

Рецензія

на дисертацію О.В. Богданова «Моделі і методи стохастичної оптимізації та керування у математичній епідеміології» (спеціальність 113 – «Прикладна математика» галузь знань 11 – «Математика та статистика»), поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії, академіка НАН України, доктора фізико-математичних наук, професора Чикрія А.О.

1. Актуальність теми дисертації

Протиепідемічні заходи глобальних епідемій зачіпають цілий комплекс екологічних, економічних і соціальних вимірів сталого розвитку суспільства, а сам розвиток епідемічного процесу має стохастичний характер внаслідок випадкових збурень та невизначеності щодо природи походження, шляхів розповсюдження та механізмів дії нових вірусів. На жаль, у багатьох випадках неповнота вибірки статистичних даних часто призводить до недостатньої стійкості підходів до задач прогнозування та керування епідемічними процесами. Тому для оцінки ризиків епідемічної безпеки виникає необхідність створення нових моделей та методів, які дозволять значно ефективніше вирішувати проблеми, ніж при застосуванні детермінованих або традиційних статистичних моделей і методів. Одним з таких підходів для комплексної оцінки епідемічного ризику є використання стохастичних моделей із застосуванням методів сучасного стохастичного аналізу. Саме дослідженню таких моделей та математичних методів, що можуть використовуватися для розв'язання нових, специфічних завдань прогнозування та управління епідемічним процесом присвячена робота, що рецензується. Тому можна зробити висновок, що тема роботи актуальна як з теоретичної, так і з практичної точки зору.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами та темами.

Дисертаційна робота виконана в рамках проекту 20.02/0121 "Аналітичні методи та машинне навчання в теорії керування і прийнятті рішень за умов конфлікту та невизначеності" за рішенням наукової ради Національного фонду досліджень України (протокол від 26.04.2023 р. №3 (Державний реєстраційний номер роботи 0123U102943) та двох науково-дослідних тем НАН України, а саме: ВП 130.24 «Розробити робастні методи нелінійного та квантильного регресійного аналізу для стохастичних систем за наявності апріорних обмежень на невідомі параметри» за постановою Бюро Відділення інформатики НАН України, протокол від 25.06.2020 р. №1 (Державний реєстраційний номер 0121U109630) та теми ММ/ВКМ 130.28.22 "Розробити методи стохастичного моделювання для підтримки епідемічної безпеки, прогнозування та мінімізації ризиків сучасних біозагроз" за постановою Бюро Відділення інформатики НАН України, протокол від 14.02.2022 р. (Державний реєстраційний номер: 0122U200267).

3. Обґрунтованість та достовірність отриманих результатів

Всі результати, отримані в дисертаційній роботі, є строго обґрунтованими. Їх достовірність базується на обробці значного обсягу літератури, побудові моделей на основі чітких математичних принципів, застосуванні новітніх даних щодо структури досліджуваних об'єктів, доброму узгодженні результатів з даними, що були отримані іншими дослідниками.

При виконанні дисертаційного дослідження автор продемонстрував високу математичну культуру, високий рівень знань у різних галузях сучасної математики, зокрема, в теорії стохастичної оптимізації, теорії ймовірностей та випадкових процесів, теорії керування динамічними стохастичними системами, математичного моделювання. Слід також зазначити, що всі основні результати дисертант отримав самостійно, що свідчить про його обізнаність в предметі досліджень, вміння правильно аналізувати наукову літературу та творчо мислити.

4. Основні наукові результати і їх наукова новизна.

Для досягнення мети дослідження поставлено такі завдання: 1) розробити нові стохастичні моделі та математичні методи їх аналізу та моделювання; 2) провести аналіз отриманих моделей для пошуку оцінок параметрів, оптимальних стратегій вакцинації тощо; 3) розробити програмні реалізації розроблених моделей та методів оцінок та провести їх тестування; 4) оцінити якість моделей за допомогою реальної статистики захворювань. Ці завдання розв'язуються за допомогою теорій ймовірностей, випадкових процесів та стохастичних рівнянь.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та задачі досліджень, розкрито наукову новизну та практичну цінність роботи, представлено її загальну характеристику.

У **розділі 1** наведено огляд літератури за темою дисертації, сформульовано необхідні означення та твердження, які у подальшому використовувались при формулюванні результатів дисертації, та наведено основні постановки задач, які досліджуються в роботі.

У **розділі 2** розглядаються дискретні стохастичні моделі епідемій, тобто моделі, в яких час є дискретним. Виконано математичну постановку задачі та проведено її аналітичне дослідження, а також отримано оцінки деяких параметрів епідемій, зокрема, їх тривалості та кількості хворих в певний момент часу при деякій (великій) початковій чисельності хворих. Досліджено асимптотичні властивості одержаних оцінок. Розглядається стохастична дискретна модель епідемії, в якій рівень інфекційності залежить від тривалості хвороби з використанням оцінки максимальної вірогідності для параметра, що відповідає за швидкість розповсюдження інфекції. Для більш ефективного використання реальної статистики кількості хворих введено додатковий параметр моделі – ймовірність виявлення захворювання. Розроблено програму для автоматичної оцінки параметрів моделі, яка використовує минулу статистику та забезпечує подальшу симуляцію розвитку епідемії.

У розділі 3, використовуючи фіксовані початкові умови, генерується можлива версія епідемії. За допомогою метода Монте-Карло, повторюючи це велику кількість разів, оцінюється очікувана кількість захворювань кожного дня епідемії, сумарна кількість захворювань, тривалість епідемії тощо. Також створено програму оцінки параметрів моделі на основі існуючої попередньої статистики перебігу епідемії для прогнозування подальшого її розвитку.

У розділі 4 запропоновано модифікації детермінованих моделей типу SEIR та SIR з доданим стохастичним білим шумом для врахування випадкових збурень, запропоновано декілька версій моделей в залежності від типу епідемій та можливостей вакцинації. Використовуючи стохастичний принцип максимуму, розв'язано проблему пошуку оптимальної стратегії вакцинації для мінімізації функціонала ціни, що залежить від передбаченої кількості хворих та витрат, пов'язаних з вакцинацією.

Таким чином, в дисертаційній роботі Богданова О.В. одержано нові наукові результати з проблем моделювання, прогнозування, статистичного оцінювання, оптимального керування епідеміологічними процесами за умов ризику та невизначеності. Основні наукові результати дисертаційної роботи у повній мірі викладено в публікаціях, з яких: 5 наукових статей опубліковано в фахових виданнях України; 3 статті англійською мовою опубліковано в зарубіжному виданні, проіндексованому в наукометричній базі SCOPUS; 5 тез доповідей опубліковано в збірниках доповідей міжнародних наукових та науково-практичних конференцій і семінарів.

Висновки відповідають завданням дисертаційної роботи та змісту основного тексту дисертації, стратегії вакцинації для мінімізації кількості хворих та витрат, пов'язаних з епідемією.

5. Практичне значення одержаних результатів полягає у наступному. Наведені моделі можуть бути використані для підвищення якості прогнозу кількості захворювань, смертей та збитків від епідемій, та пошуку оптимальних стратегій вакцинації. Вони мають суттєве значення для створення ефективних систем підтримки прийняття рішень щодо попередження потенційних і нейтралізації наявних загроз епідемічної, екологічної та соціально-економічної безпеки України в умовах системних загроз та невизначеностей.

6. Зауваження

Незважаючи на загальний високий науковий рівень виконання дисертаційного дослідження, безперечно високий теоретичний рівень проведених досліджень та практичну значимість одержаних результатів, вважаю доречним зробити деякі несуттєві зауваження та висловити деякі побажання у подальшій роботі.

1. Для деяких статистичних оцінок, що наведено у другому розділі роботи, доречно було б навести твердження про їх консистентність, всі умови для такого твердження у роботі наведено.

2. Було б доречно дати більше пояснень змісту деяких параметрів моделей в підрозділі 4.2, щоб уникнути іноді дещо формального їх опису.

3. Було б доречно навести приклад знаходження оптимальної стратегії у підрозділі 4.3.

Підкреслю, що наведені зауваження ні в якій мірі не впливають на загальну оцінку роботи.

7. Загальні висновки

Робота присвячена актуальній темі, виконана на високому науковому рівні, містить нові наукові результати, має практичне значення. Її результати викладено в авторитетних міжнародних і фахових виданнях та пройшли апробацію на багатьох міжнародних та вітчизняних наукових конференціях. Вважаю, що дисертація О.В.Богданова «Моделі і методи стохастичної оптимізації та керування у математичній епідеміології» на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 «Прикладна математика» є завершеною науково-дослідною роботою, яка за актуальністю, науковою новизною, практичною значимістю відповідає вимогам Постанови Кабінету Міністрів України №44 від 12 січня 2022 року «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», а її автор, Богданов О.В., заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 «Прикладна математика».

Рецензент

завідувач відділу оптимізації керованих процесів

Інституту кібернетики імені В.М.Глушкова

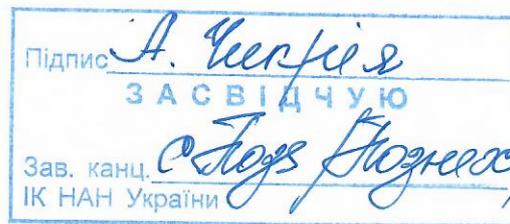
НАН України

академік НАН України

доктор фізико-математичних наук, професор



Аркадій ЧИКРІЙ



Зав. канц.
ІК НАН України