

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра теоретичної та прикладної системотехніки



Робоча програма навчальної дисципліни

Сучасний числовий аналіз

рівень вищої освіти третій (освітньо-науковий)

галузь знань 12 Інформаційні технології

спеціальність 122 Комп'ютерні науки

освітньо-наукова програма підготовки докторів філософії 122 Комп'ютерні науки

спеціалізація _____

вид дисципліни вибіркова

факультет комп'ютерних наук

2019 / 2020 навчальний рік

Програму обговорено та рекомендовано до затвердження вченою радою факультету комп'ютерних наук

“28” серпня 2019 року, протокол № 3

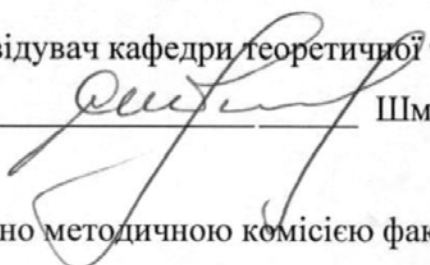
РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ:

доктор технічних наук, професор, професор кафедри теоретичної та прикладної системотехніки **Угрюмов Михайло Леонідович**

Програму схвалено на засіданні кафедри теоретичної та прикладної системотехніки

Протокол від “19” червня 2019 року № 14

Завідувач кафедри теоретичної та прикладної системотехніки

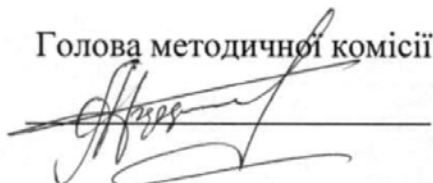


Шматков С. І.

Програму погоджено методичною комісією факультету комп'ютерних наук

Протокол від “ 20 ” червня 2019 року № 9

Голова методичної комісії факультету комп'ютерних наук



Бердніков А.Г.

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Сучасний числовий аналіз» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки третього (освітньо-наукового) рівня (докторів філософії) зі спеціальності 122 Комп'ютерні науки.

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни є засвоєння студентами основ інтелектуального аналізу даних, методології машинного навчання к дослідженню складних ієрархічних багаторівневих систем (СІБС) та процесів, управлінню складними комп'ютерними системами; вироблення навичок по адаптації стандартних алгоритмів до нових – чисельних рішень складних прикладних задач, а також придбання знань про пакети прикладних програм спеціального призначення.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

Основними завданнями вивчення дисципліни є:

- Методи генерації пробних (навчальних) вибірок (рідкісних сіток) на основі теорії планування експериментів.
- Імовірнісні методи генерації пробних (навчальних) вибірок (рідкісних сіток).
- Робастні методи ідентифікації математичних моделей систем та процесів.
- Методи оцінювання інформативності (значущості) змінних стану при невизначеності даних.
- Прогнозування багатовимірних часових рядів на основі концепції тренд-аналізу. Математичні моделі контролю стану (ММКС) динамічних систем і процесів.
- Математичні моделі і методи кластеризації даних (стратифікація прецедентів на підгрупи (класи)).
- Системні математичні моделі розпізнавання станів систем і процесів на основі даних моніторингу.
- Пряма і зворотна задачі розрахунку розмірних конструкторських ланцюгів і методи їх вирішення.
- Застосування меметичних алгоритмів для вирішення задач робастного оцінювання.
- Основні характеристики та принципи роботи з спеціалізованими пакетами прикладних програм (ППП) для побудови моделей процесів управління нелінійними динамічними системами на основі статистичних даних про змінних стану.
- Основні характеристики та принципи роботи з спеціалізованими ППП для вирішення завдань РОП&ІД систем і процесів.

1.3. Кількість кредитів – 6

1.4. Загальна кількість годин - 180

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
Нормативна	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
1-й	1-й
Семестр	
2-й	2-й
Лекції	

24 год.	
Семінарські заняття	
12 год.	
Лабораторні заняття	
0 год.	
Самостійна робота	
144 год.	144 год.
Індивідуальні завдання	
0 год.	

1.6. Заплановані результати навчання

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми, студенти мають досягти таких результатів навчання:

знати:

- основні задачі аналізу, інтелектуальної обробки даних і синтезу СІБС та процесів управління складними комп'ютерними системами;
- методи аналізу та обробки великих масивів даних;
- методи машинного навчання для розв'язання задач аналізу, інтелектуальної обробки даних і синтезу СІБС, управлінню складними комп'ютерними системами;
- методи аналізу стохастичних процесів з використанням сучасних моделей;
- методи планування і виконання комп'ютерних експериментів та управління ними.

вміти:

- здійснювати вибір методів машинного навчання для розв'язання задач аналізу, інтелектуальної обробки даних і синтезу СІБС, управління складними комп'ютерними системами;
- проводити верифікацію математичних методів, оцінку якості математичних методів на основі існуючих критеріїв;
- вирішувати задачі чисельного характеру аналізу, інтелектуальної обробки даних і синтезу СІБС, управління складними комп'ютерними системами з застосуванням спеціалізованих пакетів;
- вміти створювати дослідницькі групи для проведення аналізу та обробки великих масивів даних;
- вміти створювати та використовувати нове програмне забезпечення для аналізу та обробки великих масивів даних;
- пояснювати, кількісно та якісно оцінювати, корегувати отримані результати.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Моделі і методи робастного оцінювання.

Тема 1. Предмет вивчення і задачі дисципліни «Сучасний числовий аналіз».

Теорія обчислювального навчання. Індуктивне навчання по приватним емпіричним даним (навчальній вибірці). Дедуктивне навчання на основі формалізації знань експертів. Методи робастного оцінювання.

Інформаційно-аналітичне забезпечення процесів робастного оптимального проектування та інтелектуального діагностування (РОП&ІД) на основі методів машинного навчання.

Тема 2. Методи генерації пробних (навчальних) вибірок (рідкісних сіток) на основі теорії планування експериментів.

Методи планування експериментів. Повний та дробовий факторні експерименти типу 2^n та 3^n . Центральне композиційне планування. Ортогональне центральне

композиційне планування. Рототабельне центральне композиційне планування. Плани Боксу-Хантера, Рехшафнера. Некомпозиційне планування. Плани Боксу-Бенкіна. Латинські і греко-латинські квадрати Ейлера. Критерії оптимальності планування.

ТЕМА 3. Імовірнісні методи генерації пробних (навчальних) вибірок (рідкісних сіток).

Генеральні і репрезентативні вибірки, вибірки напрямків. Метод істотних вибірок. Послідовності Соболя (ЛПт послідовності), Нідеррайтера. Різновиди методу Монте-Карло; методи латинського гіперкуба, максимуму ентропії, $\max\min$, $\min\max$. Поліноміального хаосу розширення.

Тема 4. Робастні методи ідентифікації математичних моделей систем та процесів.

Типи та види робастного оцінювання. Метод максимальної правдоподібності (М-оцінювання).

Некоректно поставлені завдання. Алгоритми, що регуляризують (робастні алгоритми): адаптивні, інваріантні. Методи, що регуляризують, в задачах ідентифікації, апроксимації даних та прогнозування часових рядів.

Робастні штучні нейронні мережі (ШНМ). Гіперпараметри. Регуляризація у глибокому навчанні (заснованому на навчанні уявленням). Ядерне згладжування.

Тема 5. Методи оцінювання інформативності (значущості) змінних стану при невизначеності даних.

Методи оцінювання диференціальної інформативності з врахуванням точності вимірювання змінних стану и наявність парної кореляції між ними: кореляційного аналізу, дисперсійного аналізу і методи розпізнавання образів. Методи розпізнавання образів: детерміністські (дискримінантного аналізу, багатовимірного шкалювання і логічні), ймовірнісно-статистичні (методи Байеса, послідовного аналізу і оцінювання на основі теорії інформації). Стохастичний аналіз інформативності: індекси Соболя. Taguchi S / N Ratio.

Оцінювання інформативності на основі методів структурно-параметричного аналізу і синтезу регресійних моделей: факторного аналізу (головних компонент (МГК), нелінійні МГК, Грамма-Шмідта, аналізу компонентів на основі теорії інформації) і спрямованого перебору (ітеративні - на основі різних типів аппроксиматорів, в тому числі ШНМ, що навчаються), послідовного аналізу варіантів, вагові з адаптацією, локально-стохастичні на основі самоорганізації.

Тема 6. Прогнозування багатовимірних часових рядів на основі концепції тренд-аналізу. Математичні моделі контролю стану (ММКС) динамічних систем і процесів.

Багатовимірні часові ряди. Багатовимірні трендові регресійні моделі. Ранг коінтеграції (розмірність простору коінтегрованих часових рядів).

Типи статистичних ММКС: моделі стохастичною фільтрації, регресивні (структурно-параметричні моделі) і ймовірнісні моделі.

Моделі стохастичною фільтрації (фільтри Калмана-Бьюсі).

Регресивні моделі: згладжування часового ряду (змінного середнього і експоненційного згладжування), авторегресійні трендові моделі: лінійні (ARIMA, GARCH і SSM) та нелінійні (ШНМ з тимчасовими затримками, рекурентні ШНМ).

Імовірнісні моделі: мережі Петрі, ланцюги Маркова (приховані Маркові моделі).

Розладнання часових рядів. Критерії тренду.

Розділ 2. Математичні моделі та обчислювальні методи стратифікації даних

Тема 7. Математичні моделі і методи кластеризації даних (стратифікація прецедентів на підгрупи (класи)).

Методи стратифікації прецедентів на підгрупи (класи).

Навчання з вчителем: узагальнення та перенавчання, крос-валідація, порівняння класифікаторів. Вибір методу обчислення відстані між об'єктами: метрики Мінковського, Хеммінга, Евкліда, зважена евклідова відстань, статистики Стюдента та Романовського.

Навчання без вчителя (кластерний аналіз): детерміністські методи (дискримінантного аналізу, опорних векторів, багатовимірного шкалювання і логічні), ієрархічна кластеризація, алгоритм k-середніх, нечіткий алгоритм k-середніх. Імовірнісні моделі кластеризації: байєсовські моделі (байєсовські мережі довіру), EM-алгоритми. Непараметричні моделі кластеризації. Графові методи кластеризації: алгоритм виділення зв'язкових компонент, алгоритм ФОРЕЛ, функціонали якості кластеризації. Ієрархічна кластеризація (таксономія): агломеративна ієрархічна кластеризація, дендрограма; властивості стиснення, розтягування і редукованості.

Тема 8. Системні математичні моделі розпізнавання станів систем і процесів на основі даних моніторингу.

Аналітичні методи класифікації (на основі алгебр): агломеративні, факторного аналізу, дискримінантного аналізу, ШНМ (у тому числі мережі Хопфілда, Хеммінга, Кохонена).

Логічні методи класифікації, на базі теоретико-множинного уявлення: мультіагентні, нечіткої логіки, лінгвістичної апроксимації (наприклад, у формі продукційних правил, заснованих на обчисленні предикатів).

Статистичні методи класифікації: EM-алгоритми, стохастичні ШНМ.

Розділ 3. Задачі та методи теорії прийняття рішень в умовах невизначеності.

Тема 9. Прямі і зворотні задачі розрахунку розмірних конструкторських ланцюгів і методи їх вирішення.

Математичні моделі та обчислювальні методи синтезу рішень задач стохастичною оптимізацією: M-, V- і P-завдання. Багатокритеріальні задачі стохастичною оптимізацією зі змішаними умовами: MV-, MN-завдання.

Статистичні оцінки довірчих інтервалів математичного очікування функцій для нелінійних залежностей методом Монте-Карло.

Синтез квазірішень багатокритеріальних задач системної модифікації в детермінованій і стохастичній формулюваннях. Методи побудови множини Парето.

Тема 10. Застосування меметичних алгоритмів для вирішення задач робастного оцінювання.

Методи обчислювального інтелекту: ітеративні (локальні), вагові локальні (з адаптацією), локально-стохастичні на основі самоорганізації: стохастичною апроксимацією, стохастичні квазіградієнтні, мультіагентні (генетичні алгоритми, методи диференціальної еволюції, імунні), популяційні (імітації руху: зграї перелітних птахів; мурашиних, бджолиних колоній). Меметичні алгоритми як гібридні алгоритми, засновані на використанні різних стратегій (гіпереврістік).

Тема 11. Основні характеристики та принципи роботи з спеціалізованими пакетами прикладних програм (ППП) для побудови моделей процесів управління нелінійними динамічними системами на основі статистичних даних про змінний стану.

Засоби сучасних інформаційних технологій для побудови моделей процесів управління нелінійними динамічними системами на основі статистичних даних про змінний стану («SAS», «BMDP», «S-PLUS», «SYSTAT», «STATGRAPHICS», «SPSS», «STATISTICA», «STADIA», R, TensorFlow, «Эвриста», «ОМИС» та ін.). Експертні системи для моніторингу, діагностування і прогнозування («SETH», «PERFEX» (використовує алгоритми розпізнавання образів) і ін.).

Структура програмного забезпечення для побудови моделей процесів управління нелінійними динамічними системами на основі статистичних даних про змінний стану. Основні характеристики і принципи роботи. Програмування в пакетах. Рішення основних завдань побудови моделей процесів управління нелінійними динамічними системами на основі статистичних даних про змінний стану.

Тема 12. Основні характеристики та принципи роботи з спеціалізованими пакетами прикладних програм (ППП) для вирішення завдань РОП&ІД систем і процесів.

Засоби сучасних інформаційних технологій (ІТ) для вирішення завдань РОП&ІД систем і процесів. Математичні моделі і методи, реалізовані в цих ІТ. Приклади комп'ютерних систем підтримки прийняття рішень («Dakota, A Multilevel Parallel Object-Oriented Framework for Design Optimization, Parameter Estimation, Uncertainty Quantification, and Sensitivity Analysis», « IOSO Technology, Robust design optimization », «ESTECO, modeFRONTIER», «Dassault Systems, Isight and Fiper», «DYNARDO, optiSLang», «NUMECA International, FineDesign3D», «Concepts NREC's, Agile Engineering Design System» та ін.).

Структура програмного забезпечення для автоматизації процесів РОП&ІД. Основні характеристики і принципи роботи. Програмування в пакетах. Рішення основних задач РОП&ІД в пакетах.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	Всього	у тому числі:				
		Л	Сем.	Лаб. роб.	Інд.	СР
1	2	3	4	5	6	7
Розділ 1. Моделі і методи робастного оцінювання.						
Тема 1. Предмет вивчення і задачі дисципліни.	3	2	1			
Тема 2. Методи генерації пробних (навчальних) вибірок (рідкісних сіток) на основі теорії планування експериментів.	13	2	1			10
Тема 3. Імовірнісні методи генерації пробних (навчальних) вибірок (рідкісних сіток).	13	2	1			10
Тема 4. Робастні методи ідентифікації математичних моделей систем та процесів.	13	2	1			10
Тема 5. Методи оцінювання інформативності (значущості) змінних стану при невизначеності даних.	13	2	1			10
Тема 6. Прогнозування багатовимірних часових рядів на основі концепції тренд-аналізу. Математичні моделі контролю стану (ММКС) динамічних систем і процесів.	13	2	1			10
Всього по розділу 1	68	12	6			50
Розділ 2. Математичні моделі та обчислювальні методи стратифікації даних						
Тема 7. Математичні моделі і методи кластеризації даних (стратифікація прецедентів на підгрупи (класи)).	17	2	1			14
Тема 8. Системні математичні моделі розпізнавання станів систем і процесів на основі даних моніторингу.	19	2	1			16
Всього по розділу 2	36	4	2			30
Розділ 3. Задачі та методи теорії прийняття рішень в умовах невизначеності.						
Тема 9. Пряма і зворотна задачі	19	2	1			16

розрахунку розмірних конструкторських ланцюгів і методи їх вирішення.						
Тема 10. Застосування меметичних алгоритмів для вирішення задач робастного оцінювання.	19	2	1			16
Тема 11. Основні характеристики та принципи роботи з спеціалізованими пакетами прикладних програм (ППП) для побудови моделей процесів управління нелінійними динамічними системами на основі статистичних даних про змінних стану.	20	2	1			16
Тема 12. Основні характеристики та принципи роботи з спеціалізованими пакетами прикладних програм (ППП) для вирішення завдань РОП&ІД систем і процесів.	18	2	1			14
Всього по розділу 3	76	8	4			64
Усього годин	180	24	12			144

4. Теми семінарських занять

№ п/п	Назва теми	Кількість годин
1	Вступ до дисципліни. Методи генерації пробних (навчальних) вибірок (рідкісних сіток) на основі теорії планування експериментів.	2
2	Імовірнісні методи генерації пробних вибірок. Робастні методи ідентифікації математичних моделей систем та процесів.	2
3	Методи оцінювання інформативності (значущості) змінних стану при невизначеності даних. Прогнозування багатовимірних часових рядів на основі концепції тренд-аналізу.	2
4	Математичні моделі і методи кластеризації даних (стратифікація прецедентів на підгрупи (класи)). Системні математичні моделі розпізнавання станів систем і процесів на основі даних моніторингу.	2
5	Застосування меметичних алгоритмів для вирішення задач робастного оцінювання.	2
6	Основні характеристики та принципи роботи з спеціалізованими пакетами прикладних програм (ППП) для побудови моделей процесів управління нелінійними динамічними системами на основі статистичних даних про змінних стану.	2
	Разом	12

5. Завдання для самостійної роботи

№ п/п	Зміст	Кількість годин
1	Дослідити методи генерації пробних (навчальних) вибірок (рідкісних сіток) на основі теорії планування експериментів.	10
2	Дослідити імовірнісні методи генерації пробних (навчальних)	10

	вибірок (рідкісних сіток).	
3	Дослідити робастні методи ідентифікації математичних моделей систем та процесів.	10
4	Дослідити методи оцінювання інформативності (значущості) змінних стану при невизначеності даних.	10
5	Дослідити методи прогнозування багатовимірних часових рядів на основі концепції тренд-аналізу.	10
6	Підготовка до підсумкової контрольної роботи	10
7	Дослідити математичні моделі і методи кластеризації даних (страטיפікація прецедентів на підгрупи (класи)).	10
8	Дослідити системні математичні моделі розпізнавання станів систем і процесів на основі даних моніторингу.	10
9	Дослідити методи розв'язання прямої та зворотної задач розрахунку розмірних конструкторських ланцюгів і методи їх вирішення.	16
10	Дослідити приклади застосування меметичних алгоритмів для вирішення задач робастного оцінювання.	16
11	Ознайомлення з основними характеристиками та принципами роботи з спеціалізованими пакетами прикладних програм (ППП) для побудови моделей процесів управління нелінійними динамічними системами на основі статистичних даних про змінних стану.	16
12	Ознайомлення з основними характеристиками та принципами роботи з спеціалізованими пакетами прикладних програм (ППП) для вирішення завдань РОП&ІД систем і процесів.	14
	Разом	144

6. Індивідуальні завдання

(немає)

7. Методи контролю

Контроль засвоєння навчального матеріалу здійснюється шляхом:

- проведення тестування за результатами відпрацювання основних положень навчальної програми;
- проведення письмового підсумкового контролю знань.

Максимальна кількість балів за результатами контролю поточної успішності складає 60 балів.

Згідно рішення методичної комісії кафедри теоретичної та прикладної системотехніки факультету комп'ютерних наук до екзаменів не допускаються студенти, які мають заборгованість по лабораторним або контрольним роботам.

Підсумковий контроль здійснюється шляхом проведення екзамену.

Екзаменаційний білет включає два теоретичних і одне практичне питання. Теоретичні питання оцінюються в 10 балів кожен, практичний - в 20.

Максимальна кількість балів за результатами екзамену складає 40 балів.

8. Схема нарахування балів

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання															Екзамен	Сума
Теми												Контрольні роботи, передбачені навчальним планом	Курсова робота	Разом		
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12					
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5			60	40	100

T1, T2 ... – теми розділів.

За темою T 1 студент отримує 5 балів за виконання практичного заняття 1.

За темою T 2 студент отримує по 5 балів за виконання практичного заняття 1.

За темою T 3 студент отримує по 5 балів за виконання практичного заняття 2.

За темою T 4 студент отримує 5 балів за виконання практичного заняття 2.

За темою T 5 студент отримує по 5 балів за виконання практичного заняття 3.

За темою T 6 студент отримує 5 балів за виконання практичного заняття 3.

За темою T 7 студент отримує 5 балів за виконання практичного заняття 4.

За темою T 8 студент отримує 5 балів за виконання практичного заняття 4.

За темою T 9 студент отримує 5 балів за виконання практичного заняття 5.

За темою T 10 студент отримує 5 балів за виконання практичного заняття 5.

За темою T 11 студент отримує 10 балів за виконання практичного заняття 6.

Критерії оцінювання знань студентів за практичні роботи

Вимоги	Кількість балів
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Завдання відзначається повнотою виконання без допомоги викладача. ▪ Визначає рівень поінформованості, потрібний для прийняття рішень. Вибирає інформаційні джерела,. ▪ Робить висновки і приймає рішення у ситуації невизначеності. Володіє вміннями творчо-пошукової діяльності. 	5
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Завдання – повні, з деякими огріхами, виконані без допомоги викладача. ▪ Планує інформаційний пошук; володіє способами систематизації інформації; ▪ Робить висновки і приймає рішення у ситуації невизначеності. Володіє вміннями творчо-пошукової діяльності. 	4
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Завдання відзначається неповнотою виконання без допомоги викладача. ▪ Студент може зіставити, узагальнити, систематизувати інформацію під керівництвом викладача; вільно застосовує вивчений матеріал у стандартних ситуаціях. 	3
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Завдання відзначається неповнотою виконання за консультацією викладача. ▪ Застосовує запропонований вчителем спосіб отримання інформації, має фрагментарні навички в роботі з підручником, науковими джерелами; ▪ Вибирає відомі способи дій для виконання фахових методичних завдань. 	2
Завдання відзначається фрагментарністю виконання за консультацією викладача або під його керівництвом.	1

Критерії оцінювання екзаменаційних робіт студентів

Вимоги	Кількість балів
Показані всебічні систематичні знання та розуміння навчального матеріалу; безпомилково виконані завдання.	35-40
Показані повні знання навчального матеріалу; помилки, якщо вони є, не носять принципового характеру.	30-35
Показано повне знання необхідного навчального матеріалу, але допущені помилки.	20-30
Показано повне знання необхідного навчального матеріалу, але допущені суттєві помилки	10-20
Показано недосконале знання навчального матеріалу, допущені суттєві помилки.	5-10
Показано недосконале знання навчального матеріалу, допущені суттєві помилки, які носять принциповий характер; обсяг знань не дозволяє засвоїти предмет.	1-5

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка	
	для чотирирівневої шкали оцінювання	для дворівневої шкали оцінювання
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

9. Рекомендована література

Основна література

1. Згуровский М.З., Панкратова Н.Д. Системный анализ: проблемы, методология, приложения. – Киев: Наукова думка, 2005. – 744 с.
2. Скибенко И.Т. Конспект лекций по курсу „Теория больших систем”. – Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 1982. – 96 с.
3. Федорович О.Е., Нечипорук Н.В., Прохоров А.В. Методы и модели принятия решений при управлениями сожных производственными комплексами. – Учеб. пособие. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2005.–235 с.
4. Харченко В.С., Лысенко И.В. Теория систем и системный анализ. Конспект лекций. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2003. – 130 с.
5. Чернышев Ю.К. Методы вычисления статистических параметров в событийном моделировании.– Х.: Фактор, 2014. – 248 с.
6. Нагель Э., Ньюмен Д. Теорема Геделя. – М.: Знание, 1970. – 63 с.
7. Згуровский М.З. Обобщение методов анализа сложных физических процессов и полей на основе методов системного подхода // Кибернетика и системный анализ. – 1995. – №3. – С. 143-154.
8. Березовский Б.А., Бораенко В.И., Кемпнер Л.М. - Бинарные отношения и многокритериальной оптимизации. – М.: Наука, 1981. – 150 с.
9. Сложные технические и эргатические системы: методы исследования / А.Н. Воронин, Ю.К. Зиятдинов, А.В. Харченко, В.В.Осташевский. – Харьков : Факт, 1997. – 240 с.
10. Воронин А.Н. Декомпозиция и комбинация свойств альтернатив в многокритериальных задачах принятия решений / А.Н. Воронин // Кибернетика и системный анализ. – 2009. – №1. – С. 117 – 122.

11. Воронин А.Н. Нелинейная схема компромиссов в многокритериальных задачах оценивания и оптимизации / А.Н. Воронин // Кибернетика и системный анализ. – 2009. – №4. – С. 106 – 114.
12. Лотов А.В., Поспелова И.И. Многокритериальные задачи принятия решений: Учебное пособие.– М.: МАКС Пресс, 2008. – 197 с.
13. Машунин Ю.К. Методы и модели векторной оптимизации. – М.: Наука, 1986. – 142 с.
14. Системное совершенствование элементов сложных технических систем на основе концепции обратных задач [Текст] : монография/ В.Е. Стрелец, А.А.Трончук, Е.М.Угрюмова и др.; под общ. ред. М. Л. Угрюмова. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2013. – 148с. (ISBN 978-966-662-312-9)
15. Информационная технология диагностирования сложных технических систем в условиях неопределенности входных данных [Текст]: монография/ В.Е.Стрелец, Е.М.Угрюмова и др. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2015. –104 с. (ISBN 978-966-662-475-1)
16. Юдин Д.Б. Вычислительные методы теории принятия решений. – М.: Гл. ред. физ.-мат. лит. изд-ва «Наука», 1989. – 320 с.
17. Интеллектуальные системы принятия проектных решений / А.В.Алексеев, А.Н.Борисов, Э.Р.Вилюмс, Н.Н.Слядзь, С.А.Фомин. – Рига: Зинатне, 1997. – 320 с.
18. Карпенко А.П. Современные алгоритмы. Алгоритмы, вдохновленные природой: учебное пособие // А. П. Карпенко. – М: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 446 с.
19. Meniailov Ievgen, Mathematical Models and Methods of Effective Estimation in Multi-Objective Optimization Problems under Uncertainties/ Ievgen Meniailov, Olexandr Khustochka, Kateryna Ugryumova, Sergey Chernysh, Sergiy Yepifanov, Mykhaylo Ugryumov // Advances in Structural and Multidisciplinary Optimization: Proceedings of the 12th World Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization (WCSMO12) By Axel Schumacher (05th - 09th, June 2017, Braunschweig, Germany).– SpringerLink, 2018.– 2115 p. (ISBN: 978-331-967-987-7) (Paper No. 0011, P.411-427)
20. Меняйлов, Е.С. Обзор и анализ существующих модификаций генетических алгоритмов / Е.С. Меняйлов - Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ» – 2015. – № 70. – С. 244 – 254.

Допоміжна.

1. Системы и методы принятия решений: учеб. пособие по лаб. практикуму / Е.М. Угрюмова, А.А. Трончук, В.Е. Афанасьевская, М.Л.Угрюмов, С.Г.Волков – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2010. – 92 с.
2. Системы и методы принятия решений в задачах диагностирования динамических систем с учётом стохастической природы входных данных [Текст] : учеб. пособие по лаб. практикуму / В. А. Горячая, Е. С. Меняйлов, М. Л. Угрюмов и др. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2016. – 108 с.
3. Вапник В.Н., Червоненкис А.Я. Теория распознавания образов (статистические проблемы обучения). – М.: Наука, 1974. - 416 с.
4. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика и основы эконометрики.– М.: ЮНИТИ, 1998. — 1000 с.
5. Вьюгин В.В. Математические основы теории машинного обучения и прогнозирования. – М.: МЦНМО, 2013. — 390 с.
6. Воронцов К. В. Математические методы обучения по прецедентам. –2012. – 141с.
[http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Машинное_обучение_\(курс_лекций,_К.В.Воронцов\)](http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Машинное_обучение_(курс_лекций,_К.В.Воронцов))

7. MacKay David J.C. Information Theory, Inference and Learning Algorithms. – Cambridge University Press, 2003. – 628 p.
8. Rasmussen C. E., Williams C. K. I. Gaussian Processes for Machine Learning. – Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2006. – 248 p.
9. Bishop Christopher M. Pattern Recognition and Machine Learning. – New York: Springer, 2006. – 738 p.
10. Deep Learning Tutorial. – LISA lab, University of Montreal, 2015. – 167 p.
11. Hal Daume III. A course in machine learning. – Edited by John Mark Ockerbloom (onlinebooks@pobox.upenn.edu), 2015. – 193 p.
12. Луне Пелро Коэльо, Вилли Ричарт. Построение систем машинного обучения на языке Python. 2-е издание/ пер. с англ. А.А. Слинкина. – М.: ДМК Пресс, 2016. – 302 с.
13. Рашка С. Python и машинное обучение / пер. с англ. А.В. Логунова. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 418 с.
14. Силен Дэви, Мейсман Арно, Али Мохамед. Основы Data Science и Big Data. Python и наука о данных. – СПб.: Питер, 2017. – 336 с.
15. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 652 с.
16. Sutton Richard S., Barto Andrew G. Reinforcement Learning: An Introduction. – Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2018. – 426 p.
17. Hastie Trevor, Tibshirani Robert, Friedman Jerome. The Elements of Statistical Learning. Data Mining, Inference, and Prediction. – New York: Springer, 2009. – 745 p.

10. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. <https://www.datacamp.com/courses/deep-learning-in-python>
2. <https://www.kaggle.com/learn/machine-learning>
3. Datasets. – <https://www.kaggle.com>