

## РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу  
Купріна Олексія Миколайовича

на тему «Інформаційна технологія рекомендаційної підтримки  
прийняття рішень»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії  
в галузі знань Інформаційні технології  
за спеціальністю 122 – комп'ютерні науки

### **Актуальність теми дисертації.**

Актуальність теми дослідження полягає у необхідності вдосконалення моделей, методів та алгоритмів машинного навчання, які утримують в собі механізми надання рекомендацій користувачу, базуючись на аналізі попередньої поведінки в мережі Інтернет. Це обумовлено тим, що алгоритми машинного навчання стають невід'ємним напрямом сучасного розвитку інформаційних технологій. Вони поєднують в собі дані, обмеження та моделі, що у підсумку дозволяють створити інформаційну технологію, яка дозволяє виконувати операції безпосередньо машині самостійно генерувати та виконувати складні алгоритми без втручання людини. Рекомендаційні системи є класом алгоритмів машинного навчання, які надають користувачеві релевантні рекомендації на основі взаємодії користувача з аналогічними елементами або на основі вмісту елемента. Вони є новою ланкою сучасних систем підтримки прийняття рішень. У цьому випадку зазначені системи набувають можливості оперування дійсно великими обсягами інформації, обробляючи масиви даних та перетворюючи їх у систематизовані вибірки за запитом кінцевих користувачів. Подібні системи зменшуватимуть інформаційне перевантаження та задовольнятимуть більш широку сферу потреб користувачів он-лайн сервісів, що підтверджує актуальність теми дослідження.

**Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Уперше запропонована модель з математичним обґрунтуванням за допомогою методу Рунге-Кутти для системи зі стаціонарним станом та застосуванням закону розподілу ймовірності при наданні рекомендації користувачу, як випадкової події при Інтернет-серфінгу, яка базується на аналізі поведінки користувача в мережі Інтернет, коли користувач переглядає

деяку позицію і не обирає її, з проведенням аналогії, коли наслідком перегляду є вибір;

2. Дістала подальшого розвитку методологія розробки рекомендаційного алгоритму, яка відрізняється тим, що вхідними параметрами до створення рекомендації виступають маркери користувача, які можуть бути як позитивними, так і негативними, мати свою вагу, а у випадку, коли користувач переглядає занадто великі обсяги інформації і важко визначити пріоритетність маркерів з аналізом впливу альтернатив, своєчасно виявляти помилки, які можуть призвести до невірної рекомендації;

3. Уперше представлена модель надання рекомендацій з використанням правил комп'ютерної логіки, в якій опрацьовано механізм переходів користувача з метою відбору параметрів для надання рекомендацій за кроками у дискретному середовищі, коли за діями користувача рішення може приймати лише два значення – «так» чи «ні»;

4. Уперше запропонована програмна реалізація рекомендаційної підтримки прийняття рішень у вигляді вебдодатку, з реалізацією моделі переходів в рекомендаціях в залежності від зміни уподобань за допомогою створення графів переходів за різними вхідними параметрами, що характеризують дії користувача та використання еквівалентних станів при формуванні матриць переходів рекомендацій за зміни окремих ознак.

Результати роботи є достовірними, оскільки вони отримані та перевірені за допомогою математичного аналізу та обробки статистичних даних, частина результатів отримана в процесі комп'ютерних експериментів та під час практичної апробації створених алгоритмів та розробленого програмного продукту.

Достовірність основних положень та результатів дисертації доведено:

- використанням апробованих методів математичного аналізу та обробки статистичних даних;
- відповідністю експериментальних досліджень статистичним результатам, отриманим з перевірених джерел;
- використанням сертифікованих комп'ютерних програм та інтегрованих середовищ розробки.

Наукові положення, висновки та рекомендації обґрунтовані, тому що базуються на науково-обґрунтованих теоремах, законах та апробованих раніше фундаментальних працях. Розроблені алгоритми були протестовані як на статистичних даних, так і в процесі проведення комп'ютерних експериментів.

Наукові дослідження були виконані здобувачем в Інституті телекомунікацій і глобального інформаційного простору у відділі

інформаційних та комунікаційних технологій під керівництвом завідуючого відділом, кандидата технічних наук, старшого наукового співробітника Гуляєва Кирила Дмитровича та у відділі природних ресурсів під керівництвом старшого наукового співробітника, кандидата технічних наук, старшого дослідника Кряжич Ольги Олександрівни.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання щодо розробки моделей та методів рекомендаційної підтримки прийняття рішень для збору і обробки інформації із різномірних джерел з метою створення рекомендації на основі вивчення уподобань споживача виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

**Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.**

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Купріна О.М. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 122 Комп'ютерні науки та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Інформаційні технології.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям технічних наук.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Купріна Олексія Миколайовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

**Мова та стиль викладення результатів.**

Дисертаційна робота написана грамотною українською мовою.

Робота виконана якісно, із застосуванням логічних переходів та узагальнень, викладена науковим стилем. Загальноприйнята термінологія та спеціальні терміни використані відповідно своєму значенню з необхідним поясненнями.

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 213 сторінок.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, розглянуто зв'язок роботи з науковими темами та актуальним напрямком наукових досліджень, сформульовані мета та задачі дослідження, розкрито наукову новизну та практичну цінність.

У першому розділі проведено огляд моделей методів та підходів, що використовуються при розробці інформаційних технологій рекомендаційної підтримки рішень. Виконано загальний огляд рекомендаційних систем та їх

видів, включаючи аналіз вмісту, колаборативне фільтрування, гібридні та методи на основі популярності. На цій основі поглиблено досліджені Content-based алгоритми та алгоритми колаборативної фільтрації. Це дозволило краще розуміти принципи формування нових підходів до створення моделей рекомендаційних механізмів та їх алгоритмізацію. В результаті дослідження було зроблено висновок щодо необхідності розробки алгоритму, який комбінуватиме моделі різних типів в рекомендаційних системах гібридного типу на основі вмісту та колаборативного фільтрування.

В процесі теоретичного дослідження наукових джерел було виявлено проблему нестабільної продуктивності впроваджених моделей рекомендаційних систем. На основі цього було запропоновано варіанти вирішення цієї проблеми шляхом використання певних визначних факторів, що приваблюють користувача при виборі якогось продукту, але при тому можуть не бути визначальними, щоб остаточно здійснити покупку.

У другому розділі проведено дослідження особливостей структурування процесів рекомендаційної підтримки, що базуються на маркерах користувача. Користувач при виборі продукту має свій особистий інтерес та вирішує певну проблему, яка може бути виражена, як послідовність взаємопов'язаних кроків. Користувач при цьому дбає не стільки про формулювання кінцевого рішення, скільки про те, що пов'язане з цим процесом і у підсумку з нього випливає. Для вирішення проблеми потрібно мати вибір варіантів рішення.

Для виконання задач роботи проведено структурування процесів рекомендаційної системи при різних інтересах користувачів з використанням n-мірних матриць з метою подальшої реалізації алгоритмів за допомогою опенсорсної бібліотеки TensorFlow. Враховано, що алгоритми повинні передбачати реалізацію ситуації за певними маркерами користувача, тобто, ключових ознаках для користувача за якими він приймає рішення, з врахуванням різноманітних змін, обмежень та персональних дій користувача на визначений момент часу. За підсумками викладеного розроблена лінійна модель рекомендацій за декількома маркерами користувача, при якій створено перехід від вирішення задачі за допомогою теорії ігор до алгоритмізації процесів за допомогою оціночної моделі. Проведений розрахунок довів адекватність моделі, побудованої за двома визначеними маркерами користувача.

У третьому розділі роботи наведені розроблені моделі надання рекомендацій за допомогою правил комп'ютерної логіки. При реалізації інформаційної технології рекомендаційної підтримки прийняття рішень можна розділити процес на окремі кроки: на першому кроці за маркерами

користувача збирається і систематизується інформація, на другому кроці формується рекомендація на основі отриманих вибірок щодо уподобань користувача. Тобто, у цьому випадку можна говорити про дискретний алгоритм, що складається з декількох актів, виконання яких не викликає сумніву. А враховуючи те, що такий підхід реалізує принцип створення управляючого пристрою, коли за діями користувача рішення може приймати лише два значення – одиничне (на основі отриманих маркерів користувачу можна надати рекомендацію) та нульове (маркери не орієнтують, що даний продукт може зацікавити користувача, тобто, рекомендацію щодо пропозиції товару чи послуги надати неможливо), наведене можна описати комбінаційною схемою за допомогою правил комп'ютерної логіки. Орієнтуючись на підходи до реалізації задач у вебпрограмуванні, технологію рекомендаційної підтримки, яка на вході має інформацію з різномірних джерел стосовно поведінки користувача, а на виході – інформацію з рекомендаціями, можна представити у вигляді моделі В.М. Глушкова – сукупності керуючого та операційного автоматів. На цьому базисі розроблено механізм представлення переходів користувача з метою відбору параметрів для надання рекомендацій. Прийнято, що розглядаються кроки у дискретному середовищі, коли за діями користувача рішення може приймати лише два значення – одиничне (на основі отриманих маркерів користувачу можна надати рекомендацію) та нульове (маркери не орієнтують, що даний продукт може зацікавити користувача, тобто, рекомендацію щодо пропозиції товару чи послуги надати неможливо). Деталізовано моделі переходів в рекомендаціях в залежності від зміни уподобань за допомогою створення графів переходів за різними вхідними параметрами, що характеризують дії користувача та використання еквівалентних станів уподобань при формуванні матриць переходів рекомендацій за зміни окремих ознак.

Рекомендаційна система, що пропонується до реалізації, має в основі синтез цифрових автоматів. На цій основі розроблено механізм рекомендацій за ознакою структурної повноти. Розроблено механізм формування тригерів для створення рекомендацій за зміни маркерів користувача. Під тригером у дані роботі прийнято стійкий стан рекомендації до зміни ключових ознак на вході системи – маркерів користувача. У підсумку, за наведеним математичним базисом, за допомогою мови Python розроблено рекомендаційну систему.

У четвертому розділі роботи представлено опис розробленої інформаційної технології з комбінування методів для побудови рекомендації на основі переваг та відмов користувача.

Особливість підходу, що пропонується в роботі, полягає у реалізації такого механізму, який дозволяє вичленовувати та аналізувати маркери споживача навіть у тих випадках, коли користувач переглядав якусь позицію продукту але не вибрав остаточно. Аналіз такої поведінки та використання показників «не вибору» у якості вхідних параметрів у моделі рекомендаційного механізму дозволить розширити можливий спектр рекомендацій за булевим базисом «І-Або-Ні» та «Або-Ні» через асинхронний RS-тригер.

На практиці подібне реалізується наступним чином: користувач може мати маркер стосовно гучності музичного твору, тоді базис вибірки чітко буде визначений за тригером «Або-Ні», а може не мати такого маркера, тобто, користувачу байдужа потужність музичного твору, і тоді тригер спрацьовує за базисом «І-Або-Ні». В останньому випадку користувачу будуть рекомендовані твори, що враховують інші маркери користувача. Якщо базис «Або-Ні» відповідає умовам відбору, то користувачу буде надана більш точна рекомендація.

В розділі також представлено вирішення задачі логічної еквівалентності в процесі розробки інформаційної технології рекомендаційної підтримки за допомогою підходів, використовуваних в комп'ютерній логіці. Запропонований підхід до мінімізації числа станів. Таке рішення допомагає більш спрощено представити дискретну систему за окремими перевіреними кроками, з контролем щодо виявлення можливих помилок на кожному кроці реалізації у якості вебсервісу.

В роботі наведена розроблена реалізована інформаційна технологія рекомендаційної підтримки прийняття рішень у вигляді веб-додатку, яка дозволяє:

- автоматизувати збір, обробку й завантаження даних з відкритих і конфіденційних джерел (за умови надання дозволу General Data Protection Regulation (EU GDPR));

- виявити реальні або потенційні рекомендації користувачу на основі спостережень і обробки отриманої інформації з різномірних джерел на основі визначених маркерів користувача;

- формувати внутрішні звіти за результатами аналізу інформації, інформування користувача про проходження процесу аналізу, оперативне інформування про виявлені ситуації щодо неможливості виконання запиту.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.**

Основні наукові результати дисертаційної роботи опубліковані у 8 публікаціях у професійних фахових виданнях: одна з них – стаття, що проіндексована в наукометричній базі SCOPUS; одна з них – стаття, що відноситься до журналу, який входить до категорії А у затверджених МОН України виданнях. Загалом чотири статті – у затверджених МОН України виданнях. Серед публікацій, які додатково відображають наукові результати дисертації, є 4 надрукованих доповіді у матеріалах вітчизняних та міжнародних наукових та науково-практичних конференцій.

Всі роботи виконані на належному науковому рівні, що доведено незалежним рецензуванням в процесі подачі матеріалів до друку, з дотриманням правил академічної доброчесності та мають особистий внесок здобувача у вигляді розроблених математичних моделей, виконаних алгоритмізацій процесів, математичних розрахунків, експериментальних досліджень за темою дисертації.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

Дисертаційна робота має наступні недоліки та зауваження:

1) Рисунки першого розділу виконані із підписами англійською мовою, хоча вся робота представлена українською мовою.

2) У першому розділі дуже багато приділено уваги особливостям алгоритмізації окремих процесів рекомендаційних систем і незначна увага, на мій особистий погляд, саме моделями та методам створення рекомендаційного механізму для реалізації на Інтернет-ресурсах.

3) Незрозумілим є перехід між другим та третім розділом – від вибору стратегій двох гравців до автоматизації процесу рекомендації через правила комп'ютерної логіки.

4) Чому вибір при розробці завдань теми дослідження був зроблений саме на комп'ютерну логіку? Це ніде не обґрунтовано, так само, як і залишилося невисвітленим, чи можливо запропонований підхід реалізувати за допомогою логіки першого порядку, логіки другого порядку, формальної логіки, неформальної логіки. В чому особливості і відмінності застосування комп'ютерної логіки від зазначених логік?

5) Не зрозуміло, для якого типу тригера розписаний булевий базис і чи були спроби розписати булевий базис для інших типів тригера? Чому вибраний саме наведений в роботі базис?

6) В роботі зустрічаються поодинокі помилки в математичних формулах.

7) Список джерел роботи містить різностильові представлення джерел.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### **Висновок про дисертаційну роботу.**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Купріна Олексія Миколайовича на тему «Інформаційна технологія рекомендаційної підтримки прийняття рішень» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для Інформаційних технологій. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Купрін Олексій Миколайович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань Інформаційні технології за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

### **Рецензент:**

Провідний науковий співробітник  
ІТГП НАН України, д.т.н., доцент



Олександр ТЕРЕНТЬЄВ



«16» січня 2024 року

*Підпис провідного наукового співробітника ІТГП НАН України, д.т.н.,  
доцента Олександра Терентьєва засвідчую.*

Вчений секретар ІТГП НАН України,  
к.т.н., с.н.с.



Вікторія КЛИМЕНКО