

**Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна**

**Факультет комп'ютерних наук**

**Кафедра теоретичної та прикладної системотехніки**

**УХВАЛЕНО**

Вченою радою факультету  
комп'ютерних наук, протокол № 4  
від «03» грудня 2019 р.

Голова Вченої ради



<b>Назва курсу</b>	Сучасний числовий аналіз
<b>Викладач (-і)</b>	Проф. Угрюмов М.Л.
<b>Профайл викладача (-ів)</b>	<a href="http://www-csd.univer.kharkov.ua/about-us/sub-faculty/tase-department/personalnij-sklad/">http://www-csd.univer.kharkov.ua/about-us/sub-faculty/tase-department/personalnij-sklad/</a>
<b>Контактний тел.</b>	
<b>Е-mail:</b>	tps@karazin.ua
<b>Сторінка курсу в системі дистанційного навчання</b>	-
<b>Консультації</b>	<i>Очні консультації: 6 годин, кожен четвер з 15.20 до 16.20, ауд. 320</i>

1. **Коротка анотація до курсу** – курс «Сучасний числовий аналіз» спрямований на опанування основ інтелектуального аналізу даних, методології машинного навчання, методів дослідження складних ієрархічних багаторівневих систем (СІБС) та процесів, засвоєння студентами основ моделювання чисельних даних, оцінювання взаємозв'язку величин, вироблення навичок по адаптації стандартних алгоритмів до нових – чисельних рішень складних прикладних задач, а також придбання знань про пакети прикладних програм спеціального призначення.
2. **Мета та цілі курсу** – засвоєння студентами методів генерації пробних (навчальних) вибірок (рідкісних сіток) на основі теорії планування експериментів, імовірнісних методів генерації пробних вибірок, робастних методів ідентифікації математичних моделей систем та процесів, методів оцінювання інформативності (значущості) змінних стану при невизначеності даних, методів прогнозування багатовимірних часових рядів на основі концепції тренд-аналізу, математичних моделей контролю стану (ММКС) динамічних систем і процесів, математичних моделей стратифікації прецедентів на підгрупи (класи), меметичних алгоритмів для вирішення задач робастного оцінювання.

### 3. Формат курсу - очний

### 4. Результати 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, управління 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.

### 5. Обсяг курсу

Вид заняття	Загальна кількість годин
лекції	24
практичні	12
самостійна робота	144

#### 6. Ознаки курсу:

Рік викладання	семестр	спеціальність	Курс (рік навчання)	Нормативний\ вибірковий
2020	2	Комп'ютерні науки	2	вибірковий (В)

**7. Пререквізити** – перед вивченням курсу студент повинен знати вищу математику, основи методи дослідження операцій, основи теорії ймовірностей та математичної статистики, алгоритмізацію та програмування.

**8. Технічне та програмне забезпечення /обладнання** – лекційні та семінарські заняття проводяться у аудиторії з мультимедійним обладнанням (комп'ютер та проектор).

#### 9. Політики курсу

Академічна доброчесність – це сукупність етичних принципів та визначених законом правил, якими мають керуватися учасники освітнього процесу під час навчання, викладання та провадження наукової (творчої) діяльності з метою забезпечення довіри до результатів навчання та/або наукових (творчих) досягнень. Дотримання академічної доброчесності здобувачами освіти передбачає самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю результатів навчання; посилення на джерела інформації у разі використання ідей, розробок, тверджень, відомостей.

#### 10. Схема курсу

Тиж. / акад.год.	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності (заняття)* *лекція, ПЗ,ЛР, СРС) / Формат** **аудиторна, СРС	Матеріали	Завдання, год
<b>Розділ 1. Моделі і методи робастного оцінювання</b>				
Тиж. 1 2 год.	<p>Тема 1. Предмет вивчення і задачі дисципліни «Сучасний числовий аналіз».</p> <p>Лекція 1. 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&amp;ІД) на основі методів машинного навчання.</p>	<i>Лекція / аудиторна</i>	Презентація лекції	2 год.
Тиж. 2 14 год.	<p>Тема 2. Методи генерації пробних (навчальних) вибірок (рідкісних сіток) на основі теорії планування експериментів.</p> <p>Лекція 2. Методи планування експериментів. Повний та дробовий факторні експерименти типу <math>2^n</math> та <math>3^n</math>. 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.</p>	<i>Лекція / аудиторна</i>	Презентація лекції	2 год.

	<p>СРС. Інформаційно-аналітичне забезпечення процесів діагностування систем на основі даних моніторингу.</p>	<p><i>СРС / СРС</i></p>	<p>Конспект лекції, Інформаційна технологія діагностування складних технічних систем в умовах невизначеності вхідних даних [Текст]: монографія/ В. Є. Стрілець, К. М. Угрюмова та ін. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т ім. М.Є. Жуковського «Харк. авіац. ін-т», 2015. –104 с.</p>	<p>опрацювати лекцію, ознайомитись з літературою, 10 год.</p>
	<p><b>СЗ 1.</b> Вступ до дисципліни. Методи генерації пробних вибірок на основі теорій планування експериментів</p>	<p>Семінарське заняття</p>	<p>Конспект лекцій</p>	<p>опрацювати лекцію, ознайомитись з літературою, 2 год</p>
<p><b>Тиж. 3 12 год.</b></p>	<p><i>Тема 3.</i> Імовірнісні методи генерації пробних (навчальних) вибірок (рідкісних сіток). Лекція 3. Генеральні і репрезентативні вибірки, вибірки напрямків. Метод істотних вибірок. Послідовності Соболя (ЛПт послідовності), Нідеррайтера. Різновиди методу Монте-Карло; методи латинського гіперкуба, максимуму ентропії, <math>\max_{\min}</math>, <math>\min_{\max}</math>. Поліноміального хаосу розширення.</p>	<p><i>Лекція / аудиторна</i></p>	<p>Презентація лекції</p>	<p>2 год</p>

	СРС. Поліноміальний хаос.	СРС	Конспект лекції, Теорія хаосу в економіці : підруч. / О. І. Черняк, П. В. Захарченко, Т. С. Клебанова. – Бердянськ : Видавець Ткачук О. В., 2014. – 244 с. Режим доступу – <a href="http://bdpu.org:8080/bitstream/123456789/150/1/Chernyak%20O.I.%2C%20Zakharchenko%20P.V.%2C%20%20Teoriya%20khaosu%20v%20eko%20nomitsi.pdf">http://bdpu.org:8080/bitstream/123456789/150/1/Chernyak%20O.I.%2C%20Zakharchenko%20P.V.%2C%20%20Teoriya%20khaosu%20v%20eko%20nomitsi.pdf</a>	опрацювати лекцію, ознайомитись з літературою, 10 год
<b>Тиж. 4 14 год.</b>	Тема 4. Робастні методи ідентифікації математичних моделей систем та процесів. Лекція 4. 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 мережи (ШНМ). Гіперпараметри. Регуляризація у глибокому навчанні (заснованому на навчанні уявленням).	Лекція / аудиторна	Презентація лекції	2 год.

	СРС. Ядерне згладжування	СРС	Конспект лекції, <i>Abramson, I.S.</i> On bandwidth variation in kernel estimates – a square root law. <i>Annals of Statistics</i> 10. – 1982 Режим доступу – <a href="https://projecteuclid.org/euclid.aos/1176345986">https://projecteuclid.org/euclid.aos/1176345986</a>	опрацювати лекцію, ознайомитись з літературою, 10 год.
	СЗ 2. Імовірнісні методи генерації пробних вибірок. Робастні методи ідентифікації математичних моделей систем та процесів.	Семинарське заняття	Конспект лекції	опрацювати лекцію, ознайомитись з літературою, 2 год.
Тиж. 5 12 год.	Тема 5. Методи оцінювання інформативності (значущості) змінних стану при невизначеності даних. Лекція 5. Методи оцінювання диференціальної інформативності. Методи розпізнавання образів: детерміністські (дискримінантного аналізу, багатовимірною шкалювання і логічні), ймовірнісно-статистичні (методи Байеса, послідовного аналізу і оцінювання на основі теорії інформації). Стохастичний аналіз інформативності: індекси Соболя. Taguchi S / N Ratio.	Лекція / аудиторна	Презентація лекції	2 год.

	<p><b>СРС.</b> 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</p>	<p><i>СРС</i></p>	<p>Конспект лекції, MacKay David J.C. Information Theory, Inference and Learning Algorithms. – Cambridge University Press, 2003. – 628 p.</p>	<p>Опрацювати лекцію, ознайомитись з літературою, 10 год.</p>
<p><b>Тиж. 6</b> <b>8 год</b></p>	<p><i>Тема 4.</i> Кореляційний аналіз даних. Коефіцієнт детермінації як універсальна характеристика ступеню тісноти статистичного зв'язку.</p>	<p><i>Лекція / аудиторна</i></p>	<p>Презентація лекції</p>	<p>2 год.</p>
	<p><b>СРС.</b> Дослідження лінійної залежності за допомогою парного коефіцієнта кореляції.</p>	<p><i>СРС</i></p>	<p>Конспект лекції</p>	<p>опрацювати лекцію, ознайомитись з літературою, 4 год.</p>
	<p><b>СЗ 3.</b> Методи оцінювання інформативності (значущості) змінних стану при невизначеності даних. Прогнозування багатовимірних часових рядів на основі концепції тренд-аналізу.</p>	<p>Семінарське заняття</p>	<p>Конспект лекції</p>	<p>опрацювати лекцію, ознайомитись з літературою, 2 год.</p>
<p><b>Розділ 2. Математичні моделі та обчислювальні методи стратифікації даних</b></p>				
<p><b>Тиж. 7</b> <b>16 год</b></p>	<p><i>Тема 7.</i> Математичні моделі і методи кластеризації даних (стратифікація прецедентів на підгрупи (класи)).</p>	<p><i>Лекція / аудиторна</i></p>	<p>Презентація лекції</p>	<p>2 год.</p>



	<p>Лекція 7. Методи стратифікації прецедентів на підгрупи. 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.</p>			
	<p><b>СРС.</b> 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.</p>	<i>СРС</i>	<p>Конспект лекції, Bishop Christopher M. Pattern Recognition and Machine Learning. – New York: Springer, 2006. – 738 p.</p>	<p>опрацювати лекцію, ознайомитись з літературою, 14 год</p>
<p><b>Тиж. 8 20 год</b></p>	<p><i>Тема 8.</i> Системні математичні моделі розпізнавання станів систем і процесів на основі даних моніторингу. Лекція 8. Аналітичні методи класифікації (на основі алгебр): агломеративні, факторного аналізу, дискримінантного аналізу, ШНМ (у тому числі мережі Хопфілда, Хеммінга, Кохонена). Статистичні методи класифікації: EM-алгоритми, стохастичні ШНМ.</p>	<i>Лекція / аудиторна</i>	<p>Презентація лекції</p>	<p>2 год</p>

	<b>СРС.</b> Логічні методи класифікації, на базі теоретико-множинного уявлення: мультиагентні, нечіткої логіки, лінгвістичної апроксимації (наприклад, у формі продукційних правил, заснованих на обчисленні предикатів).	<i>СРС</i>	Конспект лекції, Bezdek, James C. Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms. – 1981.	опрацювати лекцію, ознайомитись із літературою, 16 год.
	<b>СЗ 4.</b> Математичні моделі і методи кластеризації даних (стратифікація прецедентів на підгрупи (класи)). Системні математичні моделі розпізнавання станів систем і процесів на основі даних моніторингу.	Семінарське заняття	Конспект лекції	опрацювати лекцію, ознайомитись з літературою, 2 год.
<b>Розділ 3. Задачі та методи теорії прийняття рішень в умовах невизначеності</b>				
<b>Тиж. 9 18 год</b>	<i>Тема 9.</i> Пряма і зворотна задачі розрахунку розмірних конструкторських ланцюгів і методи їх вирішення. Лекція 9. Математичні моделі та обчислювальні методи синтезу рішень задач стохастичною оптимізацією: М-, V- і Р-завдання. Багатокритеріальні задачі стохастичною оптимізацією зі змішаними умовами: MV-, MH-завдання. Статистичні оцінки довірчих інтервалів математичного очікування функцій для нелінійних залежностей методом Монте-Карло.	<i>Лекція / аудиторна</i>	Презентація лекції	2 год.
	<b>СРС.</b> Синтез квазірішень багатокритеріальних задач системної модифікації в детермінованій і стохастичній формулюваннях. Методи побудови множини Парето.	<i>СРС</i>	Конспект лекції	опрацювати лекцію, ознайомитись із літературою, 16 год.

<b>Тиж. 10</b> <b>20 год</b>	<p><i>Тема 10.</i> Застосування меметичних алгоритмів для вирішення задач робастного оцінювання.</p> <p>Лекція 10. Методи обчислювального інтелекту: ітеративні (локальні), вагові локальні (з адаптацією), локально-стохастичні на основі самоорганізації: стохастичною апроксимації, стохастичні квазіградієнтні, мультиагентні (генетичні алгоритми, методи диференціальної еволюції, імунні), Меметичні алгоритми як гібридні алгоритми, засновані на використанні різних стратегій (гіпереврістік).</p>	<i>Лекція / аудиторна</i>	Презентація лекції	2 год
	<p><b>СРС.</b> Популяційні алгоритми (імітації руху: зграї перелітних птахів; мурашиних, бджолиних колоній).</p>	<i>СРС</i>	<p>Конспект лекції, Analyst Robust statistics. How Not to Reject Outliers. December 1989. Vol. 114.</p> <p>Режим доступу - <a href="https://www.aafco.org/proficiency-testing-program/CSPStatsDocs/Reports/HowNotToRejectOutliersAMC1989.pdf">https://www.aafco.org/proficiency-testing-program/CSPStatsDocs/Reports/HowNotToRejectOutliersAMC1989.pdf</a></p>	опрацювати лекцію, ознайомитись із літературою, 16 год
	<p><b>СЗ 5.</b> Застосування меметичних алгоритмів для вирішення задач робастного оцінювання.</p>	Семінарське заняття	Конспект лекції, завдання на ПЗ 9	опрацювати лекцію, ознайомитись з літературою, 2 год.

	<p><i>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.</i></p> <p><i>Лекція 11. Структура програмного забезпечення для побудови моделей процесів управління нелінійними динамічними системами на основі статистичних даних про змінних стану. Основні характеристики и принципи роботи. Програмування в пакетах. Рішення основних завдань побудови моделей процесів управління нелінійними динамічними системами на основі статистичних даних про змінних стану.</i></p>	<p><i>Лекція / аудиторна</i></p>	<p>Презентація лекції</p>	<p>опрацювати лекцію, переглянути презентацію, 2 год</p>
<p><b>Тиж. 11</b> <b>18 год</b></p>	<p><b>СРС.</b> Засоби сучасних інформаційних технологій для побудови моделей процесів управління нелінійними динамічними системами на основі статистичних даних про змінних стану.</p>	<p><i>СРС</i></p>	<p>Конспект лекції, Інформаційна технологія діагностування складних технічних систем в умовах невизначеності вхідних даних [Текст]: монографія/ В. Є. Стрілець, К. М. Угрюмова та ін. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т ім. М.Є. Жуковського «Харк. авіац. ін-т», 2015. –104 с.</p>	<p>опрацювати лекцію, ознайомитись із літературою, 16 год</p>

Тиж. 12 8 год	<p>Тема 12. Основні характеристики та принципи роботи з спеціалізованими пакетами прикладних програм (ППП) для вирішення завдань РОП&amp;ІД систем і процесів.</p> <p>Лекція 12. Засоби сучасних інформаційних технологій (ІТ) для вирішення завдань РОП&amp;ІД систем і процесів. Математичні моделі і методи, реалізовані в цих ІТ. Приклади комп'ютерних систем підтримки прийняття рішень.</p> <p>Структура програмного забезпечення для автоматизації процесів РОП&amp;ІД. Основні характеристики і принципи роботи. Програмування в пакетах. Рішення основних задач РОП&amp;ІД в пакетах.</p>	Лекція / аудиторна	Презентація лекції	опрацювати лекцію, переглянути презентацію, 2 год
	СРС. Огляд комп'ютерних систем підтримки прийняття рішень.	СРС	Конспект лекції, самостійно підібрана література	опрацювати лекцію, 4 год
	СЗ 6. Прогнозування часових рядів.	Практичне заняття	Конспект лекції, завдання на ПЗ 11	опрацювати лекцію, ознайомитись з літературою, 2 год.

*\*\*\*якщо література подається в скороченому вигляді, то розшифрування подаєте вкінці*

## 11. Система оцінювання та вимоги Загальна система оцінювання курсу.

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання										Залікова робота	Сума
Розділ 1				Розділ 2			Контрольна робота, передбачена навчальним планом	Індивідуальні завдання	Разом		
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7					
5	10	10	5	10	5	5	10		60	40	100

T1, T2 ... – теми розділів.

<b>Загальна система оцінювання курсу</b>	<i>участь в роботі впродовж семестру/залік - 60/40</i> Розподіл балів, що присвоюються студентам з навчальної дисципліни, є сумою балів за виконання всіх видів завдань та самостійну роботу плюс бали, отримані під час екзамену. Впродовж семестру студент за виконання всіх завдань може отримати до 60 балів і до 40 балів під час складання заліку.
<b>Вимоги до контрольної роботи</b>	Завдання з контрольної роботи повинні бути виконані в повному обсязі. При оцінюванні роботи враховується повнота виконання, здатність студента формулювати закони та закономірності, структурувати судження, обґрунтовувати виконані операції, алгоритми, правила визначення понять, робити висновки, описи, тощо. Максимальна оцінка за контрольну роботу – 10 балів. Студент може скласти залік лише за наявності виконаних практичних завдань.
<b>Умови допуску до підсумкового контролю</b>	Умовою допуску студента до підсумкового семестрового контролю (екзамену) є наявність усіх виконаних практичних робіт та контрольної роботи. Згідно рішення кафедри теоретичної та прикладної системотехніки факультету комп'ютерних наук до екзамену не допускаються студенти, які мають заборгованість контрольним роботам. Наприкінці курсу всі бали підсумовуються і студент має можливість (в разі успішного виконання всіх завдань) отримати максимальну підсумкову оцінку 100 балів.

#### Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка	
	для екзамену	для заліку
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	

50-69	задовільно	
1-49	не задовільно	не зараховано

## 12. Рекомендована література

### Основна література

1. MacKay David J.C. Information Theory, Inference and Learning Algorithms / David J.C. MacKay. – Cambridge University Press, 2003. – 628 p.
2. Bishop Christopher M. Pattern Recognition and Machine Learning / Christopher M. Bishop. – New York: Springer, 2006. – 738 p.
3. Deuffhard P. Numerical Analysis in Modern Scientific Computing / P. Deuffhard, A. Hohmann // Texts in Applied Mathematics, vol. 43. – 2003. – 339 p.
4. Kincaid D. Numerical Analysis: Mathematics of Scientific Computing / D. Kincaid, W. Cheney. – American Mathematical Society, 2009. – 788 p.
5. Vachharajani V. Numerical Analysis: A Programming Approach / Vinay Vachharajani. – BPB Publications, 2018. – 596 p.
6. Stewart D.E. Numerical Analysis: A Graduate Course / David E. Stewart // CMS/CAIMS Books in Mathematics, vol. 4. – 2022. – 632 p.
7. Modern numerical methods and their application in mechanical engineering / Yi Wang, Bo Yu, Filippo Berto, Weihua Cai, Kai Bao // Advances in Mechanical Engineering. – 2019. – Vol. 11 (11). – P. 1-3.
8. A Survey of Modern Numerical Analysis / David M. Young // Society for Industrial and Applied Mathematics, 1973. – Vol. 15, No. 2. – P. 503-523.
9. Методи машинного навчання у задачах системного аналізу і прийняття рішень : монографія / Стрілець В.Є., Шматков С.І., Угрюмов М.Л. та ін. – Харків : ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2020. – 169 с.
10. Системне удосконалення елементів складних технічних систем на основі концепції зворотних задач [Текст] : монографія / В. Є. Стрілець, О. А. Трончук, К. М. Угрюмова та ін.; під заг. ред. М. Л. Угрюмова. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харк. авіац. ін-т», 2013. – 148с. (ISBN 978-966-662-312-9)
11. Інформаційна технологія діагностування складних технічних систем в умовах невизначеності вхідних даних [Текст]: монографія/ В. Є. Стрілець, К. М. Угрюмова та ін. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т ім. М.Є. Жуковського «Харк. авіац. ін-т», 2015. –104 с. (ISBN 978-966-662-475-1)

### Допоміжна.

1. Rasmussen C. E., Williams C. K. I. Gaussian Processes for Machine Learning. –Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2006. – 248 p.
2. Bishop Christopher M. Pattern Recognition and Machine Learning. – New York: Springer, 2006. – 738 p.
3. Deep Learning Tutorial. – LISA lab, University of Montreal, 2015. – 167 p.
4. Hal Daume III. A course in machine learning. – Edited by John Mark Ockerbloom, 2015. – 193 p.
5. Coelho L. P. Building machine learning systems with Python / Luis Pedro Coelho, Willi Richert. – Packt Publishing Ltd., 2015. – 302 p.
6. Raschka S. Python machine Learning: Machine Learning and Deep Learning with Python, scikit-learn, and TensorFlow2 / Sebastian Raschka, Vahid Mirjalili. – Packt Publishing, 2019. – 772 p.

7. Cielen D. Introduction Data Science: Big Data, Machine Learning, and more, using Python tools / Davy Cielen, Arno D.B. Meysman, Mohamed Ali. – Manning, 2016. – 320 p.
8. Fenner M. Machine Learning with Python for Everyone / Mark Fenner. – O'Reilly Media, Inc., 2019.
9. Sutton Richard S., Barto Andrew G. Reinforcement Learning: An Introduction. – Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2018. – 426 p.
10. Hastie Trevor, Tibshirani Robert, Friedman Jerome. The Elements of Statistical Learning. Data Mining, Inference, and Prediction. – New York: Springer, 2009. – 745 p.