

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра теоретичної та прикладної системотехніки

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Проректор
з науково-педагогічних робіт
Ілля Пилипчук
2021 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

Методи машинного навчання

рівень вищої освіти другий (магістерський)

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

освітня програма Комп'ютеризовані системи автоматизації та управління

вид дисципліни за вибором

факультет комп'ютерних наук

2021 / 2022 навчальний рік

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

“ 30 ” червня 2021 року, протокол № 15

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

доктор технічних наук, професор кафедри теоретичної та прикладної системотехніки

Угрюмов Михайло Леонідович

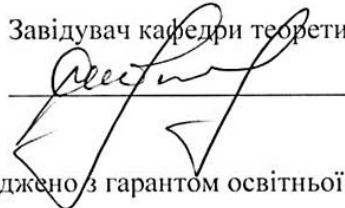
кандидат технічних наук, доцент кафедри теоретичної та прикладної системотехніки

Стрілець Вікторія Євгенівна

Програму схвалено на засіданні кафедри теоретичної та прикладної системотехніки

Протокол від “ 11 ” червня 2021 року № 12

Завідувач кафедри теоретичної та прикладної системотехніки



Сергій ШМАТКОВ.

Програму погоджено з гарантом освітньої програми «Комп'ютеризовані системи управління та автоматика»

Гарант освітньої програми «Комп'ютеризовані системи управління та автоматика»

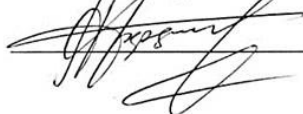


Сергій ШМАТКОВ

Програму погоджено методичною комісією факультету комп'ютерних наук

Протокол від “ 25 ” червня 2021 року № 9

Голова методичної комісії факультету комп'ютерних наук



Анатолій БЕРДНІКОВ

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Методи машинного навчання» розроблена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки другого (магістерського) рівня спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Комп'ютеризовані системи автоматизації та управління».

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Метою викладання навчальної дисципліни є:

засвоєння студентами основ наукових і математичних положень, що лежать в основі функціонування програмних засобів, систем для обробки великих даних, методології машинного навчання для дослідження складних ієрархічних багаторівневих систем (СІБС) та процесів, управління складними комп'ютерними системами; вироблення навичок з адаптації стандартних алгоритмів до нових – чисельних рішень складних прикладних задач, а також придбання знань про пакети прикладних програм спеціального призначення.

Об'єктом вивчення дисципліни «Методи машинного навчання» є методи наукових досліджень, організації та планування експерименту, збирання даних та моделювання в комп'ютерних системах, а саме – методи аналізу стохастичних процесів з використанням сучасних моделей; методи планування і виконання комп'ютерних експериментів та управління ними, сучасна методологія машинного навчання дослідження СІБС та процесів, управління складними комп'ютерними системами, у якій розробляються методи й алгоритми, які регуляризують, в задачах аналізу, інтелектуальної обробки даних і синтезу СІБС та процесів, управління складними комп'ютерними системами; а також шляхи використання для цієї мети сучасних комп'ютерних систем, спеціалізованих пакетів прикладних програм.

Предметом вивчення є методи машинного навчання в задачах аналізу, інтелектуальної обробки даних і синтезу складних ієрархічних багаторівневих систем (СІБС) та процесів, управління складними комп'ютерними системами, оцінки їх ефективності та ін., для рішення яких розробляється математичне забезпечення комп'ютерних систем, а також використовуються спеціалізовані пакети прикладних програм.

1.2. **Основними завданнями вивчення навчальної дисципліни** є вивчення і набуття навичок застосування:

- методів генерації пробних (навчальних) вибірок (рідкісних сіток) на основі теорії планування експериментів.
- імовірнісних методів генерації пробних (навчальних) вибірок (рідкісних сіток).
- 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 динамічних систем і процесів.

В ході вивчення дисципліни у студента повинні формуватися такі компетентності.

Загальні компетентності (ЗК)

ЗК01. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).

ЗК03. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

Спеціальні (фахові, предметні) компетентності (ФК)

ФК01. Здатність здійснювати автоматизацію складних технологічних об'єктів та комплексів, створювати кіберфізичні системи на основі інтелектуальних методів управління та цифрових технологій з використанням баз даних, баз знань, методів штучного інтелекту, робототехнічних та інтелектуальних мехатронних пристроїв.

ФК04. Здатність аналізувати виробничо-технологічні системи і комплекси як об'єкти автоматизації, визначати способи та стратегії їх автоматизації та цифрової трансформації.

ФК07. Здатність застосовувати спеціалізоване програмне забезпечення та цифрові технології для розв'язання складних задач і проблем автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

ФК08. Здатність розробляти функціональну, технічну та інформаційну структуру комп'ютерно-інтегрованих систем управління організаційно-технологічними комплексами із застосуванням мережевих та інформаційних технологій, програмно-технічних керуючих комплексів, промислових контролерів, мехатронних компонентів, робототехнічних пристроїв та засобів людино-машинного інтерфейсу.

1.3. Кількість кредитів – 5

1.4. Загальна кількість годин – 150

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
За вибором	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
1-й	1-й
Семестр	
1-й	1-й
Лекції	
32 год.	год.
Практичні, семінарські заняття	
16 год.	год.
Лабораторні заняття	
0 год.	год.
Самостійна робота	
102 год.	год.
Індивідуальні завдання	
-год.	

1.6. Відповідно до вимог освітньо-кваліфікаційного рівня підготовки за результатами вивчення дисципліни студенти повинні –

знати:

- наукові і математичні положення, що лежать в основі функціонування програмних засобів, систем для оброблення великих даних;
- методи наукових досліджень, організації та планування експерименту, збирання даних та моделювання в комп'ютерних системах, а саме – методи аналізу стохастичних процесів з використанням сучасних моделей; методи планування і виконання комп'ютерних експериментів та управління ними та ін.
- методи машинного навчання для розв'язання задач аналізу, інтелектуальної обробки даних і синтезу складних ієрархічних багаторівневих систем СІБС, управлінню складними комп'ютерними системами;

уміти:

- 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;
- створювати дослідницькі групи для проведення аналізу та обробки великих масивів даних;
- створювати та використовувати нове програмне забезпечення для аналізу та обробки великих масивів даних;
- застосовувати сучасні підходи і методи машинного навчання та створення ефективних систем автоматизації складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами;
- пояснювати, кількісно та якісно оцінювати, корегувати отримані результати.

придбати навички:

- планування та виконання експериментальних і теоретичних досліджень та випробувань, вибирати для цього придатних методи та інструменти, здійснювати статистичну обробку даних, оцінювати адекватності отриманих результатів;
- застосування методів машинного навчання для розв'язання задач аналізу, інтелектуальної обробки даних і синтезу СІБС, управління складними комп'ютерними системами;
- проведення верифікації математичних методів, оцінки якості математичних методів на основі існуючих критеріїв;
- вирішення задач чисельного характеру з застосуванням спеціалізованих пакетів;

мати уявлення:

- про роль методів машинного навчання у створенні сучасних складних технічних систем; перспективах розвитку методів машинного навчання; про основні проблеми розробки сучасного програмного забезпечення для розв'язання задач аналізу, інтелектуальної обробки даних і синтезу СІБС, управління складними комп'ютерними системами та ін.

В результаті вивчення дисципліни у студента повинні формуватися такі *програмні результати навчання (ПРН)*.

ПРН01. Створювати системи автоматизації, кіберфізичні виробництва на основі використання інтелектуальних методів управління, баз даних та баз знань, цифрових та мережевих технологій, робототехнічних та інтелектуальних мехатронних пристроїв.

ПРН04. Застосовувати сучасні підходи і методи моделювання та оптимізації для дослідження та створення ефективних систем автоматизації складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами.

ПРН05. Розробляти комп'ютерно-інтегровані системи управління складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами, застосовуючи системний підхід із врахуванням нетехнічних складових оцінки об'єктів автоматизації.

ПРН07. Аналізувати виробничо-технічні системи у певній галузі діяльності як об'єкти автоматизації і визначати стратегію їх автоматизації та цифрової трансформації.

ПРН08. Застосовувати сучасні математичні методи, методи теорії автоматичного керування, теорії надійності та системного аналізу для дослідження та створення систем автоматизації складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами, кіберфізичних виробництв.

ПРН10. Розробляти і використовувати спеціалізоване програмне забезпечення та цифрові технології для створення систем автоматизації складними організаційно-технічними об'єктами, професійно володіти спеціальними програмними засобами.

ПРН11. Дотримуватись норм академічної доброчесності, знати основні правові норми щодо захисту інтелектуальної власності, комерціалізації результатів науково-дослідної, винахідницької та проектної діяльності.

ПРН12. Збирати необхідну інформацію, використовуючи науково-технічну літературу, бази даних та інші джерела, аналізувати і оцінювати її.

ПРН13. Знати методи управління процесами різної природи, які побудовані на основі сучасних та перспективних методів математики, системного аналізу, штучного інтелекту.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Тема 1. Предмет вивчення і задачі дисципліни «Методи машинного навчання».

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 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 оцінюванні диференціальної інформативності з врахування точності вимірювання змінних стану и наявність парної кореляції між ними: кореляційного аналізу, дисперсійного аналізу і методи розпізнавання образів. 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.

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 апроксиматорів, 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.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	Всього	у тому числі:				
Л		ПЗ	Лаб. роб.	Інд.	СР	
1	2	3	4	5	6	7
Тема 1. Предмет вивчення і задачі дисципліни «Методи машинного навчання».	14	2	2			10
Тема 2. Методи генерації пробних (навчальних) вибірок (рідкісних сіток) на основі теорії планування експериментів.	25	6	2			17
Тема 3. Імовірнісні методи генерації пробних (навчальних) вибірок (рідкісних сіток).	25	6	2			17
Тема 4. Робастні методи ідентифікації математичних моделей систем та процесів.	31	6	4			21
Тема 5. Методи оцінювання інформативності (значущості) змінних стану при невизначеності даних.	25	6	2			17
Тема 6. Прогнозування багатовимірних часових рядів на основі концепції тренд-аналізу. Математичні моделі контролю стану динамічних систем і процесів.	30	6	4			20
Усього годин	150	32	16			102

4. Теми практичних занять

№ п/п	Назва теми	Кількість годин
1	Задачі дисципліни «Методи машинного навчання».	2
2	Методи генерації пробних (навчальних) вибірок (рідкісних сіток) на основі теорії планування експериментів.	2
3	Імовірнісні методи генерації пробних (навчальних) вибірок (рідкісних сіток).	2
4	Робастні методи ідентифікації математичних моделей систем та процесів.	4
5	Методи оцінювання інформативності (значущості) змінних стану при невизначеності даних.	2
6	Прогнозування багатовимірних часових рядів на основі концепції тренд-аналізу. Математичні моделі контролю стану динамічних систем і процесів.	4
	Разом	16

5. Завдання для самостійної роботи

№ п/п	Зміст	Кількість годин
1	Дослідити методи генерації пробних (навчальних) вибірок (рідкісних сіток) на основі теорії планування експериментів.	17
2	Дослідити імовірнісні методи генерації пробних (навчальних) вибірок (рідкісних сіток).	17
3	Дослідити робастні методи ідентифікації математичних моделей систем та процесів.	21
4	Дослідити методи оцінювання інформативності (значущості) змінних стану при невизначеності даних.	17
5	Дослідити методи прогнозування багатовимірних часових рядів на основі концепції тренд-аналізу.	20
6	Підготовка до підсумкової контрольної роботи	10
	Разом	102

6. Індивідуальні завдання

7. Методи контролю

Контроль роботи студентів при вивченні дисципліни і засвоєння ними навчального матеріалу здійснюється на практичному зайнятті шляхом проведення контрольних опитувань і захисту звітів з практичних завдань. Підсумковий контроль здійснюється при виконанні 1 контрольної роботи і на заліку.

Студенти, що не виконали впродовж семестру 1 контрольну роботу, а також не представили і не захистили звіти з практичних завдань, до заліку не допускаються.

Заліковий квиток містить два теоретичних і одне практичне питання. Максимальна кількість балів за відповіді на кожне теоретичне питання складає по 12 балів, на практичне питання – 16 балів.

При дистанційному навчанні видача практичних завдань та контроль їх виконання здійснюється за допомогою сервісу дистанційного навчання Google Classroom. Лекційні заняття проводяться із використанням сервісу відео-конференцій Google Meet., Google Classroom.

Підсумковий контроль у вигляді екзамену (заліку) проводиться шляхом відповіді на білет та он-лайн опитування (сервіси відео-конференцій Google Meet, Google Classroom).

8. Схема нарахування балів

Бали за поточний контроль знань впродовж семестру (по темах)						Контрольна робота, передбачена навчальним планом	Разом	Залік	Сума
T1	T2	T3	T4	T5	T6				
8	8	8	8	8	8	1	60	40	100

T1, T2 ... – теми розділів.

За темою T1 студент отримує 8 балів за виконання практичної роботи 1.

За темою T2 студент отримує 8 балів за виконання практичної роботи 2.

За темою T3 студент отримує 8 балів за виконання практичної роботи 3.

За темою T4 студент отримує 8 балів за виконання практичної роботи 4.

За темою Т5 студент отримує 8 балів за виконання практичної роботи 5.

За темою Т6 студент отримує 8 балів за виконання практичної роботи 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 уміннями творчо-пошукової діяльності. 	8
<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 уміннями творчо-пошукової діяльності. 	6-7
<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. 	4-5
<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. 	3
Завдання відзначається фрагментарністю виконання за консультацією викладача або під його керівництвом.	1-2

Критерії оцінювання знань студентів за контрольну роботу

Вимоги	Кількість балів
Повнота виконання завдання повна, студент здатен формулювати закони та закономірності, структурувати судження, умовиводи, доводи, описи.	9-12
Повнота виконання завдання повна, студент здатен формулювати операції, правила, алгоритми, правила визначення понять.	5-8
Повнота виконання завдання елементарна, студент здатен вибрати відомі способи дій для виконання фахових завдань.	3-5
Повнота виконання завдання фрагментарна.	1-2

Критерії оцінювання залікових 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. Згуровський М.З., Панкратова Н.Д. Основи системного аналізу – К.: Видавнича група ВНУ, 2007. – 533 с.
2. Системний аналіз інформаційних процесів: Навч. посіб. / В. М. Варенко, І. В. Братусь, В. С. Дорошенко, Ю. Б. Смольников, В.О. Юрченко. – К.: Університет «Україна», 2013. – 203 с.
3. Charu S. A. Data Clustering/ Algorithms and Applications / С. А. Charu, К. R. Chandan. – CRC Press, 2014. – 648 с.
4. О.М. Пупена, Д.В. Мацебула. Промислові інформаційні мережі та інтеграційні технології. Конспект лекцій. – К. НУХТ. – 89 с.
5. Когутяк І.М. Сучасні комп'ютерні технології в автоматизації. Навчальний посібник. – Івано-Франківськ: Факел, 2009. – 279 с.
6. Глонь О.В., Дубовий В.М., Мітюшкін Ю.І. Комп'ютеризовані системи керування. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2005. – 157 с.
7. Інформаційна технологія діагностування складних технічних систем в умовах невизначеності вхідних даних [Текст]: монографія / В. Є. Стрілець, Е. М. Угрюмова та ін - Х.: Нац. аерокосм. ун-т ім. Н.Є. Жуковського «Харк. авіац. ін-т», 2015. –104 с. (ISBN 978-966-662-475-1)

Допоміжна.

1. Системи та методи прийняття рішень: навч. посібник з лаб. Практикуму /Є.М. Угрюмова, А.А. Трончук, В.Є. Афанасьєвська, М.Л.Угрюмов, С.Г.Волков - Х.: Нац. аерокосм. ун-т «Харків. авіац. ін-т», 2010. – 92 с.
2. Системи та методи прийняття рішень у задачах діагностування динамічних систем з урахуванням стохастичної природи вхідних даних [Текст]: навч. посібник з лаб. практикуму / У. А. Гаряча, Є. З. Меняйлов, М. Л. Угрюмов та інших. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т ім. Н. Є. Жуковського «Харк. авіац. ін-т», 2016. – 108 с.
3. 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)

4. MacKay David J.C. Information Theory, Inference and Learning Algorithms. – Cambridge University Press, 2003. – 628 p.
5. Rasmussen C. E., Williams C. K. I. Gaussian Processes for Machine Learning. –Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2006. – 248 p.
6. Bishop Christopher M. Pattern Recognition and Machine Learning. – New York: Springer, 2006. – 738 p.
7. Deep Learning Tutorial. – LISA lab, University of Montreal, 2015. – 167 p.
8. Hal Daume III. A course in machine learning. – Edited by John Mark Ockerbloom (onlinebooks@pobox.upenn.edu), 2015. – 193 p.
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.

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>