

Марія Талах

РЕКОМЕНДАЦІЙНІ СИСТЕМИ

Навчально-методичний посібник



ALGORITHMS THAT
KNOW YOU:

THE ART OF PERSONALIZED RECOMMENDATIONS

КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРНІВЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ЮРІЯ ФЕДЬКОВИЧА

М.В. Талах

РЕКОМЕНДАЦІЙНІ СИСТЕМИ

Навчально-методичний посібник

Механогрук
2025

УДК 004.8:004.6(075.8)=161.2

T-16

Рекомендовано до друку вченою радою навчально-наукового інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича (протокол № 17 від 18 грудня 2025 р.)

Рецензенти:

Рецензенти: Баловсяк С.В., доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж

Виклюк Я.І., доктор технічних наук, професор, професор кафедри систем штучного інтелекту Національного університету «Львівська політехніка»

Талах М.В.

T-16 Рекомендаційні системи / М.В. Талах – Чернівці: Технодрук, 2025. – 451 с.

Навчально-методичний посібник присвячений розробці та впровадженню рекомендаційних систем як інструментів підтримки прийняття рішень. Розглянуто основні теоретичні засади та практичні підходи, необхідні для створення інтелектуальних рекомендаційних платформ: колаборативну та контентно-орієнтовану фільтрацію, гібридні архітектури, системи оцінювання ефективності, методи збору та аналізу користувацьких даних, алгоритми ранжування та ін.

Посібник призначений для підготовки здобувачів другого (магістерського) освітнього рівня в галузі знань 12 "Інформаційні технології" спеціальності 122 "Комп'ютерні науки", освітньо-професійна програма "Інтелектуальний аналіз даних в комп'ютерних інформаційних системах" та всіх бажаючих поглибити знання з рекомендаційних систем.

УДК 004.8:004.6(075.8)=161.2

©Чернів. нац. ун-т, 2025

©ПВКФ «Технодрук», 2025

©Талах М.В., 2025

ЗМІСТ

<u>РОЗДІЛ 0: ТРАНСФОРМАЦІЙНА ПАРАДИГМА РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ У СОЦІОТЕХНІЧНИХ КОНТЕКСТАХ</u>	<u>21</u>
---	-----------

<u>РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ</u>	<u>29</u>
--	-----------

1.1. Концептуалізація та предметна область РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ	29
1.2 Архітектурно-структурні компоненти РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ	40
1.2.1 Інтерфейсна парадигма для оптимізації взаємодії з рекомендаційними системами	40
1.2.2 Алгоритмічні основи формування РЕКОМЕНДАЦІЙ	42
1.3 Машинне навчання в контексті ініціативи NETFLIX PRIZE	44
1.3.1 Емпіричний аналіз: неперсоналізовані та персоналізовані рекомендаційні стратегії в модулі INSTAGRAM EXPLORE	44
1.4 Емпіричне дослідження: вебплатформа MOVIEGEEKS	45
1.4.1 Специфікація та проєктна методологія	45
1.4.2 Архітектурно-системний дизайн	46
1.5 Методологічний апарат імплементації РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ	47
1.6 Таксономічна систематизація рекомендаційних СИСТЕМ	52
1.6.1 Фундаментальна класифікація РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ АРХІТЕКТУР	52
1.6.2 Модельно-орієнтовані рекомендаційні системи	53
1.6.3 Системи, засновані на пам'яті даних	55

1.6.4 ГІБРИДНІ АРХІТЕКТУРИ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ	56
1.6.5 АЛЬТЕРНАТИВНІ ТАКСОНОМІЧНІ МОДЕЛІ	57
1.6.6 РОЗШИРЕНА ТАКСОНОМІЯ БАЗОВИХ АРХІТЕКТУРНИХ ТИПІВ	59
1.6.7 СТРАТЕГІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИБОРУ МЕТОДОЛОГІЧНОГО ПІДХОДУ	60
1.7 ПРОБЛЕМАТИКА ІНІЦІАЛІЗАЦІЇ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ (ХОЛОДНИЙ СТАРТ)	61
1.7.1 КОНЦЕПТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ФЕНОМЕНУ ХОЛОДНОГО СТАРТУ	61
1.7.2 ТИПОЛОГІЯ ВИКЛИКІВ ІНІЦІАЛІЗАЦІЇ	62
1.7.2.1 Холодний старт для нових суб'єктів взаємодії	62
1.7.2.2 Холодний старт для нових об'єктів рекомендацій	62
1.7.2.3 Феномен аномальних суб'єктів ("сірі вівці")	62
1.7.3 ЗНАЧУЩІСТЬ ПРОБЛЕМАТИКИ ХОЛОДНОГО СТАРТУ	63
1.7.4 ВИКЛИКИ, АСОЦІЙОВАНІ З ПРОБЛЕМОЮ ІНІЦІАЛІЗАЦІЇ	63
1.7.4.1 Дефіцит первинних даних	63
1.7.4.2 Розрідженість інформаційних масивів	64
1.7.4.3 Дисбаланс даних	64
1.7.4.4 Проблеми масштабованості	64
1.7.5 СТРАТЕГІЇ НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ ВИКЛИКІВ ХОЛОДНОГО СТАРТУ	64
1.7.5.1 Рекомендації на основі метрик популярності	65
1.7.5.2 Контентно-орієнтовані рекомендаційні стратегії	65
1.7.5.3 Гібридні методологічні підходи	65
1.7.5.4 Використання асоціативних правил	65
1.7.5.5 Технології активного навчання	66
1.7.5.6 Інтеграція контекстуальних даних	66
1.7.6 ЕМПІРИЧНІ КЕЙСИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ ІНІЦІАЛІЗАЦІЇ	66
1.7.6.1 Платформи електронної комерції	66
1.7.6.2 Стрімінгові інформаційні екосистеми	67
1.7.6.3 Соціотехнічні платформи	67
1.8 РЕКОМЕНДАЦІЙНІ СИСТЕМИ В ЛОКАЛІЗОВАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ЕКОСИСТЕМАХ	68
1.8.1 Застосування рекомендаційних систем у локальному контексті України	68

1.8.2 Виклики інтеграції рекомендаційних систем у локалізовані екосистеми	69
1.8.3 Стратегії адаптації до локальних інформаційних умов	70
1.8.4 Синтетичні висновки	70
1.9 СИНТЕЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ПРОГНОСТИЧНІ ПЕРСПЕКТИВИ	71
1.10 Висновки	72

РОЗДІЛ 2: ЦИФРОВИЙ ПРОФІЛЬ КОРИСТУВАЧА: ДЖЕРЕЛА ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО АКУМУЛЯЦІЇ ДАНИХ ДЛЯ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ

74

2.1 Акумуляція поведінкових даних: ЕМПІРИЧНИЙ АНАЛІЗ НА ПРИКЛАДІ NETFLIX	74
2.1.1 ТИПОЛОГІЯ ПОВЕДІНКОВИХ ДАНИХ У СИСТЕМІ NETFLIX	74
2.1.1.1 Види поведінкових даних, що збираються Netflix	75
2.1.2 СЕМАНТИЧНА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ ПОДІЙ ВЗАЄМОДІЇ	76
2.1.3 УНІВЕРСАЛІЗАЦІЯ МЕТОДІВ АКУМУЛЯЦІЇ ПОВЕДІНКОВИХ ДАНИХ	76
2.1.4 СЕМАНТИЧНА ОБРОБКА ТА ВИКОРИСТАННЯ ПОВЕДІНКОВИХ ДАНИХ	77
2.1.5 КЕЙС ТІКТОК: РЕАЛЬНИЙ ЧАС ЯК ОСНОВА АКУМУЛЯЦІЇ ДАНИХ ДЛЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ КОРОТКОФОРМАТНОГО КОНТЕНТУ	78
2.2 ДЕТЕКЦІЯ ТА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ ПАТЕРНІВ ПОВЕДІНКИ СУБ'ЄКТІВ	79
2.2.1 ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ ВЗАЄМОДІЇ СУБ'ЄКТА З ІНФОРМАЦІЙНИМ ПРОДУКТОМ	79
2.2.2 АНАЛІЗ ПОВЕДІНКОВИХ ПАТЕРНІВ НА ЕТАПІ КОНТЕНТНОЇ НАВІГАЦІЇ	80
2.2.3 СЕМАНТИЧНА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ ТРАНЗАКЦІЙНИХ АКТІВ	82
2.2.4 АНАЛІЗ СПОЖИВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПРОДУКТІВ	82
2.2.5 МЕТРИКИ ОЦІНОК ТА ЯВНИЙ ЗВОРОТНИЙ ЗВ'ЯЗОК	83
2.3 ІДЕНТИФІКАЦІЯ СУБ'ЄКТІВ ВЗАЄМОДІЇ	84

2.4 АСИМІЛЯЦІЯ ДАНИХ ІЗ ЗОВНІШНІХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ	84
2.5 ТЕХНІЧНІ МЕТОДИ АКУМУЛЯЦІЇ ДАНИХ	85
2.5.1 ІНСТРУМЕНТАРІЙ ВЕБ-АНАЛІТИКИ	85
2.5.2 СЕРВЕРНО-ОРІЄНТОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ МОНІТОРИНГУ	86
2.5.3 МЕХАНІЗМИ МОБІЛЬНОГО ТРЕКІНГУ	86
2.6 СТРУКТУРИ ДАНИХ ДЛЯ АКУМУЛЯЦІЇ ПОВЕДІНКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ	87
2.6.1 ФОРМАТИ ДАНИХ ДЛЯ ПОДІЙ ВЗАЄМОДІЇ	87
2.6.2 СХЕМАТИЧНА ОРГАНІЗАЦІЯ БАЗИ ДАНИХ ДЛЯ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ	88
2.6.3 ЧАСОВІ РЯДИ В АНАЛІЗІ ПОВЕДІНКОВИХ ПАТЕРНІВ	88
2.7 ВПЛИВ ІНТЕРФЕЙСНОГО ДИЗАЙНУ НА АКУМУЛЯЦІЮ ПОВЕДІНКОВИХ ДАНИХ	89
2.7.1 ОПТИМІЗАЦІЯ ІНТЕРФЕЙСІВ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ЗБОРУ ДАНИХ	89
2.7.2 НЕЙТРАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМАТИЧНИХ УПЕРЕДЖЕНЬ ЧЕРЕЗ UX-ДИЗАЙН	90
2.7.3 А/В-ТЕСТУВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ОПТИМІЗАЦІЇ АКУМУЛЯЦІЇ ДАНИХ	90

РОЗДІЛ 3. НЕПЕРСОНАЛІЗОВАНІ РЕКОМЕНДАЦІЙНІ АРХІТЕКТУРИ

3.1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ НЕПЕРСОНАЛІЗОВАНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ	91
3.1.1 КЕЙС YouTube Shorts: ТРЕНДОВІСТЬ ЯК ФУНДАМЕНТ РЕКОМЕНДАЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ	91
3.2 РЕКОМЕНДАЦІЙНІ СТРАТЕГІЇ В УМОВАХ ДЕФІЦИТУ ДАНИХ	92
3.2.1 МЕТОДОЛОГІЇ РАНЖУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО КОНТЕНТУ	93
3.3 ТОП-N СПИСКИ ЯК ЕФЕКТИВНИЙ ІНСТРУМЕНТ РЕКОМЕНДАЦІЙ	93
3.4 ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ МЕТРИК ПОПУЛЯРНОСТІ	95
3.4.1 ТИПОЛОГІЯ ГРАФІКІВ ПОПУЛЯРНОСТІ	95

3.4.2 ПРОЄКТУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ	96
3.4.3 АРХІТЕКТУРНА ОРГАНІЗАЦІЯ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ	96
3.4.4 КЛАСИФІКАЦІЯ АЛГОРИТМІВ РЕКОМЕНДАЦІЙ	97
3.4.5 ПРАКТИЧНА ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ	98
3.4.6 ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТРИК ПОПУЛЯРНОСТІ	99
3.5 ОПТИМІЗАЦІЯ ПРИВАБЛИВОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОГО КОНТЕНТУ	101
3.6 АСОЦІАТИВНІ ПРАВИЛА ДЛЯ НЕПЕРСОНАЛІЗОВАНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ	103
3.7 ОПТИМІЗАЦІЯ ВПОРЯДКУВАННЯ ТА ПРЕДСТАВЛЕННЯ КОНТЕНТУ	103
3.7.1 АЛГОРИТМІЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ ПОСЛІДОВНОСТІ ВІДОБРАЖЕННЯ ФІЛЬМІВ	103
3.7.2 КОНТЕКСТНО-ЗАЛЕЖНЕ РАНЖУВАННЯ КОНТЕНТУ	104
3.8 РЕКОМЕНДАЦІЇ НА ОСНОВІ АСОЦІАТИВНИХ ПРАВИЛ	105
3.8.1 КОНЦЕПЦІЯ "ТОВАРІВ-НАСІННЯ"	105
3.8.2 РЕКОМЕНДАЦІЇ "ЧАСТО ВЗАЄМОДІЮТЬ РАЗОМ" (FVT)	105
3.8.3 ОБМЕЖЕННЯ ПРОСТИХ FVT-РЕКОМЕНДАЦІЙ	106
3.8.4 АДАПТАЦІЯ FVT ДО РІЗНИХ БІЗНЕС-МОДЕЛЕЙ	106
3.9 АСОЦІАТИВНІ ПРАВИЛА В РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ АРХІТЕКТУРАХ	107
3.9.1 ТЕОРЕТИЧНА КОНЦЕПЦІЯ АСОЦІАТИВНИХ ПРАВИЛ	107
3.9.2 МАТЕМАТИЧНА ФОРМАЛІЗАЦІЯ АСОЦІАТИВНИХ ПРАВИЛ	107
3.9.3 СТРУКТУРНА ОРГАНІЗАЦІЯ НАБОРІВ ЕЛЕМЕНТІВ	108
3.9.4 АЛГОРИТМ ГЕНЕРАЦІЇ АСОЦІАТИВНИХ ПРАВИЛ	109
3.9.5 ПРАКТИЧНА ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ ДЛЯ ПЛАТФОРМИ MOVIEGEEKS	109
3.9.6 ЗБЕРІГАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ АСОЦІАТИВНИХ ПРАВИЛ	112
3.9.7 ІНТЕГРАЦІЯ АСОЦІАТИВНИХ ПРАВИЛ У ВЕБІНТЕРФЕЙСИ	113
3.9.8 ОПТИМІЗАЦІЯ АСОЦІАТИВНИХ ПРАВИЛ	114

РОЗДІЛ 4. КІЛЬКІСНА ФОРМАЛІЗАЦІЯ ВПОДОБАНЬ: ВІД РЕЙТИНГОВИХ МЕТРИК ДО МЕТОДІВ ОБЧИСЛЕННЯ СХОЖОСТІ

117

4.1 ЗНАЧЕННЯ РЕЙТИНГОВИХ МЕТРИК У РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ	117
4.1.1 МАТРИЧНО-СТРУКТУРНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ВЗАЄМОДІЙ КОРИСТУВАЧ-ЕЛЕМЕНТ	118
4.1.1.1 Експліцитні рейтингові метрики	118
4.1.1.2 Імпліцитні рейтингові метрики	119
4.1.1.3 Диференціація експліцитних та імпліцитних рейтингів	119
4.1.2. АЛГОРИТМІЧНЕ ОБЧИСЛЕННЯ ІМПЛІЦИТНИХ РЕЙТИНГІВ	120
4.1.2.1 Довіра до джерел рейтингових даних	120
4.1.2.2 Бінарна матриця взаємодій користувач-елемент	121
4.1.2.3. Часова динаміка та алгоритми згасання	121
4.1.2.4 Поведінковий підхід до формування рейтингів	122
4.1.2.5. Врахування частотної взаємодії з елементами	122
4.1.3 ПРАКТИЧНА ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ ОБЧИСЛЕННЯ ІМПЛІЦИТНИХ РЕЙТИНГІВ	123
4.1.4 ЕВОЛЮЦІЯ МОДЕЛЕЙ РЕЙТИНГІВ У КОНТЕКСТІ МАШИННОГО НАВЧАННЯ	125
4.1.5 КЕЙС DUOLINGO: ІМПЛІЦИТНІ РЕЙТИНГИ ДЛЯ ПЕРСОНАЛІЗАЦІЇ ОСВІТНІХ ТРАЄКТОРІЙ	125
4.2 МЕТОДИ ОБЧИСЛЕННЯ СХОЖОСТІ В РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ	126
4.2.1. ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ФУНКЦІЇ СХОЖОСТІ	127
4.2.2 КОСИНУСНА МЕТРИКА СХОЖОСТІ	128
4.2.3 КОРЕЛЯЦІЙНА МЕТРИКА ПІРСОНА	129
4.2.4 КЛАСТЕРИЗАЦІЯ МЕТОДОМ К-СЕРЕДНІХ	129
4.2.5 СУЧАСНІ МЕТОДОЛОГІЇ ОБЧИСЛЕННЯ СХОЖОСТІ	130
4.2.6 ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ОБЧИСЛЕННЯ СХОЖОСТІ	131

4.2.7 КОНТРАСТИВНЕ НАВЧАННЯ В КОНТЕКСТІ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ АРХІТЕКТУР	133
4.3 Висновки	136

РОЗДІЛ 5 КОЛАБОРАТИВНА ФІЛЬТРАЦІЯ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ СУСІДСТВА

138

5.1 Колаборативна фільтрація: ІСТОРИКО-МЕТОДОЛОГІЧНИЙ ОГЛЯД	138
5.1.1 ГЕНЕЗИС КОЛАБОРАТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ	138
5.1.2 КОЛЕКТИВНА ВЗАЄМОДІЯ ЯК ОСНОВА РЕКОМЕНДАЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ	139
5.1.3 МАТРИЧНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ РЕЙТИНГІВ	140
5.2 АЛГОРИТМІЧНЕ ОБЧИСЛЕННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ	142
5.2.1 Колаборативна фільтрація: суб'єктно- чи об'єктно-орієнтований підхід?	142
5.2.2 Вимоги до інформаційних масивів	143
5.3 АЛГОРИТМИ ОБЧИСЛЕННЯ СХОЖОСТІ	144
5.4 АЛГОРИТМ AMAZON ДЛЯ ПОПЕРЕДНЬОГО ОБЧИСЛЕННЯ СХОЖОСТІ ОБ'ЄКТІВ	144
5.5 МЕТОДОЛОГІЇ ВИЗНАЧЕННЯ СУСІДСТВА	149
5.5.1 КЛАСТЕРИЗАЦІЙНІ ПІДХОДИ	150
5.5.2 МЕТОДОЛОГІЯ TOP-N	150
5.5.3 ПОРОГОВИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ СУСІДСТВА	151
5.6 ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ВИЗНАЧЕННЯ СУСІДСТВА	152
5.7 МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ПРОГНОЗУВАННЯ РЕЙТИНГІВ	154
5.7.1 РЕГРЕСІЙНА ПАРАДИГМА ПРОГНОЗУВАННЯ	154
5.7.2 КЛАСИФІКАЦІЙНА ПАРАДИГМА ПРОГНОЗУВАННЯ	155
5.8 ПРОГНОЗУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ФІЛЬТРАЦІЇ НА ОСНОВІ ОБ'ЄКТІВ	156
5.8.1 ОБЧИСЛЕННЯ ПРОГНОЗІВ ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ	156
5.9 ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ КОЛАБОРАТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ В РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ	157
5.9.1 ФІЛЬТРАЦІЯ НА ОСНОВІ ОБ'ЄКТІВ	157
5.9.1.1 Офлайн-обчислення схожості об'єктів	157

5.9.1.2 Фільтрація недостатньо обґрунтованих схожостей	159
5.9.1.3 Онлайн-прогнозування	160
5.10 КОМПАРАТИВНИЙ АНАЛІЗ РЕКОМЕНДАЦІЙ НА ОСНОВІ АСОЦІАТИВНИХ ПРАВИЛ ТА КОЛАБОРАТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ	162
5.11 ІНСТРУМЕНТАРІЙ НАЛАШТУВАННЯ КОЛАБОРАТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ	162
5.12 ПЕРЕВАГИ ТА ОБМЕЖЕННЯ КОЛАБОРАТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ	164
5.13 Висновки	165

РОЗДІЛ 6. КОЛАБОРАТИВНА ФІЛЬТРАЦІЯ НА ОСНОВІ МАТРИЧНОЇ ФАКТОРИЗАЦІЇ

6.1 Вступ до методів матричної факторизації	167
6.2 Базові принципи матричної декомпозиції	168
6.3 Модель базової матричної факторизації	168
6.4 МАТРИЧНА ФАКТОРИЗАЦІЯ З УРАХУВАННЯМ ЗМІЩЕНЬ	171
6.5 МАТРИЧНА ФАКТОРИЗАЦІЯ З ДОДАТКОВИМИ ОЗНАКАМИ	173
6.6 МАТРИЧНА ФАКТОРИЗАЦІЯ З ЧАСОВОЮ ДИНАМІКОЮ	174
6.7 ФАКТОРИЗАЦІЙНІ МАШИНИ В РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ	175
6.8 МАТРИЧНА ФАКТОРИЗАЦІЯ З ІНТЕГРАЦІЄЮ СМАКОВИХ ПРОФІЛІВ	175
6.9 ВАРІАЦІЙНА МАТРИЧНА ФАКТОРИЗАЦІЯ	176
6.10 КОМПАРАТИВНИЙ АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ТА ЇХ ЕФЕКТИВНОСТІ	178
6.11 РОЗШИРЕНІ ПІДХОДИ ДО МАТРИЧНОЇ ФАКТОРИЗАЦІЇ	179
6.11.1 Нейронна колаборативна фільтрація (NCF)	179
6.11.2 ОБРОБКА ВІДСУТНІХ ДАНИХ	180
6.11.3 НАПІВКЕРОВАНЕ НАВЧАННЯ В РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ	181
6.12 Висновки	181

РОЗДІЛ 7 СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ В КОЛАБОРАТИВНІЙ ФІЛЬТРАЦІЇ 183

7.1 Колаборативна фільтрація з використанням великих мовних моделей (LLM)	183
7.2 Текстово-орієнтоване профілювання користувачів	183
7.3 Генерація персоналізованих пояснень рекомендацій	184
7.4 Інтеграція з традиційними методами колаборативної фільтрації	185
7.5 Практичні методології імплементації	186
7.5.1 Двоетапна методологія	187
7.5.2 Наскрізна методологія (END-TO-END)	188
7.6 Виклики використання великих мовних моделей у рекомендаціях	189
7.7 Успішні імплементації LLM у рекомендаційних системах	191
7.8 Перспективи еволюції рекомендаційних систем	192
7.9 Федеративне навчання для захисту даних	193
7.9.1 Принципи роботи федеративного навчання в рекомендаційних системах	194
7.9.2. Архітектури федеративної колаборативної фільтрації	194
7.9.3. Методи агрегації в федеративному навчанні	195
7.9.4. Виклики та їх вирішення	196
7.9.5. Практичні аспекти імплементації	197
7.9.6 Емпіричні приклади успішного застосування	199
7.9.7. Майбутнє федеративного навчання в рекомендаційних системах	199
7.10 Мультимодальна колаборативна фільтрація	200
7.10.1 Візуальні рекомендації: архітектури та методи	201
7.10.1.1 Аудіо-візуальні моделі для мультимедійних рекомендацій	203

7.10.1.2 Відео-орієнтовані рекомендації	203
7.10.2 ІНТЕГРАЦІЯ З ГРАФОВИМИ НЕЙРОННИМИ МЕРЕЖАМИ	204
7.10.2.1 Мультимодальні графи для рекомендацій	204
7.10.2.2 Механізми агрегації мультимодальної інформації	207
7.10.3 ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЇ КОЛАБОРАТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ	208
7.10.4 УСПІШНІ РЕАЛІЗАЦІЇ СУЧАСНИХ АЛГОРИТМІВ	208
7.10.5 Кейс SPOTIFY: МУЛЬТИМОДАЛЬНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ	209
7.10.6 ПОТЕНЦІЙНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ	210
7.10.7 РЕКОМЕНДАЦІЇ НА ОСНОВІ ПОДІЙ У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ	211
7.10.8 ПРИНЦИПИ ФУНКЦІОНУВАННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ	211
7.10.9 АРХІТЕКТУРА СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ	212
7.10.10 ІНКРЕМЕНТАЛЬНІ АЛГОРИТМИ	213
7.10.11 ТЕХНОЛОГІЇ СТРІМІНГОВОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ	215
7.10.12 ВИКЛИКИ ТА РІШЕННЯ В РЕАЛЬНОГО ЧАСУ	218
7.10.13 ЕМПІРИЧНІ ПРИКЛАДИ УСПІШНИХ РЕАЛІЗАЦІЙ	219
7.10.14 ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ	219
7.11 ГЛИБОКІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ В КОЛАБОРАТИВНІЙ ФІЛЬТРАЦІЇ	220
7.11.1 АРХІТЕКТУРА НЕЙРОННОЇ КОЛАБОРАТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ (NCF)	221
7.11.2 ГЛИБОКА МАТРИЧНА ФАКТОРИЗАЦІЯ (DMF)	223
7.11.3 РОЗШИРЕНІ НЕЙРОМЕРЕЖЕВІ ПІДХОДИ	224
7.11.4 ТЕХНІЧНІ ВИКЛИКИ ТА ЇХ ВИРІШЕННЯ	225
7.11.5 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ МОДЕЛЕЙ	226
7.12. ГРАФОВІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ (GNN)	227
7.12.1 ФУНДАМЕНТАЛЬНІ КОНЦЕПЦІЇ ГРАФОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ	227
7.12.2 PINSAFE: ГРАФОВІ ЗГОРТКИ ДЛЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ	229
7.12.3 NGCF: НЕЙРОННА ГРАФОВА КОЛАБОРАТИВНА ФІЛЬТРАЦІЯ	231

7.12.4 LIGHTGCN: СПРОЩЕННЯ ГРАФОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ	234
7.12.5 ГІПЕРГРАФОВІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ ДЛЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ	234
7.12.6 ТЕХНІЧНІ ВИКЛИКИ ТА РІШЕННЯ	234
7.12.7 ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ	235
7.12.8 НОВІТНІ ТЕНДЕНЦІЇ У ГРАФОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖАХ	236
7.13 КОНТЕКСТУАЛЬНО-ОРІЄНТОВАНА КОЛАБОРАТИВНА ФІЛЬТРАЦІЯ	236
7.13.1 ЧАСОВА ДИНАМІКА В РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ	236
7.13.2 ГЕОГРАФІЧНИЙ КОНТЕКСТ У РЕКОМЕНДАЦІЯХ	241
7.13.3 СОЦІАЛЬНІ ЗВ'ЯЗКИ В РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ	244
7.13.4 ІНТЕГРАЦІЯ РІЗНИХ КОНТЕКСТУАЛЬНИХ СИГНАЛІВ	251
7.14 КОЛАБОРАТИВНА ФІЛЬТРАЦІЯ З САМОНАВЧАННЯМ	253
7.14.1 ОСНОВИ САМОНАВЧАННЯ В РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ	254
7.14.2 САМОНАВЧАННЯ НА ГРАФАХ (SGL)	254
7.14.3 SSLREC: САМОНАВЧАННЯ ДЛЯ ПОДОЛАННЯ РОЗРІДЖЕНОСТІ ДАНИХ	259
7.14.4 РОЗШИРЕНІ МЕТОДИ САМОНАВЧАННЯ В SSLREC:	262
7.14.4.1. Маскування послідовностей:	262
7.14.4.2 Доповнення сесій користувачів:	263
7.14.4.3 Контрастивне навчання для сесій:	264
7.14.5 МУЛЬТИ-ЗАДАЧНІ ПІДХОДИ ДО САМОНАВЧАННЯ	265
7.14.6 ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ САМОНАВЧАННЯ	266
7.15 ВИСНОВКИ	271

РОЗДІЛ 8. КОНТЕНТНО-ОРІЄНТОВАНА ФІЛЬТРАЦІЯ	272
---	------------

8.1 СУТНІСТЬ КОНТЕНТ-ОРІЄНТОВАНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ	272
8.2. Ключові принципи функціонування контентно-орієнтованої фільтрації	273
8.3 АНАЛІЗ КОНТЕНТУ: ВІД ДАНИХ ДО МОДЕЛЮВАННЯ	275
8.4 ПРОФІЛЮВАННЯ КОРИСТУВАЧІВ: ВІД ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ ДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ	282
8.5 ПРАКТИЧНА ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ КОНТЕНТНО-ОРИЄНТОВАНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ	285
8.6 ЕМПІРИЧНИЙ КЕЙС: КОНТЕНТНО-ОРИЄНТОВАНА ФІЛЬТРАЦІЯ НОВИН	288
8.7 ПЕРЕВАГИ ТА ОБМЕЖЕННЯ КОНТЕНТНО-ОРИЄНТОВАНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ	289
8.8 СУЧАСНІ МЕТОДОЛОГІЇ В КОНТЕНТНО-ОРИЄНТОВАНИЙ ФІЛЬТРАЦІЇ	290
8.8.1 Глибоке навчання в аналізі контенту	291
8.8.2 Мультимодальні рекомендаційні системи	292
8.8.3 Контекстно-залежні рекомендації	292
8.9 Пояснюваність рекомендаційних систем	292
8.10. РЕАЛЬНІ ВИКЛИКИ КОНТЕНТНО-ОРИЄНТОВАНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ	294
8.11 Висновки та прогностичні перспективи	295

РОЗДІЛ 9. ОЦІНЮВАННЯ ТА ТЕСТУВАННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ

9.1 МЕТОДОЛОГІЧНА ПОСЛІДОВНІСТЬ ОЦІНЮВАННЯ	296
9.2 ІНТЕРПРЕТАЦІЯ ПОВЕДІНКИ СУБ'ЄКТІВ ВЗАЄМОДІЇ	299
9.3 КОМПЛЕКСНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ: АНАЛІЗ ЦІЛЬОВИХ МЕТРИК	300
9.3.1 БАГАТОВИМІРНА МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ КОРИСТУВАЦЬКОЇ ЗАДОВОЛЕНOSTІ	301
9.3.2 РІЗНОМАНІТНІСТЬ РЕКОМЕНДАЦІЙ	304
9.3.3 ПОКРИТТЯ РЕКОМЕНДАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ	305
9.3.4 СЕРЕНДИПНІСТЬ РЕКОМЕНДАЦІЙ	310
9.4 ПІДГОТОВКА ДО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ	311

9.4.1 ВАЛІДНІСТЬ АЛГОРИТМІВ	311
9.4.2 АНАЛІТИЧНА ОБРОБКА ДАНИХ	312
9.4.3 АРХІТЕКТУРНИЙ АНАЛІЗ ТА АГРЕГАЦІЯ ДАНИХ	312
9.4.4 АЛГОРИТМІЧНИЙ АНАЛІЗ	312
9.4.5 РЕГРЕСІЙНЕ ТЕСТУВАННЯ	313
9.5 МЕТОДОЛОГІЯ ОФЛАЙН-ОЦІНЮВАННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ	314
9.5.1 ТАКСОНОМІЯ ПІДХОДІВ ДО ТЕСТУВАННЯ АЛГОРИТМІВ	314
9.5. КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПЕРЕДУМОВИ ОФЛАЙН-ОЦІНЮВАННЯ	314
9.5.3 ТИПОЛОГІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ПІДХОДІВ	315
9.5.4 МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ОФЛАЙН-ОЦІНЮВАННЯ	316
9.5.5 КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОБМЕЖЕННЯ ОФЛАЙН- ЕКСПЕРИМЕНТІВ	317
9.5.6 МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ	317
9.5.7 ІНТЕГРАЦІЯ ОФЛАЙН-ОЦІНЮВАННЯ В КОМПЛЕКСНУ МЕТОДОЛОГІЮ	318
9.6. МЕТРИКИ ОЦІНЮВАННЯ ПОМИЛОК У РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ	318
9.6.1 ТИПОЛОГІЯ МЕТРИК ПОМИЛОК	319
9.6.2 ОСОБЛИВОСТІ ВИБОРУ МЕТРИК	319
9.6.3 ВРАХУВАННЯ ГЕТЕРОГЕННОСТІ КОРИСТУВАЧІВ	320
9.6.4 ДОДАТКОВІ МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ	320
9.6.5 ПРИНЦИПИ ОЦІНЮВАННЯ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ	321
9.6.7 ТОЧНІСТЬ ПРИ К (PRECISION@K)	323
9.6.8 МЕТРИКИ РАНЖУВАННЯ	324
9.6.9 РОЗШИРЕНІ МЕТРИКИ ОЦІНЮВАННЯ: ВІД DCG ДО NDCG	325
9.6.9.1 Дисконтований накопичений приріст (DCG)	325
9.6.9.2 Нормалізований дисконтований накопичений приріст (NDCG)	325
9.6.10 МЕТОДОЛОГІЯ ПІДГОТОВКИ ДАНИХ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОЦІНЮВАННЯ	326
9.6.11 МЕТОДОЛОГІЯ СЕЛЕКЦІЇ ТА СЕГМЕНТАЦІЇ ДАНИХ	327

9.6.12 МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОЗПОДІЛУ ДАНИХ	330
9.6.13 ПОГЛИБЛЕНА МЕТОДОЛОГІЯ РОЗПОДІЛУ ДАНИХ ТА КРОС-ВАЛІДАЦІЇ	334
9.7 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА РЕАЛІЗАЦІЯ НА ПЛАТФОРМІ MOVIEGEEKS	335
9.7.1 СПИСОК ЗАВДАНЬ ЕКСПЕРИМЕНТУ	335
9.7.2 МЕТОДОЛОГІЧНА ЗНАЧУЩІСТЬ ОЧИЩЕННЯ ДАНИХ	337
9.7.3 МЕТОДОЛОГІЯ РОЗПОДІЛУ КОРИСТУВАЧІВ НА ФОЛДИ В КОНТЕКСТІ КРОС-ВАЛІДАЦІЇ	338
9.8 АНАЛІЗ ОБМЕЖЕНЬ МЕТОДОЛОГІЙ ОЦІНЮВАННЯ	343
9.8.1 БАЗОВИЙ ПРЕДИКТОР ЯК ВІДПРАВНА ТОЧКА	344
9.8.2 ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ	350
9.9 ОНЛАЙН-ОЦІНЮВАННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ	353
9.9.1 КОНТРОЛЬОВАНІ ЕКСПЕРИМЕНТИ ЯК ІНСТРУМЕНТ ОЦІНЮВАННЯ	353
9.9.1.1 Оцінювання через залучення обмеженої групи користувачів	354
9.9.1.2 A/B-тестування як методологія об'єктивного оцінювання	354
9.9.2 КЕЙС SNAPCHAT: A/B-ТЕСТУВАННЯ ДЛЯ SPOTLIGHT	356
9.10 БЕЗПЕРЕРВНЕ ТЕСТУВАННЯ З ПІДХОДОМ EXPLOIT/EXPLORE	356
9.11. ЦИКЛИ ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ В РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ: АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ	358
9.12 Висновки	361

РОЗДІЛ 10. РАНЖУВАННЯ ТА НАВЧАННЯ

РАНЖУВАННЮ У РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

10.1 ВСТУП ДО РАНЖУВАННЯ В РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ	363
10.2 ОСНОВНІ МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО РАНЖУВАННЯ	363
10.2.1 ПОТОЧКОВИЙ ПІДХІД ДО РАНЖУВАННЯ	364

10.2.2 Попарний підхід до ранжування	365
10.2.3 Списковий підхід до ранжування	366
10.3 Навчання ранжуванню: кейс Google Maps	366
10.3.1 Аналіз даних рекомендаційного ранжування	367
10.3.2 Функціональна інженерія для ранжування	368
10.4 Класифікація алгоритмів ранжування	369
10.5 Ранжування з реітерацією в рекомендаційних системах	372
10.6 Байєсівське персоналізоване ранжування (BPR)	373
10.7 Практична реалізація BPR	375
10.7.1 Основний процес навчання моделі	375
10.7.2 Селекція даних для навчання	376
10.7.3 Крок оптимізації	377
10.7.4 Функція втрат	379
10.7.5 Генерація рекомендацій	379
10.7.6 Ініціація процесу навчання	381
10.7.7 Оптимізація реалізації	381
10.8 Сучасні підходи до навчання ранжуванню	381
10.8.1 Глибинне навчання для ранжування	382
10.8.2 Навчання з підкріпленням для ранжування	383
10.8.3 Графові методи ранжування	383
10.8.4 Контекстно-орієнтовані методи ранжування	384
10.9 Обґрунтування вибору підходу до ранжування	385
10.10 Метрики оцінки ранжування	387
10.11 Практичні рекомендації з налаштування алгоритмів ранжування	390
10.12 Висновки	392

<u>РОЗДІЛ 11 ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ ГІБРИДНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ</u>	395
--	------------

11.1 ТАКСОНОМІЯ ГІБРИДНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ АРХІТЕКТУР	395
11.2 МОНОЛІТНІ ГІБРИДНІ СИСТЕМИ	396
11.2.1 ІНТЕГРАЦІЯ КОНТЕНТНИХ ОЗНАК ІЗ ПОВЕДІНКОВИМИ ДАНИМИ ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ КОЛАБОРАТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ	397
11.3 ЗМІШАНІ ГІБРИДНІ РЕКОМЕНДАЦІЙНІ СИСТЕМИ	398
11.4 АНСАМБЛЕВІ РЕКОМЕНДАЦІЙНІ СИСТЕМИ	399
11.4.1 АНСАМБЛЕВІ СИСТЕМИ З ПЕРЕМІКАННЯМ	401
11.4.2 ЗВАЖЕНІ АНСАМБЛЕВІ СИСТЕМИ	402
11.4.3 ЛІНІЙНА РЕГРЕСІЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВАГ	404
11.5 ЗВАЖЕНИЙ ЛІНІЙНИЙ СТЕКІНГ ОЗНАК (FWLS)	405
11.5.1 МЕТА-ОЗНАКИ: ВАГИ ЯК ФУНКЦІЇ	405
11.5.2 АЛГОРИТМ FWLS	408
11.5.3 НАВЧАННЯ МОДЕЛІ FWLS	411
11.5.3.1 Проблеми навчання моделі	412
11.5.3.2 Процес навчання моделі FWLS	412
11.5.3.3 Розділення даних	413
11.5.3.4 Навчання базових рекомендаційних систем	414
11.5.3.5 Генерування прогнозів для навчальних даних	414
11.5.3.6 Обчислення функцій зважування ознак для навчальних даних	415
11.5.3.7 Визначення невідомих значень ваг	416
11.5.3.8 Тестування гібридної системи	416
11.6 КЕЙС AMAZON: СИНТЕЗ КОНТЕНТНИХ, КОЛАБОРАТИВНИХ І КОНТЕКСТНИХ ПІДХОДІВ	416
11.7 РЕАЛІЗАЦІЯ FWLS	417
11.7.1 ЗАВАНТАЖЕННЯ ДАНИХ	417
11.7.2 СЕГМЕНТАЦІЯ ДАНИХ	418
11.7.3 ОБЧИСЛЕННЯ ФУНКЦІЙ ЗВАЖУВАННЯ ОЗНАК ДЛЯ НАВЧАЛЬНИХ ДАНИХ	421
11.7.4 . ОБЧИСЛЕННЯ ДОБУТКІВ ДЛЯ НАВЧАЛЬНИХ ДАНИХ	421
11.7.5 ЗАСТОСУВАННЯ ЛІНІЙНОЇ РЕГРЕСІЇ	422
11.8 ГІБРИДНІ ГЛИБОКІ МОДЕЛІ	427
11.8.1 АРХІТЕКТУРА WIDE & DEEP	428
11.8.1.1 Основні компоненти Wide & Deep	428

11.8.1.2 Повна реалізація Wide & Deep	428
12.8.1.3 Підготовка даних для Wide & Deep	430
11.8.1.4 Переваги та практичне застосування Wide & Deep	431
11.8.2 АРХІТЕКТУРА DEEPFM	432
11.8.2.1 Компоненти DeepFM	432
11.8.2.2 Повна реалізація DeepFM	432
11.8.2.3 Удосконалення DeepFM: xDeepFM	435
11.8.3 ПОРІВНЯННЯ WIDE & DEEP ТА DEEPFM	436
11.8.4 ІНШІ ГІБРИДНІ АРХІТЕКТУРИ	437
11.8.4.1 Deep & Cross Network (DCN)	437
11.8.4.2 AutoInt (Automatic Feature Interaction)	438
11.8.5 ТЕНДЕНЦІЇ ТА МАЙБУТНІ НАПРЯМИ ГІБРИДНИХ МОДЕЛЕЙ	440
11.8.5.1. Комбінування з трансформерами та послідовними моделями	440
11.8.5.2 Гібридизація з моделями на основі знань	441
11.8.5.3. Мультизадачні гібридні моделі	442
11.8.6 ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ГІБРИДНИХ МОДЕЛЕЙ	444
11.8.6.1 Вибір архітектури	444
11.8.6.2 Налаштування гіперпараметрів	444
11.8.6.3 Моніторинг та обслуговування	444
11.8.7 ВИСНОВКИ	445
ВИСНОВКИ	446
ЛІТЕРАТУРА	449