_8 -функціоналу є попередньо-невідомою величиною $(t_f) = ((t_f)_8) = ?$

□ **B8тор**. Постановка та комп'ютерний розв'язок восьмої задачі оптимального управління {A1, A2, A3} + B8.

□ **B9**. Нелінійно-динамічна варіаційна задача оптимального управління керованим мехатронним об'єктом з цільовою функцією (критерієм якості, критерієм оптимальності, мінімізованим функціоналом) у вигляді $(d(x_i(t))/dt)^2$ -модифікованого аддитивного інтегрального квадратичного критерію якості, який містить як квадрат першої похідної за часом від першої фазової змінної $x_1(t)$, так і квадрат першої похідної за часом від другої фазової змінної $x_2(t)$ окрім суми квадратів фазових змінних: $\square \min_{u(t)}(J_9) =$

$$\min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_1(t))^2 + \left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^2 + (x_2(t))^2 + \left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right)^2 \right) dt \right), \text{ (B9)}$$

де {Modelica, Optimica}-оптимізоване значення фінального часу $(t_f) = (t_f)_9 = ((t_f)_{(J_9)})$ руху $u(t)$ -керованого об'єкта у змінній верхній межі інтегрування для мінімізованого J_9 -функціоналу є попередньо-невідомою величиною $(t_f) = ((t_f)_9) = ?$

0
год.
лек.
заочне

0
год.
лек.
заочне
при
ско
рен.

□**B9**мор. Постановка та комп'ютерний розв'язок дев'ятої задачі оптимального управління {A1, A2, A3} + B9.

□**B10**. Нелінійно-динамічна варіаційна задача оптимального управління керованим мехатронним об'єктом з цільовою функцією (критерієм якості, критерієм оптимальності, мінімізованим функціоналом) у вигляді $(d(x_i(t))/dt)^2$ -модифікованого аддитивного інтегрального квадратичного критерію якості, який містить як квадрат першої похідної за часом від першої фазової змінної $x_1(t)$, так і квадрат першої похідної за часом від другої фазової змінної $x_2(t)$ окрім суми квадратів обох фазових змінних $x_1(t)$; $x_2(t)$ та квадрату змінної управління $u(t)$: □ $\min_{u(t)}(J_{10}) =$

$$\min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_1(t))^2 + \left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^2 + (x_2(t))^2 + \left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right)^2 + u^2(t) \right) dt \right),$$

(B10) де {Modelica, Optimica}-оптимізоване значення фінального часу $(t_f) = (t_f)_{10} = (t_f)_{(J_{10})}$ руху $u(t)$ -керованого об'єкта у змінній верхній межі інтегрування для мінімізованого J_{10} -функціоналу є попередньо-невідомою величиною $(t_f) = (t_f)_{10} = ?$

□**B10**мор. Постановка та комп'ютерний розв'язок десятої задачі оптимального управління {A1, A2, A3} + B10.

Застосовуються авторські слайди оригінальних PowerPoint презентацій та мультимедійний проектор.

5 Лекція 5: Задачі оптимального управління мехатронною системою з квадратичними критеріями якості ({A1, A2, A3} + B11); ({A1, A2, A3} + B12) та ({A1, A2, A3} + B13), де

□**B11**. Нелінійно-динамічна варіаційна задача оптимального управління керованим мехатронним об'єктом з цільовою функцією (критерієм якості, критерієм оптимальності, мінімізованим функціоналом) у вигляді $(u(t)/x_i(t))^2$ -модифікованого аддитивно-дробового інтегрального квадратичного критерію якості, який містить як квадрат першої похідної за часом від першої фазової змінної $x_1(t)$, так і квадрат першої похідної за часом від другої фазової змінної $x_2(t)$ окрім суми квадратів обох фазових змін-

[1-2, 6, 12, 24]
2 год. лек. ден.

них $x_1(t)$; $x_2(t)$ та квадратів відношення сигналу управління $u(t)$ до кожної з двох фазових змінних $x_1(t)$ та $x_2(t)$: $\square \min_{u(t)}(J_{11}) =$

$$\min_{u(t)} \int_0^{(t_f)} \left((x_1(t))^2 + \left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^2 + (x_2(t))^2 + \left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right)^2 - \frac{(u^2(t))}{(x_1(t))^2} - \frac{(u^2(t))}{(x_2(t))^2} \right) dt, \quad (\mathbf{B11})$$

де {Modelica, Optimica}-оптимізоване значення фінального часу $(t_f) = (t_f)_{11} = ((t_f)_{(J_{11})})$ руху $u(t)$ -керованого об'єкта у змінній верхній межі інтегрування для мінімізованого J_{11} -функціоналу є попередньо-невідомою величиною $(t_f) = ((t_f)_{11}) = ?$

□**B11**мор. Постановка та комп'ютерний розв'язок одинадцятої задачі оптимального управління {A1, A2, A3} + B11.

□**B12**. Нелінійно-динамічна варіаційна задача оптимального управління керованим мехатронним об'єктом з цільовою функцією (критерієм якості, критерієм оптимальності, мінімізованим функціоналом) у вигляді $(u^2(t)/x_i(t))$ - та $(u(t)/x_i(t))^2$ -модифікованого аддитивно-дробового інтегрального квадратичного критерію якості, який містить як квадрат першої похідної за часом від першої фазової змінної $x_1(t)$, так і квадрат першої похідної за часом від другої фазової змінної $x_2(t)$ окрім суми квадратів обох фазових змінних $x_1(t)$; $x_2(t)$, відношення квадрату сигналу управління $u(t)$ до кожної з двох фазових змінних $x_1(t)$ та $x_2(t)$, а також квадратів відношення сигналу управління $u(t)$ до кожної з двох фазових змінних $x_1(t)$ та $x_2(t)$: $\square \min_{u(t)}(J_{12}) =$

$$\min_{u(t)} \int_0^{(t_f)} \left((x_1(t))^2 + \left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^2 + (x_2(t))^2 + \left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right)^2 - \frac{(u^2(t))}{(x_1(t))} - \frac{(u^2(t))}{(x_2(t))} - \frac{(u^2(t))}{(x_1(t))^2} - \frac{(u^2(t))}{(x_2(t))^2} \right) dt, \quad (\mathbf{B12})$$

де {Modelica, Optimica}-оптимізоване значення фінального часу

2
год.
лек.
ден.
при
ско
рен.

0
год.
лек.
за
чне

0
год.
лек.
за
чне
при
ско
рен.

$(t_f) = (t_f)_{12} = ((t_f)_{(J_{12})})$ руху $u(t)$ -керованого об'єкта у змінній верхній межі інтегрування для мінімізованого J_{12} -функціоналу є попередньо-невідомою величиною $(t_f) = ((t_f)_{12}) = ?$

□**V12mor**. Постановка та комп'ютерний розв'язок дванадцятої задачі оптимального управління {A1, A2, A3} + V12.

□**V13**. Нелінійно-динамічна варіаційна задача оптимального управління керованим мехатронним об'єктом з цільовою функцією (критерієм якості, критерієм оптимальності, мінімізованим функціоналом) у вигляді $(u(t)/x_i^2(t))^2$ -модифікованого аддитивно-дробового інтегрального квадратичного критерію якості, який містить як квадрат першої похідної за часом від першої фазової змінної $x_1(t)$, так і квадрат першої похідної за часом від другої фазової змінної $x_2(t)$ окрім суми квадратів обох фазових змінних $x_1(t)$; $x_2(t)$ та квадратів відношення сигналу управління $u(t)$ до квадрату кожної з фазових змінних $x_1(t)$ та $x_2(t)$: □ $\min_{u(t)}(J_{13}) =$

$$\min_{u(t)} \int_0^{(t_f)} \left((x_1(t))^2 + \left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^2 + (x_2(t))^2 + \left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right)^2 - \frac{(u^2(t))}{(x_1(t))^4} - \frac{(u^2(t))}{(x_2(t))^4} \right) dt, \quad (\mathbf{V13})$$

де {Modelica, Optimica}-оптимізоване значення фінального часу $(t_f) = (t_f)_{13} = ((t_f)_{(J_{13})})$ руху $u(t)$ -керованого об'єкта у змінній верхній межі інтегрування для мінімізованого J_{13} -функціоналу є попередньо-невідомою величиною $(t_f) = ((t_f)_{13}) = ?$

□**V13mor**. Постановка та комп'ютерний розв'язок тринадцятої задачі оптимального управління {A1, A2, A3} + V13.

Застосовуються авторські слайди оригінальних PowerPoint презентацій та мультимедійний проектор.

6 **Лекція 6:** Задачі оптимального управління мехатронною системою з квадратичними критеріями якості ({A1, A2, A3} + V14); ({A1, A2, A3} + V15); ({A1, A2, A3} + V16); ({A1, A2, A3} + V17); ({A1,

<p>A2, A3} + B18); ({A1, A2, A3} + B19); ({A1, A2, A3} + B20) та ({A1, A2, A3} + B21), де</p>		[1-2]
<p>-----</p> <p>□B14. Нелінійно-динамічна варіаційна задача оптимального управління керованим мехатронним об'єктом з цільовою функцією (критерієм якості, критерієм оптимальності, мінімізованим функціоналом) у вигляді модифікованого інтегрального адитивного кубічного критерію якості, який містить як куб першої похідної за часом від першої фазової змінної $x_1(t)$, так і куб першої похідної за часом від другої фазової змінної $x_2(t)$, а також куб величини сигналу управління $u(t)$: □ $\min_{u(t)}(J_{14}) =$</p>	<p>2 год. лек. ден.</p>	6, 12, 24]
<p>-----</p> $\min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left[\left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^3 + \left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right)^3 + [u(t)]^3 \right] dt \right), \text{ (B14)}$ <p>де {Modelica, Optimica}-оптимізоване значення фінального часу $(t_f) = (t_f)_{14} = ((t_f)_{(J_{14})})$ руху $u(t)$-керованого об'єкта у змінній верхній межі інтегрування для мінімізованого J_{14}-функціоналу є попередньо-невідомою величиною $(t_f) = ((t_f)_{14}) = ?$</p>	<p>2 год. лек. ден. при ско рен.</p>	
<p>-----</p> <p>□B14мор. Постановка та комп'ютерний розв'язок чотирнадцятої задачі оптимального управління {A1, A2, A3} + B14.</p>	<p>0 год. лек.</p>	
<p>-----</p> <p>□B15. Нелінійно-динамічна варіаційна задача оптимального управління керованим мехатронним об'єктом з цільовою функцією (критерієм якості, критерієм оптимальності, мінімізованим функціоналом) у вигляді інтегрального квадратично-степеневого критерію якості у формі визначеного інтегралу від квадратного кореня з квадратичного критерію якості:</p>	<p>заочне</p>	
<p>-----</p> $\square \min_{u(t)}(J_{15}) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \sqrt{[(x_1(t))^2] + [(x_2(t))^2] + [u(t)]^2} dt \right), \text{ (B15)}$ <p>де {Modelica, Optimica}-оптимізоване значення фінального часу $(t_f) = (t_f)_{15} = ((t_f)_{(J_{15})})$ руху $u(t)$-керованого об'єкта у змінній верхній межі інтегрування для мінімізованого J_{15}-функціоналу є попередньо-невідомою величиною $(t_f) = ((t_f)_{15}) = ?$</p>	<p>0 год. лек. заочне при ско рен.</p>	

□**V15**мор. Постановка та комп'ютерний розв'язок п'ятнадцятої задачі оптимального управління {A1, A2, A3} + B15.

□**V16**. Нелінійно-динамічна варіаційна задача оптимального управління керованим мехатронним об'єктом з цільовою функцією (критерієм якості, критерієм оптимальності, мінімізованим функціоналом) у вигляді інтегрального квадратично-степеневого критерію якості у формі визначеного інтегралу від кубічного кореня з квадратичного критерію якості:

$$\square \min_{u(t)} (J_{16}) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \sqrt[3]{[(x_1(t))^2] + [(x_2(t))^2] + [(u(t))^2]} dt \right), \quad (\mathbf{B16})$$

де {Modelica, Optimica}-оптимізоване значення фінального часу $(t_f) = (t_f)_{16} = ((t_f)_{(J_{16})})$ руху $u(t)$ -керованого об'єкта у змінній верхній межі інтегрування для мінімізованого J_{16} -функціоналу є попередньо-невідомою величиною $(t_f) = ((t_f)_{16}) = ?$

□**V16**мор. Постановка та комп'ютерний розв'язок шістнадцятої задачі оптимального управління {A1, A2, A3} + B16.

□**V17**. Нелінійно-динамічна варіаційна задача оптимального управління керованим мехатронним об'єктом з цільовою функцією (критерієм якості, критерієм оптимальності, мінімізованим функціоналом) у вигляді інтегрального квадратично-степеневого критерію якості у формі визначеного інтегралу від кубічного кореня з квадратичного критерію якості: □ $\min_{u(t)} (J_{17}) =$

$$\square \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \sqrt[3]{((x_1(t) - x_2(t))^2 + (x_1(t) - u(t))^2 + (x_2(t) - u(t))^2)} dt \right), \quad (\mathbf{B17})$$

де {Modelica, Optimica}-оптимізоване значення фінального часу $(t_f) = (t_f)_{17} = ((t_f)_{(J_{17})})$ руху $u(t)$ -керованого об'єкта у змінній верхній межі інтегрування для мінімізованого J_{17} -функціоналу є попередньо-невідомою величиною $(t_f) = ((t_f)_{17}) = ?$

□**V17**мор. Постановка та комп'ютерний розв'язок сімнадцятої задачі оптимального управління {A1, A2, A3} + B17.

□**V18.** Нелінійно-динамічна варіаційна задача оптимального управління керованим мехатронним об'єктом з цільовою функцією (критерієм якості, критерієм оптимальності, мінімізованим функціоналом) у вигляді інтегрального кубічно-степеневого критерію якості у формі визначеного інтегралу від квадратного кореня з кубічного критерію якості:

$$\square \min_{u(t)}(J_{18}) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \sqrt[2]{\left[(x_1(t))^3 + (x_2(t))^3 + (u(t))^3 \right]} dt \right), \quad (\mathbf{B18})$$

де {Modelica, Optimica}-оптимізоване значення фінального часу $(t_f) = (t_f)_{18} = \left((t_f)_{(J_{18})} \right)$ руху $u(t)$ -керованого об'єкта у змінній верхній межі інтегрування для мінімізованого J_{18} -функціоналу є попередньо-невідомою величиною $(t_f) = \left((t_f)_{18} \right) = ?$

□**V18mor.** Постановка та комп'ютерний розв'язок вісімнадцятої задачі оптимального управління {A1, A2, A3} + V18.

□**V19.** Нелінійно-динамічна варіаційна задача оптимального управління керованим мехатронним об'єктом з цільовою функцією (критерієм якості, критерієм оптимальності, мінімізованим функціоналом) у вигляді інтегрального кубічно-степеневого критерію якості у формі визначеного інтегралу від квадратного кореня з модифікованого кубічного критерію якості: $\square \min_{u(t)}(J_{19}) =$

$$\min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \sqrt[2]{\left((x_1(t) - x_2(t))^3 + (x_1(t) - u(t))^3 + (x_2(t) - u(t))^3 \right)} dt \right), \quad (\mathbf{B19})$$

де {Modelica, Optimica}-оптимізоване значення фінального часу $(t_f) = (t_f)_{19} = \left((t_f)_{(J_{19})} \right)$ руху $u(t)$ -керованого об'єкта у змінній верхній межі інтегрування для мінімізованого J_{19} -функціоналу є попередньо-невідомою величиною $(t_f) = \left((t_f)_{19} \right) = ?$

□**V19mor.** Постановка та комп'ютерний розв'язок дев'ятнадцятої задачі оптимального управління {A1, A2, A3} + V19.

□**V20.** Нелінійно-динамічна варіаційна задача оптимального управління керованим мехатронним об'єктом з цільовою

функцією (критерієм якості, критерієм оптимальності, мінімізованим функціоналом) у вигляді інтегрального кубічно-степеневого критерію якості у формі визначеного інтегралу від кубічного кореня з кубічного критерію якості:

$$\square \min_{u(t)}(J_{20}) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \sqrt[3]{[(x_1(t))^3] + [(x_2(t))^3] + [(u(t))^3]} dt \right), \quad (\mathbf{B20})$$

де {Modelica, Optimica}-оптимізоване значення фінального часу $(t_f) = (t_f)_{20} = ((t_f)_{(J_{20})})$ руху $u(t)$ -керovanого об'єкта у змінній верхній межі інтегрування для мінімізованого J_{20} -функціоналу є попередньо-невідомою величиною $(t_f) = ((t_f)_{20}) = ?$

□**B20mor**. Постановка та комп'ютерний розв'язок двадцятої задачі оптимального управління {A1, A2, A3} + B20.

□**B21**. Нелінійно-динамічна варіаційна задача оптимального управління керованим мехатронним об'єктом з цільовою функцією (критерієм якості, критерієм оптимальності, мінімізованим функціоналом) у вигляді інтегрального кубічно-степеневого критерію якості у формі визначеного інтегралу від кубічного кореня з модифікованого кубічного критерію якості: $\square \min_{u(t)}(J_{21}) =$

$$\min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \sqrt[3]{(x_1(t) - x_2(t))^3 + (x_1(t) - u(t))^3 + (x_2(t) - u(t))^3} dt \right), \quad (\mathbf{B21})$$

де {Modelica, Optimica}-оптимізоване значення фінального часу $(t_f) = (t_f)_{21} = ((t_f)_{(J_{21})})$ руху $u(t)$ -керovanого об'єкта у змінній верхній межі інтегрування для мінімізованого J_{21} -функціоналу є попередньо-невідомою величиною $(t_f) = ((t_f)_{21}) = ?$

□**B21mor**. Постановка та комп'ютерний розв'язок двадцять першої задачі оптимального управління {A1, A2, A3} + B21.

Застосовуються авторські слайди оригінальних PowerPoint презентацій та мультимедійний проектор.

7 **Лекція 7:** Задачі оптимального управління мехатронною системою з інтегральними мультиплікативними критеріями якості ({A1, A2, A3} + B22); ({A1, A2, A3} + B23); ({A1, A2, A3} + B24) та ({A1,

<p>A2, A3} + B25), де</p> <p>-----</p> <p>□B22. Нелінійно-динамічна варіаційна задача оптимального управління керованим мехатронним об'єктом з цільовою функцією (критерієм якості, критерієм оптимальності, мінімізованим функціоналом) у вигляді інтегрального мультиплікативного критерію якості у формі добутку обох фазових змінних $x_1(t)$ та $x_2(t)$, а також квадрату сигналу управління $u(t)$:</p> <p>-----</p> $\square \min_{u(t)}(J_{22}) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left[(x_1(t)) \cdot (x_2(t)) \cdot [u(t)]^2 \right] dt \right), \text{ (B22)}$ <p>де {Modelica, Optimica}-оптимізоване значення фінального часу $(t_f) = (t_f)_{22} = \left((t_f)_{(J_{22})} \right)$ руху $u(t)$-керованого об'єкта у змінній верхній межі інтегрування для мінімізованого J_{22}-функціоналу є попередньо-невідомою величиною $(t_f) = \left((t_f)_{22} \right) = ?$</p> <p>-----</p> <p>□B22мор. Постановка та комп'ютерний розв'язок двадцять другої задачі оптимального управління {A1, A2, A3} + B22.</p> <p>-----</p> <p>□B23. Нелінійно-динамічна варіаційна задача оптимального управління керованим мехатронним об'єктом з цільовою функцією (критерієм якості, критерієм оптимальності, мінімізованим функціоналом) у вигляді інтегрального мультиплікативного критерію якості у формі добутку квадратів обох фазових змінних $x_1(t)$ та $x_2(t)$, а також квадрату сигналу управління $u(t)$:</p> <p>-----</p> $\square \min_{u(t)}(J_{23}) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left[(x_1(t))^2 \cdot (x_2(t))^2 \cdot [u(t)]^2 \right] dt \right), \text{ (B23)}$ <p>де {Modelica, Optimica}-оптимізоване значення фінального часу $(t_f) = (t_f)_{23} = \left((t_f)_{(J_{23})} \right)$ руху $u(t)$-керованого об'єкта у змінній верхній межі інтегрування для мінімізованого J_{23}-функціоналу є попередньо-невідомою величиною $(t_f) = \left((t_f)_{23} \right) = ?$</p> <p>-----</p> <p>□B23мор. Постановка та комп'ютерний розв'язок двадцять третьої задачі оптимального управління {A1, A2, A3} + B23.</p> <p>-----</p> <p>□B24. Нелінійно-динамічна варіаційна задача оптимального</p>	<p>2 год. лек. ден.</p>	<p>[1-2, 6, 12, 24]</p>
	<p>2 год. лек. ден. при ско рен.</p>	
	<p>0 год. лек. зао чне</p>	
<p>-----</p> <p>□B23мор. Постановка та комп'ютерний розв'язок двадцять третьої задачі оптимального управління {A1, A2, A3} + B23.</p> <p>-----</p> <p>□B24. Нелінійно-динамічна варіаційна задача оптимального</p>	<p>0 год. лек. зао чне при ско рен.</p>	

управління керованим мехатронним об'єктом з цільовою функцією (критерієм якості, критерієм оптимальності, мінімізованим функціоналом) у вигляді інтегрального мультиплікативного критерію якості у формі добутку обох фазових змінних $x_1(t)$ та $x_2(t)$, а також кубу сигналу управління $u(t)$:

$$\square \min_{u(t)}(J_{24}) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_1(t)) \cdot (x_2(t)) \cdot [u(t)]^3 \right) dt \right), \quad (\mathbf{B24})$$

де {Modelica, Optimica}-оптимізоване значення фінального часу $(t_f) = (t_f)_{24} = \left((t_f)_{(J_{24})} \right)$ руху $u(t)$ -керованого об'єкта у змінній верхній межі інтегрування для мінімізованого J_{24} -функціоналу є попередньо-невідомою величиною $(t_f) = \left((t_f)_{24} \right) = ?$

□ **B24mor.** Постановка та комп'ютерний розв'язок двадцять четвертої задачі оптимального управління {A1, A2, A3} + B24.

□ **B25.** Нелінійно-динамічна варіаційна задача оптимального управління керованим мехатронним об'єктом з цільовою функцією (критерієм якості, критерієм оптимальності, мінімізованим функціоналом) у вигляді інтегрального мультиплікативного критерію якості у формі добутку першої похідної за часом від першої фазової змінної $x_1(t)$ та першої похідної за часом від другої фазової змінної $x_2(t)$, а також сигналу управління $u(t)$:

$$\square \min_{u(t)}(J_{25}) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left(\left[\left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right) \right] \cdot \left[\left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right) \right] \cdot (u(t)) \right) dt \right), \quad (\mathbf{B25})$$

де {Modelica, Optimica}-оптимізоване значення фінального часу $(t_f) = (t_f)_{25} = \left((t_f)_{(J_{25})} \right)$ руху $u(t)$ -керованого об'єкта у змінній верхній межі інтегрування для мінімізованого J_{25} -функціоналу є попередньо-невідомою величиною $(t_f) = \left((t_f)_{25} \right) = ?$

□ **B25mor.** Постановка та комп'ютерний розв'язок двадцять п'ятої задачі оптимального управління {A1, A2, A3} + B25.

Застосовуються авторські слайди оригінальних PowerPoint презентацій та мультимедійний проектор.

<p>з інтегральними мультиплікативними критеріями якості ({A1, A2, A3} + B26); ({A1, A2, A3} + B27); ({A1, A2, A3} + B28); ({A1, A2, A3} + B29); ({A1, A2, A3} + B30) та ({A1, A2, A3} + B31), де</p>	<p>2 год.</p>	<p>[1-2]</p>
<p>□B26. Нелінійно-динамічна варіаційна задача оптимального управління керованим мехатронним об'єктом з цільовою функцією (критерієм якості, критерієм оптимальності, мінімізованим функціоналом) у вигляді інтегрального мультиплікативного критерію якості у формі добутку шостого ступеня першої похідної за часом від першої фазової змінної $x_1(t)$ та квадрату різниці кубу першої фазової змінної $x_1(t)$ та сигналу управління $u(t)$:</p>	<p>ден.</p>	<p>6, 12, 24]</p>
<p>□$\min_{u(t)}(J_{26}) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_1(t))^3 - u(t) \right)^2 \cdot \left(\left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^6 \right) dt \right), \quad (\mathbf{B26})$</p>	<p>2 год. лек.</p>	
<p>де {Modelica, Optimica}-оптимізоване значення фінального часу $(t_f) = (t_f)_{26} = (t_f)_{(J_{26})}$ руху $u(t)$-керованого об'єкта у змінній верхній межі інтегрування для мінімізованого J_{26}-функціоналу є попередньо-невідомою величиною $(t_f) = (t_f)_{26} = ?$</p>	<p>ден. при ско рен.</p>	
<p>□B26mor. Постановка та комп'ютерний розв'язок двадцять шостої задачі оптимального управління {A1, A2, A3} + B26.</p>	<p>0 год. лек.</p>	
<p>□B27. Нелінійно-динамічна варіаційна задача оптимального управління керованим мехатронним об'єктом з цільовою функцією (критерієм якості, критерієм оптимальності, мінімізованим функціоналом) у вигляді інтегрального мультиплікативного критерію якості у формі добутку першої похідної за часом від першої фазової змінної $x_1(t)$ та першої похідної за часом від другої фазової змінної $x_2(t)$, а також різниці першої фазової змінної $x_1(t)$ та сигналу управління $u(t)$ та різниці другої фазової змінної $x_2(t)$ та сигналу управління $u(t)$: □$\min_{u(t)}(J_{27}) =$</p>	<p>зао чне</p>	
<p>$\min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left(((x_1(t)) - u(t)) \cdot ((x_2(t)) - u(t)) \cdot \left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right) \cdot \left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right) \right) dt \right),$</p>	<p>0 год. лек.</p>	
<p>(B27) де {Modelica, Optimica}-оптимізоване значення фінального часу $(t_f) = (t_f)_{27} = (t_f)_{(J_{27})}$ руху $u(t)$-керованого об'єкта у</p>	<p>зао чне при ско рен.</p>	

змінній верхній межі інтегрування для мінімізованого J_{27} -функціоналу є невідомою величиною $(t_f) = ((t_f)_{27}) = ?$

□**B27mor**. Постановка та комп'ютерний розв'язок двадцять сьомої задачі оптимального управління {A1, A2, A3} + B27.

□**B28**. Нелінійно-динамічна варіаційна задача оптимального управління керованим мехатронним об'єктом з цільовою функцією (критерієм якості, критерієм оптимальності, мінімізованим функціоналом) у вигляді інтегрального мультиплікативного критерію якості у формі добутку кубу першої похідної за часом від першої фазової змінної $x_1(t)$ та кубу першої похідної за часом від другої фазової змінної $x_2(t)$, а також різниці кубу першої фазової змінної $x_1(t)$ та сигналу управління $u(t)$ та різниці кубу другої фазової змінної $x_2(t)$ та сигналу управління $u(t)$: □ $\min_{u(t)}(J_{28}) =$

$$\min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_1(t))^3 - u(t) \right) \cdot \left((x_2(t))^3 - u(t) \right) \cdot \left(\left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^3 \right) \cdot \left(\left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right)^3 \right) dt \right),$$

(B28) де {Modelica, Optimica}-оптимізоване значення фінального часу $(t_f) = (t_f)_{28} = ((t_f)_{(J_{28})})$ руху $u(t)$ -керованого об'єкта у змінній верхній межі інтегрування для мінімізованого J_{28} -функціоналу є невідомою величиною $(t_f) = ((t_f)_{28}) = ?$

□**B28mor**. Постановка та комп'ютерний розв'язок двадцять восьмої задачі оптимального управління {A1, A2, A3} + B28.

□**B29**. Нелінійно-динамічна варіаційна задача оптимального управління керованим мехатронним об'єктом з цільовою функцією (критерієм якості, критерієм оптимальності, мінімізованим функціоналом) у вигляді інтегрального мультиплікативного критерію якості у формі добутку четвертого ступеня першої похідної за часом від першої фазової змінної $x_1(t)$ та четвертого ступеня першої похідної за часом від другої фазової змінної $x_2(t)$, а також різниці четвертого ступеня першої фазової змінної $x_1(t)$ та сигналу управління $u(t)$ та різниці четвертого ступеня другої фазової змінної $x_2(t)$ та сигналу управління $u(t)$: □ $\min_{u(t)}(J_{29}) =$

$$\min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_1(t))^4 - u(t) \right) \cdot \left((x_2(t))^4 - u(t) \right) \cdot \left(\left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^4 \right) \cdot \left(\left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right)^4 \right) dt \right),$$

(B29) де {Modelica, Optimica}-оптимізоване значення фінального часу $(t_f) = (t_f)_{29} = \left((t_f)_{(J_{29})} \right)$ руху $u(t)$ -керованого об'єкта у змінній верхній межі інтегрування для мінімізованого J_{29} -функціоналу є невідомою величиною $(t_f) = \left((t_f)_{29} \right) = ?$

□B29^{top}. Постановка та комп'ютерний розв'язок двадцять дев'ятої задачі оптимального управління {A1, A2, A3} + B29.

□B30. Нелінійно-динамічна варіаційна задача оптимального управління керованим мехатронним об'єктом з цільовою функцією (критерієм якості, критерієм оптимальності, мінімізованим функціоналом) у вигляді інтегрального мультиплікативного критерію якості у формі добутку п'ятого ступеня першої похідної за часом від першої фазової змінної $x_1(t)$ та п'ятого ступеня першої похідної за часом від другої фазової змінної $x_2(t)$, а також різниці п'ятого ступеня першої фазової змінної $x_1(t)$ та сигналу управління $u(t)$ та різниці п'ятого ступеня другої фазової змінної $x_2(t)$ та сигналу управління $u(t)$: □ $\min_{u(t)} (J_{30}) =$

$$\min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_1(t))^5 - u(t) \right) \cdot \left((x_2(t))^5 - u(t) \right) \cdot \left(\left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^5 \right) \cdot \left(\left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right)^5 \right) dt \right),$$

(B30) де {Modelica, Optimica}-оптимізоване значення фінального часу $(t_f) = (t_f)_{30} = \left((t_f)_{(J_{30})} \right)$ руху $u(t)$ -керованого об'єкта у змінній верхній межі інтегрування для мінімізованого J_{30} -функціоналу є невідомою величиною $(t_f) = \left((t_f)_{30} \right) = ?$

□B30^{top}. Постановка та комп'ютерний розв'язок тридцятьої задачі оптимального управління {A1, A2, A3} + B30.

□B31. Нелінійно-динамічна варіаційна задача оптимального управління керованим мехатронним об'єктом з цільовою функцією (критерієм якості, критерієм оптимальності, мінімізованим функціоналом) у вигляді інтегрального мультиплікативного критерію якості у формі добутку шостого ступеня першої похід-

	<p>ної за часом від першої фазової змінної $x_1(t)$ та шостого ступеня першої похідної за часом від другої фазової змінної $x_2(t)$, а також різниці шостого ступеня першої фазової змінної $x_1(t)$ та сигналу управління $u(t)$ та різниці шостого ступеня другої фазової змінної $x_2(t)$ та сигналу управління $u(t)$: $\square \min_{u(t)}(J_{31}) =$</p> <hr/> $\min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_1(t))^6 - u(t) \right) \cdot \left((x_2(t))^6 - u(t) \right) \cdot \left(\left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^6 \right) \cdot \left(\left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right)^6 \right) dt \right),$ <p>(B31) де {Modelica, Optimica}-оптимізоване значення фінального часу $(t_f) = (t_f)_{31} = \left((t_f)_{(J_{31})} \right)$ руху $u(t)$-керованого об'єкта у змінній верхній межі інтегрування для мінімізованого J_{31}-функціоналу є невідомою величиною $(t_f) = \left((t_f)_{31} \right) = ?$</p> <hr/> <p>$\square$ B31top. Постановка та комп'ютерний розв'язок тридцять першої задачі оптимального управління {A1, A2, A3} + B31.</p> <hr/> <p><i>Застосовуються авторські слайди оригінальних PowerPoint презентацій та мультимедійний проектор.</i></p>		
9	<p><u>Лекція 9</u>: Порівняльно-узагальнююче лекційне обговорення тридцять однієї попередньо-наведеної цільової функції та $31 \cdot 4 = 124$ можливих індивідуальних обчислювальних завдання, сформульованих для чотирьох кінематично можливих випадків {00, 01R, 01L, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси.</p> <p>Лекційно-оглядовий розгляд більш складних задач мехатроніки:</p> <p>\square [(J = t_f)-оптимізаційна задача для чотирьох характерних випадків {00, 01R, 01L, 02} оберненої динаміки руху керованого осцилятора Ван-дер-Поля];</p> <p>\square [(J = t_f)-оптимізаційна задача для опису характеру впливу сили інерції Коріолісу на геометрію відносного та абсолютного розгойдування керованої кранової системи «вантаж-поворотна стріла крану» для оберненої динаміки математичного маятника з обертовою точкою підвісу [13-14, 16-17]];</p> <p>\square [(J = t_f)-оптимізаційна задача для оберненої динаміки розгойдування керованої системи «вантаж-стріла крану» для математичного маятника зі змінною довжиною троса [19]];</p> <p>\square [(J = t_f)-оптимізаційна задача Сакави для оберненої динаміки розгойдування керованої системи «вантаж-стріла крану» [15]];</p> <p>\square [(J = t_f)-оптимізаційна задача для оберненої динаміки</p>	<p>8 год. лек. ден.</p> <p>2 год. лек. ден. при ско рен.</p> <p>2 год. лек. зао чне</p> <p>1 год. лек. зао чне</p>	[1-2, 6, 12, 24]

<p>розгойдування керованої системи «два $\{u_1, u_2\}$-керовані візки 2D мостового крану – транспортована траверса» [18]]. <i>Застосовуються авторські слайди оригінальних PowerPoint презентацій та мультимедійний проектор.</i></p>	<p>при ско рен.</p>	
<p>Усього лекційних годин з дисципліни «Основи мехатроніки» для <u>денної</u> форми навчання – <u>30</u> лекційних годин</p>	<p>30 год. лек. ден.</p>	
<p>Усього лекційних годин з дисципліни «Основи мехатроніки» для <u>денної прискореної</u> форми навчання – <u>18</u> лекційних годин</p>	<p>18 год. лек. ден. при ско рен.</p>	
<p>Усього лекційних годин з дисципліни «Основи мехатроніки» для <u>заочної</u> форми навчання – <u>8</u> лекційних годин</p>	<p>8 год. лек. зао чне</p>	
<p>Усього лекційних годин з дисципліни «Основи мехатроніки» для <u>заочної прискореної</u> форми навчання – <u>4</u> лекційні години</p>	<p>4 год. лек. зао чне при ско рен.</p>	

4.6. Практичні заняття з навчальної дисципліни «Основи мехатроніки»

№ Роб	№ Теми	Чис. год	Найменування практичної роботи з дисципліни ПВШМЗІО	Література
1	1-3	1,5 г (ден)	Дослідження критерію оптимальної швидкодії $\square(\text{objective} = \text{finalTime})$ (B1)	[1-2, 6, 12, 24]
		2 год (дп)	із попередньо-невідомим мінімальним часом руху для чотирьох випадків {00; 01L; 01R; 02} одномірного у-керovanого руху точкової маси із застосуванням акаузальної мови Modelica із розширенням Optimica	
		1 г (з)		
		0,5 г (зп)		
2	1-3	1,5 г (ден)	Дослідження інтегрального квадратичного критерію якості $\square(\text{objectiveIntegrand} = x1^2 + x2^2 + u^2)$ (B2)	[1-2, 6, 12, 24]
		2 год (дп)	із попередньо-заданим часом руху системи для чотирьох кінематичних випадків {00; 01L; 01R; 02} одномірного у-керovanого руху точкової маси із застосуванням обчислювальних можливостей акаузальної мови Modelica із розширенням Optimica	
		1 г (з)		
		0,5 г (зп)		
3	1-3	1,5 г (ден)	Дослідження інтегральних квадратичних критеріїв якості $\square(\text{objectiveIntegrand} = x1^2 + x2^2 + u^2)$; (B3)	[1-2, 6, 12, 24]
		2 год (дп)	$\square(\text{objectiveIntegrand} = (x1-x2)^2 + (x2-u)^2 + (x1-u)^2)$; (B4)	
		1 г (з)	$\square(\text{objectiveIntegrand} = (x1-x2)^2 + (x2-u)^2 + (x1-u)^2 + \text{abs}(u)^5)$ (B5)	
		0,5 г (зп)	та $\square(\text{objectiveIntegrand} = ((1/x1)-(1/x2))^2 + ((1/x2)-u)^2 + ((1/x1)-u)^2)$ (B6)	
4	1-3	1,5 г (ден)	Дослідження інтегральних квадратичних критеріїв якості $\square(\text{objectiveIntegrand} = x1^2 + (\text{der}(x1))^2)$; (B7)	[1-2, 6, 12, 24]
		2 год (дп)	$\square(\text{objectiveIntegrand} = x2^2 + (\text{der}(x2))^2)$; (B8)	
			$\square(\text{objectiveIntegrand} = x1^2 + (\text{der}(x1))^2 + x2^2 +$	

		1 г (з)	$(\text{der}(x_2))^2$ (B9) та	
		0,5 г (зп)	$\square(\text{objectiveIntegrand} = x_1^2 + (\text{der}(x_1))^2 + x_2^2 + (\text{der}(x_2))^2 + u^2)$ (B10) із попередньо-невідомими значеннями часу руху системи для чотирьох випадків {00; 01L; 01R; 02} одномірного у-керovanого руху точкової маси із застосуванням можливостей Modelica із розширенням Optimica	
5	1-3	1,5 г (ден)	Дослідження інтегральних квадратичних критеріїв якості	[1-2, 6, 12, 24]
		2 год (дп)	$\square(\text{objectiveIntegrand} = x_1^2 + (\text{der}(x_1))^2 + x_2^2 + (\text{der}(x_2))^2 - (u^2)/(x_1^2) - (u^2)/(x_2^2))$; (B11)	
		0 г (з)	$\square(\text{objectiveIntegrand} = x_1^2 + (\text{der}(x_1))^2 + x_2^2 + (\text{der}(x_2))^2 - (u^2)/x_1 - (u^2)/x_2 - (u^2)/(x_1^2) - (u^2)/(x_2^2))$ (B12)	
		0 г (зп)	та $\square(\text{objectiveIntegrand} = x_1^2 + (\text{der}(x_1))^2 + x_2^2 + (\text{der}(x_2))^2 - (u^2)/(x_1^4) - (u^2)/(x_2^4))$ (B13)	
			із попередньо-невідомими значеннями часу руху системи для чотирьох випадків {00; 01L; 01R; 02} одномірного у-керovanого руху точкової маси із застосуванням Modelica із розширенням Optimica	
6	1-3	1,5 г (ден)	Дослідження інтегральних поліноміально-степеневих критеріїв якості	[1-2, 6, 12, 24]
		2 год (дп)	$\square(\text{objectiveIntegrand} = (\text{der}(x_1)^3 + \text{der}(x_2)^3 + u^3))$; (B14)	
		0 г (з)	$\square(\text{objectiveIntegrand} = (x_1^2 + x_2^2 + u^2)^{0.5})$; (B15) $\square(\text{objectiveIntegrand} = (x_1^2 + x_2^2 + u^2)^{0.333})$; (B16)	
		0 г (зп)	$\square(\text{objectiveIntegrand} = (((x_1-x_2)^2) + ((x_2-u)^2) + ((x_1-u)^2))^{0.333})$; (B17) $\square(\text{objectiveIntegrand} = (u^3 + x_1^3 + x_2^3)^{0.5})$; (B18) $\square(\text{objectiveIntegrand} = ((x_1-x_2)^3 + (x_2-u)^3 + (x_1-u)^3)^{0.5})$; (B19) $\square(\text{objectiveIntegrand} = (u^3 + x_1^3 + x_2^3)^{0.333})$ (B20)	
			та $\square(\text{objectiveIntegrand} = ((x_1-x_2)^3 + (x_2-u)^3 + (x_1-u)^3)^{0.333})$ (B21) із попередньо-невідомими значеннями часу руху системи для чотирьох випадків {00; 01L; 01R; 02} одномірного у-керovanого руху точкової маси із застосуванням Modelica із розширенням Optimica	

7	1-3	1,5 г (ден)	Дослідження інтегральних мультиплікативних критеріїв якості	[1-2, 6, 12, 24]
		2 год (дп)	$\square(\text{objectiveIntegrand} = (u^2)*(x1^1)*(x2^1));$ (B22)	
		0 г (з)	$\square(\text{objectiveIntegrand} = (u^2)*(x1^2)*(x2^2));$ (B23)	
		0 г (зп)	$\square(\text{objectiveIntegrand} = (u^3)*(x1^1)*(x2^1))$ (B24) та $\square(\text{objectiveIntegrand} = (u*\text{der}(x1)*\text{der}(x2))^1)$ (B25) із попередньо-невідомими значеннями часу руху системи для чотирьох випадків {00; 01L; 01R; 02} одномірного у-керovanого руху точкової маси із застосуванням мови Modelica із розширенням Optimica	
8	1-3	1,5 г (ден)	Дослідження інтегральних степенєво-мультиплікативних критеріїв якості	[1-2, 6, 12, 24]
		2 год (дп)	$\square(\text{objectiveIntegrand} = ((x1^3 - u)^2)*(\text{der}(x1))^6);$ (B26)	
		0 г (з)	$\square(\text{objectiveIntegrand} = (x1^1 - u)* (x2^1 - u)*((\text{der}(x1))^1)*((\text{der}(x2))^1));$ (B27)	
		0 г (зп)	$\square(\text{objectiveIntegrand} = (x1^3 - u)* (x2^3 - u)*((\text{der}(x1))^3)*((\text{der}(x2))^3));$ (B28)	
			$\square(\text{objectiveIntegrand} = (x1^4 - u)* (x2^4 - u)*((\text{der}(x1))^4)*((\text{der}(x2))^4));$ (B29) $\square(\text{objectiveIntegrand} = (x1^5 - u)* (x2^5 - u)*((\text{der}(x1))^5)*((\text{der}(x2))^5))$ (B30) та $\square(\text{objectiveIntegrand} = (x1^6 - u)* (x2^6 - u)*((\text{der}(x1))^6)*((\text{der}(x2))^6))$ (B31) із попередньо-невідомими значеннями часу руху системи для чотирьох випадків {00; 01L; 01R; 02} одномірного у-керovanого руху точкової маси із застосуванням Modelica із розширенням Optimica	
9	1-3	3 г (ден)	Обговорення результатів та висновків проведеного студентами комп'ютерного моделювання одно-критеріальних задач оптимального управління у Modelica та Optimica в залежності від виду цільових функцій. Вимоги, особливості та практичні поради щодо підходів до оформлення індивідуальних студентських завдань з курсу основ мехатроніки.	[1-2, 6, 12, 24]
		2 год (дп)	Практичний розгляд більш складних задач мехатроніки:	
		0 г (з)	$\square[(J = t_f)$ -оптимізаційна задача для чотирьох характерних випадків {00, 01R, 01L, 02} оберненої динаміки руху керovanого осцилятора Ван-дер-Поля];	
		0 г (зп)	$\square[(J = t_f)$ -оптимізаційна задача для опису характеру впливу сили інерції Коріолісу на геометрію відносного та аб-	

		<p>солотного розгойдування керованої кранової системи «вантаж-поворотна стріла крану» для оберненої динаміки математичного маятника з обертовою точкою підвісу [13-14, 16-17]);</p> <p>□[($J = t_f$)-оптимізаційна задача для оберненої динаміки розгойдування керованої системи «вантаж-стріла крану» для математичного маятника зі змінною довжиною троса [19]);</p> <p>□[($J = t_f$)-оптимізаційна задача Сакави для оберненої динаміки розгойдування керованої системи «вантаж-стріла крану» [15]);</p> <p>□[($J = t_f$)-оптимізаційна задача для оберненої динаміки розгойдування керованої системи «два $\{u_1, u_2\}$-керовані візки 2D мостового крану – транспортована траверса» [18]].</p>	
Усього годин	15 г (ден)	15 годин практичних занять для студентів денної форми навчання	
	18 г (дп)	18 годин практичних занять для студентів денної прискореної форми навчання	
	4 г (з)	4 години практичних занять для студентів заочної форми навчання	
	2 г (зп)	2 години практичних занять для студентів заочної прискореної форми навчання	

4.5. Перелік тем індивідуальних завдань для організації та моніторингу самостійної роботи з навчальної дисципліни «**Основи мехатроніки**» для студентів денної та денної прискореної форм навчання

Індивідуальна робота з дисципліни «**Основи мехатроніки**» містить наступні етапи:

- проробка лекційного матеріалу в рамках широкого використання вітчизняної та міжнародної англomовної навчальної літератури;
- підготовка до теоретичного опитування та контрольних робіт;
- самостійне вивчення частини теоретичного матеріалу згідно з рекомендованою літературою та складення додаткових конспектів;
- самостійне опанування комп'ютерно-обчислювальними можливостями такого вільного та відкритого сучасного програмного забезпечення як [SageMath](#), [Wolfram Cloud](#), [Wolfram|Alpha](#), [JModelica.org](#), [Scilab](#), [GNU Octave](#), [OpenModelica](#), [C++](#), [LibreOffice Calc](#) та [GNU R](#);
- виконання наступних запропонованих *індивідуальних завдань*

☉ ІЗ 1 (Дод. А). П'ять Моделіка-задач оптимального управління ($\{A1, A2, A3\} + B1$) ... ($\{A1, A2, A3\} + B5$) для 4х випадків $\{00, 01L, 01R, 02\}$ одномірного керованого руху ($5*4=20$ обчислювальних завдань);

☉ ІЗ 2 (Дод. А). П'ять Моделіка-задач оптимального управління ($\{A1, A2, A3\} + B6$) ... ($\{A1, A2, A3\} + B10$) для 4х випадків $\{00, 01L, 01R, 02\}$ одномірного керованого руху ($5*4=20$ обчислювальних завдань);

☉ ІЗ 3 (Дод. А). П'ять Моделіка-задач оптимального управління ($\{A1, A2, A3\} + B11$) ... ($\{A1, A2, A3\} + B15$) для 4х випадків $\{00, 01L, 01R, 02\}$ одномірного керованого руху ($5*4=20$ обчислювальних завдань);

☉ ІЗ 4 (Дод. А). П'ять Моделіка-задач оптимального управління ($\{A1, A2, A3\} + B16$) ... ($\{A1, A2, A3\} + B20$) для 4х випадків $\{00, 01L, 01R, 02\}$ одномірного керованого руху ($5*4=20$ обчислювальних завдань);

☉ ІЗ 5 (Дод. А). П'ять Моделіка-задач оптимального управління ($\{A1, A2, A3\} + B21$) ... ($\{A1, A2, A3\} + B25$) для 4х випадків $\{00, 01L, 01R, 02\}$ одномірного керованого руху ($5*4=20$ обчислювальних завдань);

☉ ІЗ 6 (Дод. А). Шість Моделіка-задач оптимального управління ($\{A1, A2, A3\} + B26$) ... ($\{A1, A2, A3\} + B31$) для 4х випадків $\{00, 01L, 01R, 02\}$ одномірного керованого руху ($6*4=24$ обчислювальних завдань).

Формулювання індивідуального обчислювального завдання для письмового студентського звіту з дисципліни «Основи мехатроніки»

Задано за умовою задачі: Нехай матеріальна точка М (рис. 1) із постійною масою m [кг] рухається прямолінійно уздовж вісі Ox і переходить із початкового фазового положення $[(x(t_0)) = (x_{10}); (V(t_0)) = (x_{20})]$ у кінцеве фазове положення $[(x(t_f)) = (x_{1f}); (V(t_f)) = (x_{2f})]$. До т. М прикладено керуючу силу $F(t) = u(t)$ [Н], яка є рівнодійною активних сил $\mathbf{F}(t)$, напрямленою уздовж Ox (рис. 1). Наразі на значення керуючої сили $F(t) = u(t)$ [Н] накладено обмеження: $F_{min} \leq F(t) \leq F_{max}$ [або $u_{min} \leq u(t) \leq u_{max}$], де $F_{min} = u_{min}$ [Н] та $F_{max} = u_{max}$ [Н] є відповідно мінімальним ($F_{min} = u_{min}$ [Н]) та максимальним ($F_{max} = u_{max}$ [Н]) значеннями керуючої сили

$F(t) = u(t)$ [Н] (таб. 1). Наразі числові значення параметрів задачі задані відповідно до чотирьох послідовних рядків {00, 01L, 01R, 02} у таб. 1, які відповідають чотирьом кінематично-можливим випадкам руху $u(t)$ -керованої т. М: без зупинок (00), з однією зупинкою зліва (01L), з однією зупинкою справа (01R) та з двома зупинками (02).

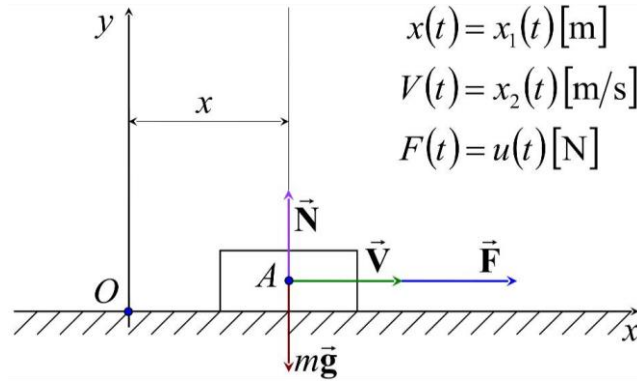


Рисунок 1 – Розрахункова схема для {00, 01L, 01R, 02} задачі оптимального управління

Таблиця 1 – Числові значення для 31ї задачі оптимального управління ({A1, A2, A3} + B1) ... ({A1, A2, A3} + B31) для 4х випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного керованого руху

Визначальні динамічні рівняння задачі оптимального управління: $\begin{cases} (d(x_1(t))/dt) = (x_2(t)); (d(x_2(t))/dt) = (u(t)/m); & \text{(A1)} \\ x_1(0) = x_{10}; x_2(0) = x_{20}; & \text{(A2)} \\ x_1(t_f) = x_{1f}; x_2(t_f) = x_{2f}; u_{\min} \leq u(t) \leq u_{\max}. & \text{(A3)} \end{cases}$								00 – 0 зупинок; 01L – 1 зупинка зліва; 01R – 1 зупинка справа; 02 – 2 зупинки (1 зупинка зліва та 1 зупинка справа)			
Задані числові значення для задачі оптимального управління								Знайти для {00, 01L, 01R, 02}			
Число зупинок	маса	обмеж. на упр.		почат. фаз. точ.		кінц. фаз. точ.		час	кор.	шв.	упр.
	$m, \text{ кг}$	$u_{\min}, \text{ Н}$	$u_{\max}, \text{ Н}$	$x_{10}, \text{ м}$	$x_{20}, \text{ м/с}$	$x_{1f}, \text{ м}$	$x_{2f}, \text{ м/с}$	t_f	$x_1(t)$	$x_2(t)$	$u(t)$
← Випадок одномірного руху точки справа наліво з $x_{10} > x_{1f}$ ←											
00 ←	$m \text{ кг}$ ←	$u_{\min} \text{ Н}$ ←	$u_{\max} \text{ Н}$ ←	$x_{10} \text{ м}$ ←	$- V_0 \text{ м/с}$ ←	$x_{1f} \text{ м}$ ←	$- V_f \text{ м/с}$ ←	$t_f = ?, \text{ с}$	$x_1(t) = ?, \text{ м}$	$x_2(t) = ?, \text{ м/с}$	$u(t) = ?, \text{ Н}$
01L ←	$m \text{ кг}$ ←	$u_{\min} \text{ Н}$ ←	$u_{\max} \text{ Н}$ ←	$x_{10} \text{ м}$ ←	$- V_0 \text{ м/с}$ ←	$x_{1f} \text{ м}$ ←	$+ V_f \text{ м/с}$ ←				
01R ←	$m \text{ кг}$ ←	$u_{\min} \text{ Н}$ ←	$u_{\max} \text{ Н}$ ←	$x_{10} \text{ м}$ ←	$+ V_0 \text{ м/с}$ ←	$x_{1f} \text{ м}$ ←	$- V_f \text{ м/с}$ ←				
02 ←	$m \text{ кг}$ ←	$u_{\min} \text{ Н}$ ←	$u_{\max} \text{ Н}$ ←	$x_{10} \text{ м}$ ←	$+ V_0 \text{ м/с}$ ←	$x_{1f} \text{ м}$ ←	$+ V_f \text{ м/с}$ ←				
→ Випадок одномірного руху точки зліва направо з $x_{10} < x_{1f}$ →											
00 →	$m \text{ кг}$ →	$u_{\min} \text{ Н}$ →	$u_{\max} \text{ Н}$ →	$x_{10} \text{ м}$ →	$+ V_0 \text{ м/с}$ →	$x_{1f} \text{ м}$ →	$+ V_f \text{ м/с}$ →				
01L →	$m \text{ кг}$ →	$u_{\min} \text{ Н}$ →	$u_{\max} \text{ Н}$ →	$x_{10} \text{ м}$ →	$- V_0 \text{ м/с}$ →	$x_{1f} \text{ м}$ →	$+ V_f \text{ м/с}$ →				

01R →	m кг →	u_{\min} H →	u_{\max} H →	x_{10} M →	$+ V_0 $ M/c →	x_{1f} M →	$- V_f $ M/c →				
02 →	m кг →	u_{\min} H →	u_{\max} H →	x_{10} M →	$- V_0 $ M/c →	x_{1f} M →	$- V_f $ M/c →				
Цільова функція (критерій якості, мінімізований функціонал) для {00, 01L, 01R, 02}											
(B1)	$\min_{u(t)}(J_1) = \min_{u(t)}(t_f); (t_f) = (t_f)_1 = ?$										
	optimization ProblemName (objective = finalTime, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))										
B1 Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$ -керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B1: {A1, A2, A3} + B1											
(B2)	$\min_{u(t)}(J_2) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f^*)} \left[(x_1(t))^2 + (x_2(t))^2 + (u(t))^2 \right] dt \right); (t_f^*) = ((t_f^*)_2) = \text{const};$ $((t_f^*)_2) \leq ((t_f)_1)$ та/або $((t_f^*)_2) \approx ((t_f)_1) + \varepsilon$										
	optimization ProblemName (startTime = 0, finalTime = const, objectiveIntegrand = x1^2 + x2^2 + u^2)										
B2 Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$ -керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B2: {A1, A2, A3} + B2											
(B3)	$\min_{u(t)}(J_3) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left[(x_1(t))^2 + (x_2(t))^2 + (u(t))^2 \right] dt \right); (t_f) = ((t_f)_3) = ?$										
	optimization ProblemName (objectiveIntegrand = x1^2 + x2^2 + u^2, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))										
B3 Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$ -керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B3: {A1, A2, A3} + B3											
(B4)	$\min_{u(t)}(J_4) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_1(t) - x_2(t))^2 + (x_1(t) - u(t))^2 + (x_2(t) - u(t))^2 \right) dt \right);$ $(t_f) = ((t_f)_4) = ?$										
	optimization ProblemName (objectiveIntegrand = (x1-x2)^2 + (x2-u)^2 + (x1-u)^2, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))										
B4 Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} од-											

	<p>номірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B4: {A1, A2, A3} + B4</p>
(B5)	$\min_{u(t)} (J_5) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_1(t) - x_2(t))^2 + (x_1(t) - u(t))^2 + (x_2(t) - u(t))^2 + (u(t))^5 \right) dt \right);$ $(t_f) = ((t_f)_5) = ?$ <p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = (x1-x2)^2 + (x2-u)^2 + (x1-u)^2 + abs(u)^5, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p> <p>B5 Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B5: {A1, A2, A3} + B5</p>
(B6)	$\min_{u(t)} (J_6) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left(\left(\left(\frac{1}{x_1(t)} \right) - \left(\frac{1}{x_2(t)} \right) \right)^2 + \left(\left(\frac{1}{x_1(t)} \right) - u(t) \right)^2 + \left(\left(\frac{1}{x_2(t)} \right) - u(t) \right)^2 \right) dt \right);$ $(t_f) = ((t_f)_6) = ?$ <p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = ((1/x1)-(1/x2))^2 + ((1/x2)-u)^2 + ((1/x1)-u)^2, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p> <p>B6 Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B6: {A1, A2, A3} + B6</p>
(B7)	$\min_{u(t)} (J_7) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_1(t))^2 + \left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^2 \right) dt \right); (t_f) = ((t_f)_7) = ?$ <p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = x1^2 + (der(x1))^2, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p> <p>B7 Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B7: {A1, A2, A3} + B7</p>
(B8)	$\min_{u(t)} (J_8) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_2(t))^2 + \left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right)^2 \right) dt \right); (t_f) = ((t_f)_8) = ?$ <p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = x2^2 + (der(x2))^2, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p>

	<p>B8) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B8: {A1, A2, A3} + B8</p>
(B9)	$\min_{u(t)}(J_9) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_1(t))^2 + \left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^2 + (x_2(t))^2 + \left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right)^2 \right) dt \right);$ $(t_f) = ((t_f)_9) = ?$ <p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = x1^2 + (der(x1))^2 + x2^2 + (der(x2))^2, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p> <p>B9) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B9: {A1, A2, A3} + B9</p>
(B10)	$\min_{u(t)}(J_{10}) =$ $\min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_1(t))^2 + \left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^2 + (x_2(t))^2 + \left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right)^2 + (u^2(t)) \right) dt \right);$ $(t_f) = ((t_f)_{10}) = ?$ <p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = x1^2 + (der(x1))^2 + x2^2 + (der(x2))^2 + u^2, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p> <p>B10) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B10: {A1, A2, A3} + B10</p>
(B11)	$\min_{u(t)}(J_{11}) = \min_{u(t)} \int_0^{(t_f)} \left((x_1(t))^2 + \left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^2 + (x_2(t))^2 + \left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right)^2 - \frac{(u^2(t))}{(x_1(t))^2} - \frac{(u^2(t))}{(x_2(t))^2} \right) dt;$ $(t_f) = ((t_f)_{11}) = ?$ <p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = x1^2 + (der(x1))^2 + x2^2 + (der(x2))^2 - (u^2)/(x1^2) - (u^2)/(x2^2), startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p> <p>B11) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B11: {A1, A2, A3} + B11</p>

(B12)	$\min_{u(t)}(J_{12}) = \min_{u(t)} \int_0^{(t_f)} \left((x_1(t))^2 + \left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^2 + (x_2(t))^2 + \left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right)^2 - \frac{(u^2(t))}{(x_1(t))} - \frac{(u^2(t))}{(x_2(t))} - \frac{(u^2(t))}{(x_1(t))^2} - \frac{(u^2(t))}{(x_2(t))^2} \right) dt$; $(t_f) = ((t_f)_{12}) = ?$
	optimization ProblemName (objectiveIntegrand = x1^2 + (der(x1))^2 + x2^2 + (der(x2))^2 - (u^2)/x1 - (u^2)/x2 - (u^2)/(x1^2) - (u^2)/(x2^2), startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))
	B12) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$ -керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B12: {A1, A2, A3} + B12
(B13)	$\min_{u(t)}(J_{13}) = \min_{u(t)} \int_0^{(t_f)} \left((x_1(t))^2 + \left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^2 + (x_2(t))^2 + \left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right)^2 - \frac{(u^2(t))}{(x_1(t))^4} - \frac{(u^2(t))}{(x_2(t))^4} \right) dt$; $(t_f) = ((t_f)_{13}) = ?$
	optimization ProblemName (objectiveIntegrand = x1^2 + (der(x1))^2 + x2^2 + (der(x2))^2 - (u^2)/(x1^4) - (u^2)/(x2^4), startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))
	B13) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$ -керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B13: {A1, A2, A3} + B13
(B14)	$\min_{u(t)}(J_{14}) = \min_{u(t)} \int_0^{(t_f)} \left(\left[\left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^3 \right] + \left[\left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right)^3 \right] + \left[(u(t))^3 \right] \right) dt$; $(t_f) = ((t_f)_{14}) = ?$
	optimization ProblemName (objectiveIntegrand = (der(x1))^3 + der(x2)^3 + u^3), startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))
	B14) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$ -керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B14: {A1, A2, A3} + B14
(B15)	$\min_{u(t)}(J_{15}) = \min_{u(t)} \int_0^{(t_f)} \sqrt{[(x_1(t))^2] + [(x_2(t))^2] + [(u(t))^2]} dt$; $(t_f) = ((t_f)_{15}) = ?$
	optimization ProblemName (objectiveIntegrand = (x1^2 + x2^2 + u^2)^0.5, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))

	<p>B15) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B15: {A1, A2, A3} + B15</p>
(B16)	$\min_{u(t)}(J_{16}) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \sqrt[3]{\left[(x_1(t))^2 \right] + \left[(x_2(t))^2 \right] + \left[(u(t))^2 \right]} dt \right); (t_f) = ((t_f)_{16}) = ?$ <p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = (x1^2 + x2^2 + u^2)^0.333, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p>
	<p>B16) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B16: {A1, A2, A3} + B16</p>
(B17)	$\min_{u(t)}(J_{17}) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \sqrt[3]{\left((x_1(t) - x_2(t))^2 + (x_1(t) - u(t))^2 + (x_2(t) - u(t))^2 \right)} dt \right);$ $(t_f) = ((t_f)_{17}) = ?$ <p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = (((x1-x2)^2) + ((x2-u)^2) + ((x1-u)^2))^0.333, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p>
	<p>B17) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B17: {A1, A2, A3} + B17</p>
(B18)	$\min_{u(t)}(J_{18}) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \sqrt[2]{\left[(x_1(t))^3 \right] + \left[(x_2(t))^3 \right] + \left[(u(t))^3 \right]} dt \right); (t_f) = ((t_f)_{18}) = ?$ <p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = (u^3 + x1^3 + x2^3)^0.5, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p>
	<p>B18) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B18: {A1, A2, A3} + B18</p>
(B19)	$\min_{u(t)}(J_{19}) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \sqrt[2]{\left((x_1(t) - x_2(t))^3 + (x_1(t) - u(t))^3 + (x_2(t) - u(t))^3 \right)} dt \right);$ $(t_f) = ((t_f)_{19}) = ?$ <p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = ((x1-x2)^3 + (x2-u)^3 + (x1-u)^3)^0.5, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p>
	<p>B19) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-</p>

	но-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B19: {A1, A2, A3} + B19
(B20)	$\min_{u(t)}(J_{20}) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \sqrt[3]{\left[(x_1(t))^3 \right] + \left[(x_2(t))^3 \right] + \left[(u(t))^3 \right]} dt \right); (t_f) = ((t_f)_{20}) = ?$ <p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = (u^3 + x1^3 + x2^3)^0.333, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p> <p>B20) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B20: {A1, A2, A3} + B20</p>
(B21)	$\min_{u(t)}(J_{21}) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \sqrt[3]{\left((x_1(t) - x_2(t))^3 + (x_1(t) - u(t))^3 + (x_2(t) - u(t))^3 \right)} dt \right);$ $(t_f) = ((t_f)_{21}) = ?$ <p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = ((x1-x2)^3 + (x2-u)^3 + (x1-u)^3)^0.333, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p> <p>B21) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B21: {A1, A2, A3} + B21</p>
(B22)	$\min_{u(t)}(J_{22}) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_1(t)) \cdot (x_2(t)) \cdot \left[(u(t))^2 \right] \right) dt \right); (t_f) = ((t_f)_{22}) = ?$ <p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = (u^2)*(x1^1)*(x2^1), startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p> <p>B22) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B22: {A1, A2, A3} + B22</p>
(B23)	$\min_{u(t)}(J_{23}) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left(\left[(x_1(t))^2 \right] \cdot \left[(x_2(t))^2 \right] \cdot \left[(u(t))^2 \right] \right) dt \right); (t_f) = ((t_f)_{23}) = ?$ <p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = (u^2)*(x1^2)*(x2^2), startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p> <p>B23) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B23: {A1, A2, A3} + B23</p>

(B24)	$\min_{u(t)}(J_{24}) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_1(t)) \cdot (x_2(t)) \cdot [u(t)]^3 \right) dt \right); (t_f) = ((t_f)_{24}) = ?$
	optimization ProblemName (objectiveIntegrand = (u^3)*(x1^1)*(x2^1), startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))
	B24) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$ -керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B24: {A1, A2, A3} + B24
(B25)	$\min_{u(t)}(J_{25}) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left(\left[\left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right) \right] \cdot \left[\left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right) \right] \cdot (u(t)) \right) dt \right); (t_f) = ((t_f)_{25}) = ?$
	optimization ProblemName (objectiveIntegrand = (u*der(x1)*der(x2))^1, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))
	B25) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$ -керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B25: {A1, A2, A3} + B25
(B26)	$\min_{u(t)}(J_{26}) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left(\left((x_1(t))^3 - u(t) \right)^2 \cdot \left(\left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^6 \right) \right) dt \right); (t_f) = ((t_f)_{26}) = ?$
	optimization ProblemName (objectiveIntegrand = ((x1^3 - u)^2)*(der(x1))^6, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))
	B26) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$ -керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B26: {A1, A2, A3} + B26
(B27)	$\min_{u(t)}(J_{27}) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left(((x_1(t)) - u(t)) \cdot ((x_2(t)) - u(t)) \cdot \left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right) \cdot \left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right) \right) dt \right); (t_f) = ((t_f)_{27}) = ?$
	optimization ProblemName (objectiveIntegrand = (x1^1 - u)*(x2^1 - u)*((der(x1))^1)*((der(x2))^1), startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))
	B27) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$ -керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B27: {A1, A2, A3} + B27

(B28)	$\min_{u(t)} (J_{28}) =$ $\min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_1(t))^3 - u(t) \right) \cdot \left((x_2(t))^3 - u(t) \right) \cdot \left(\left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^3 \right) \cdot \left(\left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right)^3 \right) dt \right);$ $(t_f) = ((t_f)_{28}) = ?$
	optimization ProblemName (objectiveIntegrand = (x1^3 - u)*(x2^3 - u)*((der(x1))^3)*((der(x2))^3), startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))
	B28) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$ -керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B28: {A1, A2, A3} + B28
(B29)	$\min_{u(t)} (J_{29}) =$ $\min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_1(t))^4 - u(t) \right) \cdot \left((x_2(t))^4 - u(t) \right) \cdot \left(\left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^4 \right) \cdot \left(\left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right)^4 \right) dt \right);$ $(t_f) = ((t_f)_{29}) = ?$
	optimization ProblemName (objectiveIntegrand = (x1^4 - u)*(x2^4 - u)*((der(x1))^4)*((der(x2))^4), startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))
	B29) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$ -керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B29: {A1, A2, A3} + B29
(B30)	$\min_{u(t)} (J_{30}) =$ $\min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_1(t))^5 - u(t) \right) \cdot \left((x_2(t))^5 - u(t) \right) \cdot \left(\left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^5 \right) \cdot \left(\left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right)^5 \right) dt \right);$ $(t_f) = ((t_f)_{30}) = ?$
	optimization ProblemName (objectiveIntegrand = (x1^5 - u)*(x2^5 - u)*((der(x1))^5)*((der(x2))^5), startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))
	B30) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$ -керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B30: {A1, A2, A3} + B30
(B31)	$\min_{u(t)} (J_{31}) =$

$\min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_1(t))^6 - u(t) \right) \cdot \left((x_2(t))^6 - u(t) \right) \cdot \left(\left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^6 \right) \cdot \left(\left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right)^6 \right) dt \right);$ $(t_f) = (t_f)_{31} = ?$
optimization ProblemName (objectiveIntegrand = (x1^6 - u)*(x2^6 - u)*((der(x1))^6)*((der(x2))^6), startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))
V31) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$ -керуваної точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості V31: {A1, A2, A3} + V31

Знайти: Із застосуванням обчислювальних можливостей безкоштовного програмного забезпечення JModelica.org із розширенням Optimica розв'язати 31ну задачу оптимального управління ({A1, A2, A3} + V1) ... ({A1, A2, A3} + V31) для кожного з 4х кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного керуваного руху в рамках мінімізації нелінійних цільових функцій (критеріїв якості, критеріїв оптимальності, функціоналів) **V1 – V31** та щодо визначення, за який Modelica-оптимізований проміжок часу ($t_f = ?$) [с] можна перемістити силою $u(t)$ уздовж Ox матеріальну точку М масою m із початкового $[(x_{10}); (x_{20})]$ у кінцеве фазове положення $[(x_{1f}); (x_{2f})]$, якщо $u_{min} \leq u(t) \leq u_{max}$ (таб. 1). Також визначити відповідні функціональні залежності від поточного часу t [с] руху для керуючої сили $u = u(t) = ?$ [Н], координати $x_1 = x_1(t) = ?$ [м] та швидкості $x_2 = x_2(t) = ?$ [м/с] точки М для кожного з 4х випадків 31ї задачі оптимального управління (31*4 = 124 обчислювальних завдань).

5. Критерії оцінювання навчальної дисципліни «Основи мехатроніки»

5.1. Перелік обов'язкових контрольних точок для оцінювання знань студентів денної та денної прискореної форм навчання

№	Назва і короткий зміст контрольного заходу	Max балів	Характеристика критеріїв досягнення результатів навчання для отримання максимальної кількості балів
1	Захист індивідуальних завдань ІЗ 1 – ІЗ 6	80	Студент здатний продемонструвати критичне осмислення лекційного та позалекційного матеріалу, брати кваліфіковану участь у дискусії з наведенням аргументації. Студент виконав індивідуальні завдання, а також навів аргументовані відповіді на уточнювальні та додаткові запитання викладача та колег.
2	Контрольна робота №1 з динаміки мехатронних систем з оптимальною швидкодією	5	Студент виконав тестові та індивідуальні завдання, що відповідають програмним результатам навчання за темами контрольної роботи 1
3	Контрольна робота №2 з динаміки мехатронних систем з квадратичним критерієм якості	5	Студент виконав тестові та індивідуальні завдання, що відповідають програмним результатам навчання за темами контрольної роботи 2
6	Додаткове індивідуальне теоретичне або розрахунково-обчислювальне завдання	10	Студент здатний засвоїти та практично застосувати нову методику детермістичного або оптимізаційного моделювання керованих електромеханічних процесів та систем до формулювання, постановки, машинного розв'язку та графічної візуалізації результатів.
Поточний контроль		100(*0,5)	-
Підсумковий контроль		100(*0,5)	Студент виконав тестові та індивідуальні завдання та навів аргументовані відповіді на ситуаційні завдання, що відповідають програмним результатам успішного та якісного індивідуального навчання з дисципліни «Основи мехатроніки»
Всього		100	-

5.2. Перелік обов'язкових контрольних точок для оцінювання знань студентів заочної та заочної прискореної форм навчання

№	Назва і короткий зміст контрольного заходу	Max балів	Характеристика критеріїв досягнення результатів навчання для отримання максимальної кількості балів
1	Тестова контрольна робота, яка виконується студентом індивідуально в системі Moodle	40	Студент виконав тестові завдання, що відповідають програмним результатам навчання з дисципліни
2	Письмовий екзамен (залік)	60	Студент виконав обчислювально-розрахункові завдання білету та навів аргументовані відповіді на ситуаційні завдання, що відповідають програмним результатам навчання з дисципліни «Основи мехатроніки»
Всього		100	-

5.3. Критерії оцінювання сформованості програмних результатів навчання під час підсумкового контролю

Синтезований опис компетентностей	Типові недоліки, які зменшують рівень досягнення програмного результату навчання
<p>Когнітивні:</p> <ul style="list-style-type: none"> • студент здатний продемонструвати знання і розуміння основних методів та алгоритмів розв'язку електромеханічних динамічних задач детерміністичного, оптимізаційного, ймовірно-статистичного і стохастичного моделювання керованими процесами та системами; • студент здатний продемонструвати знання і розуміння основних методів та алгоритмів розв'язку задач оптимальної швидкодії для керованих систем із додатковими диференціально-алгебраїчними рівняннями; • студент здатний продемонструвати знання і розуміння основних методів та комп'ютерних алгоритмів в рамках практичного застосування акаузального оптимі- 	75-89% – студент припускається незначних помилок у описі прикладних алгоритмів та комп'ютерних методів розв'язання детерміністичних та оптимізаційних задач керованої динаміки та управління, недостатньо повно визначає електромеханічний зміст основних визначальних співвідношень, неповною мірою розуміє переваги та недоліки застосованої математичної моделі, припускається несуттєвих фактичних помилок при витлумаченні розрахунково-графічних результатів та визначенні точності досліджуваних обчислювальних методів
	60-74% – студент некоректно формулює алгоритми та методи розв'язання детерміністичних та оптимізаційних задач керованої динаміки та управління та робить суттєві помилки у змісті математичної моделі, припускається помилок при проектуванні власного комп'ютерного алгоритму, припускається грубих помилок у витлумаченні та електромеханічних розрахунках, а також при оформленні розрахункової або обчислювальної роботи
	менше 60% – студент не може обґрунтувати свою позицію посиланням на конкретний алгоритм розв'язання детерміністичних та оптимізаційних задач керованої динаміки та управління, не володіє відповідними методиками розрахунків, не може самостійно підібрати необхідні розрахункові методи теорії управління; не має належної уяви про типи автоматизаційних задач та елект-

заційного програмування	ромеханічне витлумачення одержаних результатів
Афективні: <ul style="list-style-type: none"> студент здатний критично осмислювати матеріал лекційних та практичних занять; аргументувати власну позицію, спроможний оцінити аргументованість вимог та компетентно дискутувати у професійному середовищі; студент здатний креативно співпрацювати із іншими студентами та викладачем; ініціювати і брати участь у конструктивній та аргументованій дискусії, розділяти цінності колективної та наукової етики у сфері прикладних електромеханічних, мехатронних та кіберфізичних досліджень 	75-89% – студент припускається певних логічних помилок в аргументації власної позиції в дискусіях на заняттях та під час захисту обчислювальних лабораторних та індивідуальних розрахункових завдань, відчуває певні складності у поясненні фахівцю та колегам певних подробиць та окремих аспектів професійної проблематики 60-74% – студент припускається істотних логічних помилок в аргументації власної позиції, виявляє недостатню ініціативу до участі у дискусіях та індивідуальних консультаціях за наявності складності у виконанні лабораторних та індивідуальних завдань; відчуває істотні складності при поясненні фахівцю або нефахівцю окремих аспектів професійної проблематики менше 60% – студент не здатний продемонструвати вільного володіння логікою та аргументацією у виступах, не виявляє ініціативи до участі у професійній дискусії, до консультування з проблемних питань виконання лабораторних та індивідуальних завдань, не здатний пояснити нефахівцю суть відповідних проблем професійної діяльності; виявляє зневагу до етики навчального процесу
Психомоторні: <ul style="list-style-type: none"> студент здатний самостійно працювати, розробляти оригінальні варіанти індивідуальних рішень, впевнено та кваліфіковано звітувати про них; студент здатний спокійно та зосереджено слідувати методичним підходам до прикладних розрахунків; студент здатний повною мірою контролювати результати власних зусиль та намагатися оптимально коригувати свої власні зусилля 	75-89% – студент припускається певних помилок у стандартних методичних підходах та відчуває ускладнення при їх модифікації за зміни вихідних умов навчальної або прикладної ситуації 60-74% – студент відчуває ускладнення при модифікації стандартних методичних підходів за зміни вихідних умов навчальної або прикладної ситуації менше 60% – студент нездатний самостійно здійснювати пошук та опрацювання методів та алгоритмів розв’язання детерміністичних та оптимізаційних задач керованої динаміки та управління, виконувати індивідуальні завдання, проявляє ознаки академічної недоброчесності при підготовці індивідуальних завдань та виконанні контрольних робіт, не сформовані навички самооцінки результатів навчання і навичок міжособистісної комунікації з прийняття допомоги з виправлення поточної ситуації

5.4. Критерії оцінювання програмних результатів навчання для індивідуального завдання

Критерії оцінювання індивідуального завдання	Максимальна кількість балів
Оформлення індивідуального завдання відповідає стандартизованим вимогам. Основні недоліки: перевищення обсягу; шрифт та інтервал не відповідають встановленим вимогам; відсутня нумерація, заголовки; неправильне оформлення цифрового та ілюстративного матеріалу, додатків тощо	5
Реферат і вступ відповідають стандартним вимогам. Основні недоліки: реферат не містить необхідних елементів, у вступі відсутнє обґрунтування актуальності теми та її значущості; не визначені мета та завдання, об’єкт,	5

предмет і методи дослідження індивідуального завдання тощо.	
Основна частина курсового проекту відповідає наявним вимогам. Основні недоліки (з урахуванням специфіки теми і завдань роботи): відсутні глибина, всебічність і повнота викладення теоретичного матеріалу; не показані дискусійні питання, відсутній огляд літератури тощо, відсутній табличний та ілюстративний матеріал або його аналіз; використані застарілі дані; наведені дані не пов'язані зі змістом тексту роботи; наявність помилок у розрахунках; недостатня вірогідність і надійність детерміністичного та оптимізаційного обґрунтування автоматизаційних задач керуваної динаміки та управління електромеханічними системами тощо	55
Висновки індивідуального завдання відповідають діючим стандартним вимогам. Основні недоліки: висновки не мають зв'язку з результатами дослідження та його завданнями; не підведені підсумки та відсутня дискусія-обговорення за всіма висвітленими питаннями та розділами; мають місце поверховий аналіз і недостатньо обґрунтовані висновки тощо	10
Список використаних джерел відповідає стандартизованим вимогам. Основні недоліки (з урахуванням специфіки теми і завдань роботи): недостатній рівень інформаційного забезпечення; неправильно оформлений; відсутня законодавча база; застаріла періодична література тощо.	5
<i>Всього за результатами рецензування</i>	<i>80</i>
Демонстрація розуміння теоретичних основ теми дослідження, ступеню володіння практичними аспектами теми дослідження, спроможності аргументувати власну точку зору щодо проблем і шляхів їх вирішення відповідно до тематики даної роботи, в т.ч. в ході надання докладних та аргументованих відповідей на переважну більшість запитань членів комісії	20
<i>Всього за результатами захисту</i>	<i>20</i>
Всього за результатами рецензування і захисту	100

5.5. Засоби оцінювання

№	Назва і короткий зміст контрольного заходу	Характеристика змісту засобів оцінювання
1.	Індивідуальне завдання	<ul style="list-style-type: none"> письмовий звіт про виконання індивідуального завдання; оцінювання самостійності та якості виконання завдання в ході звіту-захисту та співбесіди
2.	Захист індивідуальних завдань	<ul style="list-style-type: none"> опитування за термінологічним матеріалом, що відповідає темі роботи; оцінювання аргументованості звіту про розбір ситуаційних завдань; оцінювання активності участі у дискусіях
3.	Тематичні контрольні роботи	<ul style="list-style-type: none"> стандартизовані тести; обчислювальні завдання;
Підсумковий контроль		<ul style="list-style-type: none"> стандартизовані тести; обчислювальні завдання;

6. Навчально-методичні матеріали та рекомендовані джерела інформації

6.1. Основна література до курсу «Основи мехатроніки»

1. Оптимальні системи управління [Текст]: навчальний посібник / О. А. Стенін, В. П. Пасько, А. Д. Лемешко, О. М. Польшакова ; НТУУ "КПІ" ім. І. Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 172 с. – Режим доступу: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Stenin_2017_172.pdf
2. Оптимальні та адаптивні системи [Текст] : навч. посіб. / С. В. Соколов; Сум. держ. ун-т. - Суми : Сум. держ. ун-т, 2018. - 220 с. – Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/324241979.pdf>
3. Smaili A. and Mrad F. Applied Mechatronics. – Oxford University Press, 2007. – 736 p.
4. Appukuttan K.K. Introduction to Mechatronics. – Oxford University Press, 2007. – 346 p.
5. Johansson R. Numerical Python: Scientific Computing and Data Science Applications with Numpy, SciPy and Matplotlib. – Berkeley: Apress, 2019. – 700 p. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-4246-9>
6. Fritzon P. Principles of Object-Oriented Modeling and Simulation with Modelica 3.3: A Cyber-Physical Approach, 2nd Ed. – Wiley-IEEE, 2015 – 1256 p.
7. Zimmermann P. et al. Computational Mathematics with SageMath. – SIAM, 2018 – 464 p. – Режим доступу: <http://sagebook.gforge.inria.fr/english.html>
8. Brunton S.L., Kutz J.N. Data-Driven Science and Engineering: Machine Learning, Dynamical Systems and Control. – Cambridge: Cambridge University Press, 2019. – 492 p. – <https://doi.org/10.1017/9781108380690>. – Режим доступу до Python та MatLab кодів та даних: <http://www.databookuw.com/>
9. Nagar S. Introduction to Scilab: For Engineers and Scientists. – Berkeley: Apress, 2017 – 198 p. – Доступ: <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-3192-0>
10. Wouwer A.V., Saucez P., Vilas C. Simulation of ODE/PDE Models with MATLAB®, OCTAVE and SCILAB: Scientific and Engineering Applications. – Cham: Springer International Publishing, 2014 – 406 p. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-06790-2>

6.2. Додаткова література до курсу «Основи мехатроніки»

11. Barnes B., Fulford G.R. Mathematical Modelling with Case Studies: Using Maple and MATLAB, Third Edition. – Boca Raton: CRC Press, 2014 – 388 p. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1201/b17896>
12. JModelica.org User Guide. Version 2.2. – Режим доступу: <https://jmodelica.org/downloads/UsersGuide.pdf>
13. Perig AV, Stadnik AN, Deriglazov AI. Spherical Pendulum Small Oscillations for Slewing Crane Motion. Sci World J. 2014;451804. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1155/2014/451804>

14. Perig AV, Stadnik AN, Deriglazov AI, Podlesny SV. 3 DOF Spherical Pendulum Oscillations with a Uniform Slewing Pivot Center and a Small Angle Assumption. Shock Vib. 2014;203709. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1155/2014/203709>
15. Kostikov AA, Perig AV, Lozun RR. Simulation-assisted teaching of graduate students in transport: A case study of the application of acausal freeware JModelica.org to solution of Sakawa's open-loop optimal control problem for payload motion during crane boom rotation. International Journal of Mechanical Engineering Education. 2016;45(1):3–27. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1177/0306419016669033>
16. Kostikov AA, Perig AV, Mikhieienko DY, Lozun RR. Numerical JModelica.org-based approach to a simulation of Coriolis effects on guided boom-driven payload swaying during non-uniform rotary crane boom slewing. J Braz Soc Mech Sci Eng. 2017 Mar;39(3):737–56. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1007/s40430-016-0554-2>
17. Perig AV, Kostikov AA, Skyrtach VM, Lozun RR, Stadnik AN. Application of JModelica.org to Teaching the Fundamentals of Dynamics of Foucault Pendulum-Like Guided Systems to Engineering Students. Inf Technol Learn Tools. 2017;62(6):151–78. – Режим доступу: <https://doi.org/10.33407/itlt.v62i6.1926>
18. Kostikov AA, Perig A, Larichkin O, Stadnik AN, Gribkov EP. Research Into Payload Swaying Reduction Through Cable Length Manipulation During Boom Crane Motion. FME Trans. 2019;47(3):464–76. – Режим доступу: https://www.mas.bg.ac.rs/media/istrazivanje/fme/vol47/3/9_av_perig_et_al.pdf
19. Perig AV, Stadnik AN, Kostikov AA, Podlesny SV. Research into 2D Dynamics and Control of Small Oscillations of a Cross-Beam during Transportation by Two Overhead Cranes. Shock Vib. 2017;9605657. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1155/2017/9605657>

6.3. Корисні Веб-ресурси до курсу «Основи мехатроніки»

20. Scilab. – Режим доступу: <https://www.scilab.org/>
21. GNU Octave. – Режим доступу: <https://www.gnu.org/software/octave/>
22. SageMath. – Режим доступу: <https://www.sagemath.org/index.html>
23. Anaconda Python/R Distribution. – Режим доступу: <https://www.anaconda.com/distribution/>
24. JModelica.org - ver. 2.14. – Режим доступу: <https://github.com/JModelica/JModelica/releases/tag/2.14>
25. OpenModelica. – Режим доступу: <https://openmodelica.org/>

6.4. Корисні освітні курси для дисципліни «Основи мехатроніки»

26. Systems Engineering <https://www.coursera.org/learn/systems-engineering-mathworks>

27. MBSE: Model-Based Systems Engineering
<https://www.coursera.org/learn/mbse>
28. Introduction to Model-Based Systems Engineering
<https://www.coursera.org/learn/introduction-mbse>
29. Introduction to Digital Transformation <https://www.coursera.org/learn/digital-transformation-course>
30. Спеціалізація Autonomous Vehicle Engineering
<https://www.coursera.org/specializations/autonomous-vehicle-engineering>

Додаток А: Приклад індивідуального обчислювального завдання

для письмового студентського звіту з дисципліни «Основи мехатроніки»

Донбаська державна машинобудівна академія, Кафедра автоматизації виробничих процесів
рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)
спеціальність – № 174 – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехні-
ка»; ОПП – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

ІЗ 01. Варіант 01

Задано за умовою задачі: Нехай матеріальна точка М (рис. 1) із постійною масою m [кг] рухається прямолінійно уздовж вісі Ox і переходить із початкового фазового положення $[(x(t_0)) = (x_{10}); (V(t_0)) = (x_{20})]$ у кінцеве фазове положення $[(x(t_f)) = (x_{1f}); (V(t_f)) = (x_{2f})]$. До т. М прикладено керуючу силу $F(t) = u(t)$ [Н], яка є рівнодійною активних сил $\vec{F}(t)$, напрямленою уздовж Ox (рис. 1). Наразі на значення керуючої сили $F(t) = u(t)$ [Н] накладено обмеження: $F_{min} \leq F(t) \leq F_{max}$ [або $u_{min} \leq u(t) \leq u_{max}$], де $F_{min} = u_{min}$ [Н] та $F_{max} = u_{max}$ [Н] є відповідно мінімальним ($F_{min} = u_{min}$ [Н]) та максимальним ($F_{max} = u_{max}$ [Н]) значеннями керуючої сили $F(t) = u(t)$ [Н] (таб. 1). Наразі числові значення параметрів задачі задані відповідно до чотирьох послідовних рядків {00, 01L, 01R, 02} у таб. 1, які відповідають чотирьом кінематично-можливим випадкам руху $u(t)$ -керованої т. М: без зупинок (00), з однією зупинкою зліва (01L), з однією зупинкою справа (01R) та з двома зупинками (02).

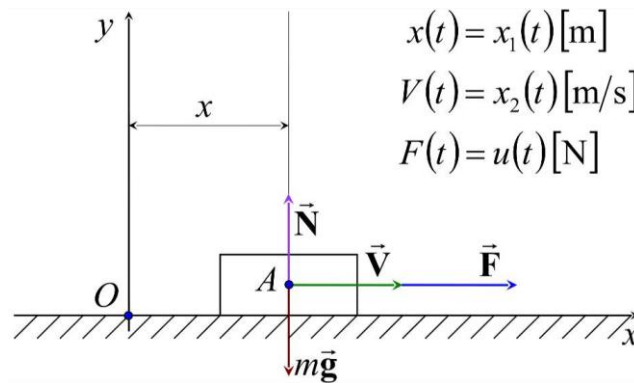


Рисунок 1 – Розрахункова схема для {00, 01L, 01R, 02} задачі оптимального управління

Таблиця 1 – Числові значення для 31ї задачі оптимального управління ({A1, A2, A3} + B1) ...

({A1, A2, A3} + B31) для 4х випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного керованого руху

Визначальні динамічні рівняння задачі оптимального управління:								00 – 0 зупинок; 01L – 1 зупинка зліва; 01R – 1 зупинка справа; 02 – 2 зупинки (1 зупинка зліва та 1 зупинка справа)			
$\begin{cases} (d(x_1(t))/dt) = (x_2(t)); (d(x_2(t))/dt) = (u(t)/m); & \text{(A1)} \\ x_1(0) = x_{10}; x_2(0) = x_{20}; & \text{(A2)} \\ x_1(t_f) = x_{1f}; x_2(t_f) = x_{2f}; u_{min} \leq u(t) \leq u_{max}. & \text{(A3)} \end{cases}$											
Задані числові значення для задачі оптимального управління								Знайти для {0, 1L, 1R, 2}			
Число зупинок	маса m , кг	обмеж. на упр. u_{min} , Н u_{max} , Н		почат. фаз. точ. x_{10} , м x_{20} , м/с		кінц. фаз. точ. x_{1f} , м x_{2f} , м/с		час t_f	кор. $x_1(t)$	шв. $x_2(t)$	упр. $u(t)$
00	1 кг	-50 Н	+20 Н	+30 м	-15 м/с	-10 м	-25 м/с	$t_f = ?$, с	$x_1(t) = ?$, м	$x_2(t) = ?$, м/с	$u(t) = ?$, Н
01L	1 кг	-50 Н	+20 Н	+30 м	-15 м/с	-10 м	+25 м/с				
01R	1 кг	-50 Н	+20 Н	+30 м	+15 м/с	-10 м	-25 м/с				
02	1 кг	-50 Н	+20 Н	+30 м	+15 м/с	-10 м	+25 м/с				
Цільова функція (критерій якості, мінімізований функціонал) для {00, 01L, 01R, 02}											
(B1)	$\min_{u(t)} (J_1) = \min_{u(t)} (t_f); (t_f) = (t_f)_1 = ?$										
optimization ProblemName (objective = finalTime, startTime = 0,											

	<p>finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1)</p> <p>B1) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B1: {A1, A2, A3} + B1</p>
(B2)	$\min_{u(t)}(J_2) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f^*)} \left[(x_1(t))^2 + (x_2(t))^2 + (u(t))^2 \right] dt \right); (t_f^*) = \left((t_f^*)_2 \right) = \text{const};$ $\left((t_f^*)_2 \right) \leq \left((t_f)_1 \right) \text{ та/або } \left((t_f^*)_2 \right) \approx \left((t_f)_1 \right) + \varepsilon$ <p>optimization ProblemName (startTime = 0, finalTime = const, objectiveIntegrand = x1^2 + x2^2 + u^2)</p> <p>B2) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B2: {A1, A2, A3} + B2</p>
(B3)	$\min_{u(t)}(J_3) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left[(x_1(t))^2 + (x_2(t))^2 + (u(t))^2 \right] dt \right); (t_f) = \left((t_f)_3 \right) = ?$ <p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = x1^2 + x2^2 + u^2, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p> <p>B3) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B3: {A1, A2, A3} + B3</p>
(B4)	$\min_{u(t)}(J_4) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_1(t) - x_2(t))^2 + (x_1(t) - u(t))^2 + (x_2(t) - u(t))^2 \right) dt \right);$ $(t_f) = \left((t_f)_4 \right) = ?$ <p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = (x1-x2)^2 + (x2-u)^2 + (x1-u)^2, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p> <p>B4) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B4: {A1, A2, A3} + B4</p>
(B5)	$\min_{u(t)}(J_5) =$ $\min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_1(t) - x_2(t))^2 + (x_1(t) - u(t))^2 + (x_2(t) - u(t))^2 + (u(t))^5 \right) dt \right);$ $(t_f) = \left((t_f)_5 \right) = ?$

	<p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = $(x1-x2)^2 + (x2-u)^2 + (x1-u)^2 + abs(u)^5$, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p> <p>B5) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B5: {A1, A2, A3} + B5</p>
(B6)	<p>$\min_{u(t)} (J_6) =$</p> $\min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left(\left(\frac{1}{x_1(t)} - \frac{1}{x_2(t)} \right)^2 + \left(\frac{1}{x_1(t)} - u(t) \right)^2 + \left(\frac{1}{x_2(t)} - u(t) \right)^2 \right) dt \right);$ <p>$(t_f) = ((t_f)_6) = ?$</p> <p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = $((1/x1)-(1/x2))^2 + ((1/x2)-u)^2 + ((1/x1)-u)^2$, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p> <p>B6) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B6: {A1, A2, A3} + B6</p>
(B7)	<p>$\min_{u(t)} (J_7) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_1(t))^2 + \left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^2 \right) dt \right); (t_f) = ((t_f)_7) = ?$</p> <p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = $x1^2 + (der(x1))^2$, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p> <p>B7) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B7: {A1, A2, A3} + B7</p>
(B8)	<p>$\min_{u(t)} (J_8) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_2(t))^2 + \left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right)^2 \right) dt \right); (t_f) = ((t_f)_8) = ?$</p> <p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = $x2^2 + (der(x2))^2$, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p> <p>B8) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B8: {A1, A2, A3} + B8</p>
(B9)	<p>$\min_{u(t)} (J_9) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_1(t))^2 + \left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^2 + (x_2(t))^2 + \left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right)^2 \right) dt \right);$</p> <p>$(t_f) = ((t_f)_9) = ?$</p>

	<p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = x1^2 + (der(x1))^2 + x2^2 + (der(x2))^2, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p> <p>B9) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B9: {A1, A2, A3} + B9</p>
(B10)	$\min_{u(t)} (J_{10}) = \min_{u(t)} \int_0^{(t_f)} \left((x_1(t))^2 + \left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^2 + (x_2(t))^2 + \left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right)^2 + (u^2(t)) \right) dt;$ $(t_f) = (t_f)_{10} = ?$ <p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = x1^2 + (der(x1))^2 + x2^2 + (der(x2))^2 + u^2, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p> <p>B10) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B10: {A1, A2, A3} + B10</p>
(B11)	$\min_{u(t)} (J_{11}) = \min_{u(t)} \int_0^{(t_f)} \left((x_1(t))^2 + \left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^2 + (x_2(t))^2 + \left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right)^2 - \frac{(u^2(t))}{(x_1(t))^2} - \frac{(u^2(t))}{(x_2(t))^2} \right) dt;$ $(t_f) = (t_f)_{11} = ?$ <p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = x1^2 + (der(x1))^2 + x2^2 + (der(x2))^2 - (u^2)/(x1^2) - (u^2)/(x2^2), startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p> <p>B11) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B11: {A1, A2, A3} + B11</p>
(B12)	$\min_{u(t)} (J_{12}) = \min_{u(t)} \int_0^{(t_f)} \left((x_1(t))^2 + \left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^2 + (x_2(t))^2 + \left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right)^2 - \frac{(u^2(t))}{(x_1(t))} - \frac{(u^2(t))}{(x_2(t))} - \frac{(u^2(t))}{(x_1(t))^2} - \frac{(u^2(t))}{(x_2(t))^2} \right) dt;$ $(t_f) = (t_f)_{12} = ?$ <p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = x1^2 + (der(x1))^2 + x2^2 + (der(x2))^2 - (u^2)/x1 - (u^2)/x2 - (u^2)/(x1^2) - (u^2)/(x2^2), startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p> <p>B12) Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02}</p>

	<p>одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B12: {A1, A2, A3} + B12</p>
(B13)	$\min_{u(t)}(J_{13}) = \min_{u(t)} \int_0^{(t_f)} \left((x_1(t))^2 + \left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^2 + (x_2(t))^2 + \left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right)^2 - \frac{(u^2(t))}{(x_1(t))^4} - \frac{(u^2(t))}{(x_2(t))^4} \right) dt$; $(t_f) = ((t_f)_{13}) = ?$
	<p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = x1^2 + (der(x1))^2 + x2^2 + (der(x2))^2 - (u^2)/(x1^4) - (u^2)/(x2^4), startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p>
	<p>B13 Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B13: {A1, A2, A3} + B13</p>
(B14)	$\min_{u(t)}(J_{14}) = \min_{u(t)} \int_0^{(t_f)} \left(\left[\left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^3 \right] + \left[\left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right)^3 \right] + [u(t)]^3 \right) dt$; $(t_f) = ((t_f)_{14}) = ?$
	<p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = (der(x1))^3 + der(x2)^3 + u^3), startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p>
	<p>B14 Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B14: {A1, A2, A3} + B14</p>
(B15)	$\min_{u(t)}(J_{15}) = \min_{u(t)} \int_0^{(t_f)} \sqrt[2]{\left[(x_1(t))^2 \right] + \left[(x_2(t))^2 \right] + \left[(u(t))^2 \right]} dt$; $(t_f) = ((t_f)_{15}) = ?$
	<p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = (x1^2 + x2^2 + u^2)^0.5, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p>
	<p>B15 Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B15: {A1, A2, A3} + B15</p>
(B16)	$\min_{u(t)}(J_{16}) = \min_{u(t)} \int_0^{(t_f)} \sqrt[3]{\left[(x_1(t))^2 \right] + \left[(x_2(t))^2 \right] + \left[(u(t))^2 \right]} dt$; $(t_f) = ((t_f)_{16}) = ?$
	<p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = (x1^2 + x2^2 + u^2)^0.333, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p>
	<p>B16 Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02}</p>

	<p>одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B16: {A1, A2, A3} + B16</p>
(B17)	$\min_{u(t)}(J_{17}) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \sqrt[3]{((x_1(t) - x_2(t))^2 + (x_1(t) - u(t))^2 + (x_2(t) - u(t))^2)} dt \right);$ $(t_f) = ((t_f)_{17}) = ?$ <p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = (((x1-x2)^2) + ((x2-u)^2) + ((x1-u)^2))^0.333, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p> <p>B17 Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B17: {A1, A2, A3} + B17</p>
(B18)	$\min_{u(t)}(J_{18}) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \sqrt[2]{\left[(x_1(t))^3 \right] + \left[(x_2(t))^3 \right] + \left[(u(t))^3 \right]} dt \right); (t_f) = ((t_f)_{18}) = ?$ <p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = (u^3 + x1^3 + x2^3)^0.5, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p> <p>B18 Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B18: {A1, A2, A3} + B18</p>
(B19)	$\min_{u(t)}(J_{19}) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \sqrt[2]{((x_1(t) - x_2(t))^3 + (x_1(t) - u(t))^3 + (x_2(t) - u(t))^3)} dt \right);$ $(t_f) = ((t_f)_{19}) = ?$ <p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = ((x1-x2)^3 + (x2-u)^3 + (x1-u)^3)^0.5, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p> <p>B19 Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B19: {A1, A2, A3} + B19</p>
(B20)	$\min_{u(t)}(J_{20}) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \sqrt[3]{\left[(x_1(t))^3 \right] + \left[(x_2(t))^3 \right] + \left[(u(t))^3 \right]} dt \right); (t_f) = ((t_f)_{20}) = ?$ <p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = (u^3 + x1^3 + x2^3)^0.333, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p> <p>B20 Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B20: {A1, A2, A3} + B20</p>

(B21)	$\min_{u(t)}(J_{21}) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \sqrt[3]{((x_1(t) - x_2(t))^3 + (x_1(t) - u(t))^3 + (x_2(t) - u(t))^3)} dt \right);$ $(t_f) = ((t_f)_{21}) = ?$
	optimization ProblemName (objectiveIntegrand = ((x1-x2)^3 + (x2-u)^3 + (x1-u)^3)^0.333, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))
	B21 Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$ -керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B21: {A1, A2, A3} + B21
(B22)	$\min_{u(t)}(J_{22}) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} ((x_1(t)) \cdot (x_2(t)) \cdot [(u(t))^2]) dt \right); (t_f) = ((t_f)_{22}) = ?$
	optimization ProblemName (objectiveIntegrand = (u^2)*(x1^1)*(x2^1), startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))
	B22 Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$ -керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B22: {A1, A2, A3} + B22
(B23)	$\min_{u(t)}(J_{23}) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} [(x_1(t))^2] \cdot [(x_2(t))^2] \cdot [(u(t))^2] dt \right); (t_f) = ((t_f)_{23}) = ?$
	optimization ProblemName (objectiveIntegrand = (u^2)*(x1^2)*(x2^2), startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))
	B23 Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$ -керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B23: {A1, A2, A3} + B23
(B24)	$\min_{u(t)}(J_{24}) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} ((x_1(t)) \cdot (x_2(t)) \cdot [(u(t))^3]) dt \right); (t_f) = ((t_f)_{24}) = ?$
	optimization ProblemName (objectiveIntegrand = (u^3)*(x1^1)*(x2^1), startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))
	B24 Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$ -керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B24: {A1, A2, A3} + B24
(B25)	$\min_{u(t)}(J_{25}) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left(\left[\left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right) \right] \cdot \left[\left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right) \right] \cdot (u(t)) \right) dt \right);$

	$(t_f) = ((t_f)_{25}) = ?$
	optimization ProblemName (objectiveIntegrand = (u*der(x1)*der(x2))^1, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))
	B25 Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$ -керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B25: {A1, A2, A3} + B25
(B26)	$\min_{u(t)} (J_{26}) = \min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_1(t))^3 - u(t) \right)^2 \cdot \left(\left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^6 \right) dt \right);$ $(t_f) = ((t_f)_{26}) = ?$
	optimization ProblemName (objectiveIntegrand = ((x1^3 - u)^2)*(der(x1))^6, startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))
	B26 Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$ -керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B26: {A1, A2, A3} + B26
(B27)	$\min_{u(t)} (J_{27}) =$ $\min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_1(t)) - u(t) \right) \cdot \left((x_2(t)) - u(t) \right) \cdot \left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right) \cdot \left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right) dt \right);$ $(t_f) = ((t_f)_{27}) = ?$
	optimization ProblemName (objectiveIntegrand = (x1^1 - u)*(x2^1 - u)*((der(x1))^1)*((der(x2))^1), startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))
	B27 Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$ -керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B27: {A1, A2, A3} + B27
(B28)	$\min_{u(t)} (J_{28}) =$ $\min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_1(t))^3 - u(t) \right) \cdot \left((x_2(t))^3 - u(t) \right) \cdot \left(\left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^3 \right) \cdot \left(\left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right)^3 \right) dt \right);$ $(t_f) = ((t_f)_{28}) = ?$
	optimization ProblemName (objectiveIntegrand = (x1^3 - u)*(x2^3 - u)*((der(x1))^3)*((der(x2))^3), startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))
	B28 Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02}

	<p>одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B28: {A1, A2, A3} + B28</p>
(B29)	$\min_{u(t)} (J_{29}) =$ $\min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_1(t))^4 - u(t) \right) \cdot \left((x_2(t))^4 - u(t) \right) \cdot \left(\left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^4 \right) \cdot \left(\left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right)^4 \right) dt \right);$ $(t_f) = ((t_f)_{29}) = ?$ <p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = (x1^4 - u)*(x2^4 - u)*((der(x1))^4)*((der(x2))^4), startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p> <p>B29 Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B29: {A1, A2, A3} + B29</p>
(B30)	$\min_{u(t)} (J_{30}) =$ $\min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_1(t))^5 - u(t) \right) \cdot \left((x_2(t))^5 - u(t) \right) \cdot \left(\left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^5 \right) \cdot \left(\left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right)^5 \right) dt \right);$ $(t_f) = ((t_f)_{30}) = ?$ <p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = (x1^5 - u)*(x2^5 - u)*((der(x1))^5)*((der(x2))^5), startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p> <p>B30 Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B30: {A1, A2, A3} + B30</p>
(B31)	$\min_{u(t)} (J_{31}) =$ $\min_{u(t)} \left(\int_0^{(t_f)} \left((x_1(t))^6 - u(t) \right) \cdot \left((x_2(t))^6 - u(t) \right) \cdot \left(\left(\frac{d(x_1(t))}{dt} \right)^6 \right) \cdot \left(\left(\frac{d(x_2(t))}{dt} \right)^6 \right) dt \right);$ $(t_f) = ((t_f)_{31}) = ?$ <p>optimization ProblemName (objectiveIntegrand = (x1^6 - u)*(x2^6 - u)*((der(x1))^6)*((der(x2))^6), startTime = 0, finalTime(free=true,min=0.2,initialGuess=1))</p> <p>B31 Кожен рядок чисельних значень {00, 01L, 01R, 02} у вищенаведеній таблиці відповідає одному із чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного руху $u(t)$-керованої точкової маси. Для кожного з чотирьох кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} розв'язати чотири відповідні задачі оптимального управління з критерієм якості B31: {A1, A2, A3} + B31</p>

Знайти: Із застосуванням обчислювальних можливостей безкоштовного програмного забезпечення JModelica.org із розширенням Optimica розв'язати 31ну задачу оптимального управління (**A1, A2, A3** + **B1**) ... (**A1, A2, A3** + **B31**) для кожного з 4х кінематично-можливих випадків {00, 01L, 01R, 02} одномірного керованого руху в рамках мінімізації не-лінійних цільових функцій (критеріїв якості, критеріїв оптимальності, функціоналів) **B1** – **B31** та щодо визначення, за який Modelica-оптимізований проміжок часу ($t_f = ?$) [с] можна перемістити силою $u(t)$ уздовж Ox матеріальну точку M масою m із початкового $[(x_{10}); (x_{20})]$ у кінцеве фазове положення $[(x_{1f}); (x_{2f})]$, якщо $u_{min} \leq u(t) \leq u_{max}$ (таб. 1). Також визначити відповідні функціональні залежності від поточного часу t [с] руху для керуючої сили $u = u(t) = ?$ [Н], координати $x_1 = x_1(t) = ?$ [м] та швидкості $x_2 = x_2(t) = ?$ [м/с] точки M для кожного з 4х випадків 31ї задачі оптимального управління (31*4 = 124 обчислювальних завдання).

Розглянуто і затверджено на засіданні кафедри автоматизації виробничих процесів,
протокол № ____ від _____

Зав. кафедри АВП, професор
Викладач, доцент

Марков О.Є.
Періг О.В.