

**МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВО-НАВЧАЛЬНИЙ ЦЕНТР
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА СИСТЕМ
НАН УКРАЇНИ ТА МОН УКРАЇНИ**

ЗАТВЕРДЖЕНО

Директор Міжнародного науково-
навчального центру інформаційних
технологій та систем НАН та МОН
України



Олександр ВОЛКОВ

«23» квітня 2024 р

РОБОЧА НАВЧАЛЬНА ПРОГРАМА

**З дисципліни «ОСНОВИ СУЧАСНОЇ ТЕОРІЇ АВТОМАТИЧНОГО
КЕРУВАННЯ»**

Рівень вищої освіти третій
Ступінь вищої освіти доктор філософії
Галузь знань 12 – інформаційні технології
Спеціальність 122 – комп'ютерні науки

Шифр ДВА -1 Дисципліна за вибором аспіранта

Форма навчання _____ денна _____ Курс 2 Семестр -4

Всього годин /кредитів ЄКТС 90 /3,0 за навчальним планом

- лекції (Л) 22
- семінарські заняття (СЗ) 16
- практичні заняття (ПЗ) _____ -
- індивідуально-консультативна робота (ІКР) 2
- самостійна робота студентів (СРС) 50
- підсумковий контроль дисципліни – іспит

- м. Київ

Укладач(і) робочої навчальної програми:

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу інтелектуальних/автоматичних систем

_____ Леонід ЖИТЕЦЬКИЙ
(підпис)

e-mail: leonid_zhiteckii@i.ua

Робочу програму погоджено з гарантом освітньо-наукової програми

Гарант освітньої програми _____ / Володимир СТЕПАШКО
(підпис)

Затверджено: Вченою радою Міжнародного науково-навчального центру інформаційних технологій та систем НАН та МОН України
Протокол № 3 від 23.04.2024 р.

Вчений секретар Вченої ради

_____ Микола КОМАР

Ухвалено: Науково-методичною радою Міжнародного науково-навчального центру інформаційних технологій та систем НАН та МОН України
Протокол № 2 від 15.04.2024 р.

Голова Науково-методичної ради

_____ Людмила КОЗАК

Ухвалено: Радою молодих вчених Міжнародного науково-навчального центру інформаційних технологій та систем НАН та МОН України
Протокол № 4 від 15.04.2024 р.

Голова Ради молодих вчених

_____ Дмитро ВОЛОШЕНЮК

Введено в дію наказом директора Міжнародного науково-навчального центру інформаційних технологій та систем НАН та МОН України № 57 від 23.04.2024 р.

1.ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Найменування показників	Характеристика дисципліни за денною формою навчання
Вид дисципліни	Дисципліна за вибором аспіранта
Мова викладання, навчання та оцінювання	українська
Загальний обсяг кредитів / годин	3
Курс	2
Семестр	4
Кількість змістових модулів з розподілом:	2
Обсяг кредитів	3
Обсяг годин, в тому числі:	90
Лекції	22
Семінарські заняття	16
Індивідуально-консультативна робота	2
Самостійна робота	50
Форма підсумкового контролю	іспит

Дисципліна «Основи сучасної теорії автоматичного керування» належить до переліку дисциплін циклу професійної підготовки аспірант (за вибором аспіранта). Вона забезпечує важливий аспект професійного світогляду аспіранта та спрямована на формування цілісного розуміння теорії адаптивних автоматичних систем, орієнтованих на функціонування в умовах як параметричних, так і непараметричних невизначеностей відносно математичної моделі об'єкта і характеристик зовнішнього середовища, з яким має взаємодіяти система керування.

2. МЕТА І ЗАВДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Метою дисципліни «Основи сучасної теорії автоматичного керування» є сформувати у аспіранта необхідний обсяг знань з теоретичних і практичних аспектів автоматичного керування складними технічними об'єктами і технологічними процесами на основі засобів обчислювальної техніки, навчити його формулювати задачі аналізу і синтезу неперервних та дискретних систем керування об'єктами з нерегулярними та стохастичними збуреннями, в тому числі задачі формальної побудови оптимальних, робастних та адаптивних регуляторів для автоматичного керування за наявності як параметричних, так і непараметричних невизначеностей, ставити нові задачі керування та знаходити власні шляхи розв'язання цих задач.

Основними завданнями є: 1) ознайомлення з перспективними науковими напрямками, які дістали суттєвий розвиток у сучасній теорії автоматичного керування; 2) ознайомлення з принципами та підходами до побудови ефективних автоматичних систем, орієнтованих на функціонування за відсутності повної апріорної інформації про параметри і структуру математичної моделі об'єкта, а також характеристик зовнішніх неконтрольованих збурень (завад); 3) оволодіння сучасними програмними засобами математичного моделювання динамічних процесів, що виникають у цих системах.

Інтегральна компетентність

Здатність продукувати нові ідеї, розв'язувати комплексні проблеми у сфері комп'ютерних наук, застосовувати методологію наукової та педагогічної діяльності, а також проводити власне наукове дослідження, результати якого мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення.

ЗК01 – Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК04. Здатність розв'язувати комплексні проблеми комп'ютерних наук на основі системного наукового світогляду та загального культурного кругозору з дотриманням принципів професійної етики та академічної доброчесності.

ЗК07. Здатність виявляти проблеми, формалізувати ідеї, визначати мету, ставити та розв'язувати завдання.

Спеціальні (фахові) компетентності

СК01. Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у комп'ютерних науках та дотичних до них міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з комп'ютерних наук та суміжних галузей.

СК02. Здатність застосовувати сучасні методології, методи та інструменти експериментальних і теоретичних досліджень у сфері комп'ютерних наук, сучасні цифрові технології, бази даних та інші електронні ресурси у науковій та освітній діяльності.

СК03. Здатність виявляти, ставити та розв'язувати дослідницькі науково-прикладні завдання та/або вирішувати проблеми в сфері комп'ютерних наук, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.

СК07. Здатність до створення та адекватного застосування інтелектуальних методів аналізу інформації та керування складними динамічними об'єктами різної природи.

СК08. Здатність аналізувати дані та одержувати необхідні знання для розв'язання нестандартних завдань з використанням математичних методів та методів комп'ютерного моделювання.

СК09. Здатність до розвитку теорії, розроблення нових методів та інтелектуальних засобів для розв'язання прикладних завдань з різних сфер, зокрема, технічної, економічної, екологічної, медичної, біологічної тощо.

Програмні результати навчання

РН01. Мати передові концептуальні та методологічні знання з комп'ютерних наук і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з відповідного напрямку, отримання нових знань та/або здійснення інновацій.

РН03. Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень і математичного та/або комп'ютерного моделювання, наявні літературні дані

РН04. Розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у комп'ютерних науках та дотичних міждисциплінарних напрямках.

PH08. Визначати актуальні наукові та практичні проблеми у сфері комп'ютерних наук, глибоко розуміти загальні принципи та методи комп'ютерних наук, а також методологію наукових досліджень, застосувати їх у власних дослідженнях у сфері комп'ютерних наук та у викладацькій практиці.

PH09. Вивчати, узагальнювати та впроваджувати в навчальний процес інновації комп'ютерних наук

PH10. Відшукувати, оцінювати та критично аналізувати інформацію щодо поточного стану та трендів розвитку, інструментів та методів досліджень, наукових та інноваційних проєктів з комп'ютерних наук.

PH12. Здійснювати інтелектуальний аналіз електронних масивів даних для розв'язання конкретних практичних завдань, зокрема побудови нейронних мереж, комп'ютерних систем автоматичного керування, розв'язання задач штучного інтелекту, створення систем інтелектуального керування динамічними об'єктами у реальному часі.

PH14. Розробляти моделі, методи та системи аналізу та інтелектуального керування динамічними об'єктами у реальному часі.

PH 18. Використовувати загально наукові філософські знання, необхідні для формування наукового світогляду, професійної етики та культурного кругозору.

3. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Номер лекції	Назва лекції	Кількість годин		
		Лекції	Семінарські /практичні заняття	Самостійна робота
ЗМ1: Автоматичне керування в умовах повної інформації про параметри об'єкта (1.5 кредит)				
1	Математичні моделі цифрових систем керування	2		10
2	Опис лінійних дискретних систем керування	2	2	
3	Види керування. Стійкість лінійних дискретних систем керування	2	2	10
4	Стабілізація лінійних дискретних систем керування	2		
5	Синтез оптимальних дискретних систем керування у просторі «вхід-вихід»	2	2	
6	Синтез оптимальних дискретних систем керування у просторі станів	2	2	
ЗМ2: Системи автоматичного керування з невизначеністю (1.5 кредит)				
7	Види невизначеностей	2		4
8	Робастна стійкість	2	2	4
9	Робастна стабілізація та керування	2	2	4
10	Адаптивне керування лінійним дискретним динамічним об'єктом за	2	2	4

	наявності нерегулярних обмежених збурень			
11	Адаптивне керування лінійним дискретним динамічним об'єктом за наявності стохастичних збурень	2	2	4
12	Іспит			
	ВСЬОГО	22	16	50

4. ПРОГРАМНИЙ МАТЕРІАЛ

Змістовий модуль 1. Автоматичне керування в умовах повної інформації про параметри об'єкта

Тема 1. Математичні моделі цифрових систем керування

Поняття дискретної системи керування. Квантування неперервних сигналів. Метод z-перетворення. Дискретна передавальна функція.

Тема 2. Опис лінійних дискретних систем керування

Простір станів. Норми сигналів. Норми дискретних передавальних функцій.

Тема 3. Види керування. Стійкість лінійних дискретних систем керування

Програмне керування. Поняття керуваності дискретних систем. Зворотний зв'язок за станом. Зворотний зв'язок за виходом. Поняття спостережуваності дискретних систем. Поняття стійкості. Критерії стійкості лінійних дискретних систем.

Тема 4. Стабілізація лінійних дискретних систем керування

Синтез стабілізуючого регулятора для керування дискретними об'єктами. Загальний вигляд стабілізуючих регуляторів.

Тема 5. Синтез оптимальних дискретних систем керування у просторі «вхід-вихід»

Оптимізація дискретних систем керування зі зворотним зв'язком за виходом в умовах нерегулярних обмежених збурень. Оптимізація дискретних систем керування зі зворотним зв'язком за виходом в умовах стохастичних збурень.

Тема 6. Синтез оптимальних дискретних систем керування у просторі станів

Лінійно-квадратичне керування. H_∞ -оптимізація.

Змістовий модуль 2. Системи автоматичного керування з невизначеністю

Тема 7. Види невизначеностей

Параметрична невизначеність. Частотна невизначеність.

Тема 8. Робастна стійкість

Поняття робастності. Визначення показників якості та робастності. Робастна стійкість поліномів. Робастна стійкість матриць.

Тема 9. Робастна стабілізація та керування

Робастна стабілізація за допомогою H_∞ -оптимізації. Робастний лінійно-квадратичний регулятор.

Тема 10. Адаптивне керування лінійним дискретним динамічним об'єктом за наявності нерегулярних обмежених збурень

Проблема ідентифікації. Синтез адаптивного регулятора.

Тема 11. Адаптивне керування лінійним дискретним динамічним об'єктом за наявності стохастичних збурень

Постановка задачі. Синтез адаптивного регулятора у випадку мінімально-фазового об'єкта. Синтез адаптивного регулятора в задачі про дисипативність замкненої системи керування.

5. САМОСТІЙНА РОБОТА

Самостійна робота охоплює:

- 1) підготовку до семінарських занять,
- 2) опрацювання наукової літератури,
- 3) підготовку до іспиту.

№ п/п	Зміст самостійної роботи	Обсяг СР (годин)
1.	Підготовка до семінарських занять	10
2.	Опрацювання наукової літератури	20
3.	Підготовка до іспиту	20
Усього за навчальною дисципліною		50

6. РЕЙТИНГОВА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

Контроль знань аспірантів здійснюється на підставі Положення про організацію та проведення поточного і підсумкового/семестрового контролю результатів навчання здобувачів вищої освіти третього (освітньо-наукового) рівня.

Контроль знань аспірантів складається з двох складників: поточного і підсумкового/семестрового контролю результатів навчання здобувачів вищої освіти третього (освітньо-наукового) рівня. Кожний складник оцінюється за стобальною системою .

Загальна оцінка результатів за дисципліною (ЗО) розраховують:

$$ЗО = k_1 * ПоК + k_2 * ПідК,$$

де k_1 , k_2 - коефіцієнти переведення балів поточного (ПоК) та підсумкового контролю (ПідК) відповідно; $k_1 = 0,4$, $k_2 = 0,6$.

Максимальна кількість балів у поточному контролі встановлюється таким чином:

Форми навчальної діяльності	Максимальна сумарна оцінка в балах
усне опитування	65
активна робота на заняттях	35
Всього	100

**Порядок перерахунку рейтингових показників нормованої 100-бальної шкали
оцінювання в національну шкалу та шкалу ECTS**

За 100- бальною шкалою	За національною шкалою		За шкалою ECTS
	Іспит	Залік	
91 - 100	відмінно	Зараховано	A (відмінно)
81 - 90	добре		B (дуже добре)
71 - 80			C (добре)
66 - 70			D (задовільно)
60 - 65	задовільно		E (достатньо)
40 - 59	незадовільно		не зараховано
1 - 39		F (неприйнятно – з обов'язковим повторним навчанням)	

7. ОРІЄНТОВНИЙ ПЕРЕЛІК ЗАПИТАНЬ НА ЕКЗАМЕН

1. Чи може дискретний об'єкт першого порядку, охоплений від'ємним зворотним зв'язком, бути нестійким? Дайте обґрунтування.
2. Як переконатися, що дискретний об'єкт, який описується заданою дискретною передавальною функцією, не буде повністю керованим?
3. Вкажіть на характер перехідного процесу у дискретній системі другого порядку, характеристичне рівняння якої має корені $\lambda_1 = -0,8$, $\lambda_2 = 0,5$.
4. Як перевірити на стійкість замкнену дискретну систему, що містить об'єкт з заданою передавальною функцією і одиничний зворотний зв'язок?
5. Що можна сказати про перехідний процес у замкненій системі, коли всі корені λ_i її характеристичного рівняння задовольняють умову $-1 < \lambda_i < 0$?
6. Чи належать до простору ℓ_2 сигнал $x_n = \text{sign}(-1)^n$?
7. Поясніть суть простору ℓ_∞ . Чи належить до нього сигнал $x_n = \sin \omega_n$?
8. Наведіть приклади стабілізуючого регулятора для дискретного об'єкта, що описується різницевою рівнянням першого порядку.
9. Чи може об'єкт бути одночасно стійким і немінімально-фазовим?
10. Що таке лінійно-квадратичний гаусовський регулятор?
11. Що мінімізується (чи максимізується) у задачі ℓ_1 -оптимізації?
12. Що мінімізується (чи максимізується) у задачі H_∞ -оптимізації?
13. Чим відрізняється оптимальне лінійно-квадратичне гаусовське керування від оптимального керування, що мінімізує дисперсію похибки системи при будь-якому стохастичному збуренні?
14. Що таке поліноми Харитонова?

15. Які обмеження накладаються на параметри об'єкта в задачі адаптивного керування лінійним дискретним динамічним об'єктом за наявності обмежених нерегулярних збурень?
16. Назвіть асимптотичні властивості адаптивної системи керування мінімально-фазовим об'єктом без запізнення за наявності нерегулярного обмеженого збурення.
17. Назвіть критерії якості, за якими синтезується адаптивна система керування лінійним дискретним об'єктом в умовах стохастичних збурень.
18. Яка максимально можлива за модулем похибка буде в асимптотиці процесів адаптивного керування лінійним дискретним об'єктом без запізнення, якщо збурення обмежені за рівнем?
19. Який критерій граничної обмеженості всіх сигналів використовується в задачах синтезу адаптивних систем керування дискретними об'єктами з обмеженими збуреннями?
20. На які вхідні сигнали орієнтована задача H_∞ -оптимізації?
21. Знайдіть дискретну передавальну функцію приведеної неперервної частини, що містить об'єкт, який описується диференціальним рівнянням $\tau \frac{dy}{dt} + y = kx$.
22. Запишіть різницеве рівняння системи, що має таку дискретну передавальну функцію: $W(z) = \frac{a}{(z-1)^2}$.
23. Покажіть, що об'єкт, який описується дискретною передавальною функцією $W_0(z) = \frac{2z^2 3z - 2}{z^3 - 1,5z^2 + 3z - 2}$, є немінімально-фазовим і нестійким.
24. Знайдіть H_1 -норму дискретної передавальної функції $H(z) = \frac{5}{z - 0,2}$.
25. Знайдіть H_∞ -норму передавальної функції $H(s) = \frac{k}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$ ($k, \tau_1, \tau_2 > 0$).
26. Нехай об'єкт описується у дискретному часі різницеvim рівнянням $y_n - 2y_{n-1} + 1,2y_{n-2} = 2u_{n-1} + u_{n-2} + v_n - 1,4v_{n-1} + 0,8v_{n-2}$, де y_n, u_n і v_n – відповідно вихід, керувальна дія і збурення. Припускається, що $v \in \ell_\infty$. Знайдіть закон ℓ_1 -оптимальної стабілізації цього об'єкта на рівні $y^0 = 2$.
27. Знайдіть передавальну функцію від збурення v до керувальної дії u в замкненій системі керування, що містить ℓ_1 -оптимальний регулятор і об'єкт, який описується різницеvim рівнянням $y_n - 2,5y_{n-1} + 1,5y_{n-2} = 1,2u_{n-1} - 0,8u_{n-2} + v_n$, за умови $y^0 = 5$, $v \in \ell_\infty$.
28. Знайдіть закон ℓ_1 -оптимального керування об'єктом, який описується різницеvim рівнянням $y_n - 2y_{n-1} = 5u_{n-3} + v_n$, за умов, що $y^0 = -1$, $v \in \ell_\infty$. Покажіть, що замкнена система керування є ВІВО-стійка.
29. Нехай об'єкт описується в дискретному часі різницеvim рівнянням $y_n - 0,2y_{n-1} - 0,5y_{n-2} = 2u_{n-1} + 1,5u_{n-2} + v_n$, де v – стохастичне збурення. Знайдіть закон керування цим об'єктом, що мінімізує критерій $J = \limsup_{n \rightarrow \infty} E\{y^2\}$.

30. Чи буде робастно стійким інтервальний поліном $A(s) = a_0 + a_1s + a_2s^2 + a_3s^3$, якщо $a_0 \in [0, 5, 1]$, $a_1 \in [2, 5]$, $a_2 \in [3, 5]$, $a_3 \in [1, 4]$?

8. ПОЛІТИКА ДОБРОЧЕСНОСТІ

Виконання навчальних завдань має відповідати вимогам Кодексу академічної доброчесності Міжнародного науково-навчального центру інформаційних технологій та систем НАН та МОН України, затвердженого вченою радою Міжнародного центру 20 січня 2022 року, протокол № 1.

9. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Тунік А.А., Абрамович О.О. Основи сучасної теорії управління : навч. посібник. К. : Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2010. 256 с.
2. Fuzzy Logic with Engineering Applications, Second Edition T. J. Ross. 2004 John Wiley & Sons, 652 p
3. Dorf R.C., Bishop R.H. Modern Control Systems. Prentice Hall, 2008. 1018 p.
4. Ковриго Ю.М., Степанець О.В., Баган Т.Г., Бунке О.С. Сучасна теорія управління. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 155 с.
5. Житецький Л.С. Проблеми та перспективи інтелектуалізації систем автоматичного керування. *Cybernetics and Comp. Engin.*, 2022, 1(207), pp. 46-58

Допоміжна література

6. Åström K.J., Wittenmark B. Computer-controlled Systems: Theory and Design. Prentice Hall, 1997. 557 p.
7. Goodwin G.C., Sin K.S. Adaptive Filtering Prediction and Control. NY: Dover Publications, 1984. 558 p.
8. Zhiteckii L. S., Solovchuk K. Yu. Pseudoinversion in the problems of robust stabilizing multivariable discrete-time control systems of linear and nonlinear static objects under bounded disturbances. *Journal of Automation and Information Sciences*. 2017. N 3. P. 57–70.
9. Zhitetskii L. S., Skurikhin V. I., Solovchuk K.Yu. Stabilization of a nonlinear multivariable discrete-time time-invariant plant with uncertainty on a linear pseudoinverse model. *Journal of Computer and Systems Sciences International*. 2017. N 5. P. 12–26.
10. ZHITECKII L.S., AZARSKOV V.N., SUSHCHENKO O.A., YANOVSKY F.J., SOLOVCHUK K.Yu. Control of a Nonsquare Multivariable System Using Pseudoinverse Model-Based Static Output Feedback. *Cybernetics and Comp. Engin.*, 2020, 3(201).
11. Zhiteckii L. S., Azarskov V. N., Solovchuk K. Yu. Solving a problem of adaptive stabilization for some static MIMO systems. *Cybernetics and Computer Engineering*. 2019. N 3 (197). P. 33–50.