

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА АКАДЕМІЯ

Кафедра «Автоматизація виробничих процесів»



Затверджую:

Декан факультету машинобудування

Кассов В.Д.

« 08 » серпня 2021 р.

Гарант освітньої програми:

к.т.н., доцент

Разживін О.В.

« 11 » серпня 2021 р.

Розглянуто і схвалено  
на засіданні кафедри автоматизації  
виробничих процесів  
Протокол № 5 від 11.01 2021 р.

Завідувач кафедри

Клименко Г.П.

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**  
**„ПРОЕКТУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ АДАПТИВНИХ**  
**СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ”**

(назва дисципліни)

галузь знань 15 – «Автоматизація та приладобудування»

спеціальність 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

освітній рівень – другий (магістерський)

ОПП «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Факультет машинобудування

Розробник: Руденко Владислав Миколайович, к. т. н., доц.

## І ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

### 1.1 Опис дисципліни «Проектування та дослідження адаптивних систем управління»

Показники		Галузь знань, спеціальність, ОПП (ОНП), професійне (наукове) спрямування, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни	
			денна	заочна
Кількість кредитів		Галузь знань: 15 «Автоматизація та приладобудування». Спеціальність: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».	Дисципліна вільного вибору	
5,5				
Загальна кількість годин				
165				
Модулів – 3		ОНП «Автоматизоване управління технологічними процесами»	Рік підготовки	
Змістових модулів – 3			1	
Індивідуальні науково-дослідні завдання – <b>Реферативний огляд 1</b> «Математичні методи побудови адаптивних систем управління на основі апарату нечіткої логіки та нейронних мереж»; <b>Реферативних огляд 2</b> «Математичні методи побудови адаптивних систем управління на основі класичного математичного апарату»			Семестр	
			2	
			Лекції	
Тижневих годин для <u>денної</u> форми навчання: аудиторних – 4; самостійної роботи студента – 5,2		36		
		Практичні		
		36		
		Самостійна робота		
		93		
		Вид контролю		
		іспит	іспит	

1.2 Актуальність вивчення дисципліни «Проектування та дослідження адаптивних систем управління» у зв'язку із завданнями професійної діяльності та навчання.

Проектування та дослідження адаптивних систем управління (ПДАСУ) – це навчальна дисципліна, пов'язана із теорією та практикою широкомасштабного застосування обчислювальних можливостей вільного науково-технічного програмного забезпечення до розробки систем управління, які мають можливість змінювати параметри регулятора або структуру регулятора в залежності від змін параметрів об'єкта управління або зовнішніх збурень, які впливають на об'єкт управління. Сучасна теорія адаптивного управління охоплює широкий спектр інформаційно-обчислювальних задач та задач моделювання у таких галузях як кібернетика, теорія інформації, математичне програмування та інформатика.

Сучасний світ важко уявити без втілення в різні галузі адаптивних систем, при цьому йдеться як про технічні системи (системи контролю та управління від авіації та космосу до медицини), так і про комп'ютерні (різного роду роботи, штучні нейронні мережі). Саме тому методи, концепції, підходи, методики та комплекс відповідних моделей, які вивчаються в дисципліні «Проектування та аналіз адаптивних систем управління», широко застосовуються для навчально-методичного викладення основних положень проектування та дослідження складних процесів адаптації технічних та кібернетичних систем широкого спектру застосування.

1.3 Мета дисципліни «Проектування та дослідження адаптивних систем управління» – формування когнітивних, афективних та моторних компетенцій в мультидисциплінарній сфері застосування математичних методів побудови адаптивних систем управління у професійній діяльності майбутнього науковця, опанування та власної розробки широкого спектру систем адаптації, а також успішної прикладної реалізації комп'ютерних алгоритмів із використанням обчислювальних можливостей сучасних прикладних систем для проектування та аналізу адаптивних систем управління.

1.4 Завдання дисципліни «Проектування та дослідження адаптивних систем управління»:

- ознайомлення здобувачів освіти з різноманітними напрямками та методологією проектування адаптивних систем управління;
- навчання майбутніх фахівців практичному використанню прикладних математичних, тобто кількісних, методів для побудови широкого спектру детерміністичних, ймовірнісних, статистичних та стохастичних моделей процесів та систем у всіх галузях управління;
- ознайомлення здобувачів освіти з основними положеннями теорії адаптивного управління та відповідними математичними моделями,

пов'язаними з описом процесу управління технічними та кібернетичними системами;

- 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 повсякденної науково-технічної активності інженера-дослідника;

- розвинення у старшокурсників навичок мультидисциплінарного прикладного математичного моделювання із широким залученням розрахунково-обчислювальних можливостей сучасних комп'ютерних засобів;

- докладний дидактичний розгляд широкого спектру прикладних задач управління технічними та кібернетичними системами, для всіх мультидисциплінарних областей людської науково-технічної діяльності на рівні інженера-дослідника та наукового менеджера;

- набуття студентами практичних навичок алгоритмічного мислення та формування додаткової аргументації при раціональному виборі релевантних чисельних методів комп'ютерного розв'язання прикладних задач обґрунтування та створення адаптивних систем;

- забезпечення базового рівня розуміння та усвідомленого застосування здобувачами освіти набутих нових знань, умінь та навичок шляхом розробки рекомендацій щодо реалізації алгоритмів адаптації різного типу при проектуванні прикладних систем адаптивного управління із застосуванням обчислювальних можливостей сучасних прикладних програмних пакетів;

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

1.5 Передумови для вивчення дисципліни «Проектування та дослідження адаптивних систем управління»: попереднє вивчення студентами дисциплін блоку бакалаврської підготовки відповідного спрямування та навчальних дисциплін «Цифрові системи керування і обробки інформації», «Автоматизоване проектування складних об'єктів та систем».

1.6 Мова викладання: українська.

1.7 Обсяг навчальної дисципліни та його розподіл за видами навчальних занять:

- загальний обсяг становить 165 годин / 5,5 кредитів, в т.ч.:
- денна форма навчання: лекції – 36 годин, практичні – 36 годин, самостійна робота студентів – 93 годин; курсова робота – не планується.

## II ПРОГРАМНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

Освітня компонента «Проектування та дослідження адаптивних систем управління» повинна сформулювати наступні програмні результати навчання, що передбачені освітньо-науковою програмою підготовки магістрів:

- створювати системи автоматизації, кіберфізичні виробництва на основі використання інтелектуальних методів управління, баз даних та баз знань, цифрових та мережевих технологій, робототехнічних та інтелектуальних мехатронних пристроїв.

- застосовувати сучасні підходи і методи моделювання та оптимізації для дослідження та створення ефективних систем автоматизації складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами.

- застосовувати сучасні технології наукових досліджень, спеціалізований математичний інструментарій для дослідження, моделювання та ідентифікації об'єктів автоматизації.

- застосовувати методи аналізу, синтезу та оптимізації кіберфізичних виробництв, систем автоматизації управління виробництвом, життєвим циклом продукції та її якістю.

- розробляти комп'ютерно-інтегровані системи управління складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами, застосовуючи системний підхід із врахуванням нетехнічних складових оцінки об'єктів автоматизації.

У результаті вивчення навчальної дисципліни «Проектування та дослідження адаптивних систем управління» студент повинен продемонструвати достатній рівень сформованості певних результатів навчання через здобуття наступних загальних та фахових компетентностей:

- здатність проведення досліджень на відповідному рівні;
- здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу;
- здатність здійснювати автоматизацію складних технологічних об'єктів та комплексів, створювати кіберфізичні системи на основі інтелектуальних методів управління та цифрових технологій з використанням баз даних, баз знань, методів штучного інтелекту, робототехнічних та інтелектуальних мехатронних пристроїв;

- здатність застосовувати сучасні методи теорії автоматичного керування для розроблення автоматизованих систем управління технологічними процесами та об'єктами;

- здатність застосовувати сучасні технології наукових досліджень процесів, обладнання, засобів і систем автоматизації, контролю, діагностики, випробування та керування складними організаційно-технічними об'єктами та системами.

У результаті вивчення навчальної дисципліни «Проектування та дослідження адаптивних систем управління» 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;
- стійку індивідуальну здатність до 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, ймовірнісних, статистичних та стохастичних моделей;
- здатність до математичного та логічного мислення, адекватного розуміння, формулювання, інтерпретації, допустимої модифікації та зацікавленого дослідження детерміністичних, ймовірнісних, статистичних та стохастичних математичних моделей процесів та систем адаптивного управління, обґрунтування раціонального вибору ефективних методів і підходів для каузального та акаузального розв'язування теоретичних і прикладних задач у відповідній галузі, інтерпретування отриманих графічних, чисельних та аналітичних результатів в різних цільових предметних галузях;
- здатність намагатися постійно вчитися, послідовно, наполегливо і цілеспрямовано оволодівати сучасними інформаційно-технічними знаннями, прикладними математичними моделями динаміки та продуктивності наукових процесів та систем, об'єктивно оцінювати та відповідально забезпечувати якість виконуваних розрахунково-обчислювальних та лабораторних робіт;
- впевнене вміння адекватно, релевантно, послідовно та творчо застосувати математичні моделі адаптивного управління відповідно до наявних об'єктивних технічних умов, в яких наразі функціонують існуючі об'єкти автоматизації та комп'ютеризації в різних предметних галузях;
- вміння грамотно обробляти, згладжувати, інтерполювати, апроксимувати, візуалізувати, тлумачити та 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 обробки даних моделювання із застосуванням обчислювальних можливостей сучасних комп'ютерних систем.

### ***в афективній сфері***

студент здатний:

- критично осмислювати лекційний та позалекційний навчально-практичний матеріал; вільно, компетентно, послідовно та раціонально будувати власну аргументацію; застосовувати вивчені математичні моделі адаптивного управління до відповідних інформаційно-практичних задач;

- спілкуватися як державною українською, так і міжнародною англійською мовами як усно, так і письмово;

- 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 «Проектування та дослідження адаптивних систем управління», повною мірою розділяти цінності колективної та наукової етики.

### ***у психомоторній сфері***

студент здатний:

- самостійно аналізувати і оцінювати прикладні математичні методи та комп'ютерні алгоритми розв'язування інформаційних завдань;

- застосовувати математичні методи та моделі адаптивного управління 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 обирати найбільш раціональні з них.

Формулювання спеціальних результатів із їх розподілом за темами представлені нижче:

Тема	Зміст програмного результату навчання
1	Студент здатний <i>у когнітивній сфері:</i> <ul style="list-style-type: none"><li>• продемонструвати знання історичної ретроспективи виникнення та розвитку технічних та кібернетичних систем адаптивного управління, та є здатним в загальних рисах описувати основні етапи формування наукової галузі;</li><li>• продемонструвати знання термінологічної бази навчальної дисципліни та є здатним коректно застосовувати спеціальні терміни стосовно систем управління під</li></ul>

Тема	Зміст програмного результату навчання
	<p>час обговорення проблемних питань та дискутування;  <i>в афективній сфері:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• брати участь у обговоренні різних варіантів побудови адаптивних систем управління та аргументувати власну думку українською мовою, в т.ч. в усних та письмових повідомленнях, усвідомлювати переваги та недоліки власної позиції та позицій інших учасників дискусії;</li> </ul> <p><i>у психомоторній сфері:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• відтворити сутність проблеми адаптації складної технічної системи;</li> <li>• дотримуватися коректного використання основних термінологічних одиниць в області теорії адаптивного управління.</li> </ul>
2	<p>Студент здатний  <i>у когнітивній сфері:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• продемонструвати знання постановки задачі адаптації складної технічної системи та є здатним в загальних рисах її характеризувати;</li> <li>• продемонструвати знання класифікаційних ознак, за якими здійснюється класифікація адаптивних систем управління та є здатним в загальних рисах описувати певні класи адаптивних систем;</li> <li>• продемонструвати знання термінологічної бази навчальної дисципліни та є здатним коректно застосовувати спеціальні терміни стосовно адаптивного управління під час обговорення проблемних питань та дискутування;</li> </ul> <p><i>в афективній сфері:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• брати участь у обговоренні різних методів синтезу алгоритмів адаптації та аргументувати власну думку українською мовою, в т.ч. в усних та письмових повідомленнях, усвідомлювати переваги та недоліки власної позиції та позицій інших учасників дискусії;</li> <li>• захищати власну думку щодо вибору методу адаптації для запропонованого варіанту побудови системи управління;</li> </ul> <p><i>у психомоторній сфері:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• відтворити постановку задачі синтезу адаптивної системи управління;</li> <li>• дотримуватися коректного використання основних термінологічних одиниць в області адаптивного управління.</li> </ul>
3	<p>Студент здатний  <i>у когнітивній сфері:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• продемонструвати знання основної структури організації роботи адаптивної системи з використанням апарату нечіткої логіки та є здатним в загальних рисах характеризувати кожен з визначених елементів структури;</li> <li>• продемонструвати знання особливостей використання лінгвістичних змінних у системах адаптації з нечіткою логікою та є здатним в загальних рисах описувати основні операції над нечіткими множинами;</li> <li>• продемонструвати знання термінологічної бази навчальної дисципліни та є здатним коректно застосовувати спеціальні терміни стосовно адаптивних систем управління під час обговорення проблемних питань та дискутування;</li> </ul> <p><i>в афективній сфері:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• брати участь у обговоренні різних варіантів обробки нечітких даних системою управління та аргументувати власну думку українською мовою, в т.ч. в усних та письмових повідомленнях, усвідомлювати переваги та недоліки власної позиції та позицій інших учасників дискусії;</li> <li>• захищати власну думку щодо варіанту обробки нечітких даних системою управління для запропонованого варіанту побудови системи управління;</li> </ul> <p><i>у психомоторній сфері:</i></p>



Тема	Зміст програмного результату навчання
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• відтворити основні операції над нечіткими множинами;</li> <li>• слідувати основним правилам використання лінгвістичних змінних при створенні проекту адаптивної системи;</li> <li>• дотримуватися коректного використання основних термінологічних одиниць в області теорії адаптації.</li> <li>• виконати та оформити практичну роботу або індивідуальне розрахунково-графічне завдання щодо дослідження можливостей використання лінгвістичних змінних у системах з нечіткою логікою;</li> <li>• сформулювати висновки з проведеного дослідження можливостей використання лінгвістичних змінних у системах з нечіткою логікою.</li> </ul>
4	<p>Студент здатний</p> <p><i>у когнітивній сфері:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• продемонструвати знання типових структур з багат шаровою нейронною мережею, які можна навчати, та є здатним в загальних рисах описувати процес навчання нейронної мережі;</li> <li>• продемонструвати знання особливостей багат шарових нейронних мереж, які можна навчати, та є здатним в загальних рисах описувати алгоритм навчання багат шарових нейронних мереж;</li> <li>• продемонструвати знання термінологічної бази навчальної дисципліни та є здатним коректно застосовувати спеціальні терміни стосовно адаптивних систем управління під час обговорення проблемних питань та дискутування;</li> </ul> <p><i>в афективній сфері:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• брати участь у обговоренні різних варіантів побудови та навчання нейронних багат шарових мереж та аргументувати власну думку українською мовою, в т.ч. в усних та письмових повідомленнях, усвідомлювати переваги та недоліки власної позиції та позицій інших учасників дискусії;</li> <li>• захищати власну думку щодо варіанту побудови та навчання нейронних багат шарових мереж для запропонованого варіанту побудови системи управління;</li> </ul> <p><i>у психомоторній сфері:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• відтворити алгоритм навчання багат шарових нейронних мереж;</li> <li>• слідувати основним правилам побудови багат шарових нейронних мереж при створенні проекту адаптивної системи;</li> <li>• дотримуватися коректного використання основних термінологічних одиниць в області теорії адаптації.</li> <li>• виконати та оформити практичну роботу або індивідуальне розрахунково-графічне завдання щодо дослідження можливостей систем управління на базі нейронних мереж;</li> <li>• сформулювати висновки з проведеного дослідження можливостей систем управління на базі нейронних мереж.</li> </ul>
5	<p>Студент здатний</p> <p><i>у когнітивній сфері:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• продемонструвати знання типових структур інтелектуальних адаптивних систем управління, та є здатним в загальних рисах описувати процес функціонування такої системи;</li> <li>• продемонструвати знання особливостей динамічних експертних систем в управлінні, та є здатним в загальних рисах описувати можливості нейромережних технологій інтелектуальних управляючих систем;</li> <li>• продемонструвати знання термінологічної бази навчальної дисципліни та є здатним коректно застосовувати спеціальні терміни стосовно адаптивних систем</li> </ul>

Тема	Зміст програмного результату навчання
	<p>управління під час обговорення проблемних питань та дискутування;  <i>в афективній сфері:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• брати участь у обговоренні різних варіантів побудови інтелектуальних адаптивних систем управління та аргументувати власну думку українською мовою, в т.ч. в усних та письмових повідомленнях, усвідомлювати переваги та недоліки власної позиції та позицій інших учасників дискусії;</li> <li>• захищати власну думку щодо варіанту побудови інтелектуальних адаптивних систем управління для запропонованого варіанту побудови системи управління;</li> </ul> <p><i>у психомоторній сфері:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• відтворити структуру динамічної експертної системи у адаптивному управлінні;</li> <li>• слідувати основним правилам реалізації нейромережних технологій при побудові інтелектуальних управляючих систем;</li> <li>• дотримуватися коректного використання основних термінологічних одиниць в області теорії адаптації;</li> <li>• виконати та оформити практичну роботу або індивідуальне розрахунково-графічне завдання щодо дослідження можливостей інтелектуальних адаптивних систем управління;</li> <li>• сформулювати висновки з проведеного дослідження можливостей інтелектуальних адаптивних систем управління.</li> </ul>
6	<p>Студент здатний  <i>у когнітивній сфері:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• продемонструвати знання типових структур адаптивних систем управління, які можуть самостійно настроюватися, та є здатним в загальних рисах описувати процес функціонування таких систем;</li> <li>• продемонструвати знання особливостей систем з розімкнутими та замкнутими ланцюгами самонастроювання, та є здатним в загальних рисах описувати можливості подібних управляючих систем;</li> <li>• продемонструвати знання термінологічної бази навчальної дисципліни та є здатним коректно застосовувати спеціальні терміни стосовно адаптивних систем управління під час обговорення проблемних питань та дискутування;</li> </ul> <p><i>в афективній сфері:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• брати участь у обговоренні різних варіантів побудови адаптивних систем управління з самоорганізацією та аргументувати власну думку українською мовою, в т.ч. в усних та письмових повідомленнях, усвідомлювати переваги та недоліки власної позиції та позицій інших учасників дискусії;</li> <li>• захищати власну думку щодо варіанту побудови адаптивних систем управління, яка може самостійно настроюватися, для запропонованого варіанту побудови системи управління;</li> </ul> <p><i>у психомоторній сфері:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• відтворити структуру системи адаптивного управління, яка може самонастроюватися та системи з самоорганізацією;</li> <li>• дотримуватися коректного використання основних термінологічних одиниць в області теорії адаптації;</li> <li>• виконати та оформити практичну роботу або індивідуальне розрахунково-графічне завдання щодо дослідження можливостей адаптивних систем управління, які можуть самостійно настроюватися;</li> <li>• сформулювати висновки з проведеного дослідження можливостей адаптивних систем управління, які можуть самостійно настроюватися.</li> </ul>

Тема	Зміст програмного результату навчання
7	<p>Студент здатний <i>у когнітивній сфері:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• продемонструвати знання типових структур пошукових адаптивних систем управління та є здатним в загальних рисах описувати процес функціонування таких систем;</li> <li>• продемонструвати знання особливостей систем екстремального регулювання, та є здатним в загальних рисах описувати можливості подібних управляючих систем;</li> <li>• продемонструвати знання термінологічної бази навчальної дисципліни та є здатним коректно застосовувати спеціальні терміни стосовно адаптивних систем управління під час обговорення проблемних питань та дискусії;</li> </ul> <p><i>в афективній сфері:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• брати участь у обговоренні різних варіантів побудови пошукових адаптивних систем управління та аргументувати власну думку українською мовою, в т.ч. в усних та письмових повідомленнях, усвідомлювати переваги та недоліки власної позиції та позицій інших учасників дискусії;</li> <li>• захищати власну думку щодо варіанту побудови пошукової адаптивних систем управління для запропонованого варіанту побудови системи управління;</li> </ul> <p><i>у психомоторній сфері:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• відтворити структуру пошукової системи адаптивного управління та системи екстремального регулювання;</li> <li>• дотримуватися коректного використання основних термінологічних одиниць в області теорії адаптації;</li> <li>• виконати та оформити практичну роботу або індивідуальне розрахунково-графічне завдання щодо дослідження можливостей пошукових адаптивних систем управління;</li> <li>• сформулювати висновки з проведеного дослідження можливостей пошукових адаптивних систем управління.</li> </ul>
8	<p>Студент здатний <i>у когнітивній сфері:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• продемонструвати знання типових структур безпошукових адаптивних систем управління та є здатним в загальних рисах описувати процес функціонування таких систем;</li> <li>• продемонструвати знання особливостей синтезу безпошукових адаптивних систем на методів функцій Ляпунова та на основі швидкісного градієнту, та є здатним в загальних рисах описувати можливості подібних управляючих систем;</li> <li>• продемонструвати знання термінологічної бази навчальної дисципліни та є здатним коректно застосовувати спеціальні терміни стосовно адаптивних систем управління під час обговорення проблемних питань та дискусії;</li> </ul> <p><i>в афективній сфері:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• брати участь у обговоренні різних варіантів побудови безпошукових адаптивних систем управління та аргументувати власну думку українською мовою, в т.ч. в усних та письмових повідомленнях, усвідомлювати переваги та недоліки власної позиції та позицій інших учасників дискусії;</li> <li>• захищати власну думку щодо варіанту побудови безпошукової адаптивної системи управління для запропонованого варіанту побудови системи управління;</li> </ul> <p><i>у психомоторній сфері:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• відтворити структуру безпошукової системи адаптивного управління;</li> <li>• дотримуватися коректного використання основних термінологічних одиниць в області теорії адаптації;</li> </ul>

Тема	Зміст програмного результату навчання
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• виконати та оформити практичну роботу або індивідуальне розрахунково-графічне завдання щодо дослідження можливостей безпошукових адаптивних систем управління;</li> <li>• сформулювати висновки з проведеного дослідження можливостей безпошукових адаптивних систем управління.</li> </ul>
9	<p>Студент здатний <i>у когнітивній сфері:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• продемонструвати знання типових структур адаптивних систем управління без вимірювання дотичних від входу та систем управління зі змінною структурою, та є здатним в загальних рисах описувати процес функціонування таких систем;</li> <li>• продемонструвати знання особливостей синтезу адаптивних спостерігачів стану та реалізації непрямого адаптивного управління, та є здатним в загальних рисах описувати можливості подібних управляючих систем;</li> <li>• продемонструвати знання термінологічної бази навчальної дисципліни та є здатним коректно застосовувати спеціальні терміни стосовно адаптивних систем управління під час обговорення проблемних питань та дискутування;</li> </ul> <p><i>в афективній сфері:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• брати участь у обговоренні різних варіантів побудови адаптивних систем управління без вимірювання дотичних від виходу та систем управління зі змінною структурою та аргументувати власну думку українською мовою, в т.ч. в усних та письмових повідомленнях, усвідомлювати переваги та недоліки власної позиції та позицій інших учасників дискусії;</li> <li>• захищати власну думку щодо варіанту побудови адаптивної системи управління без вимірювання дотичних від виходу та системи управління зі змінною структурою для запропонованого варіанту побудови системи управління;</li> </ul> <p><i>у психомоторній сфері:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• відтворити структуру адаптивної системи управління без вимірювання дотичних від виходу та системи управління зі змінною структурою;</li> <li>• дотримуватися коректного використання основних термінологічних одиниць в області теорії адаптації.</li> </ul>
10	<p>Студент здатний <i>у когнітивній сфері:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• продемонструвати знання загальних вимог, які висуваються до сучасних адаптивних систем управління і є здатними в загальних рисах описувати основні тенденції розвитку теорії та методів адаптивного управління;</li> <li>• продемонструвати знання термінологічної бази навчальної дисципліни та є здатним коректно застосовувати спеціальні терміни стосовно адаптивного управління під час обговорення проблемних питань та дискутування;</li> </ul> <p><i>в афективній сфері:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• брати участь у обговоренні вимог, які висуваються до сучасних систем адаптивного управління та аргументувати власну думку українською мовою, в т.ч. в усних та письмових повідомленнях, усвідомлювати переваги та недоліки власної позиції та позицій інших учасників дискусії;</li> </ul> <p><i>у психомоторній сфері:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• відтворити основні напрямки та тенденції розвитку теорії адаптивного управління;</li> <li>• дотримуватися коректного використання основних термінологічних одиниць в області теорії адаптивного управління.</li> </ul>

### III ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

#### 3.1. Розподіл обсягу дисципліни за видами навчальних занять та темами

№ з/п	Назви змістових модулів і тем	Кількість годин (денна / заочна форма)				
		Усього	в т.ч.			
			Л	П (С)	Лаб	СРС
<b>Змістовий модуль 1</b> Теоретичні основи побудови адаптивних систем управління						
1	Основи побудови адаптивних систем управління. Історія виникнення та реалізації принципів адаптивного управління. Проблема адаптації складної технічної системи.	10	2	0	0	8
2	Загальні положення та постановка задачі синтезу адаптивної системи управління. Класифікація адаптивних систем управління. Постановка задачі синтезу адаптивної системи управління. Методи синтезу алгоритмів адаптації.	14	4	0	0	12
<b>Змістовий модуль 2</b> Математичні методи побудови адаптивних систем управління на основі апарату нечіткої логіки та нейронних мереж						
3	Основи побудови адаптивних систем управління з використанням апарату нечіткої логіки. Використання лінгвістичних змінних у системах з нечіткою логікою. Основні операції над нечіткими множинами. Основна структура і принцип роботи системи з нечіткою логікою	15	6	6	0	4
4	Основи побудови систем управління на базі нейронних мереж. Багатошарові нейронні мережі, які можна навчати. Алгоритми навчання багатошарових нейронних мереж. Типові структури з багатошаровою нейронною мережею, яку можна навчати.	15	6	6	0	4
5	Інтелектуальні адаптивні системи управління. Основи побудови інтелектуальних адаптивних систем управління. Динамічні експертні системи в управлінні. Нейромережні технології інтелектуальних систем.	16	4	6	0	7
<b>Змістовий модуль 3</b> Математичні методи побудови адаптивних систем управління на основі класичного математичного апарату						
6	Системи управління, які можуть самостійно налаштуватися. Системи з розімкнутими та замкнутими ланцюгами самонастройки. Системи з екстремальною самонастройкою. Системи з самоорганізацією.	14	4	0	0	12
7	Пошукові адаптивні системи управління. Основи побудови пошукових адаптивних систем управління. Системи екстремального регулювання. Пошукові алгоритми непрямого адаптивного управління з моделлю, яка налаштовується.	14	4	6	0	12
8	Безпошукові адаптивні системи управління. Синтез безпошукової адаптивної системи методом	14	2	6	0	12

	функцій Ляпунова. Безпошукові адаптивні системи управління на основі схеми швидкісного градієнту. Алгоритми швидкісного градієнту в системах з різними класами моделей.					
9	Адаптивні системи управління без вимірювання дотичних від виходу та системи управління зі змінною структурою. Схеми побудови адаптивних спостерігачів стану. Непряме адаптивне управління. Адаптивні системи з поверхнею ковзання, яка настраюється.	14	2	6	0	12
10	Методи сучасної теорії адаптивного управління. Адаптивна система з прямою та інверсною моделями об'єкта управління. Адаптивна система з еталонною моделлю. Основні напрямки розвитку адаптивних систем управління.	9	2	0	0	10
<b>Усього годин</b>		<b>165</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>0</b>	<b>93</b>
<b>Курсова робота</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Л – лекції, П (С) – практичні (семінарські) заняття, Лаб – лабораторні заняття, СРС – самостійна робота студентів.

### 3.2. Тематика практичних занять

№ з/п	Тема заняття
1	Основні операції над нечіткими множинами
2	Основи процедури нечіткого виводу
3	Основи представлення знань для адаптивних систем управління
4	Дослідження пошукової системи екстремального регулювання
5	Дослідження беспошукової адаптивної системи, що самонастроюється, з інверсною інформаційною моделлю у зворотньому зв'язку
6	Дослідження модального регулятора за наявності повної інформації про вектор стану у адаптивній системі

### 3.3. Перелік індивідуальних та/або групових завдань

№ з/п	Назва теми або тем, з яких виконується індивідуальне завдання	Назва і вид індивідуального завдання
1	<b>Змістовий модуль 2 Математичні методи побудови адаптивних систем управління на основі апарату нечіткої логіки та нейронних мереж.</b> Основи побудови адаптивних систем управління з використанням апарату нечіткої логіки. Використання лінгвістичних змінних у системах з нечіткою логікою. Основні операції над нечіткими множинами. Основна структура і принцип роботи системи з нечіткою логікою. Основи побудови систем управління на базі нейронних мереж. Багатошарові нейронні мережі, які мо-	Реферативний огляд за обраним студентом математичним методом побудови адаптивної системи управління або класом адаптивних систем. За узгодженням з викладачем студент обирає один з математичних методів побудови адаптивної системи управління або клас адаптивних систем та готує реферативний огляд, у якому повинен визначити особливості обраного математичного методу побудови адаптивної системи або класу адаптивних систем, особливості застосування математичного апарату, який покладено в основу роботи алгоритму, можливі обмеження в застосування визна-

	<p>жна навчати. Алгоритми навчання багат шарових нейронних мереж. Типові структури з багат шаровою нейронною мережею, яку можна навчати. Інтелектуальні адаптивні системи управління. Основи побудови інтелектуальних адаптивних систем управління. Динамічні експертні системи в управлінні. Нейромережні технології інтелектуальних систем.</p>	<p>ченого методу або класу адаптивних систем, наявність наукових публікацій, які висвітлюють питання застосовності обраного математичного методу побудови адаптивної системи або класу адаптивних систем, аналіз наведених публікацій та перспективи розвитку обраного напрямку.</p>
2	<p><b>Змістовий модуль 3 Математичні методи побудови адаптивних систем управління на основі класичного математичного апарату.</b></p> <p>Системи управління, які можуть самостійно настроюватися. Системи з розімкнутими та замкнутими ланцюгами самонастройки. Системи з екстремальною самонастройкою. Системи з самоорганізацією. Пошукові адаптивні системи управління. Основи побудови пошукових адаптивних систем управління. Системи екстремального регулювання. Пошукові алгоритми непрямого адаптивного управління з моделлю, яка настроюється. Безпошукові адаптивні системи управління. Синтез безпошукової адаптивної системи методом функцій Ляпунова. Безпошукові адаптивні системи управління на основі схеми швидкісного градієнту. Алгоритми швидкісного градієнту в системах з різними класами моделей. Адаптивні системи управління без вимірювання дотичних від виходу та системи управління зі змінною структурою. Схеми побудови адаптивних спостерігачів стану. Непряме адаптивне управління. Адаптивні системи з поверхнею ковзання, яка настроюється. Методи сучасної теорії адаптивного управління. Адаптивна система з прямою та інверсною моделями об'єкта управління. Адаптивна система з еталонною моделлю. Основні напрямки розвитку адаптивних систем управління.</p>	<p>Реферативний огляд за обраним студентом математичним методом побудови адаптивної системи управління або класом адаптивних систем. За узгодженням з викладачем студент обирає один з математичних методів побудови адаптивної системи управління або клас адаптивних систем та готує реферативний огляд, у якому повинен визначити особливості обраного математичного методу побудови адаптивної системи або класу адаптивних систем, особливості застосування математичного апарату, який покладено в основу роботи алгоритму, можливі обмеження в застосування визначеного методу або класу адаптивних систем, наявність наукових публікацій, які висвітлюють питання застосовності обраного математичного методу побудови адаптивної системи або класу адаптивних систем, аналіз наведених публікацій та перспективи розвитку обраного напрямку.</p>

#### IV КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

#### 4.1. Перелік обов'язкових контрольних точок для оцінювання знань студентів денної форми навчання

№	Назва і короткий зміст контрольного заходу	Max балів	Характеристика критеріїв досягнення результатів навчання для отримання максимальної кількості балів
1	Захист практичних робіт	50	Студент здатний продемонструвати критичне осмислення лекційного та позалекційного матеріалу, брати кваліфіковану участь у дискусії з наведенням аргументації. Студент виконав розрахунково-графічні та обчислювальні практичні роботи, а також навів аргументовані відповіді на уточнювальні та додаткові запитання викладача та колег.
2	Модульна контрольна робота №1 до модулю №1 «Теоретичні основи побудови адаптивних систем управління»	10	Студент виконав тестові та розрахунково-обчислювальні завдання, що відповідають програмним результатам навчання за темами змістового модулю №1
3	Модульна контрольна робота №2 до модулю №2 «Математичні методи побудови адаптивних систем управління на основі апарату нечіткої логіки та нейронних мереж»	10	Студент виконав тестові та розрахунково-обчислювальні завдання, що відповідають програмним результатам навчання за темами змістового модулю №2
4	Модульна контрольна робота №3 до модулю №3 «Математичні методи побудови адаптивних систем управління на основі класичного математичного апарату»	10	Студент виконав тестові та розрахунково-обчислювальні завдання, що відповідають програмним результатам навчання за темами змістового модулю №3
5	Реферативний огляд № 1 за змістовним модулем № 2	10	Студент підготував реферативний огляд, який відповідає програмним результатам навчання за змістовним модулем № 2.
6	Реферативний огляд № 2 за змістовним модулем №3	10	Студент підготував реферативний огляд, який відповідає програмним результатам навчання за змістовним модулем № 3.
Поточний контроль		100(*0,5)	-
Підсумковий контроль		100(*0,5)	Студент виконав тестові та розрахунково-обчислювальні індивідуальні завдання та навів аргументовані відповіді на ситуаційні завдання, що відповідають програмним результатам успішного навчання з дисципліни «Проектування та дослідження адаптивних систем управління»
Всього		100	-



#### 4.2. Перелік обов'язкових контрольних точок для оцінювання знань студентів заочної форми 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 «Проектування та дослідження адаптивних систем управління»
Всього		100	-

#### 4.3. Критерії оцінювання сформованості програмних результатів навчання під час підсумкового контролю

Синтезований опис компетентностей	Типові недоліки, які зменшують рівень досягнення програмного результату навчання
<b>Когнітивні:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>студент здатний продемонструвати знання і розуміння теоретичних основ побудови адаптивних систем управління, їх класифікації та побудови алгоритмів адаптації;</li> <li>студент здатний продемонструвати знання і розуміння основних математичних методів побудови адаптивних систем управління на основі апарату нечіткої логіки та нейронних мереж;</li> <li>студент здатний продемонструвати знання і розуміння основних обчислювальних математичних методів побудови адаптивних систем управління на основі класичного математичного апарату.</li> </ul>	75-89% – студент припускається незначних помилок у описі прикладних алгоритмів побудови адаптивних систем управління, недостатньо повно визначає сутність алгоритму адаптації на основі визначеного математичного апарату, неповною мірою розуміє переваги та недоліки різних алгоритмів адаптації технічної системи, припускається несуттєвих фактичних помилок при витлумаченні розрахунково-графічних результатів
	60-74% – студент некоректно формулює алгоритми та методи побудови алгоритмів адаптації технічної системи різного типу та робить суттєві помилки у змісті математичної моделі алгоритму адаптації, припускається помилок при проектуванні базового варіанту адаптивної системи, припускається грубих помилок у витлумаченні та розрахунках, а також при оформленні розрахункової або практичної роботи
	менше 60% – студент не може обґрунтувати свою позицію посиленням на конкретний алгоритм адаптації технічної системи, не володіє методикою роботи системи адаптації, не може самостійно підібрати необхідні методи для побудови адаптивної системи; не має належної уяви про типи задач та витлумачення одержаних результатів
<b>Афективні:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>студент здатний критич-</li> </ul>	75-89% – студент припускається певних логічних помилок в аргументації власної позиції в дискусіях на заняттях та під час захисту обчислювальних та індивідуаль-

<p>но осмислювати матеріал лекційних та практичних занять; аргументувати власну позицію, спроможний оцінити аргументованість вимог та компетентно дискутувати у професійному середовищі;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 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 загальнонаукових досліджень</li> </ul>	<p>них розрахункових завдань, відчуває певні складності у поясненні фахівцю та колегам певних подробиць та окремих аспектів професійної проблематики</p> <p>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</p> <p>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</p>
<p>Психомоторні:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• студент здатний самостійно працювати, розробляти оригінальні варіанти індивідуальних рішень, впевнено та кваліфіковано звітувати про них;</li> <li>• студент здатний спокійно та зосереджено слідувати методичним підходам до прикладних розрахунків;</li> <li>• студент здатний повною мірою контролювати результати власних зусиль та намагатися оптимально коригувати свої власні зусилля</li> </ul>	<p>75-89% – студент припускається певних помилок у стандартних методичних підходах та відчуває ускладнення при їх модифікації за зміни вихідних умов навчальної або прикладної ситуації</p> <p>60-74% – студент відчуває ускладнення при модифікації стандартних методичних підходів за зміни вихідних умов навчальної або прикладної ситуації</p> <p>менше 60% – студент нездатний самостійно здійснювати пошук та опрацювання методів та алгоритмів розв’язання детерміністичних, ймовірнісних, статистичних та стохастичних задач, 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</p>

## V ЗАСОБИ ОЦІНЮВАННЯ

№	Назва і короткий зміст контрольного заходу	Характеристика змісту засобів оцінювання
1.	Індивідуальне завдання	<ul style="list-style-type: none"> <li>• письмовий звіт про виконання індивідуального завдання;</li> <li>• оцінювання самостійності та якості виконання завдання в ході звіту-захисту та співбесіди</li> </ul>
2.	Модульні контрольні роботи	<ul style="list-style-type: none"> <li>• стандартизовані тести;</li> <li>• аналітично-розрахункові завдання;</li> </ul>
Підсумковий контроль		<ul style="list-style-type: none"> <li>• стандартизовані тести;</li> <li>• аналітично-розрахункові завдання;</li> </ul>

6.1. Основна література

1. **Жиров М.В., Солдатов В.В., Гончаров А.В.** Адаптивные системы в промышленной автоматике: Курс лекций. – М.: МГУТУ, 2013. – 54 с.
2. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-и тт.; 2-е изд., перераб. и доп. Т.5: Методы современной теории автоматического управления / Под ред. К.А.Пупкова, Н.Д.Егупова. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2004. – 784 с.
3. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления: Учебник / Под ред. Н.Д.Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2001. – 744 с.
4. Теория систем автоматического управления / Бесекерский В.А., Попов Е.П. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – СПб, Изд-во «Профессия», 2003. – 752 с. – (Серия: Специалист).
5. **Антонов В.Н., Терехов В.А., Тюкин И.Ю.** Адаптивное управление в технических системах: Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во С.-Петербургского университета, 2001. – 244 с.
6. **Spandan Roy, Indra Narayan Kar.** Adaptive-Robust Control with Limited Knowledge on Systems Dynamics: An Artificial Input Delay Approach and Beyond. - Springer Singapore, 2020. – 157 p. – ISBN: 978-981-15-0639-0, 978-981-15-0640-6.
7. **Ding Wang, Chaoxu Mu.** Adaptive Critic Control with Robust Stabilization for Uncertain Nonlinear Systems. - Springer Singapore, 2019. – 317 p. – ISBN: 978-981-13-1252-6; 978-981-13-1253-3.
8. **Marcin Szuster, Zenon Hendzel.** Intelligent Optimal Adaptive Control for Mechatronic Systems. - Springer International Publishing, 2018. – 387 p. – ISBN: 978-3-319-68824-4, 978-3-319-68826-8.
9. **Zhiyong Chen, Jie Huang.** Stabilization and Regulation of Nonlinear Systems: A Robust and Adaptive Approach. - Springer International Publishing, 2015. – 365 p. – ISBN: 978-3-319-08833-4, 978-3-319-08834-1.
10. **Adetola, Veronica; DeHaan, Darryl; Guay, Martin.** Robust and adaptive model predictive control of non-linear systems. – The Institution of Engineering and Technology, 2015. – 269 p. – ISBN: 1849195528, 978-1-84919-552-2, 978-1-84919-553-9, 1849195536.
11. **Zhengtao Ding.** Nonlinear and Adaptive Control Systems. – The Institution of Engineering and Technology, 2013. – 290 p. – ISBN: 1849195749, 9781849195744.
12. **Jiangshuai Huang, Yong-Duan Song.** Adaptive and Fault-Tolerant Control of Underactuated Nonlinear Systems. – CRC Press, 2017. – 266 p. . – ISBN: 1138089028, 9781138089020.

Допоміжна література

1. **Фрадков А.Л.** Адаптивное управление в сложных системах: беспоисковые методы. – М.: Наука. Гл.ред. физ.-мат. лит., 1990. – 296 с.
2. **Цыпкин Я.З.** Адаптация и обучение в автоматических системах / М.: Гл. ред. физ.-мат. лит. изд-ва «Наука», 1968. – 400 с.
3. **Ким Д.П.** Теория автоматического управления. Т.2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы: Учеб. Пособие. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 464 с.
4. **Расстригин Л.А.** Адаптация сложных систем. – Рига: Зинатне, 1981. –375 с.
5. **Александров А.Г.** Оптимальные и адаптивные системы: Учеб. Пособие для вузов по спец. «Автоматика и упр. в техн. системах». – М.: Высш. шк., 1989. – 263 с.
6. **Куропаткин П.В.** Оптимальные и адаптивные системы: Учеб. Пособие для вузов. – М.: Высш. школа, 1980. – 287 с.
7. **Чаки Ф.** Современная теория управления. Нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. Пер. с англ. В.В.Капитоненко, С.А.Анисимова / Под ред. Н.С.Райбмана. – М.: Мир, 1975. – 421 с.
8. **Фомин В.Н., Фрадков А.Л., Якубович В.А.** Адаптивное управление динамическими объектами. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1981. – 448 с.
9. Адаптивные системы автоматического управления: Учебн. пособие / В.Н.Антонов, А.М.Пришвин, В.А.Терехов, А.Э.Янчевский / Под ред. проф. В.Б.Яковлева. – Л.: Изд-во Ленинг. ун-та, 1984. – 204 с.
10. **James V. Candy.** Bayesian Signal Processing: Classical, Modern, and Particle Filtering Methods. – Wiley-IEEE Press, 2016. – 631 p. – ISBN: 1119125456, 9781119125457.
11. **Ruizhuo Song, Qinglai Wei, Qing Li.** Adaptive Dynamic Programming: Single and Multiple Controllers. – Springer Singapore, 2019. – 278 p. – ISBN: 978-981-13-1711-8, 978-981-13-1712-5.

#### Web-ресурсы

1. K. Sevcik: Tutorial on Model Reference Adaptive Control (Drexel University). – Режим доступа: <https://web.archive.org/web/20120218223836/http://www.pages.drexel.edu/~kws23/tutorials/MRAC/MRAC.html>
2. Wolfram language functions for nonlinear control systems. – Режим доступа: <https://reference.wolfram.com/language/guide/NonlinearControlSystems.html>
3. Adaptive Control System - an overview | ScienceDirect Topics. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/adaptive-control-system>
4. Adaptive control | technology | Britannica. – Режим доступа: <https://www.britannica.com/technology/adaptive-control>