



Ідентифікація складних систем

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	12 Інформаційні технології
Спеціальність	124 Системний аналіз
Освітня програма	Системний аналіз і управління
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	очна(денна)
Рік підготовки, семестр	IV курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	4 кредити ЄКТС
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Контрольні роботи, розрахункові роботи, залік
Розклад занять	
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: професор, д.т.н., чл.-кор. НАН України Губарев Вячеслав Федорович, E-mail: v.f.gubarev@gmail.com Практичні / Семінарські: професор, д.т.н., чл.-кор. НАН України Губарев Вячеслав Федорович, E-mail: v.f.gubarev@gmail.com
Розміщення курсу	CAMPUS НТУУ «КПІ», E-mail групи

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Предмет навчальної дисципліни визначається потребою вирішення широкого кола задач системного аналізу, що можна здійснити тільки при відомій математичній моделі розглядуваної системи. До таких належать екологічні, економічні, освітні, соціальні та багато інших систем. Для цього потрібні спеціалісти, які можуть за даними спостережень і вимірювань на досліджуваному об'єкті будувати математичні моделі, які адекватні розглядуваним. Важливо, що це треба робити в умовах невизначеності, тобто коли дані містять похибки. За таких умов багато задач стають некоректно поставленими. Їх вирішення потребує спеціальних знань та умінь.

Тому місце навчальної дисципліни визначається набуттям системи компетентностей та здатностей вирішувати проблеми моделювання та ідентифікації таких складних систем в умовах невизначеності. Після засвоєння навчальної дисципліни студент має бути здатен до використання на практиці методів вирішення задач ідентифікації досить складних систем.

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів компетентностей.

ЗДАТНІСТЬ:

- системно підходити та вирішувати задачі побудови математичних моделей різноманітних систем в умовах невизначеності;
- використовувати на практиці методи вирішення некоректно поставлених задач ідентифікації;
- розвивати практичні навички використання теоретичних знань на прикладах вирішення задач моделювання та ідентифікації;

Основні завдання навчальної дисципліни.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

ЗНАННЯ:

теоретичних основ моделювання складних систем та ідентифікації в класі обраних моделей за експериментальними даними, що отримуються в експериментах.

УМІННЯ:

- на основі асимптотичного моделювання складних систем обирати адекватні системі класи моделей та здійснювати для них постановку задачі ідентифікації;
- обирати ефективний метод вирішення задачі ідентифікації в обраному класі моделей;
- досліджувати особливості поставленої задачі ідентифікації і в разі необхідності обирати відповідну процедуру регуляризації;
- здійснювати математичне моделювання процесу ідентифікації і за його результатами здійснювати корекцію або настройку параметрів моделі;
- встановлювати якість отриманих моделей і їх можливість використання при вирішенні системних задач.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Серед дисциплін, що передують математичному моделюванню та ідентифікації складних систем, є математичний та функціональний аналіз, основи системного аналізу, чисельні методи, системи керування, такі розділи математики, як диференціальні, інтегральні рівняння, та рівняння матфізики. В свою чергу математичне моделювання та ідентифікація складних систем забезпечує такі дисципліни, як дослідження операцій, системний аналіз і управління, теорія прийняття рішень у складних системах, інтелектуальні системи, чисельні методи.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1 Моделі лінійних стаціонарних систем

- Тема 1.1. Стандартизований опис
- Тема 1.2. Зовнішні впливи і вимірювання
- Тема 1.3. Скінченновимірні апроксимаційні моделі
- Тема 1.4. Дискретна апроксимація

Розділ 2 Моделі нелінійних стаціонарних систем

- Тема 2.1. Функціонально-аналітичні класи моделей
- Тема 2.2. Апроксимація складних систем рівняннями Гальоркіна
- Тема 2.3. Моделі нелінійних систем у нормальній формі
- Тема 2.4. Клас моделей Вінера-Хаммерштейна

Розділ 3 Еквівалентне зображення моделей

- Тема 3.1. Зв'язок моделей у просторі станів з рівняннями у формі вхід-вихід
- Тема 3.2. Моделі у формі регресії та їх зв'язок з іншими описами
- Тема 3.3. Моделі систем на основі передатних функцій

Розділ 4 Основи і принципи ідентифікації складних систем

- Тема 4.1. Моделі стохастичної невизначеності
- Тема 4.2. Зображення нестохастичної невизначеності
- Тема 4.3. Формування початкових даних
- Тема 4.4. Головні принципи ідентифікації
- Тема 4.5. Моделі редукованого порядку

Розділ 5 Ідентифікація в класі дискретних моделей

- Тема 5.1. Регуляризований розв'язок
- Тема 5.2. Непараметрична ідентифікація
- Тема 5.3. Комбінаторний метод непараметричної ідентифікації
- Тема 5.4. Структурно-параметрична ідентифікація

Розділ 6 Прямі методи структурно-параметричної ідентифікації дискретних систем

Тема 6.1. Ідентифікація систем, збуджуваних послідовністю прямокутних імпульсів, що чергуються з інтервалами релаксації

Тема 6.2. Ідентифікація методом виділеного підпростору

Тема 6.3. Ідентифікація за наближеними вхідними і вихідними сигналами

Тема 6.4. Регуляризовані розв'язки задачі ідентифікації в класі ARMA-моделей

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. В.Ф. Губарев. Моделювання та ідентифікація складних систем. – Київ: Наукова думка, 2019, 248 с.
2. Губарев В.Ф. Математичне програмування. Частина 1. – К.: ННК «ІПСА» НТУУ «КПІ», 2014.
3. Губарев В.Ф. Математичне програмування. Частина 2. – К.: ННК «ІПСА» НТУУ «КПІ», 2014.

Список додаткової літератури

1. Glower K., Curtain R.F., Partington J.R. Realization and Approximation of Linear Infinite-Dimensional Systems with Error Bounds. *SIAM Jour. Control and Optimization*. 1988. Vol. 26, N 4. P. 863–898.
2. Губарев В.Ф. Метод итеративной идентификации многомерных систем по неточным данным. Часть 1. Теоретические основы. *Проблемы управления и информатики*. 2006. № 5. С. 16-31.
3. Viberg M. Subspace method in system identification. Proceedings 10th IFAC Symposium on System Identification. Copenhagen, Denmark. 1994. vol. 1. P. 1-12.
4. Verhaegen M., Dewilde P. Subspace model identification. Part 1: The output-error state space model identification class of algorithms. *International Journal of Control*. 1992. vol. 56, No 5. P. 1187-1210.
5. Verhaegen M., Dewilde P. Subspace model identification. Part 2: Analysis of the elementary output-error state space model identification algorithm. *International Journal of Control*. 1992. vol. 56, No 5. P. 1211-1241.
6. Verhaegen M. Subspace model identification. Part 3: Analysis of the ordinary output-error state-space model identification class of algorithm. *International Journal of Control*. 1993. vol. 58, No 3. P. 555-586.

Зазначені матеріали можна знайти у:

1. Бібліотеці НТУУ «КПІ»;
2. Бібліотеці ІПСА НТУУ «КПІ»;
3. Інтернеті

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Основна методика вивчення – це читання лекцій з найбільш важливих, ключових проблем математичного моделювання та ідентифікації складних систем з висвітленням сучасного погляду на теорію і практику цієї дисципліни. Особливу увагу при цьому приділено некоректним задачам, які найчастіше зустрічаються у реальних ситуаціях. Більшість класичного матеріалу дисципліни віднесено до самостійної роботи студента, який повинен на контрольних роботах продемонструвати його засвоєння.

Назви розділів і тем	Кількість годин		
	Всього	у тому числі	
		Лекції	Практичні (семінарські)
1	2	3	4

Розділ 1. Моделі лінійних стаціонарних систем			
Тема 1. Стандартизований опис. Вплив і вимірювання	3	2	1
Тема 2. Апроксимаційні моделі. Дискретизація	4	2	2
Контрольна робота 1	2.25		
Консультації	1.4		
Разом за розділом 1	10.65	4	3
Розділ 2. Моделі нелінійних стаціонарних систем			
Тема 1. Класи моделей. Рівняння Гальоркіна	3	2	1
Тема 2. Моделі Вінера-Хаммерштейна	4	2	2
Контрольна робота 2	2.25		
Консультації	2		
Разом за розділом 2	11.25	4	3
Розділ 3. Еквівалентне зображення моделей			
Тема 1. Перетворення моделей	2	2	-
Тема 2. Різні описи	7	6	1
Контрольна робота 3	2.25		
Консультації	2		
Разом за розділом 3	13.25	10	1
Розділ 4. Основи і принципи ідентифікації складних систем			
Тема 1. Стохастична ідентифікація	5	4	1
Тема 2. Нестохастична ідентифікація	7	6	1
Консультації	2		
Разом за розділом 4	14	10	2
Розділ 5. Ідентифікація в класі дискретних моделей			
Тема 1. Непараметрична ідентифікація	2	1	1
Тема 2. Регуляризація	2	1	1
Тема 3. Структурно-параметрична ідентифікація	3	2	1
Контрольна робота 4	2.25		
Консультації	2		
Разом за розділом 5	11.25	4	3
Розділ 6. Прямі методи структурно-параметричної ідентифікації дискретних систем			
Тема 1. Ідентифікація при імпульсному збудженні	4	2	2
Тема 2. Метод виділеного підпростору	4	2	2
Тема 3. Регуляризовані розв'язки	4	2	2
Консультації	2		
Разом за розділом 6	14	6	6
Залік	2		
Всього годин	76,4	36	18

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, завдання на СРС з посиланням на літературу)
1	Моделі складних систем у функціонально-аналітичній формі <u>Перелік основних питань:</u> Функціонально-аналітичний опис складних систем. Стандартний опис. Функція Гріна, її зміст. Приклади. <u>Література:</u> [1] стор. 9-14. <u>Завдання на СРС:</u> Представлення за допомогою функцій Гріна стаціонарних систем. Вигляд стандартизованого опису для систем з зосередженими параметрами.
2	Дискретні моделі складних систем <u>Перелік основних питань:</u> Зовнішні впливи та вимірювання в класі стандартизованих моделей. Асимптотичне моделювання. Апроксимаційні моделі динамічних процесів.

	<u>Література:</u> [1] стор. 15-19.
3	Дискретні моделі складних систем <u>Перелік основних питань:</u> Системи ядерного типу. Усічені реалізації. Похибки апроксимації. Дискретна апроксимація. <u>Література:</u> [1] стор. 19-31. <u>Завдання на СРС:</u> Матриця Ганкеля. Опис динамічних процесів у системах з розподіленими параметрами.
4	Типи нелінійних операторів <u>Перелік основних питань:</u> Нелінійні стаціонарні системи. Задача Діріхле для параболічних систем. Класичний опис. <u>Література:</u> [1] стор. 32-35.
5	Типи нелінійних операторів <u>Перелік основних питань:</u> Операторні рівняння еволюційних процесів. Поняття енергетичного розширення оператора. Операторні рівняння осцилюючих систем. <u>Література:</u> [1] стор. 35-41. <u>Завдання на СРС:</u> Які нелінійні оператори визначені і які їх властивості.
6	Канонічні форми моделей <u>Перелік основних питань:</u> Апроксимація нелінійних систем на основі метода Гальоркіна. Умови збіжності метода Гальоркіна. Нормальна форма Пуанкаре нелінійних рівнянь. Нормальна форма для спостережуваних і керованих систем. <u>Література:</u> [1] стор. 41-58. <u>Завдання на СРС:</u> Перехід до рівнянь Вінера-Хаммерштейна на основі формалізму Пуанкаре.
7	Жорданова реалізація <u>Перелік основних питань:</u> Деякі положення теорії реалізацій для систем у просторі стану. Рівняння у формі вхід-вихід. Перехід від рівнянь у просторі станів до рівнянь у формі вхід-вихід. Дискретний випадок. <u>Література:</u> [1] стор. 59-68. <u>Завдання на СРС:</u> Жорданова реалізація систем у просторі станів. Неперервний та дискретний випадок.
8	<u>Моделі регресії</u> <u>Перелік основних питань:</u> Регресійні моделі систем. Перехід від моделей систем у просторі станів до моделей регресії. <u>Література:</u> [1] стор. 68-73. <u>Завдання на СРС:</u> Перехід від моделей регресії до моделей у просторі станів.
9	Моделі у просторі зображень <u>Перелік основних питань:</u> Моделі систем у просторі зображень. Передатні функції і матриці. Методи апроксимації для рівнянь в операторній формі. Рівняння Каутца та Лагера. <u>Література:</u> [1] стор. 73-80. <u>Завдання на СРС:</u> Перехід від опису у просторі станів до рівнянь у просторі зображень за допомогою перетворення Лапласа.
10	Моделі у просторі зображень <u>Перелік основних питань:</u> Теоретичні основи ідентифікації систем. Невизначеність даних. Стохастична інтерпретація невизначеності. <u>Література:</u> [1] стор. 83-87.
11	Нестохастична інтерпретація невизначеності

	<p><u>Перелік основних питань:</u> Нестохастична невизначеність. Обмежені похибки. Форми обмеженої належності похибок з використанням різних норм.</p> <p><u>Література:</u> [1] стор. 87-92.</p> <p><u>Завдання на СРС:</u> Розробка алгоритмів формування обмежених збурень та шумів з різноманітним розподілом.</p>
12	<p>Нестохастична інтерпретація невизначеності</p> <p><u>Перелік основних питань:</u> Активні та пасивні експерименти. Формування даних в активних експериментах. Спроможність оцінювання. Регуляризовані розв'язки. Моделі редукованого порядку.</p> <p><u>Література:</u> [1] стор. 92-114.</p> <p><u>Завдання на СРС:</u> Побудова редукованих моделей на основі ідентифікації.</p>
13	<p>Спрощення моделей</p> <p><u>Перелік основних питань:</u> Класи моделей в дискретній формі. Асимптотичні моделі. Узгодженість розмірності моделей з похибками даних. Непараметрична ідентифікація.</p> <p><u>Література:</u> [1] стор. 115-125.</p>
14	<p>Комбінаторний метод ідентифікації</p> <p><u>Перелік основних питань:</u> Формування рівнянь на інтервалі спостереження. Формування інформативних даних впливів. Комбінаторний метод ідентифікації.</p> <p><u>Література:</u> [1] стор. 126-132.</p> <p><u>Завдання на СРС:</u> Метод і алгоритм комбінаторної ідентифікації компонент передатної функції.</p>
15	<p>Структурно-параметрична ідентифікація</p> <p><u>Перелік основних питань:</u> Структурно-параметрична ідентифікація.</p> <p><u>Література:</u> [1] стор. 132-138.</p> <p><u>Завдання на СРС:</u> Метод і алгоритми структурно-параметричної ідентифікації</p>
16	<p>Subspace ідентифікація</p> <p><u>Перелік основних питань:</u> Формування вхідного сигналу послідовністю прямокутних імпульсів, що чергуються з інтервалами релаксації. Прямі методи ідентифікації.</p> <p><u>Література:</u> [1] стор. 139-148.</p>
17	<p>Subspace ідентифікація</p> <p><u>Перелік основних питань:</u> Підпростори сигналів. Формування підпросторів сигналів. Метод ідентифікації з формуванням підпросторів сигналів. SVD-розклад інформативних матриць.</p> <p><u>Література:</u> [1] стор. 148-158.</p> <p><u>Завдання на СРС:</u> Метод та програмна реалізація Subspace ідентифікації.</p>
18	<p>Subspace ідентифікація</p> <p><u>Перелік основних питань:</u> Ідентифікація за наближеними даними. Визначення розмірності моделі. Регуляризація задачі ідентифікації.</p> <p><u>Література:</u> [1] стор. 158-171.</p>

Практичні заняття

Основні завдання циклу практичних занять націлені на те, щоб навчити на прикладах, взятих із реальних умов, як використовувати придбані знання при розв'язуванні та дослідженні задач ідентифікації.

№ з/п	Назва теми заняття
1	Класи асимптотичних моделей для ідентифікації систем.
2	Перехід від загального опису у просторі стану до опису із жордановою реалізацією матриці A
3	Перехід від жорданової реалізації до нормальної форми у просторі стану
4	Перехід від нормальної форми диференціальних рівнянь до моделей регресії
5	Визначення матриць перетворень від однієї реалізації до іншої
6	Ідентифікація систем за точними даними
7	Моделювання шумів
8	Ідентифікація систем при шумах вимірювань
9	Ідентифікація при наявності похибок на вході

6. Самостійна робота студента/аспіранта

№ з/п	Назви тем і питань, що виносяться на самостійне опрацювання та посилання на навчальну літературу	Вид СРС, кількість годин
1	Розділ 1 Моделі лінійних стаціонарних систем Тема 1. Моделі складних систем у функціонально-аналітичній формі <u>Перелік основних питань:</u> Представлення стаціонарних систем за допомогою функцій Гріна. Вигляд стандартизованого опису для систем із зосередженими параметрами. <u>Література:</u> [1] стор. 9-14	Підготовка до аудиторних занять 2
2	Розділ 1 Моделі лінійних стаціонарних систем Тема 2. Дискретні моделі складних систем <u>Перелік основних питань:</u> Матриця Ганкеля. Опис динамічних процесів у системах з розподіленими параметрами. <u>Література:</u> [1] стор. 19-31.	Підготовка до контрольної роботи 4
3	Розділ 2 Моделі нелінійних стаціонарних систем Тема 3. Типи нелінійних операторів <u>Перелік основних питань:</u> Які нелінійні оператори визначені і які їх властивості <u>Література:</u> [1] стор. 35-41.	Підготовка до аудиторних занять 3
4	Розділ 2 Моделі нелінійних стаціонарних систем Тема 4. Канонічні форми моделей <u>Перелік основних питань:</u> Перехід до рівнянь Вінера-Хаммерштейна на основі формалізму Пуанкаре <u>Література:</u> [1] стор. 41-58.	Підготовка до контрольної роботи 3
5	Розділ 3 Еквівалентне зображення моделей Тема 5. Жорданова реалізація <u>Перелік основних питань:</u> Неперервний випадок. Дискретний випадок <u>Література:</u> [1] стор. 59-68.	Підготовка до аудиторних занять 2
6	Розділ 3 Еквівалентне зображення моделей Тема 6. Моделі регресії. <u>Перелік основних питань:</u> Перехід від моделей регресії до моделей у просторі станів. <u>Література:</u> [1] стор. 68-73.	Розв'язування задач 2

7	Розділ 3 Еквівалентне зображення моделей Тема 7. Моделі у просторі зображень <u>Перелік основних питань:</u> Перехід від опису у просторі станів до рівнянь у просторі зображень. <u>Література:</u> [1] стор. 74-83.	Підготовка до контрольної роботи 2
8	Розділ 4 Основи і принципи ідентифікації складних систем Тема 8. Нестохастична інтерпретація невизначеності <u>Перелік основних питань:</u> Алгоритми формування обмежених збурень та шумів з різноманітним розподілом. <u>Література:</u> [1] стор. 87-92.	Підготовка до аудиторних занять 3
9	Розділ 4 Основи і принципи ідентифікації складних систем Тема 9. Спрощення моделей <u>Перелік основних питань:</u> Побудова редукованих моделей на основі ідентифікації. <u>Література:</u> [1] стор. 98-114.	Розв'язування задач 3
10	Розділ 5 Ідентифікація в класі дискретних моделей Тема 10. Комбінаторний метод ідентифікації <u>Перелік основних питань:</u> Метод ідентифікації. Алгоритми розв'язання задач. Визначення передатної функції. <u>Література:</u> [1] стор. 115-132.	Підготовка до аудиторних занять 3
11	Розділ 5 Ідентифікація в класі дискретних моделей Тема 11. Структурно-параметрична ідентифікація <u>Перелік основних питань:</u> Метод ідентифікації. Його основні етапи. Особливості методу. Алгоритми ідентифікації. <u>Література:</u> [1] стор. 132-138.	Підготовка до контрольної роботи 5
12	Розділ 6 Прямі методи структурно-параметричної ідентифікації дискретних систем Тема 12. Subspace ідентифікація <u>Перелік основних питань:</u> Опис методу. Етапи методу. Алгоритми і програмна реалізація. <u>Література:</u> [1] стор. 148-158.	Розв'язування задач 4

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Студент повинен відвідувати лекції та практичні заняття. Якщо присутність на заняттях менша 70%, студент повинен написати додаткову контрольну роботу з відповідних тем, на яких він був відсутнім.

Активність на заняттях оцінюється додатковими балами (1-3), які враховуються при визначенні підсумкової оцінки.

Розрахункова робота оцінюється окремо для кожного студента і якщо вона містить помилки чи виконана невірно, студенту дозволяється усунути недоліки і перездати її знову.

Враховується, чи зробив студент роботу самостійно, чи його робота містить результати інших студентів.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Поточний контроль: експрес-опитування, МКР, розрахункові роботи

Буде проведено чотири контрольні роботи.

Мета контрольних робіт – перевірити отримані студентами знання з дисципліни моделювання та ідентифікація складних систем та уміння застосовувати ці знання до вирішення різноманітних прикладних задач, у тому числі до некоректно поставлених.

Всі контрольні роботи письмові, в яких студенти обґрунтовують теоретичні положення, наводять доведення лем і теорем та ілюструють теоретичні результати прикладами. Кожен студент отримує конкретне завдання.

Семестровий рейтинг з дисципліни «Моделювання та ідентифікація складних систем» складається з рейтингових балів і не перевищує 100. В семестрі студент може набрати 65 балів, відповідно на заліку – 35 балів.

Система рейтингових балів

№	Контрольний захід	Бали
1.	Розрахункова робота «Моделі МІМО LTI систем»	20
2.	Розрахункова робота «Ідентифікація для заданої розмірності моделі»	20
3.	Експрес-контроль з усіх тем дисципліни	5
4.	Модульна контрольна робота «Моделювання складних систем»	10
5.	Модульна контрольна робота «Ідентифікація складних систем»	10

Розрахункова робота зараховується тільки за умови її захисту студентом. Для захисту розрахункової роботи студенту надається не більше трьох спроб. В залежності від того, з якої спроби студент захистив роботу, нараховується наступна кількість балів:

- захист з першої спроби 10 балів;
- захист з другої спроби 7 балів;
- захист з третьої спроби і останній – 4 бали.

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: залік

Умови допуску до семестрового контролю:

- поточний рейтинг за семестр складає не нижче 45 балів;
- захищені всі розрахункові роботи.

Відповідно до сумарної кількості рейтингових балів, що набрані в семестрі та під час заліку, студент отримує оцінку згідно з таблицею.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Календарний контроль здійснюється двічі. Перший по розділах 1-3 «Моделювання складних систем»; другий по розділах 4-6 «Методи ідентифікації складних систем».

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено професором, д.т.н., чл.-кор. НАН України Губаревим Вячеславом Федоровичем

Ухвалено кафедрою ММСА (протокол № 13 від 05.06.2024)

Погоджено Методичною комісією НН ІПСА (протокол № 10 від 24.06.2024).