

ВИСНОВОК

**про наукову новизну, теоретичне та практичне
значення результатів дисертації**

**Ткаченка Олександра Миколайовича на тему:
«Поліноміальні методи та засоби оцінювання параметрів регресії з
використанням моделей негаусових помилок»
для здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки**

Актуальність теми. Регресійний аналіз є однією із найбільш поширених груп задач, що вирішуються в рамках сучасного прикладного напрямку розвитку комп'ютерних наук та інформаційних технологій, відомого як «Наука про Дані» (Data Science). Розвиток цього напрямку пов'язаний із стрімким ростом даних, які генерує людство. Для опрацювання таких обсягів даних використовуються відповідні програмні засоби, що орієнтовані на комп'ютерне моделювання і статистичний аналіз. Серед них можна виділити як спеціалізовані комерційні продукти типу MATLAB, SAS, STATISTICA, так і високорівневі мови програмування, зокрема, R та Python, які орієнтовані на задачі аналізу даних. Математичним фундаментом цих програмних інструментальних засобів є різноманітні моделі та обчислювальні методи. Одним із основних критеріїв їх розробки та застосування є підвищення точності опрацювання на основі урахування специфіки реальних даних.

Оцінювання інформативних параметрів регресійних залежностей є однією з найбільш ранніх задач статистичного аналізу. За більш ніж два століття різноманітні регресійні моделі набули широкого поширення під час вирішення багатьох прикладних задач. У більшості з них для знаходження оцінок параметрів застосовуються різні варіації методу найменших квадратів (МНК), розробником якого вважають Гауса. Широке поширення МНК обумовлено тим фактором, що він дозволяє отримувати рішення в замкнутій формі, не потребує додаткової апріорної інформації про ймовірнісні властивості моделі похибок та за умови виконання ряду обмежень теореми Гауса-Маркова є найкращим лінійним незміщеним оцінювачем. Однією із таких умов є нормалізація розподілу регресійних помилок, що забезпечує мінімізацію дисперсії оцінок

параметрів. Проте в реальних ситуаціях часто може спостерігатися суттєве відхилення розподілу даних від нормального (гаусового) закону, що суттєво погіршує точність МНК-оцінок, зокрема за наявності окремих віддалених спостережень (викидів).

Компромісним з точки зору складності та повноти ймовірнісного опису є підхід, який базується на застосуванні апарату стохастичних поліномів Кунченка та статистик вищих порядків, зокрема моментів і кумулянтів. У дисертації Ткаченка О.М. застосовується відносно новий підхід до статистичного оцінювання на основі методу максимізації поліномів (ММПл).

Проте наведені задачі за своєю математичною постановкою суттєво відрізняються від задач регресійного аналізу.

Актуальність дисертаційної роботи обумовлено необхідністю модифікації регресійних моделей, які містять адитивну суміш детермінованої та негаусової випадкової складової, а також розробки на основі апарату стохастичних поліномів Кунченка нових обчислювальних методів статистичного оцінювання інформативних параметрів регресійних залежностей. Додатковою умовою, яка накладається на результуючі алгоритми, є їх адаптивність. Вона полягає в забезпеченні працездатності в умовах апріорної невизначеності щодо властивостей випадкової складової регресійних моделей, що є характерним для реальних ситуацій їх використання.

Тему роботи Ткаченка О.М. затверджено на засіданні Вченої ради Черкаського державного технологічного університету 15.03.2021 р. (протокол № 10).

Метою дисертаційної роботи є підвищення точності отримуваних оцінок параметрів регресійних залежностей за рахунок створення методів і засобів математичного і комп'ютерного моделювання процесів оцінювання параметрів регресійних залежностей шляхом адаптації ймовірнісних моделей досліджуваних даних для підвищення точності отримуваних оцінок на основі врахування відмінностей статистичних властивостей регресійних помилок від гаусової ідеалізації.

Для досягнення поставленої мети автором вирішуються наступні **задачі**:

- здійснити аналіз існуючих підходів до оцінювання інформативних параметрів регресійних моделей за умови відмінності розподілу їх випадкової компоненти від гаусового закону;
- здійснити модифікацію опису випадкової складової регресійних моделей на основі використання опису у вигляді статистик вищих порядків для застосування апарату стохастичних поліномів Кунченка;
- здійснити синтез обчислювальних методів і алгоритмів адаптивного оцінювання параметрів регресії із застосуванням методу максимізації поліномів;
- провести аналіз властивостей поліноміальних оцінок параметрів регресії та здійснити порівняння їх ефективності із оцінками методу найменших квадратів та максимальної правдоподібності;
- розробити програмні засоби статистичного моделювання адаптивного оцінювання параметрів регресійних моделей із використанням методу Монте-Карло і бутстреп-аналізу.

Об’єктом дослідження є процеси оцінювання параметрів регресійних залежностей за умови негаусовості випадкових помилок.

Предметом дослідження є поліноміальні методи та засоби оцінювання параметрів регресії з використанням моделей негаусових помилок.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження ґрунтуються на використанні апарату теорії ймовірності та математичної статистики, регресійного аналізу, теорії адаптивних систем, методів статистичного оцінювання і обчислювальної математики, а також методів побудови комп’ютерних засобів моделювання. Достовірність отриманих результатів і висновків перевірено порівнянням теоретичних положень з експериментальними даними, отриманими за допомогою комп’ютерного статистичного моделювання.

Формулювання наукового завдання. У дисертаційній роботі вирішено науково-технічну задачу підвищення точності оцінок параметрів регресійних залежностей за умови негаусового характеру їх помилок.

Дисертаційне дослідження містить у собі наступні **наукові положення, розроблені особисто дисертантом:**

– *вперше розроблено* методи адаптивного поліноміального оцінювання параметрів регресії, які за рахунок використання удосконалених моделей регресійних залежностей в умовах апріорної невизначеності щодо ймовірнісного характеру негаусових регресійних помилок дозволяють підвищити точність оцінок параметрів регресії;

– *удосконалено* моделі регресійних залежностей на основі використання статистик вищих порядків для опису їх випадкової складової, що дозволяє реалізаційно просто враховувати негаусовість статистичних даних;

– *набули подальшого розвитку* елементи теорії оцінювання параметрів регресії з використанням методу максимізації полінома, що дозволяє отримувати субефективні, адаптивні і компромісні з точки зору практичної реалізації рішення з оцінювання інформативних параметрів регресії за негаусового характеру випадкових помилок.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються.

Наукові положення, висновки та рекомендації роботи обґрунтовано достатньою мірою. Обґрунтованість отриманих теоретичних результатів дисертації базується на використанні апарату теорії ймовірності та математичної статистики, регресійного аналізу, теорії адаптивних систем, методів статистичного оцінювання і обчислювальної математики, а також методів побудови комп'ютерних засобів моделювання.

Для підтвердження висунутих наукових положень здобувачем виконано дослідні випробування на основі розроблених програмних моделей із застосуванням методів отримання адаптивних оцінок інформативних параметрів регресійних залежностей за асиметричного та симетричного характеру їх випадкових помилок. Показано, що застосування запропонованого підходу забезпечує зменшення дисперсії поліноміальних оцінок, порівняно із відомими оцінками методу найменших квадратів, а зростання точності досягається завдяки врахуванню негаусовості регресійних помилок.

Рівень теоретичної підготовки здобувача. Дисертантом виконано змістовне дослідження предметної області, розглянуто основні методи та засоби оцінювання параметрів регресії. На основі опрацювання значної кількості літературних джерел, наукових публікацій, патентного пошуку автором роботи в максимальній мірі враховано наукові досягнення в обраному напрямку досліджень. Отримані результати свідчать про ґрунтовні теоретичні знання дисертанта в області теорії ймовірності і математичної статистики, математичного та комп'ютерного моделювання.

Повнота викладу матеріалів дисертації. За матеріалами дисертаційного дослідження опубліковано 8 наукових праць, у тому числі: 1 статтю в фаховому виданні України (категорія А, індексовано в Scopus), 2 публікації в зарубіжних наукових періодичних виданнях, індексовано в Scopus), 5 тез доповідей у матеріалах наукових конференцій. Повний перелік публікацій:

[1] Zabolotnii, S., Warsza, Z. L., & Tkachenko, O. (2018). Polynomial Estimation of Linear Regression Parameters for the Asymmetric PDF of Errors. Automation 2018. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 743, 758–772. doi:10.1007/978-3-319-77179-3_75 (**Scopus**)

[2] Zabolotnii, S. W., Warsza, Z. L., & Tkachenko, O. (2020). Estimation of Linear Regression Parameters of Symmetric Non-Gaussian Errors by Polynomial Maximization Method. Automation 2019. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 920, 636–649. doi:10.1007/978-3-030-13273-6_59 (**Scopus**)

[3] Zabolotnii, S., Khotunov, V., Cherynoha, A., & Tkachenko, O. (2021). Estimating parameters of linear regression with an exponential power distribution of errors by using a polynomial maximization method . *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(4 (109), 64–73. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225525> (**фахове видання, категорія «А», Scopus**)

[4] Заболотній С. В. Поліноміальні адаптивні процедури регресійного аналізу із використанням моделей негаусових помилок на основі статистик вищих порядків/ С.В.Заболотній, О.М.Ткаченко // Тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції «Обчислювальний інтелект

(результати, проблеми, перспективи) – 2017» (ComInt – 2017): Київ, 16-18 травня 2017 р. – К: КНУ ім. Т.Шевченка, – 2017. С. 113-114

[5] Заболотній С. В. Застосування методу максимізації поліному для оцінювання параметрів однофакторної лінійної регресії при негаусовому розподілі помилок / С.В. Заболотній, Ткаченко О.М. // Тези доповідей VI Міжнародної науково-практичної конференції "Обробка сигналів і негаусівських процесів – 2017" (ОСНП-2017): Черкаси, 24-26 травня 2017 р. – Черкаси: ЧДТУ, – 2017. С. 74-76.

[6] Заболотній С.В. Аналіз ефективності поліноміальних оцінок параметрів лінійної регресії при симетричному розподілі негаусових помилок / С.В. Заболотній, М.П. Рудь , О.М. Ткаченко // Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання, 14-16 листопада 2017: Тези доповідей 8-ма міжнародна н/т конф. – Івано-Франківськ, 2017. – С.130-131.

[7] Заболотній С.В. Особливості поліноміального оцінювання параметрів регресії при негаусовому симетричному розподілі помилок / С.В Заболотній, М.П. Рудь, О.М. Ткаченко // Автоматика та комп'ютерно-інтегровані технології у промисловості, телекомунікаціях, енергетиці та транспорті, 16-17 листопада 2017: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції. – Кропивницький, 2017. – С.177-179

[8] Заболотній С.В., Рудь М.П., Ткаченко О.М. Застосування методу максимізації поліному для оцінювання параметрів нелінійних регресійних моделей // Праці VII Міжнародної науково-практичної конференції «Обробка сигналів і негаусівських процесів», присвяченої пам'яті професора Ю.П. Кунченка: Тези доповідей. [Електронний ресурс]. – Черкаси: ЧДТУ, 2019, С. 76-79.

Результати аналізу роботи, в тому числі за допомогою перевірки тексту дисертації з використанням Системи виявлення текстових збігів, свідчить про відповідність дисертації принципам академічної доброчесності.

Апробація основних положень дисертаційного дослідження відбувалась на наступних наукових конференціях:

- «Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи) – 2017» (ComInt-2017, Київ);
- «Обробка сигналів і негаусівських процесів» (ОСНП-2017, ОСНП-2019 Черкаси);
- «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання» (Івано-Франківськ, 2017);
- «Автоматика та комп'ютерно-інтегровані технології у промисловості, телекомунікаціях, енергетиці та транспорті» (Кропивницький, 2017);
- «Advances in Automation, Robotics and Measurement Techniques» (Automation 2018, Warszawa, Poland);
- Progress in Automation, Robotics and Measurement Techniques (Automation 2019, Warszawa, Poland).

Результати дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес в спецкурсі «Теорія нелінійної статистичної радіотехніки», який викладається в Черкаському державному технологічному університеті.

Оцінка мови та стилю дисертації. Дисертацію написано грамотно, а стиль викладу в ній матеріалів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує легкість і доступність їх сприйняття.

Відповідність змісту дисертації освітньо-науковій програмі. Зміст дисертації повністю відповідає спеціальності 122 – Комп'ютерні науки, освітньо-науковій програмі «Математичне та комп'ютерне моделювання».

Рекомендація дисертації до захисту. Дисертація Ткаченка О.М. на тему «Поліноміальні методи та засоби оцінювання параметрів регресії з використанням моделей негаусових помилок» для здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки рекомендується до захисту в разовій спеціалізованій вченій раді.

Висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Ткаченка О.М. сформовано за результатами проведення фахового семінару на кафедрі радіотехніки, телекомунікаційних і робототехнічних систем Черкаського державного технологічного університету 08.04.2021 р. На засіданні фахового семінару були присутні: д.т.н., професор Ситник О.О., д.т.н., професор Палагін В.В., к.т.н., доцент Гончаров А.В., к.т.н., доцент Воробкало Т.В., д.т.н., професор Фауре Е.В., к.ф.м., доцент Мартиненко С.С., к.т.н., доцент Лелеко С.А., старший викладач Клопотовський П.А., к.т.н., доцент Івченко О.В., д.т.н., професор Тесля Ю.М. Рішення про рекомендацію дисертації до захисту підтримано 10 особами з 10 присутніх на семінарі.

Рецензенти:

Проректор з науково-дослідної роботи
та міжнародних зв'язків,
професор кафедри інформаційної безпеки
та комп'ютерної інженерії
Черкаського державного
технологічного університету,
д.т.н., професор

Завідувач кафедри
електротехнічних систем
Черкаського державного
технологічного університету,
д.т.н., професор



Підпис *Фауре Е.В.*
засвідчую
Відділ кадрів

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ
УКРАЇНИ
Черкаський державний технологічний університет
Відділ кадрів

Е.В. Фауре



Підпис *Ситника О.О.*
засвідчую
Відділ кадрів

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ
УКРАЇНИ
Черкаський державний технологічний університет
Відділ кадрів

О.О. Ситник