

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка
доктору фізико-математичних наук,
професору кафедри системного аналізу
та теорії прийняття рішень
факультету комп'ютерних наук та кібернетики
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка
Наконечному Олександру Григоровичу

Рецензія

доктора фізико-математичних наук, професора
Самойленка Ігоря Валерійовича
на дисертаційну роботу
Нечипорука Сергія Анатолійовича

**«МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ПОРОГОВИХ ПРОЦЕСІВ З
ДОПОМОГОЮ СТОХАСТИЧНИХ РІВНЯНЬ ІТО ТА ІТО-СКОРОХОДА»**
поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 113 «Прикладна математика»

1. Актуальність теми дисертації.

У дисертаційному дослідженні розроблено та проаналізовано математичні моделі двопорогових стохастичних процесів на основі рівнянь Іто та Іто-Скорохода, а також запропоновано методи оцінювання їх параметрів із використанням наближеного методу максимальної правдоподібності. Актуальність роботи зумовлена широким використанням двопорогових стохастичних процесів для моделювання реальних систем у різних галузях науки і техніки, що потребує математичного опису процесів, які характеризуються зміною режимів функціонування після досягнення певних порогових значень та поєднують неперервні випадкові коливання з раптовими стрибкоподібними змінами. Розроблений в роботі інструментарій оцінювання порогів, параметрів дрейфу, дифузії та стрибкової компоненти для кожного з режимів процесу має не лише теоретичну, а і певну практичну цінність.

2. Ступінь обґрунтованості, наукових положень, висновків, рекомендацій, сформульованих у дисертації, їхня достовірність.

Наукові положення, результати та висновки, наведені в дисертаційній роботі, є достатньо обґрунтованими, логічно послідовними та належним чином аргументованими. Їх достовірність забезпечується використанням сучасного математичного апарату теорії стохастичних процесів. У роботі застосовано методи

наближеної функції максимальної правдоподібності та коректно використано математичний апарат рівнянь Іто та Іто–Скорохода. Обґрунтованість одержаних результатів підтверджується теоретичними дослідженнями, результатами чисельних експериментів та програмною реалізацією розроблених методів.

3. Наукова новизна.

У дисертаційній роботі автором розроблено новий підхід до моделювання та оцінювання параметрів двопорогових стохастичних процесів, що описуються рівняннями Іто та Іто–Скорохода. Основні результати, які визначають наукову новизну дослідження наступні:

- вперше запропоновано математичні моделі двопорогових стохастичних процесів із трьома режимами функціонування на основі рівнянь Іто та Іто–Скорохода, що дають змогу описувати зміну динаміки процесу залежно від досягнення порогових значень;
- вперше розроблено алгоритми оцінювання параметрів двопорогових моделей на основі наближеного методу максимальної правдоподібності, які забезпечують одночасне визначення порогових значень та параметрів процесу в кожному режимі, а також досліджено збіжність запропонованого ітераційного алгоритму;
- доведено консистентність і асимптотичну нормальність оцінок параметрів процесів, що досліджувались в роботі.

4. Практична цінність отриманих результатів.

Робота, в основному, має теоретичний характер. Втім, розроблена в роботі програмна частина автоматизує розрахунки, візуалізує динаміку процесів і результати оцінювання у вигляді графічних поверхонь правдоподібності, що полегшує інтерпретацію знайдених розв'язків. Ця частина роботи потенційно може бути використана для створення практичних програмних засобів, що дозволятимуть аналізувати подібні процеси, а також отримувати візуальне представлення отриманих та прогнозованих результатів.

5. Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях.

Основні результати дисертаційної роботи пройшли належну апробацію та отримали позитивну оцінку на всеукраїнських і міжнародних наукових конференціях. Результати досліджень достатньо повно висвітлено у чотирьох наукових статтях, зокрема одна стаття опублікована у закордонному журналі квартиля Q1 і 3 статті у фахових виданнях України (одне з яких має квартиль Q3), і матеріалах трьох наукових конференцій. Опубліковані праці повною мірою відображають основні положення та результати дисертаційного дослідження і відповідають вимогам «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 № 44 від 12.01.2022. Публікації засвідчують особистий внесок здобувача у реалізації дослідження та отримання наведених у дисертації наукових результатів.

6. Структура та оформлення дисертації.

Дисертація складається з анотацій українською та англійською мовами, вступу, трьох розділів, висновків та списку використаних джерел. Дисертація написана українською мовою, зміст роботи висвітлює основні отримані результати проведених наукових досліджень.

У вступі обґрунтовано актуальність проблеми, визначено об'єкт, предмет, методологічні основи, мету та завдання дослідження, відзначено наукову новизну, практичну цінність дослідження, наведено дані щодо апробації отриманих результатів, а також описано структуру дисертації, виходячи з послідовності розв'язання поставлених завдань.

У першому розділі досліджено двопорогову модель процесу Орнштейна–Уленбека на основі рівняння Іто, розроблено наближений метод максимальної правдоподібності для оцінювання параметрів моделі. Обґрунтовано коректність отриманих статистичних оцінок. Запропоновано ітераційний алгоритм їх обчислення, ефективність якого підтверджено результатами чисельних експериментів.

У другому розділі побудовано двопорогову модель процесу Леві на основі рівняння Іто–Скорохода зі стрибоковою компонентою. Розроблено метод оцінювання параметрів процесів такого типу. Досліджено числову збіжність ітераційного алгоритму.

У третьому розділі розглянуто практичну реалізацію запропонованих математичних моделей та алгоритмів оцінювання параметрів, визначено початкові параметри моделювання, а також наведено результати чисельних експериментів у графічній та числовій формах.

У висновках наведено основні результати дисертаційного дослідження, сформульовано підсумки виконаної роботи та окреслено перспективи подальших наукових досліджень.

7. Академічна доброчесність.

Порушень академічної доброчесності у тексті дисертації, а також наукових публікаціях Нечипорука С. А. не виявлено.

8. Відповідність дисертації спеціальності, за якою вона подається до захисту.

Дисертаційна робота Нечипорука С. А. «Моделювання та аналіз порогових процесів з допомогою стохастичних рівнянь Іто та Іто–Скорохода» відповідає вимогам та паспорту спеціальності 113 «Прикладна математика».

9. Зауваження та побажання.

В цілому, робота оформлена непогано, втім є наступні зауваження:

1. Дисертація містить певну кількість описок та невідповідностей, наприклад, у змісті Вступ помилково проіндексовано сторінкою 178; у списку літератури в деяких пунктах спочатку прописано назву статті, а потім назву журналу, а в деяких навпаки; в формулі (1.19) в знаменнику експоненти втрачено множник Δ_j , який потім з'являється в наступній формулі (1.20); в Теоремі 1 на

сторінці 67 в кінці сформульовано твердження про рівняння (2.12), хоча очевидно, що мова про рівняння (2.2) тощо.

2. В формулах (1.2) та (1.3) явно не вказано, що коефіцієнт при доданку $X_t dt$ є від'ємним, тобто складається враження, що це довільна константа. А це не так, бо якщо ця константа буде додатною, то зникнуть важливі властивості процесу Орнштейна-Уленбека, як от ергодичність, наявність стаціонарного розподілу, тощо. Існування розв'язку рівняння (1.3) при додатному коефіцієнті також під питанням.

Перша згадка про від'ємність коефіцієнтів з'являється лише на сторінці 37, де сказано, що доцільно вважати їх від'ємними. Таке формулювання є хибним, бо слово "доцільно" неправильно відображає ситуацію, ці коефіцієнти мусять бути від'ємними, бо це сама природа процесу Орнштейна-Уленбека.

3. На сторінці 37 автор використовує формулювання "двопороговий процес типу Орнштейна-Уленбека". Таке формулювання передбачає перевірку, а чи матиме такий процес з розривами траєкторій властивості, подібні до процесу Орнштейна-Уленбека. Автор не робить такої перевірки. Я б рекомендував використовувати словосполучення "двопороговий процес, породжений процесом Орнштейна-Уленбека", або "на базі процесу", як в Розділі 2, що цілком природньо з огляду на те, що відрізки траєкторій між порогами дійсно є процесами Орнштейна-Уленбека.

4. Формула (1.20) не є наслідком (1.19) після логарифмування, бо кудись зникають коефіцієнти 2π та Δ_j у другому доданку, також множник 2 у третьому доданку чомусь відсутній. Під питанням і константа C , бо після логарифмування вона змінилась, але позначення залишилось як у формулі (1.19).

5. Диференціювання в формулах (1.21)-(1.24) виконано неправильно, оскільки, наприклад, при диференціюванні по β_{10} має бути додатковий множник $-\Delta_j$, який скорочується з таким самим множителем у знаменнику, але, втім, змінює знак виразу на протилежний.

6. На сторінці 48 формула для β_i з'являється без належного обґрунтування, і тому не дуже зрозуміло чи вона належить автору, чи використовується відомий результат?

7. При доведенні Лема 2 та Теореми 2 автор використовує "відоме твердження Лема 1" з монографії Protter P.E. Stochastic Integration and Differential Equations. Springer, 2005, 419 р. Ця монографія містить кілька результатів, які позначені як Lemma 1, зокрема на сторінках 121, 145, 168, 180, 251. На який саме з цих результатів посилається автор не зрозуміло, але, як на мою думку, жоден з них не стосується твердження, яке використано під час доведення. Це значно ускладнює встановлення достовірності доведень Лема 2 та Теореми 1 з дисертації.

8. Рівняння (2.2) є доволі стандартним рівнянням, яке повсючас зустрічається в роботах Й.І.Гіхмана та А.В.Скорохода. Власне, при доведенні Теореми 1 на сторінці 68 автор згадує схему доведення з їх відомої монографії. Залишається незрозумілим в чому відмінність отриманого результату від загальновідомих? Чи ця теорема не є результатом автора?

9. Те саме питання стосується Теорема 2 на сторінці 74, яка сформульована, але не доведена. Крім того, не зрозуміло що таке x_0 в формулюванні цієї теореми, адже в (2.5) сказано, що початкова умова наступна: $X_0 = 0$.

10. В формулах (2.17)-(2.22) в автора знову виникають проблеми як з логарифмуванням, так і з подальшим диференціюванням: зникають окремі множники та доданки. Слід зауважити, що ці обрахунки легко виправити та отримати коректний вигляд для матричних рівнянь основних параметрів.

11. Теорема 1 на сторінці 87 також наводиться без доведення, тому не зрозуміло чи можна вважати результат авторським.

12. Формулювання, або радше переказ Теорема Банаха на сторінках 89-90 виглядає зовсім не математично. Що значить "все зійдеться до стабільного результату"? Автору слід було б більш прискіпливо віднестись до питання збіжності в запропонованій ним ітераційній процедурі.

Вказані зауваження можуть бути виправлені та не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

10. Висновки.

Достовірність положень та висновків, наукова новизна та практична значимість одержаних в дисертаційній роботі Нечипорука С.А. результатів та висновків дають підставу вважати, що дисертаційна робота Нечипорука С. А. «Моделювання та аналіз порогових процесів з допомогою стохастичних рівнянь Іто та Іто-Скорохода» є завершеною самостійною науковою роботою, яка відповідає паспорту спеціальності 113 «Прикладна математика» і задовольняє всім вимогам Наказу МОН України №40 від 21.01.2017 р. про «Затвердження вимог до оформлення дисертацій» та Постанови Кабінету Міністрів України №44 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» від 12.01.2022, з останніми змінами, внесеними Постановою КМ №341 від 21.03.2022.

Вважаю, що дисертант Нечипорук Сергій Анатолійович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії у галузі 11 «Математика та статистика» за спеціальністю 113 «Прикладна математика».

Офіційний рецензент:

доктор фізико-математичних наук, професор,
професор кафедри дослідження операцій
факультету комп'ютерних наук та кібернетики
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка



Ігор САМОЙЛЕНКО



ПРИСВІДЧУЮ
ПРОРЕКТОР З НАУКОВОЇ РОБОТИ
ОКСАНА ЖИЛІНСЬКА

