

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з наукових робіт
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка

проф. ЗКілінська О.І.

«04» червня 2026 р.

ВИСНОВОК

Київського національного університету імені Тараса Шевченка щодо дисертації Галушко Олександра Ігоровича на тему: «Математичні методи аналізу та прогнозування функції шлунково-стравохідного з'єднання», поданої на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 11 «Математика та статистика» за спеціальністю 113 «Прикладна математика»

Витяг

з протоколу № 16 засідання кафедри теоретичної та прикладної механіки від «1» червня 2026 року

Присутні: Головуюча на засіданні – декан механіко-математичного факультету КНУ імені Тараса Шевченка, д.ф.-м.н., проф. Безущак О.О.; д.ф.-м.н., проф. Маципура В.Т.; зав. кафедри, чл.-кор. НАН України, д.ф.-м.н., проф. Жук Я.О.; к.ф.-м.н., доц. Харитонов О.М.; д.ф.-м.н., проф. Пашко А.О., к.ф.-м.н., доц. Улітко І.А.; к.ф.-м.н., доц. Зражевський Г.М.; к.ф.-м.н., доц. Борисейко О.В.; к.ф.-м.н., доц. Лебедєва І.В.; к.ф.-м.н., асист. Клімчук Т.В.; зав. НДС «МСХП», к.ф.-м.н. Мельниченко М.М.; інж. II кат., к.ф.-м.н. Горошко І.О.; пр.математик Пучко Н.П.; пр.інж. Завалюєв Г.В.; пр.інж. Кір'єв А.М.; пр.інж. Яковенко К.І.; інж. I кат. Полішко К.В.; технік I кат. Витриховський А.П.; асп. Галушко О.І.

Серед присутніх 4 доктори фізико-математичних наук, 8 кандидатів фізико-математичних наук.

Порядок денний:

1. Обговорення дисертаційного дослідження аспіранта кафедри теоретичної та прикладної механіки механіко-математичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка Галушка Олександра Ігоровича на тему: «Математичні методи аналізу та прогнозування функції шлунково-стравохідного з'єднання», поданого на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 11 «Математика та статистика» за спеціальністю 113 «Прикладна математика», щодо його рекомендації для попереднього розгляду та захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

Науковий керівник – член-кореспондент НАН України, завідувач кафедри теоретичної та прикладної механіки механіко-математичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка, доктор фізико-математичних наук, професор Жук Ярослав Олександрович.

Дисертаційна робота виконувалася на кафедрі математики, статистики та інформаційних технологій факультету математики, природничих наук та технологій Центральноукраїнського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка та на кафедрі теорії ймовірностей, статистики та актуарної математики механіко-математичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Тема дисертаційного дослідження затверджена на засіданні Вченої ради факультету математики, природничих наук та технологій Центральноукраїнського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка (протокол № 4 від 26 вересня 2022 року). Уточнену редакцію теми дисертаційного дослідження затверджено на засіданні Вченої ради механіко-математичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка (протокол № 2 від 11 вересня 2025 року).

СЛУХАЛИ:

Доповідь здобувача ступеня доктора філософії Галушка О. І. за матеріалами дисертації на тему «Математичні методи аналізу та прогнозування функції шлунково-стравохідного з'єднання», поданої на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 11 «Математика та статистика» за спеціальністю 113 «Прикладна математика».

Галушко Олександр Ігорович представив презентацію за матеріалами дисертації.

Доповідач обґрунтував актуальність обраної теми, сформулював мету і завдання дослідження, його наукову новизну та практичну значущість, охарактеризував об'єкт та предмет дослідження, розповів про структуру і зміст роботи, її основні результати, методи їх отримання та висновки, що виносяться на захист.

ВИСТУПИЛИ:

Після закінчення презентації Галушка О. І. присутніми на фаховому семінарі були поставлені такі запитання:

К.ф.-м.н., доц. Лебедєва І. В.: На рисунку 3.3 що таке псевдоімовірності?
Галушко О. І.: Псевдоімовірність – узагальнена міра ступеня належності об'єкта до певного стану або класу, яка формально інтерпретується як ймовірність, але не обов'язково задовольняє класичні аксіоми теорії ймовірностей. Тобто неповне виконання умов, за яких застосовується імовірносний підхід. Псевдоімовірність доцільна в задачах медико-математичного моделювання за умов неповноти даних, латентності змінних або

відсутності строгого стохастичного механізму, забезпечуючи порівняльну та інтерпретовану кількісну оцінку станів».

Д.ф.-м.н., проф., зав. каф. теоретичної та прикладної механіки Жук Я. О.: Як ви розумієте, що таке логістична регресія?

Галушко О. І.: Логістична регресія використовується як метод бінарного та багатокатегоріального моделювання для встановлення залежності між вектором кількісних і якісних предикторів та ймовірністю належності об'єкта до певного функціонального або патологічного стану. Логістична регресія застосовується для оцінювання внеску окремих морфометричних і клінічних факторів, побудови прогностичних критеріїв та формалізації меж переходу між нормою, прикордонним станом і патологією.

Д.ф.-м.н., проф., зав. каф. теоретичної та прикладної механіки Жук Я. О.: В чому полягає поправка Фірта?

Галушко О. І.: Поправка Фірта застосовується в логістичній регресії як метод усунення зміщення оцінок параметрів максимальної правдоподібності за умов малих вибірок, рідкісних подій або квазіповної сепарації даних. Вона реалізується шляхом пеналізації лог-правдоподібності та забезпечує скінченність і стабільність оцінок коефіцієнтів, запобігаючи їх розбіганню до нескінченності.

Д.ф.-м.н., проф., зав. каф. теоретичної та прикладної механіки Жук Я. О.: Ви застосовуєте предиктори у вашому дисертаційному дослідженні, наприклад осиплість голосу та інші, чи можливо застосовувати інші предиктори не з вибраних Вами? Чи вибирали ці предиктори з якихось міркувань? Чи ці предиктори найлегше визначити?

Галушко О. І.: Такі ознаки, як осиплість голосу та інші симптомні показники, включалися з огляду на їхній патофізіологічний зв'язок зі станом шлунково-стравохідного з'єднання, а також з урахуванням вимог інструкцій до імплантованих пристроїв, частоти фіксації в клінічній практиці та низької суб'єктивної варіабельності. У дисертаційному дослідженні предиктори розглядалися не як вичерпний перелік, а як репрезентативна підмножина, що забезпечує клінічну інтерпретованість, відтворюваність і статистичну інформативність. Залучення інших предикторів є методологічно допустимим за умови їх кількісного кодування, відсутності лінійної залежності від уже включених змінних та наявності додаткового внеску в пояснювальну або прогностичну здатність моделі. Отже, вибір предикторів визначався не простотою їх отримання, а оптимальним балансом між клінічною значущістю, доступністю вимірювання та математичною стабільністю моделей.

Д.ф.-м.н., проф., зав. каф. теоретичної та прикладної механіки Жук Я. О.: Ви використовували стандартну і нестандартну логістичну регресію у вашому дисертаційному дослідженні, в чому полягає нестандартна логістична регресія? Чи є це Вашим винаходом у межах цієї моделі? Чи ця нестандартна логістична регресія використовується у науковому медичному загалі?

Галушко О. І.: У дисертаційному дослідженні нестандартна логістична регресія розглядається як узагальнення класичної логістичної моделі, що включає використання пеналізованих оцінок параметрів, модифіковану

структуру предикторів, інтеракційні та агреговані змінні, а також інтерпретацію виходу як псевдоімовірності прикордонних станів. Вона не є авторським винаходом як нового математичного методу, а становить адаптацію та комбінування відомих статистичних підходів до специфіки медико-математичної задачі з обмеженою вибіркою та латентними змінними. Подібні підходи широко застосовуються в сучасних медичних дослідженнях для моделювання ризику, стратифікації пацієнтів і роботи з рідкісними подіями, однак у дисертації вони інтегровані в єдину модельну схему та використані цілеспрямовано для формалізації функціональних і патологічних станів шлунково-стравохідного з'єднання.

Д.ф.-м.н., проф., зав. каф. теоретичної та прикладної механіки Жук Я. О.: Ви використовували 3 незалежних між собою фактори у вашому дисертаційному дослідженні, чи можна внести ще додатковий фактор?

Галушко О. І.: Так, додатковий фактор можна ввести, але лише за умови, що він є статистично та змістовно обґрунтованим і не руйнує ідентифікованість моделі. Якщо три фактори визначені як незалежні, це означає, що вони інтерпретуються як ортогональні (некорельовані) латентні компоненти; тоді четвертий фактор має відповідати критеріям виділення у факторному аналізі (наявність власного значення та приросту поясненої дисперсії), бути стабільним при перевірці на різних підвибірках і мати чітку клініко-математичну інтерпретацію. Додавання фактора виправдане лише тоді, коли воно дає відчутний приріст прогностичної якості (наприклад, покращує калібрування або дискримінацію логістичної або нейромережевої моделі) і не збільшує мультиколінеарність чи ризик перенавчання; інакше оптимальним залишається мінімально достатній набір із трьох факторів.

Д.ф.-м.н., проф., зав. каф. теоретичної та прикладної механіки Жук Я. О.: скільки рівнів шарів у нейромережі прогнозування рівня ризику імплантації?

Галушко О. І.: У нейромережі прогнозування рівня ризику імплантації використовується три рівні. Вхідний шар із 50-ти значень змінних. Прихований шар: один шар із 7 нейронів, активаційна функція - гіперболічний тангенс. Вихідний шар: 5 нейронів (по одному для кожної групи ризику), активаційна функція – Softmax

Д.ф.-м.н., проф., зав. каф. теоретичної та прикладної механіки Жук Я. О.: У вашому дисертаційному дослідженні використовується 16 вхідних параметрів. Чи можливе побудування моделі не з трьома узагальненими факторами, а з 16 факторами, розглядаючи кожен із цих параметрів як окремий фактор, і які методологічні обмеження при цьому виникають?

Галушко О. І.: Так, модель із 16 окремими факторами формально можлива, однак вона методологічно менш стабільна. Такий підхід збільшує розмірність, підвищує ризик перенавчання та нестійкості оцінок і ускладнює інтерпретацію через кореляції між параметрами.

К.ф.-м.н., доц. Зражевський Г. М.: Чи передбачає ваше дисертаційне дослідження розроблення програмного інструменту, в якому лікар вводить

клінічні та морфометричні показники, а на виході отримує формалізований результат щодо показань і протипоказань до втручання?

Галушко О. І.: Дисертаційне дослідження не передбачає розроблення окремого програмного продукту як завершеного медичного виробу, однак формує повністю формалізований математичний алгоритм, придатний для програмної реалізації. Запропоновані логістичні та нейромережеві моделі задають однозначне відображення від вхідних клінічних і морфометричних параметрів до кількісної оцінки ризику та рівня показань або протипоказань до втручання. Таким чином, результати роботи можуть слугувати теоретичною та алгоритмічною основою для створення прикладного програмного інструменту клінічної підтримки прийняття рішень.

К.ф.-м.н., доц. Улітко І. А.: Чи відповідають 50 нейронів вхідного шару компонентам вектора вхідних сигналів у трирівневій моделі?

Галушко О. І.: Так, у трирівневій нейромережевій моделі 50 нейронів вхідного шару безпосередньо відповідають компонентам вектора вхідних сигналів. Кожен нейрон приймає одне нормалізоване значення предиктора та передає його далі без нелінійного перетворення, забезпечуючи коректне подання багатовимірного простору ознак. Така структура дозволяє зберегти інформаційну повноту вхідних даних і створює основу для подальшого нелінійного узагальнення на прихованому та вихідному шарах.

К.ф.-м.н., доц. Улітко І. А.: Скільки цільових функцій використовується в нейромережевій моделі прогнозування рівня ризику імплантації?

Галушко О. І.: У нейромережевій моделі прогнозування рівня ризику імплантації використовується одна цільова функція, яка мінімізує різницю між прогнозованим значенням ризику та еталонною міткою і забезпечує узгоджене навчання всієї мережі.

К.ф.-м.н., доц. Улітко І. А.: Чи була продемонстрована нейромережева модель розроблена вами самостійно?

Галушко О. І.: Нейромережева модель не створювалася як власна програмна реалізація з нуля, а була побудована з використанням готових програмних засобів, що реалізують стандартні алгоритми багатошарових перцептронів. Авторський внесок полягає у виборі архітектури мережі, формуванні вхідних параметрів, налаштуванні цільової функції та інтерпретації результатів у межах прикладної у межах прикладної задачі кількісного аналізу клінічних даних. Для реалізації моделі, а також для попередньої статистичної обробки даних, відбору предикторів і факторного аналізу використовувалося програмне середовище IBM SPSS Statistics з модулем Neural Networks.

К.ф.-м.н., доц. Улітко І. А.: Які вимоги нормування входу сигналу?

Галушко О. І.: Вимоги нормування вхідного сигналу полягають у приведенні всіх вхідних змінних до єдиного масштабу з метою забезпечення числової стабільності та коректного навчання нейромережі. Нормування виконується шляхом лінійного масштабування або стандартизації так, щоб значення ознак знаходилися в обмеженому інтервалі або мали нульове середнє та одиничну дисперсію. Обов'язковими є усунення впливу одиниць вимірювання, зменшення домінування окремих змінних і збереження відносної

структури даних, що гарантує адекватний вклад кожного вхідного сигналу у формування вихідної відповіді.

Д.ф.-м.н., проф. Маципура В. Т.: Чи є обсяг вибірки достатнім для застосованих методів статистичного аналізу?

Галушко О. І.: Так, вибірка була достатньою для проведення застосованого статистичного аналізу, оскільки її обсяг узгоджувався з кількістю предикторів і параметрів моделей. Дослідження включало 558 пацієнтів, при цьому фактична кількість спостережень була приблизно вдвічі більшою, оскільки оцінювання виконувалося у двох часових точках — до та після лікування. Таке співвідношення кількості спостережень до числа оцінюваних параметрів забезпечувало стійкість логістичної та нейромережевої моделей, а використання факторної редукції й пеналізованих методів оцінювання додатково зменшувало ризик перенавчання та зміщених оцінок.

Після відповідей на поставлені запитання було заслухано висновок наукового керівника — **члена-кореспондента НАН України, завідувача кафедри теоретичної та прикладної механіки механіко-математичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка, доктора фізико-математичних наук, професора Жука Ярослава Олександровича.**

У висновку зазначено, що Галушко О. І. успішно виконав індивідуальний план наукової роботи та індивідуальний навчальний план за науково-освітньою програмою «Прикладна математика» за спеціальністю 113 «Прикладна математика» в галузі знань 11 «Математика та статистика» у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка, а дисертація «Математичні методи аналізу та прогнозування функції шлунково-стравохідного з'єднання» містить нові науково обґрунтовані результати, є самостійним, послідовним й науково цінним дослідженням, яке може бути рекомендоване до захисту.

Патології шлунково-стравохідного з'єднання є поширеними захворюваннями травної системи та характеризуються складною взаємодією клінічних, морфометричних і функціональних чинників. Визначення показань до застосування діагностичних або терапевтичних імплантованих пристроїв потребує комплексного аналізу значної кількості параметрів, що зумовлює необхідність використання методів математичного моделювання та статистичного аналізу для формалізації клінічних рішень.

Для дослідження цієї складної багатфакторної системи у дисертаційній роботі застосовано підхід, що ґрунтується на використанні сучасних методів прикладної математики, зокрема математичної статистики, логістичної регресії, факторного аналізу та нейромережевого моделювання. На основі клінічних, ендоскопічних і морфометричних показників пацієнтів було сформовано систему інформативних предикторів, які дозволяють здійснювати кількісну оцінку функціонального стану шлунково-стравохідного з'єднання та прогнозувати показання до імплантації діагностичних пристроїв.

У роботі побудовано прогностичні моделі, що дозволяють здійснювати стратифікацію пацієнтів за рівнями ризику на основі клінічних даних. Проведено факторний аналіз, який дав змогу виділити латентні клінічні

фактори та зменшити розмірність задачі без втрати інформативності. На основі цих факторів побудовано модель категоріальної регресії для прогнозування рівня ризику імплантації. Крім того, розроблено нейромережеву модель типу багатошарового перцептрона, яка дозволяє виявляти складні нелінійні взаємозв'язки між клінічними параметрами та забезпечує високу точність класифікації пацієнтів за групами ризику.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у розробленні математичних моделей аналізу та прогнозування функціонального стану шлунково-стравохідного з'єднання на основі комплексного використання статистичних методів і алгоритмів машинного навчання, що дозволяє підвищити об'єктивність клінічних рішень та забезпечити багаторівневу стратифікацію ризику патологічних станів.

Галушко О. І. провів глибокий аналіз обраної теми, продемонструвавши обізнаність як із математичними методами моделювання, так і з клінічними аспектами досліджуваної проблеми. Представлені результати свідчать про вміння здобувача застосовувати сучасні методи прикладної математики до розв'язання складних міждисциплінарних задач.

Проведене дослідження характеризується єдністю змісту та є результатом особистої роботи здобувача. Основні наукові результати дисертації опубліковані у наукових статтях та апробовані на міжнародних і всеукраїнських наукових конференціях.

Дисертація відповідає вимогам щодо академічної доброчесності.

За період навчання в аспірантурі Галушко О. І. проявив наполегливість у науковій роботі, аналітичне мислення та здатність до самостійного розв'язання складних наукових задач. Здобувач володіє необхідними якостями дослідника та має значний потенціал для подальшої наукової діяльності.

Загалом дисертація на тему «Математичні методи аналізу та прогнозування функції шлунково-стравохідного з'єднання» відповідає вимогам п. 10 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №167 від 06 березня 2019 року, виконана на високому фаховому рівні, а її автор Галушко Олександр Ігорович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 «Прикладна математика».

Після цього слово було надано **рецензентам** дисертаційної роботи.

Доктор фізико-математичних наук, професор Пашко А. О. зазначив, що дисертаційна робота є системно побудованим і чітко структурованим науковим дослідженням, присвяченим актуальній науково-прикладній задачі математичного аналізу та прогнозування функціонального стану шлунково-стравохідного з'єднання на основі клінічних, ендоскопічних і морфометричних даних. Автором продемонстровано комплексний підхід до дослідження особливостей функціонування шлунково-стравохідного з'єднання із застосуванням сучасних методів математичної статистики, регресійного аналізу та нейромережевого моделювання.

Зокрема, у роботі проведено статистичний аналіз великої вибірки клінічних та ендоскопічних даних, встановлено взаємозв'язки між морфометричними характеристиками шлунково-стравохідного з'єднання та клінічними проявами патології, розроблено математичні моделі прогнозування ризику розвитку патологічних змін, а також запропоновано підходи до стратифікації пацієнтів за рівнем ризику. Варто підкреслити, що отримані результати поєднують фундаментальні методи прикладної математики з практичними потребами сучасної медицини та можуть бути використані для підтримки прийняття клінічних рішень.

Наукова новизна роботи полягає у розробленні математичних методів аналізу функції шлунково-стравохідного з'єднання, побудові інтегрованих прогностичних моделей на основі клінічних та ендоскопічних показників, а також у формуванні математичних критеріїв оцінювання ризику розвитку патологічних станів. Отримані в дисертації результати розширюють можливості застосування методів математичного моделювання та аналізу даних у медичних дослідженнях.

Проведене дослідження становить значний інтерес як для фахівців у галузі прикладної математики та математичного моделювання, так і для науковців і практичних лікарів, які займаються питаннями діагностики та прогнозування захворювань шлунково-кишкового тракту.

Основні положення дисертаційної роботи опубліковано у 5 наукових працях, серед яких статті у фахових виданнях України та виданнях, що індексуються міжнародними наукометричними базами даних Scopus.

Представлена дисертаційна робота Галушка О. І. «Математичні методи аналізу та прогнозування функції шлунково-стравохідного з'єднання» є цілісним та актуальним науковим дослідженням і цілком відповідає 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 від 12 січня 2022 р. № 44 (зі змінами), і може бути рекомендована до разової спеціалізованої вченої ради для захисту на здобуття ступеня доктора філософії у галузі знань 11 «Математика та статистика» за спеціальністю 113 «Прикладна математика».

Кандидат фізико-математичних наук, доцент Яневич Т. О. підкреслила, що дисертаційна робота Галушка Олександра Ігоровича присвячена актуальній міждисциплінарній проблемі застосування математичних методів для аналізу та прогнозування функції шлунково-стравохідного з'єднання. Особливої актуальності дослідженню надає поєднання сучасних підходів математичного моделювання, аналізу даних та машинного навчання з практичними потребами клінічної медицини, що сприяє підвищенню об'єктивності діагностичного процесу та ефективності прийняття клінічних рішень.

Робота характеризується цілісністю та комплексним підходом до розв'язання поставлених задач. Автором проведено ґрунтовний аналіз клінічних, ендоскопічних і морфометричних даних, досліджено взаємозв'язки між показниками функціонального стану шлунково-стравохідного з'єднання та побудовано математичні моделі прогнозування ризику розвитку патологічних змін. Використання методів математичної статистики, факторного аналізу, логістичної регресії та нейромережевого моделювання дозволило отримати результати, що мають як теоретичне, так і практичне значення.

Особливу увагу заслуговує розроблення математичних моделей стратифікації пацієнтів за рівнем ризику та формування інтегрованих прогностичних критеріїв, які можуть бути використані при створенні систем підтримки прийняття клінічних рішень. Отримані результати демонструють перспективність застосування сучасних математичних методів для розв'язання актуальних задач медичної діагностики та прогнозування.

У дисертаційному дослідженні Галушко О.І вдало поєднує класичні статистичні підходи із сучасними методами аналізу даних та машинного навчання. Використання зазначених математичних методів свідчить про високий рівень наукової підготовки здобувача, його здатність працювати з великими масивами даних та застосовувати сучасний математичний апарат для розв'язання складних прикладних задач.

За актуальністю теми, обсягом виконаних досліджень, науковою новизною, теоретичним і практичним значенням отриманих результатів дисертаційна робота Галушка О. І. «Математичні методи аналізу та прогнозування функції шлунково-стравохідного з'єднання» відповідає 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 від 12 січня 2022 р. № 44 (зі змінами), і може бути рекомендована до захисту в разовій спеціалізованій вченій раді на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 11 «Математика та статистика» за спеціальністю 113 «Прикладна математика».

В обговоренні дисертаційного дослідження взяли участь:

доктор фіз.-мат. наук, професор Маципура В. Т.: підсумовуючи виступи рецензентів, можемо дійти до висновку, що робота є, вона добре теоретично побудована, все викладено логічно, отримано достатньо наукових результатів. Отже, рівень роботи є досить високий.

доктор фіз.-мат. наук, професор Жук Я. О.: постановка задачі дисертаційного дослідження знаходиться в руслі сучасних задач прикладної математики, пов'язаних із застосуванням методів математичного моделювання та статистичного аналізу для дослідження біомедичних систем. У роботі розглянуто актуальну проблему формалізації оцінювання функціонального стану шлунково-стравохідного з'єднання та прогнозування показань до імплантації діагностичних пристроїв на основі клінічних і морфометричних даних. Отримані результати свідчать про вміння дисертанта застосовувати

сучасні методи математичного моделювання та статистичного аналізу до розв'язання міждисциплінарних задач. А щодо Галушка О. І., то зараз ми бачимо перед собою дисертанта, що зробив великий крок вперед з подальшими науковими перспективами. Ми бачимо, що матеріалом Галушко О. І. володіє достатньо глибоко, а усі результати він отримав самостійно.

кандидат фіз.-мат. наук, доцент Зражевський Г. М.: дослідження математичних методів аналізу та прогнозування функції шлунково-стравохідного з'єднання є актуальним і перспективним напрямом сучасної прикладної математики, особливо з огляду на необхідність формалізації складних клінічних процесів та використання методів математичного моделювання і машинного навчання для підтримки прийняття медичних рішень. Отримані у роботі результати мають наукове та практичне значення, а застосування сучасних статистичних та нейромережових методів свідчить про перспективність подальшого розвитку даного напрямку досліджень. Вважаю, що дисертація Галушка О. І. на тему «Математичні методи аналізу та прогнозування функції шлунково-стравохідного з'єднання» може бути рекомендована до разової спеціалізованої вченої ради для попереднього розгляду і захисту на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 «Прикладна математика».

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Галушка Олександр Ігоровича на тему: «Математичні методи аналізу та прогнозування функції шлунково-стравохідного з'єднання», поданої на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 11 «Математика та статистика» за спеціальністю 113 «Прикладна математика»

Обґрунтування вибору теми дослідження.

У дисертаційній роботі основну увагу зосереджено на побудові та аналізі прикладно-математичних моделей і алгоритмів для формалізації, аналізу та прогнозування станів складних реальних систем у багатовимірному просторі параметрів, статистичної невизначеності, нелінійності взаємозв'язків і неможливості прямого експериментального відтворення. У таких системах математичне дослідження спрямоване не на аналіз окремих змінних, а на побудову узгодженого процесу перетворення багатовимірних даних у формалізовану функцію прийняття рішення, реалізовану у вигляді моделі або алгоритму. До класу таких складних систем належить шлунково-стравохідне з'єднання, функціональний стан якого визначається взаємодією анатомічних структур, морфометричних характеристик, ендоскопічних ознак і функціональних параметрів. Сучасна ендоскопія демонструє значний прогрес у методах діагностики цього сегмента, однак водночас детермінує нову методологічну проблему: зростання обсягу та складності діагностичних даних не супроводжується адекватною математичною формалізацією процесу прийняття клінічних рішень.

Вибір теми дисертаційного дослідження зумовлений саме цією суперечністю між високим рівнем інструментальної деталізації стану шлунково-стравохідного з'єднання та відсутністю єдиного формалізованого, відтворюваного і математично обґрунтованого алгоритму оцінювання ризику та визначення показань до імплантаційних ендоскопічних втручань. У сучасній клінічній практиці рішення ґрунтується на поєднанні окремих морфологічних і функціональних ознак, консенсусних рекомендацій та експертного досвіду, що робить його істотно варіабельним і складним для стандартизації. Функціональні порушення шлунково-стравохідного з'єднання мають багатопараметричну природу. Задача їх ідентифікації та стратифікації з математичної точки зору зводиться до аналізу вектора кількісних і категоріальних ознак у багатовимірному просторі, для якого не існує явних одновимірних порогових критеріїв. Одна й та сама ознака може мати різну діагностичну або прогностичну значущість залежно від поєднання з іншими параметрами, що підтверджується сучасними підходами до діагностики гастроезофагеальної рефлюксної хвороби. Анатомо-фізіологічні дослідження шлунково-стравохідного з'єднання демонструють складність діафрагмальних структур, кардіальної зони та сфінктерних механізмів, що формують функцію цього сегмента як цілісної системи. Така системність означає, що

функціональний стан не може бути адекватно описаний окремими ізольованими параметрами, а потребує аналізу узгодженої сукупності ознак.

Особливої уваги потребує феномен пролабування слизової оболонки шлунка. У клінічній літературі він розглядається як синдром або як потенційний предиктор патологічного кислотного рефлюксу, проте його параметризація залишається неоднозначною, що ускладнює включення цього феномена в формалізовані алгоритми оцінки ризику. Сучасні ендоскопічні дослідження слизової шлунково-стравохідного з'єднання забезпечують високий рівень деталізації діагностичних даних, однак потребують математичного узагальнення для переходу від детального морфологічного опису до формалізованого клінічного рішення. Аналогічно, методи інструментальної діагностики моторних порушень і стандартизовані процедури езофагогастродуоденоскопії генерують структуровані масиви даних, які не можуть бути адекватно інтерпретовані без статистичного та модельованого опрацювання.

Додатковою складністю є істотна міжіндивідуальна варіативність клінічних і ендоскопічних ознак, а також залежність їх діагностичної ваги від модифікуючих факторів, зокрема статі. Це робить некоректним застосування фіксованих порогових значень і підсилює необхідність аналізу в багатовимірному просторі ознак. Стандартизовані класифікаційні схеми забезпечують відтворюваність опису, однак не задають універсального математичного відображення, яке переводило б вектор параметрів у кількісну функцію ризику або формалізоване правило прийняття рішення.

Методологічний апарат прикладної математичної статистики є ключовим для формування емпіричного етапу дослідження. Тому описова статистика, перевірка гіпотез, аналіз асоціацій, непараметричні процедури та контроль множинних порівнянь дозволяють сформувати статистично узгоджений простір параметрів, у межах якого можливе коректне подальше моделювання. Для багатовимірних медичних даних зі змішаними типами змінних обґрунтованим є застосування методів кластеризації та високовимірної статистики з метою виявлення структурних профілів функціонального стану.

Перехід від опису до прогнозування потребує формалізованих моделей прийняття рішення. Логістична регресія є методологічно усталеним інструментом для моделювання бінарних клінічних результатів, проте в умовах медичних даних із нестабільними оцінками та рідкісними подіями вимагає використання процедур зменшення систематичного зміщення статистичних оцінок, що підвищує статистичну коректність прогнозу. Методи факторного аналізу забезпечують зменшення розмірності та перехід до латентних компонентів як до математично стійкого представлення механізмів функціонування системи, а категоріальна регресія дозволяє коректно поєднувати числові, порядкові та номінальні змінні.

Складні нелінійні взаємодії між параметрами, характерні для біомедичних систем, обґрунтовують застосування нейромережевих моделей, здатних підвищувати точність прогнозування за умови належної оптимізації та валідації. Дослідження з прогнозування результатів імплантацій додатково

підтверджують релевантність нейромережевого компонента в інтегрованих системах прийняття рішень. Наявність рН-капсульних і мультиканальних діагностичних технологій, що генерують багатовимірні сигнали, та створює необхідність у математичній інтеграції таких даних у прогностичні моделі.

Отже, за наявності розвинених засобів клінічної та інструментальної оцінки стану шлунково-стравохідного з'єднання і широкого впровадження ендоскопічних та імплантаційних технологій, відсутня математично формалізована та алгоритмічно реалізована процедура перетворення багатовимірних даних у стандартизоване рішення щодо показань і рівнів ризику. Таким чином, вибір теми дослідження зумовлений науковою потребою розроблення прикладно-математичного підходу до формалізації процесу прийняття рішень у складних системах на основі багатовимірних даних. Дисертація спрямована на побудову математично узгодженої схеми, у якій простір параметрів, оператори перетворення, функція прийняття рішення та алгоритм утворюють єдиний процес прогнозування. Обрана тематика відповідає сучасним тенденціям розвитку прикладної математики та демонструє її можливості у розв'язанні реальних задач міждисциплінарного характеру.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами. Дисертаційна робота виконана в межах науково-дослідної роботи, присвяченої дослідженню динамічної стійкості матеріалів (номер державної реєстрації 0124U001658), що входить до тематичного плану наукових досліджень за природничо-математичним напрямом відповідно до Порядку проведення державної атестації наукових установ та закладів вищої освіти, затвердженого постановою Кабінет Міністрів України від 19 липня 2017 року № 540.

Робота виконувалася в рамках другого етапу зазначеної НДР, що фінансується за договором № -24БП038-02. Отримані в дисертації результати є складовою частиною даної наукової тематики.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є розроблення та обґрунтування математичних моделей для формалізації та прогнозування показань до імплантації діагностичних пристроїв при патології шлунково-стравохідного з'єднання.

Відповідно до поставленої мети було сформульовано такі завдання:

У відповідності до мети були поставлені наступні **завдання дослідження:**

1. Провести аналіз клінічних і морфометричних показників пацієнтів із патологією шлунково-стравохідного переходу як об'єкта математичної формалізації.

2. Здійснити математико-статистичний аналіз клінічних, морфометричних та ендоскопічних даних пацієнтів з використанням методів описової статистики, перевірки статистичних гіпотез та аналізу зв'язків між змінними.

3. Визначити інформативні предиктори, релевантні для стратифікації пацієнтів за ступенем ризику та ймовірністю необхідності імплантації.

4. Побудувати логістичну регресійну модель для прогнозування показань до імплантації та оцінити її точність і інтерпретованість.

5. Виконати факторний аналіз і сформувати модель категоріальної регресії на основі факторних змінних для багаторівневої стратифікації ризику імплантації.

6. Розробити нейронну мережу прямого поширення для моделювання складних нелінійних взаємозв'язків між клінічними ознаками з метою стратифікації ризику імплантації.

7. Провести порівняння продуктивності, інтерпретованості та стабільності побудованих моделей.

8. Інтегрувати результати у єдиний алгоритм клінічного прийняття рішень та оцінити можливості впровадження моделей у практичний клінічний процес.

Об'єктом дослідження є клінічні, ендоскопічні, морфометричні та функціональні показники пацієнтів із патологією шлунково-стравохідного переходу.

Предметом дослідження є методи статистичного аналізу, математичного моделювання та машинного навчання для прогнозування показань до імплантації на основі багатопараметричних клінічних даних.

Методи дослідження. У дисертаційній роботі застосовано комплекс методів прикладної математики, спрямованих на формалізацію, аналіз і прогнозування функціонального стану шлунково-стравохідного з'єднання як багатопараметричної системи. Методичну основу дослідження становить розгляд клінічних, ендоскопічних, морфометричних і функціональних показників у вигляді багатовимірного простору параметрів, що дозволяє використовувати апарат багатовимірного статистичного аналізу та математичного моделювання.

На початковому етапі застосовано методи описової статистики для аналізу розподілів змінних, оцінювання їх центральних тенденцій і варіабельності, а також перевірки статистичних гіпотез щодо характеру розподілів. Для дослідження взаємозв'язків між параметрами використано кореляційний та асоціативний аналіз, що дозволило встановити структуру залежностей у просторі ознак і виявити узгоджені зміни параметрів, пов'язані з формуванням показань до імплантації.

З метою зменшення розмірності простору параметрів і виявлення латентних компонентів, що визначають основні напрями варіації даних, застосовано методи факторного аналізу. Факторизація простору ознак дозволила перейти від первинних змінних до узагальненого представлення функціонального стану системи та зменшити надмірність інформації без втрати її змістовної значущості. Отримані факторні структури використано для подальшого моделювання та стратифікації ризику.

Для формалізації процесу прийняття рішення щодо імплантації застосовано методи імовірнісного моделювання, зокрема логістичну регресію, у межах якої результат подано як імовірність належності стану системи до класу з показаннями до імплантації. Логістична модель забезпечує інтерпретованість

коефіцієнтів і дозволяє оцінювати внесок окремих параметрів у формування прогнозу, що є важливим з огляду на прикладний характер задачі.

Для побудови багаторівневої схеми прогнозування та стратифікації ризику використано факторно-категоріальне моделювання, яке поєднує результати факторного аналізу з методами категоріальної регресії. Такий підхід дозволяє класифікувати функціональні стани системи за рівнями ризику та відобразити структурні відмінності між ними у формалізованому вигляді.

З метою врахування нелінійних взаємодій між параметрами, які не можуть бути адекватно описані лінійними або квазілінійними моделями, у роботі застосовано методи нейромережевого моделювання, зокрема багатосарові нейронні мережі прямого поширення. Для оцінювання узагальнювальної здатності нейромережових моделей використано процедури перехресної перевірки та бутстреп-оцінювання, що дозволяє зменшити ризик перенавчання та підвищити стійкість результатів.

Порівняльний аналіз побудованих моделей здійснено з використанням кількісних критеріїв якості прогнозування, стабільності та інтерпретованості. Це дозволило визначити функціональні ролі окремих моделей у загальній схемі прийняття рішень і обґрунтувати доцільність їх інтеграції. На основі отриманих результатів виконано синтез інтегрованого алгоритму підтримки прийняття рішень, у якому поєднано інтерпретовані статистичні моделі та нелінійні методи прогнозування в єдиній обчислювальній процедурі.

Таким чином, у дисертації використано методи прикладної математики, що охоплюють статистичний аналіз, багатовимірне моделювання, факторизацію даних, імовірнісні та нейромережеві підходи, а також алгоритмічну інтеграцію моделей, що забезпечує формалізований і відтворюваний процес прогнозування та прийняття рішень для задач медичного призначення.

Наукова новизна дослідження. полягає в розробленні математичних методів аналізу та прогнозування функції шлунково-стравохідного з'єднання на основі комплексного використання клінічних, ендоскопічних і морфометричних даних, а також у створенні математично обґрунтованих моделей підтримки прийняття клінічних рішень щодо імплантації діагностичних і терапевтичних пристроїв та базується на таких основних положеннях:

Вперше:

- виконано формалізоване поєднання клінічних, ендоскопічних та морфометричних показників у єдиному багатопараметричному просторі ознак для побудови математичних моделей прогнозування необхідності імплантації діагностичних пристроїв при патології шлунково-стравохідного переходу;
- запропоновано оригінальну структуру факторної моделі стратифікації ризику, яка ґрунтується на виділенні латентних клінічних факторів та забезпечує узагальнення інформації про функціональний стан шлунково-стравохідного з'єднання;
- здійснено комплексне порівняння інтерпретованих статистичних моделей та нейронної мережі типу MLP для прогнозування показань до

імплантації, що дозволило визначити переваги та обмеження кожного підходу в умовах клінічної практики.

Удосконалено:

- методичний підхід до математичного аналізу багатовимірних клінічних даних шляхом поєднання методів факторного аналізу, категоріальної регресії та нейромережевого моделювання;
- підходи до стратифікації пацієнтів за рівнем ризику на основі інтеграції статистичних і алгоритмічних методів обробки медичних даних;
- процес формалізації прийняття клінічних рішень щодо імплантації шляхом переходу від експертної оцінки до математично обґрунтованого прогнозування.

Отримали подальший розвиток:

- математичні підходи до аналізу функціонального стану шлунково-стравохідного з'єднання як складної багатопараметричної системи;
- методи застосування машинного навчання та математичного моделювання для задач прогнозування в медичних інформаційних системах;
- концепція побудови систем підтримки прийняття клінічних рішень на основі інтеграції статистичних моделей та методів штучного інтелекту.

Теоретичне значення. У дисертації сформовано теоретичні засади математичної формалізації функціонального стану шлунково-стравохідного з'єднання на основі клінічних, ендоскопічних і морфометричних показників, що дозволило розглядати процес визначення показань до імплантації як задачу багатовимірною прогнозування.

Отримані автором результати розширюють наукові уявлення щодо можливостей застосування методів математичної статистики, факторного аналізу, категоріальної регресії та нейромережевого моделювання для аналізу медичних даних. Теоретично обґрунтовано підходи до формування інтегрованих прогностичних моделей, які забезпечують перехід від сукупності різномірних клінічних показників до формалізованого алгоритму прийняття рішень.

Наукові положення, висновки та результати дослідження є достатньо обґрунтованими, характеризуються логічною цілісністю та внутрішньою єдністю, підтверджуються результатами математичного моделювання, статистичного аналізу й апробацією отриманих результатів. Дисертація містить нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, які мають істотне значення для розвитку прикладної математики та її застосування в задачах медичного прогнозування і підтримки клінічних рішень. Результати дослідження свідчать про особистий внесок здобувача у розвиток математичних методів аналізу медичних даних та відповідають вимогам до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

Практичне значення:

1. Запропоновані моделі дозволяють стандартизувати процес визначення показань до імплантації пристроїв, зменшуючи суб'єктивність експертної оцінки.

2. Розроблена логістична та факторно-категоріальна моделі можуть бути безпосередньо впроваджені у медичні інформаційні системи на базі SPSS, R або Python.

3. Створена нейронна мережа може використовуватися для автоматизованого скринінгу великих масивів пацієнтів у спеціалізованих центрах.

Інтегрований алгоритм підтримки рішень може служити інструментом клінічного workflow, підвищуючи об'єктивність та персоналізацію лікувальної тактики.

Особистий внесок здобувача. Усі результати, викладені в дисертаційній роботі, отримано здобувачем особисто. Ідея дослідження, постановка задачі, вибір та обґрунтування математичних методів, проведення обчислювальних експериментів, аналіз і узагальнення результатів належать автору дисертації.

Здобувачем самостійно сформульовано прикладно-математичну постановку задачі аналізу та прогнозування функціонального стану шлунково-стравохідного з'єднання як задачі класифікації та прогнозування у багатовимірному просторі параметрів. Автором обґрунтовано доцільність представлення клінічного рішення у вигляді математичної функції, визначеної на основі кількісних морфометричних, ендоскопічних і функціональних ознак.

Особисто здобувачем виконано формалізацію параметрів, проведено статистичний аналіз розподілів і взаємозв'язків між змінними, досліджено кореляційну структуру даних та виділено інформативні предиктори. Автором реалізовано факторний аналіз для зниження розмірності простору ознак і виявлення латентних компонентів, що визначають узгоджені напрями варіації параметрів.

Здобувачем самостійно побудовано та досліджено математичні моделі прогнозування, зокрема логістичну регресійну модель з інтерпретованими коефіцієнтами, факторно-категоріальну модель стратифікації ризику та нейромережеву модель прямого поширення для опису нелінійних залежностей. Автором виконано налаштування моделей, оцінювання їх узагальнювальної здатності та порівняльний аналіз за критеріями точності, стабільності та інтерпретованості.

Інтеграція окремих моделей у єдину алгоритмічну схему підтримки прийняття рішень, формування логіки їх послідовного застосування та узгодження результатів також виконані здобувачем особисто. Автором розроблено алгоритм, що реалізує послідовний перехід від багатовимірного простору параметрів через систему математичних операторів до формалізованого рішення.

У публікаціях, виконаних у співавторстві, здобувачу належить постановка математичної задачі, вибір методів дослідження, реалізація обчислювальних експериментів, інтерпретація результатів і формулювання основних висновків та підготовці матеріалів до публікації. Наукові результати дослідження відображенні в одній публікації із співавтором кандидатом фізико-математичних наук, доцентом кафедри математики, фізики та методик викладання Центральноукраїнського державного університету імені

Володимира Винниченка Ю. В. Гуртовим, який брав участь у клінічному консультуванні та обговоренні результатів дослідження.

Таким чином, особистий внесок здобувача полягає у повному циклі прикладно-математичного дослідження: від постановки задачі та вибору методів до побудови моделей, алгоритмічної реалізації та узагальнення результатів.

Апробація результатів дослідження. Отримані результати дисертаційної роботи обговорювалися та доповідалися на таких міжнародних конференціях:

1. VIII Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми та перспективи сучасної науки і освіти», 9–10 травня 2023 р., Львів, Україна.
2. V International Scientific and Practical Conference «Scientific Research in the Modern World», March 9–11, 2023, Toronto, Canada.
3. VII International Scientific and Practical Conference «Professional Development: Theoretical Basis and Innovative Technologies», February 20–23, 2024, Paris, France.
4. VII International Scientific and Practical Conference «Science in the Modern World: Innovations and Challenges», March 20–22, 2025, Toronto, Canada.
5. VIII International Scientific and Practical Conference «Science and Technology: Challenges, Prospects and Innovations», March 28–30, 2025, Osaka, Japan.
6. XIV Всеукраїнська наукова конференція молодих математиків, 7–8 травня 2026 р., Київ, Україна.
7. XXX Міжнародний молодіжний форум «Радіoeлектроніка та молодь у ХХІ столітті», секція «Системний аналіз, математичне та комп'ютерне моделювання», Харків, 2026 р.

Основні наукові положення та результати дисертаційної роботи впроваджено в практику роботи таких медичних закладів, як-от:

- Комунального некомерційного підприємства «Кіровоградська обласна лікарня Кіровоградської обласної ради» (довідка № 1613/14.05 від 08.04.2026);
- Державної установи «Територіальне медичне об'єднання Міністерства внутрішніх справ України по Кіровоградській області» (довідка № 33/32-579 від 16.04.2026);
- Комунального некомерційного підприємства «Обласний клінічний онкологічний центр Кіровоградської обласної ради» (довідка № 01-07/836 від 06.05.2026).

Публікації. За результатами дисертаційної роботи було опубліковано п'ять статей [1–5]. Статті [2], [3], [5] надруковано у наукових фахових виданнях України категорії «А», що індексуються у наукометричній базі Scopus та входять до квартиля Q4. Статтю [1],[4] опубліковано у науковому фаховому виданні України категорії «Б».

Список опублікованих праць за темою дисертації

1. Halushko O., Hurtovyi Y. Development and validation of a mathematical model for predicting the development of gastro-oesophageal reflux disease based on oesophagogastroduodenoscopy. *Bulletin of Medical and Biological Research*. 2024. № 1. P. 15–23. DOI: [10.61751/bmbr/1.2024.15](https://doi.org/10.61751/bmbr/1.2024.15). (Фахове видання категорії Б).
2. Галушко О. Механізм взаємодії між недостатністю кардіальної розетки та інвагінацією слизової шлунка в стравохід. *Україна. Здоров'я нації*. 2024. № 2. С. 51–54. DOI: [10.32782/2077-6594/2024.2/08](https://doi.org/10.32782/2077-6594/2024.2/08) (Scopus, Q4).
3. Галушко О. Прогностична модель логістичної регресії для оцінки показань до лікувальної імплантації при пролабуванні шлунку в стравохід або кардіальну ділянку шлунку. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Фізико-математичні науки*. 2025. Т. 80. № 2. С. 31–35. DOI: <https://doi.org/10.17721/1812-5409.2025/2.4> (Scopus, Q4).
4. Галушко О. Нейромережева модель прогнозування рівня ризику імплантаційного лікування пацієнтів із патологією шлунково-стравохідного з'єднання. *Системи та технології*. 2025. Т. 70. № 2. С. 9–18. DOI: [10.32782/2521-6643-2025-2-70.1](https://doi.org/10.32782/2521-6643-2025-2-70.1) (Фахове видання категорії Б).
5. Галушко О. Інтегрована модель факторного відбору та категоріальної регресії для прогнозування рівня ризику імплантації діагностично-терапевтичних пристроїв при патології шлунково-стравохідного з'єднання. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Фізико-математичні науки*. 2026. Т. 81. № 1. С. 187–194. DOI: [10.17721/1812-5409.2026/1.25](https://doi.org/10.17721/1812-5409.2026/1.25) (Scopus, Q4).

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Обсяг загального тексту дисертації складає 178 сторінок (6,9 д.а.), з них основного тексту 178 (6,9 д.а.). Робота ілюстрована 51 таблицями. Список використаних джерел містить 126 цитувань. Розділ 1 присвячено теоретичним основам аналізу клінічних показників при пролабуванні стравоходу та їх придатності до математичної формалізації. Розділ 2 містить систематичний аналіз клінічних, ендоскопічних та морфометричних даних, що формують базу для побудови математичних моделей: оцінку варіативності показників, визначення ключових ознак та закономірностей, релевантних для прогнозування. Розділ 3 присвячено побудові, валідації та порівнянню різних математичних моделей – логістичної регресії, факторного аналізу з категоріальною регресією, а також нейронної мережі прямого поширення – з визначенням їх продуктивності, інтерпретованості та можливостей інтеграції у клінічну практику.

Характеристика особистості здобувача. Галушко Олександр Ігорович народився 30 квітня 1995 року в м. Полтава. У 2018 році закінчив Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького та отримав диплом спеціаліста за спеціальністю «Лікувальна справа».

У 2018–2021 роках проходив інтернатуру за спеціальністю «Хірургія» на базі Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького. У 2022 році пройшов спеціалізацію за фахом «Ендоскопія» на базі Харківської медичної академії післядипломної освіти. У 2022–2025 роках навчався в аспірантурі Центральноукраїнського державного університету імені Володимира Винниченка на кафедрі математики та методики її навчання. З 2025 року по теперішній час є аспірантом кафедри теорії ймовірностей, статистики та актуарної математики Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Володіє українською, англійською мовами.

Оцінка мови та стилю дисертації. Дисертація виконана фаховою українською мовою, текстове подання матеріалу відповідає стилю науково-дослідної літератури.

Відповідно до п. 15 «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 (зі змінами), *пропонується такий склад разової ради:*

Голова ради:

ЯМНЕНКО Ростислав Євгенійович – доктор фізико-математичних наук (01.01.05 – теорія ймовірностей і математична статистика, 2020), професор, завідувач кафедри теорії ймовірностей, статистики та актуарної математики механіко-математичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Рецензенти:

Яневич Тетяна Олександрівна – кандидат фізико-математичних наук (01.01.05 – теорія ймовірностей і математична статистика, 2007), доцент, доцент кафедри теорії ймовірностей, статистики та актуарної математики механіко-математичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Пашко Анатолій Олексійович – доктор фізико-математичних наук (01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи, 2015), професор, професор кафедри теоретичної кібернетики факультету комп'ютерних наук та кібернетики Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Офіційні опоненти:

Мартинюк Сергій Васильович – кандидат фізико-математичних наук (01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи, 2004), асистент кафедри алгебри та інформатики факультету математики та інформатики Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича

Голубова Галина Володимирівна – кандидат економічних наук (08.00.10 – статистика, 2010), доцент, доцент кафедри статистики, ІТ та математичних методів в економіці факультету обліку та статистики Національної академії статистики, обліку та аудиту.

Дані про членів ради – голову, рецензентів та двох офіційних опонентів внесені до Єдиної державної електронної бази з питань освіти.

Усі члени разової спеціалізованої вченої ради не мають реальний чи потенційний конфлікт інтересів щодо здобувача Галушко Олександр Ігоровича (зокрема, не є його близькою особою) та/або його наукового керівника.

Рецензенти рекомендують:

1. Прийняти дисертацію аспіранта кафедри теорії ймовірностей, статистики та актуарної математики механіко-математичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка Галушка Олександра Ігоровича на тему «Математичні методи аналізу та прогнозування функції шлунково-стравохідного з'єднання», подану на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 11 «Математика та статистика» за спеціальністю 113 «Прикладна математика», до захисту в разовій спеціалізованій вченій раді.

У результаті попередньої експертизи дисертації Галушка Олександра Ігоровича і повноти публікації основних результатів дослідження

УХВАЛЕНО:

1. **Затвердити** висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Галушка Олександра Ігоровича на тему: «Математичні методи аналізу та прогнозування функції шлунково-стравохідного з'єднання».

2. Констатувати, що за актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною цінністю здобутих результатів дисертація Галушка Олександр Ігоровича «Математичні методи аналізу та прогнозування функції шлунково-стравохідного з'єднання». відповідає галузі знань 11 «Математика та статистика» за спеціальністю 113 «Прикладна математика» та вимогам **Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах)**, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 р. № 261, пп. 6, 7, 8 **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.

3. **Рекомендувати** дисертацію Галушко Олександра Ігоровича на тему: «Математичні методи аналізу та прогнозування функції шлунково-стравохідного з'єднання» **до захисту** на здобуття ступеня доктора філософії у разовій спеціалізованій вченій раді в галузі знань 11 «Математика та статистика» за спеціальністю 113 «Прикладна математика».

4. Рекомендувати вченій раді механіко-математичного факультету затвердити склад разової спеціалізованої вченої ради:

Голова ради:

ЯМНЕНКО Ростислав Євгенійович – доктор фізико-математичних наук (01.01.05 – теорія ймовірностей і математична статистика, 2020), професор, завідувач кафедри теорії ймовірностей, статистики та актуарної математики механіко-математичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Рецензенти:

Яневич Тетяна Олександрівна – кандидат фізико-математичних наук (01.01.05 – теорія ймовірностей і математична статистика, 2007), доцент, доцент кафедри теорії ймовірностей, статистики та актуарної математики механіко-математичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Пашко Анатолій Олексійович – доктор фізико-математичних наук (01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи, 2015), професор, професор кафедри теоретичної кібернетики факультету комп'ютерних наук та кібернетики Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Офіційні опоненти:

Мартинюк Сергій Васильович – кандидат фізико-математичних наук (01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи, 2004), асистент кафедри алгебри та інформатики факультету математики та інформатики Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича

Голубова Галина Володимирівна – кандидат економічних наук (08.00.10 – статистика, 2010), доцент, доцент кафедри статистики, ІТ та математичних методів в економіці факультету обліку та статистики Національної академії статистики, обліку та аудиту.

Результати голосування щодо рекомендації до захисту дисертації Галушко Олександра Ігоровича:

«За» – 12

«Проти» – немає

«Утримались» – немає

Презентація Галушко Олександра Ігоровича на 31 сторінках додається.

Головуюча на засіданні –

декан механіко-математичного факультету,
доктор фізико-математичних наук, професор

 **Оксана БЕЗУЩАК**

Секретар засідання –

кандидат фізико-математичних наук
доцент, доцент кафедри теоретичної та
прикладної механіки



Ірина ЛЕБЕДЄВА

МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ФУНКЦІЇ ШЛУНКОВО-СТРАВОХІДНОГО З'ЄДНАННЯ

Здобувач: Галушко Олександр Ігорович, аспірант 4 року навчання кафедри
теоретичної та прикладної механіки механіко-математичного факультету КНУ
ім. Т.Шевченка

Науковий керівник: Жук Ярослав Олександрович, член-кореспондент НАН
України, доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри
теоретичної та прикладної механіки механіко-математичного факультету КНУ
ім. Т.Шевченка

Актуальність дослідження

У сучасних умовах зростає потреба у застосуванні методів прикладної математики та комп'ютерної статистики для стандартизації та формалізації клінічного рішення.

Це дозволяє підвищити точність стратифікації пацієнтів, мінімізувати суб'єктивність експертної оцінки, а також створити математичні моделі, які можуть бути інтегровані у клінічний процес для підтримки прийняття рішень.

Об'єкт дослідження: клінічні, ендоскопічні, морфометричні та функціональні показники пацієнтів із патологією шлунково-стравохідного переходу.

Предмет дослідження: методи математичного моделювання, статистичного аналізу та алгоритми машинного навчання, застосовані для прогнозування показань до імплантації діагностичних пристроїв на основі багатопараметричних клінічних даних.

Мета дослідження: розробити та обґрунтувати математичні моделі для формалізації та прогнозування показань до імплантації діагностичних пристроїв при патології шлунково-стравохідного переходу, забезпечивши їх надійність, інтерпретованість і практичну придатність для клінічного використання.

У відповідності до мети були поставлені наступні **завдання дослідження:**

1. Провести аналіз клінічних і морфометричних показників пацієнтів із патологією шлунково-стравохідного переходу як об'єкта математичної формалізації.
2. Здійснити математико-статистичний аналіз клінічних, морфометричних та ендоскопічних даних пацієнтів з використанням методів описової статистики, перевірки статистичних гіпотез та аналізу зв'язків між змінними.
3. Визначити інформативні предиктори, релевантні для стратифікації пацієнтів за ступенем ризику та ймовірністю необхідності імплантації.
4. Побудувати логістичну регресійну модель для прогнозування показань до імплантації та оцінити її точність і інтерпретованість.
5. Виконати факторний аналіз і сформувати модель категоріальної регресії на основі факторних змінних для багаторівневої стратифікації ризику імплантації.
6. Розробити нейронну мережу прямого поширення (MLP) для моделювання складних нелінійних взаємозв'язків між клінічними ознаками з метою стратифікації ризику імплантації.
7. Провести порівняння продуктивності, інтерпретованості та стабільності побудованих моделей.
8. Інтегрувати результати у єдиний алгоритм клінічного прийняття рішень та оцінити можливості впровадження моделей у практичний клінічний процес.

Наукова новизна:

1. Вперше виконано формалізоване поєднання клінічних, ендоскопічних і морфометричних показників для побудови моделей прогнозування імплантації діагностичних пристроїв при патології шлунково-стравохідного переходу.
2. Запропоновано оригінальну структуру факторної моделі для стратифікації ризику на основі латентних клінічних факторів.
3. Здійснено комплексне порівняння інтерпретованих статистичних моделей і нейронної мережі MLP щодо їх застосовності у клінічній практиці імплантаційних рішень.
4. Розроблено інтегрований алгоритм прийняття рішень, що поєднує достовірність статистики, можливості машинного навчання та вимоги до клінічної пояснюваності моделей.

Список публікацій здобувача:

Статті у фахових журналах:

1. Галушко, О. (2025). Прогностична модель логістичної регресії для оцінки показань до лікувальної імплантації при пролабуванні шлунку в стравохід або кардіальну ділянку шлунку. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Фізико-математичні науки*, 80(2), 31–35. <https://doi.org/10.17721/1812-5409.2025/2.4>
2. Галушко, О. (2026). Інтегрована модель факторного відбору та категоріальної регресії для прогнозування рівня ризику імплантації діагностично-терапевтичних пристроїв при патології шлунково-стравохідного з'єднання. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Фізико-математичні науки*, 81(1). <https://doi.org/10.17721/1812-5409.2026/1.25>
3. Галушко, О. (2025). Нейромережева модель прогнозування рівня ризику імплантаційного лікування пацієнтів із патологією шлунково-стравохідного з'єднання. *Системи та технології*, 70(2), 9–18. <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2025-2-70.1>

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

1. Halushko, O., & Hurtovyi, Y. (2024). Development and validation of a mathematical model for predicting the development of gastro-oesophageal reflux disease based on oesophagogastroduodenoscopy. *Bulletin of Medical and Biological Research*, 1, 15–23. <https://doi.org/10.61751/bmbr/1.2024.15>
2. Галушко, О. (2024). Механізм взаємодії між недостатністю кардіальної розетки та інвагінацією слизової шлунка в стравохід. *Україна. Здоров'я нації*, 2, 51–54. <https://doi.org/10.32782/2077-6594/2024.2/08>

Важливість дослідження пролабування при побудові моделей імплантації

Сукупність сучасних ендоскопічних імплантатів, що застосовуються у клінічній гастроентерології та хірургії, представлена різними за конструкцією та функцією системами: від магнітних антирефлюксних імплантів (LINX®), до ендоскопічних фіксаторів і плікаційних скоб (TIF®, GERDx®), до тимчасових діагностичних рН-капсул (Bravo™, JSPH-1, alpHaONE™) та саморозширюваних стентів.

Незважаючи на різну мету застосування, для всіх цих пристроїв значущими є стабільність слизової поверхні, відсутність надмірної інвагінаційної динаміки та коректне позиціонування щодо анатомічних орієнтирів шлунково-стравохідного з'єднання.

Кількісна та якісна оцінка пролабування перед імплантацією має не лише діагностичне, але й прогностичне значення.

Релевантність вибірки

Класифікація ВОЗ:

молоді люди (18–44 роки),
люди середнього віку (45–59 років),
люди похилого віку (60–74 роки)
старші люди (75–89 років)

Таблиця 2.1. Розподіл пацієнтів за віком і статтю

		Стать		Всього
		ж	ч	
Вікова група	молоді	88	160	248
	середній вік	46	148	194
	похилий вік	27	71	98
	старші	6	12	18
Всього		167	391	558

Дослідження було проведене на основі вибірки з **558 пацієнтів** ендоскопічного відділення комунального некомерційного підприємства "Кіровоградська обласна лікарня Кіровоградської обласної ради".



Основні показники дослідження

Таблиця 2.2. Розподіл пацієнтів за скаргами

		Стать		Всього
		ж	ч	
Скарги на печію	0	130	229	359
	1	37	162	199
Всього		167	391	558
		Стать		Всього
		ж	ч	
Скарги на відчуття регургітації	0	144	289	433
	1	23	102	125
Всього		167	391	558
		Стать		Всього
		ж	ч	
Скарги на відчуття тиску за грудиною	0	165	390	555
	1	2	1	3
Всього		167	391	558
		Стать		Всього
		ж	ч	
Скарги на відчуття осиплості голосу	0	165	373	538
	1	2	18	20
Всього		167	391	558

Таблиця 2.3. Розподіл пацієнтів за дефектами за Лос-Анджелівською класифікацією оцінки рефлюкс-езофагіту

		Стать		Всього
		ж	ч	
Наявність дефектів слизової класифікованих за Лос-Анджелівською класифікацією оцінки рефлюкс-езофагіту	0 – дефекти відсутні	131	213	344
	1 – дефекти типу А	0	7	7
	2 – дефекти типу В	19	99	118
	3 – дефекти типу С	17	72	89
Всього		167	391	558

Основні показники дослідження

Таблиця 2.5. Розподіл пацієнтів за показником діафрагмального звуження (см)

		Стать		Всього
		ж	ч	
Показник діафрагмального звуження	37	2	0	2
	38	103	83	186
	39	31	162	193
	40	26	135	161
	41	1	5	6
	42	1	0	1
	43	1	2	3
	44	2	4	6
Всього		167	391	558

Таблиця 2.8. Розподіл пацієнтів за показником розташування Z-лінії (см)

		Стать		Всього
		ж	ч	
Показник розташування Z-лінії	35	1	0	1
	36	70	55	125
	37	53	137	190
	38	22	139	161
	39	14	53	67
	40	1	1	2
	41	4	2	6
	42	2	4	6
Всього		167	391	558

Таблиця 2.4. Розподіл пацієнтів за висотою верхнього стравохідного сфінктера (см)

		Стать		Всього
		ж	ч	
Висота верхнього стравохідного сфінктера	16	27	159	186
	17	140	232	372
Всього		167	391	558

Таблиця 2.6. Розподіл пацієнтів за показником висоти пролабування шлунку в стравохід або кардіальну ділянку шлунку

		Стать		Всього
		ж	ч	
Показник висоти пролабування шлунку в стравохід або кардіальну ділянку шлунку	34	1	1	2
	35	105	80	185
	36	4	13	17
	37	44	241	285
	38	8	48	56
	39	2	1	3
	40	1	4	5
	41	2	3	5
Всього		167	391	558

Таблиця 2.7. Розподіл пацієнтів за протяжністю пролабування (см)

		Стать		Всього
		ж	ч	
Показник протяжності пролабування	0	1	3	4
	2	33	201	234
	3	132	179	311
	4	1	8	9
Всього		167	391	558

Основні показники дослідження

Таблиця 2.9. Розподіл пацієнтів за наявністю/відсутністю ерозій у стравоході

		Стать		Всього
		ж	ч	
Наявність ерозій в стравоході	0	146	290	436
	1	21	101	122
Всього		167	391	558

Таблиця 2.10. Розподіл пацієнтів за видами ерозій у стравоході

		Стать		Всього
		ж	ч	
Наявність множинних ерозій	0	151	314	465
	1	16	77	93
Всього		167	391	558
		Стать		Всього
		ж	ч	
Наявність поодиноких ерозій	0	163	372	535
	1	4	19	23
Всього		167	391	558
		Стать		Всього
		ж	ч	
Наявність ерозій вкритих фібрином	0	149	298	447
	1	18	93	111
Всього		167	391	558
		Стать		Всього
		ж	ч	
Наявність ерозій вкритих гематином	0	164	376	540
	1	3	15	18
Всього		167	391	558

Таблиця 2.11. Розподіл пацієнтів за наявністю/відсутністю виразок у стравоході

		Стать		Всього
		ж	ч	
Наявність виразок в стравоході	0	151	314	465
	1	16	77	93
Всього		167	391	558

Таблиця 2.12. Розподіл пацієнтів за видами виразок у стравоході

		Стать		Всього
		ж	ч	
Наявність множинних виразок	0	152	317	469
	1	15	74	89
Всього		167	391	558
		Стать		Всього
		ж	ч	
Наявність поодиноких виразок	0	166	389	555
	1	1	2	3
Всього		167	391	558
		Стать		Всього
		ж	ч	
Наявність виразок вкритих фібрином	0	154	325	479
	1	13	66	79
Всього		167	391	558
		Стать		Всього
		ж	ч	
Наявність виразок вкритих гематином	0	162	369	531
	1	5	22	27
Всього		167	391	558

Основні показники дослідження

Таблиця 2.13. Розподіл пацієнтів за наявністю/відсутністю гіперемії в нижній третині стравоходу

		Стать		Всього
		ж	ч	
Гіперемія в нижній третині стравоходу	0	138	271	409
	1	29	120	149
Всього		167	391	558

Таблиця 2.14. Розподіл пацієнтів за наявністю/відсутністю гіперемії слизової в шлунку

		Стать		Всього
		ж	ч	
Наявність гіперемії слизової в шлунку	0	39	40	79
	1	128	351	479
Всього		167	391	558

Таблиця 2.15. Розподіл пацієнтів за наявністю/відсутністю набряку слизової в субкардіальній ділянці

		Стать		Всього
		ж	ч	
Наявність набряку слизової в субкардіальній ділянці	0	143	281	424
	1	24	110	134
Всього		167	391	558

Таблиця 2.16. Розподіл пацієнтів за наявністю/відсутністю гіперемії слизової в субкардіальній ділянці

		Стать		Всього
		ж	ч	
Наявність гіперемії слизової в субкардіальній ділянці	0	134	177	311
	1	33	214	247
Всього		167	391	558

Таблиця 2.17. Розподіл пацієнтів за наявністю/відсутністю набряку слизової в стравоході

		Стать		Всього
		ж	ч	
Наявність набряку слизової в стравоході	0	167	390	557
	1	0	1	1
Всього		167	391	558

Таблиця 2.18. Розподіл пацієнтів за ознакою куріння

		Стать		Всього
		ж	ч	
Куріння	0	129	223	352
	1	38	168	206
Всього		167	391	558

Аналіз кореляційної структури змінних

- значущі зв'язки на рівні 0,05

Вік	Стать	Гіперемія слизової в шлунку	Набряк слизової в субкардіальній ділянці	Гіперемія слизової в субкардіальній ділянці	Набряк слизової в стравоході	Скарги на печію	Скарги на відчуття регургітації	Скарги на відчуття тиску за грудною	Скарги на відчуття опістості голосу	Наявність дефектів слизової класифікації за Лос-Анджелеською висотою верхнього стравохідного сфінктера	Показник протяжності пролабування	Показник діафрагмального звуження	Показник висоти пролабування шлунку в стравоході	Куріння	Показник розташування Z-лінії	Наявність ерозій в стравоході	Наявність множинних ерозій	Наявність поодиноких ерозій	Наявність ерозій вкритих фібрином	Наявність ерозій вкритих гематином	Наявність виразок в стравоході	Наявність множинних виразок	Наявність поодиноких виразок	Наявність виразок вкритих фібрином	Наявність виразок вкритих гематином	Гіперемія в нижній третині стравоходу
Вік	1																									
Стать	1																									
Гіперемія слизової в шлунку	-0.237	0.173	1																							
Набряк слизової в субкардіальній ділянці	-0.065	0.148	0.226	1																						
Гіперемія слизової в субкардіальній ділянці	-0.127	0.522	0.196	0.134	1																					
Набряк слизової в стравоході	-0.008	0.028	0.017	-0.024	-0.038	1																				
Скарги на печію	0.283	0.184	-0.116	-0.068	-0.242	0.057	1																			
Скарги на відчуття регургітації	0.161	0.135	0.218	-0.01	-0.211	0.079	0.596	1																		
Скарги на відчуття тиску за грудною	0.024	-0.059	0.03	0.016	-0.066	-0.003	0.099	0.137	1																	
Скарги на відчуття опістості голосу	0.026	0.084	-0.06	0.004	-0.114	-0.008	0.136	0.151	-0.014	1																
Наявність дефектів слизової класифікації за Лос-Анджелеською класифікацією оцінки рефлюкс-езофагиту	0.307	0.23	0.557	0.102	0.351	0.097	0.847	0.849	0.112	0.214	1															
висота верхнього стравохідного сфінктера	0.27	-0.238	-0.287	-0.012	-0.793	0.03	0.471	0.38	0.052	0.316	0.547	1														
Показник протяжності пролабування	0.16	-0.277	-0.058	0.095	-0.529	0.035	0.219	0.451	0.06	0.055	0.312	0.755	1													
Показник діафрагмального звуження	0.125	-0.341	0.114	0.018	0.018	0.051	0.617	0.637	-0.102	0.145	0.702	-0.007	-0.206	1												
Показник висоти пролабування шлунку в стравоході	0.044	0.567	0.088	0.205	0.208	0.019	0.408	0.279	0.068	0.09	0.42	-0.294	-0.612	0.879	1											
Куріння	0.301	0.192	-0.158	-0.291	-0.226	0.058	0.648	0.515	0.098	0.192	0.758	0.312	0.049	0.636	0.487	1										
Показник розташування Z-лінії	0.087	0.271	0.089	-0.017	-0.017	0.063	0.566	0.575	0.098	0.15	0.63	0.022	-0.163	0.879	0.768	0.552	1									
Наявність ерозій в стравоході	0.171	0.147	-0.196	-0.074	-0.07	-0.02	0.548	0.215	-0.039	0.085	0.718	0.565	0.086	0.328	0.238	0.458	0.298	1								
Наявність множинних ерозій	-0.079	-0.08	0.061	-0.061	-0.004	-0.073	0.267	0.095	0.58	-0.018	-0.073	-0.071	0.02	0.045	0.077	0.562	0.21	0.3	1							
Наявність поодиноких ерозій	-0.146	0.103	-0.145	0.164	0.173	-0.129	0.018	0.009	0.327	-0.178	-0.266	-0.05	0.051	-0.189	0.21	0.061	0.659	0.061	0.659	1						
Наявність ерозій вкритих фібрином	-0.07	0.021	0.079	-0.001	0.061	-0.088	0.249	0.097	0.66	-0.02	-0.035	-0.086	-0.017	-0.012	0.061	0.659	0.061	0.659	0.061	0.659	1					
Наявність ерозій вкритих гематином	-0.011	0.053	0.016	0.016	-0.041	-0.008	0.204	0.145	-0.013	0.074	0.245	0.129	0.07	0.201	0.129	0.176	0.201	0.322	-0.103	0.1	0.448	1				
Наявність виразок в стравоході	0.222	0.127	0.018	-0.018	-0.027	0.094	0.485	0.62	0.163	0.172	0.636	0.308	0.242	0.495	0.28	0.449	0.427	-0.192	-0.562	-0.258	-0.659	-0.682	1			
Наявність множинних виразок	0.238	0.125	0.03	-0.026	-0.25	0.097	0.483	0.638	0.169	0.179	0.631	0.305	0.245	0.501	0.282	0.458	0.425	-0.194	-0.562	-0.361	-0.717	-0.08	0.968	1		
Наявність поодиноких виразок	-0.577	0.667	0.613	-0.612	-0.612	0.167	0.078	-0.014	0.112	0.612	0.304	0.167	-0.408	0.167	-0.167	-0.612	1	0.408	1	1	1	1	1	1	1	
Наявність виразок вкритих фібрином	0.01	0.244	0.093	-0.091	-0.103	0.126	0.559	0.051	0.198	0.567	0.57	0.075	0.143	0.059	0.114	0.002	0.508	-0.577	-0.532	0.811	0.493	1	1	1	1	
Наявність виразок вкритих гематином	0.056	0.07	0.049	-0.151	-0.01	0.251	0.32	-0.212	0.046	0.328																
Гіперемія в нижній третині стравоходу	0.172	0.138	0.048	-0.061	-0.326	0.07	0.592	0.56	0.066	0.167	0.688	0.401	0.173	0.571	0.372	0.613	0.494	0.567	-0.015	-0.178	-0.089	0.189	0.486	0.489	1	0.175

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

$$r_s = S \left\{ \frac{1}{4} n(n-1) [n(n-1) - n_1(n_1-1) - n_2(n_2-1)] \right\}^{1/2}$$

$$\varphi = \frac{ad - bc}{\sqrt{(a+b)(a+c)(b+d)(c+d)}}$$

$$V = \sqrt{\frac{\chi^2}{N \cdot \min(r-1, k-1)}}$$

Прогностична модель логістичної регресії для оцінки показань до лікувальної імплантації

Показники для моделювання:

- скарги на печію (бінарна змінна: 1-наявні; 0-відсутні) - x_1 ;
 - скарги на відчуття регургітації (бінарна змінна: 1-наявні; 0-відсутні) - x_2 ;
 - скарги на відчуття тиску за грудиною (бінарна змінна: 1-наявні; 0-відсутні) - x_3 ;
 - скарги на осиплість голосу (бінарна змінна: 1-наявні; 0-відсутні) - x_4 ;
 - наявність дефектів слизової класифікованих за Лос-Анджелівською класифікацією оцінки рефлюкс-езофагіту (порядкова змінна: дефекти відсутні – 0; тип А – 1; тип В – 2; тип С – 3; тип D – 4) - x_5 ;
 - показник висоти пролабування шлунку в стравохід або кардіальну ділянку шлунку (кількісна змінна, см) - x_6 ;
 - показник розташування Z-лінії (кількісна змінна, см) - x_7 ;
 - наявність ерозій вкритих гематином (бінарна змінна: 1-наявні; 0-відсутні) - x_8 ;
 - наявність виразок вкритих гематином (бінарна змінна: 1-наявні; 0-відсутні) - x_9 .
- Результуюча змінна Y : можливість імплантації (1-так; 0-ні). У нашому випадку $i = \overline{1, n}$, де $n = 558$ - кількість пацієнтів).

Прогностична модель логістичної регресії для оцінки показань до лікувальної імплантації

Таблиця 3.1. Показники змінних рівняння логістичної регресії

Клінічні показники	Оцінки коефіцієнтів логістичної регресії β_j	Середньо квадратична похибка $SE(\beta_j)$	Статистика Вальда W_j	p-значення	Відношення шансів OR_j
Скарги на печію	1,870	0,842	4,930	0,026	6,487
Скарги на відчуття регургітації	-1,797	0,759	5,601	0,018	0,166
Скарги на відчуття тиску за грудиною	-17,026	19381,226	0,000	0,999	0,000
Скарги на відчуття осплесті голосу	-0,664	1,135	0,342	0,559	0,515
Наявність дефектів слизової класифікованих за Лос-Анджелівською класифікацією оцінки рефлюкс-езофагіту (1996р.)	-4,435	0,737	36,205	0,000	0,012
Показник висоти пролабування шлунку в стравохід або кардіальну ділянку шлунку	-1,057	0,364	8,428	0,004	0,348
Показник розташування Z-лінії	0,753	0,376	4,019	0,045	2,124
Наявність ерозій вкритих гематином	-23,774	8122,040	0,000	0,998	0,000
Наявність виразок вкритих гематином	-23,252	6184,599	0,000	0,997	0,000
Константа	20,988	11,331	3,431	0,064	$1,3 \times 10^9$

Прогностична модель логістичної регресії для оцінки показань до лікувальної імплантації

$$\begin{aligned} \text{logit}(\hat{p}_i) = & 21,066 + 1,866x_{i1} - 1,784x_{i2} - 17,030x_{i3} - 0,659x_{i4} \\ & - 4,432x_{i5} - 1,054x_{i6} + 0,748x_{i7} - 23,762x_{i8} \\ & - 23,247x_{i9}. \end{aligned}$$

Таблиця 3.4. Класифікації прогнозу показань до імплантації за логістичною регресією

	Спостережувані		Теоретичні		
			Показання до імплантації		Відсоток правильних
Крок 1	Показання до імплатнації	0	111	5	95,7
		1	3	439	99,3
	Загальна відсоткова доля				98,6
а. Порогове значення - 0,5					

Таблиця 3.2. Показники якості логістичної моделі

Крок	- 2LL	$R^2_{C\&S}$	R^2_N
1	88,560	0,578	0,903

Таблиця 3.3. Тест узгодженості Хосмера-Лемешова для моделі логістичної регресії

Крок	χ^2_{HL}	Ступені свободи	Значущість
1	13,467	6	0,036

$$-2LL = -2 \cdot \ln L(\beta) = \sum_{i=1}^n [y_i \ln(\hat{p}_i) + (1 - y_i) \ln(1 - \hat{p}_i)];$$

$$R^2_{C\&S} = 1 - \left(\frac{L_0}{L_m} \right)^{\frac{2}{n}}; \quad R^2_N = \frac{R^2_{C\&S}}{1 - L_0^{2/n}};$$

$$\chi^2_{HL} = \sum_{i=1}^g \frac{(O_i - \hat{E}_i)^2}{\hat{E}_i (1 - \hat{E}_i/n_i)}.$$

$$l^*(\beta) = l(\beta) + \frac{1}{2} \log |I(\beta)|$$

Таблиця 3.5.

$\chi^2 = 461.86$; $df = 9$; $p < 0.001$ – повна модель

$\chi^2 = 464.02$; $df = 7$; $p < 0.001$ – уточнена модель

Порівняння початкової та уточненої моделей
логістичної регресії з поправкою Фірта для
прогнозування показань до імплантації*

Предиктор	Повна модель		Уточнена модель		
	$\beta \pm SE$	p	$\beta \pm SE$	p	Вплив на шанси до імплантації
Скарги на печію	1.68 ± 0.75	0.033	1.74 ± 0.75	0.027	↑ збільшує
Скарги на відчуття регургітації	-1.68 ± 0.65	0.016	-1.69 ± 0.66	0.016	↓ зменшує
Скарги на відчуття тиску за грудиною	1.50 ± 1.66	0.44	–	–	–
Скарги на відчуття осплесті голосу	-0.54 ± 0.98	0.64	–	–	–
Наявність дефектів слизової класифікованих за Лос-Анджелівською класифікацією оцінки рефлюкс-езофагіту (1996р.)	-4.05 ± 0.64	<0.001	-4.18 ± 0.65	<0.001	↓ зменшує
Показник висоти пролабування шлунку в стравохід або кардіальну ділянку шлунку	-0.94 ± 0.31	0.0036	-0.98 ± 0.31	0.0019	↓ зменшує
Показник розташування Z-лінії	0.69 ± 0.33	0.045	0.71 ± 0.33	0.039	↑ збільшує
Наявність ерозій вкритих гематином	-6.10 ± 1.52	<0.001	-6.18 ± 1.54	<0.001	↓ зменшує
Наявність виразок вкритих гематином	-6.01 ± 1.46	<0.001	-6.17 ± 1.54	<0.001	↓ зменшує

Інтегрована модель факторного відбору та категоріальної регресії для прогнозування рівня ризику імплантації

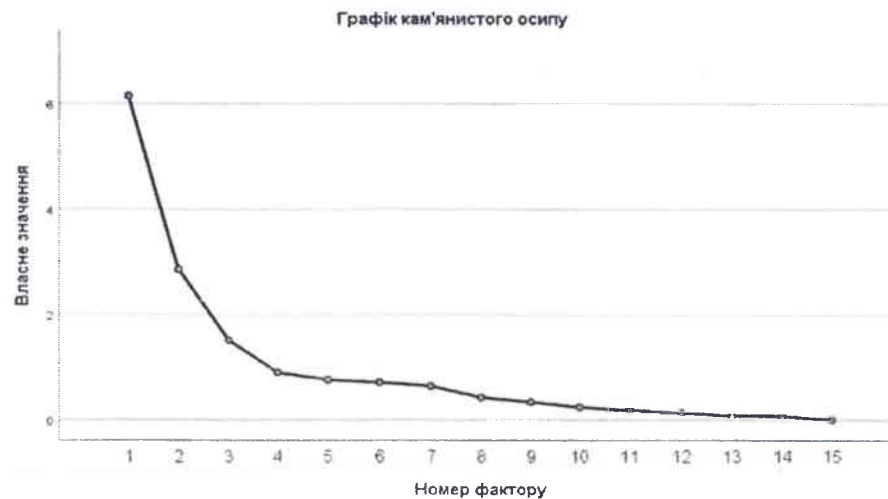
Початкові показники для моделювання:

- Гіперемія слизової в субкардіальній ділянці (бінарна змінна: 1-наявна; 0-відсутня) - X_1 ;
- Скарги на печію (бінарна змінна: 1-наявна; 0-відсутня) - X_2 ; Скарги на відчуття регургітації (бінарна змінна: 1-наявна; 0-відсутня) - X_3 ;
- Наявність дефектів слизової класифікованих за Лос-Анджелівською класифікацією оцінки рефлюкс-езофагіту (порядкова змінна: дефекти відсутні – 0; тип А – 1; тип В – 2; тип С – 3; тип D – 4) - X_4 ;
- Наявність ерозій вкритих фібрином (бінарна змінна: 1-наявні; 0-відсутні) - X_5 ;
- Наявність ерозій вкритих гематином (бінарна змінна: 1-наявні; 0-відсутні) - X_6 ;
- Наявність виразок вкритих фібрином (бінарна змінна: 1-наявні; 0-відсутні) - X_7 ;
- Наявність виразок вкритих гематином (бінарна змінна: 1-наявні; 0-відсутні) - X_8 ;
- Показник розташування Z-лінії (кількісна змінна, см) - X_9 ;
- Висота верхнього стравохідного сфінктера (кількісна змінна, см) - X_{10} ;
- Показник діафрагмального звуження (кількісна змінна, см) - X_{11} ;
- Показник висоти пролабування шлунку в стравохід або кардіальну ділянку шлунку (кількісна змінна, см) - X_{12} ;
- Протяжність пролабування (кількісна змінна, см) - X_{13} ;
- Гіперемія в нижній третині стравоходу (бінарна змінна: 1-наявна; 0-відсутня) - X_{14} ;
- Куріння (бінарна змінна: 1-наявне; 0-відсутнє) - X_{15} .

Рівні ризику для залежної змінної:

- 0 (відсутній ризик). Ймовірність розвитку ускладнень мінімальна.
- 1 (низький ризик). Ймовірність ускладнень мінімальна.
- 2 (середній ризик). Ймовірність ускладнень помірна.
- 3 (високий ризик). Ймовірність ускладнень підвищена.
- 4 (критичний ризик). Ймовірність ускладнень висока.

Інтегрована модель факторного відбору та категоріальної регресії для прогнозування рівня ризику імплантації



Таблиця 3.8. Критерії придатності даних для факторного аналізу (КМО та тест сферичності Бартлетта)

Статистика критерію КМО		0,740
Тест сферичності Бартлетта	Хі-квадрат статистика	8597,565
	Ступені свободи	105
	Рівень значущості (p)	0,000

Фактор 1 - F_1 «Клінічні та морфологічні ознаки гастроєзофагеальної рефлюксної хвороби (ГЕРХ)» включає наступні показники: показник діафрагмального звуження (0,830); наявність виразок вкритих фібрином (0,780); показник розташування Z-лінії (0,748); скарги на відчуття регургітації (0,730); наявність дефектів слизової за Лос-Анджелівською класифікацією (0,729); куріння (0,598); скарги на печію (0,592); гіперемія в нижній третині стравоходу (0,572); наявність виразок вкритих гематином (0,438).

Фактор 2 - F_2 «Анатомо-функціональні показники стравоходу» включає наступні показники: висота верхнього стравохідного сфінктера (-0,870); показник протяжності пролабування (-0,783); показник висоти пролабування шлунку в стравохід або кардіальну ділянку (0,698); наявність гіперемії слизової в субкардіальній ділянці (0,635).

Фактор 3 - F_3 «Ерозивні ураження слизової» включає наступні показники: наявність ерозій вкритих фібрином (0,973); наявність ерозій вкритих гематином (0,256).

Інтегрована модель факторного відбору та категоріальної регресії для прогнозування рівня ризику імплантації

Таблиця 3.7. Загальні дисперсії змінних, пояснені факторами та клінічна інтерпретація змінних у факторному аналізі

Предиктори	Початкові h_j^2	Виділені h_j^2	Клінічна інтерпретація	Рівень впливу
X_1	0,732	0,454	Локальне запалення, пов'язане з анатомічними змінами (висота сфінктера, протяжність пролабування)	Середній
X_2	0,712	0,678	Класичний симптом ГЕРХ, корелює з дефектами слизової	Високий
X_3	0,787	0,649	Ключовий симптом ГЕРХ, пов'язаний із тяжкими ураженнями	Високий
X_4	0,910	0,922	Ключовий ендоскопічний маркер, корелює з симптомами	Високий
X_5	0,763	0,915	Активне ураження, пов'язане з симптомами, анатомією та курінням	Високий
X_6	0,175	0,083	Рідкісне ураження, клінічно малозначуще	Низький
X_7	0,715	0,639	Тяжкі ураження, пов'язані із симптомами та структурними змінами	Низький
X_8	0,255	0,199	Малоспецифічне, рідкісне ураження	Низький
X_9	0,795	0,711	Анатомічний маркер ГЕРХ, відображає тяжкість рефлюксу	Високий
X_{10}	0,878	0,897	Механічний бар'єр проти рефлюксу, пов'язаний з протяжністю пролабування	Високий
X_{11}	0,987	0,858	Основний анатомічний маркер тяжкого рефлюксу	Високий
X_{12}	0,991	0,977	Маркер тяжкого рефлюксу, пов'язаний з діафрагмальним звуженням	Високий
X_{13}	0,966	0,623	Механічне значення, вторинний маркер	Середній
X_{14}	0,533	0,519	Показник запалення, асоційований із симптомами і структурою	Середній
X_{15}	0,608	0,564	Фактор ризику, посилює симптоми та ураження слизової	Середній

Інтегрована модель факторного відбору та категоріальної регресії для прогнозування рівня ризику імплантації

Таблиця 3.9. Матриця факторних кореляцій

Фактор	1	2	3
1	1,000	-0,149	0,288
2	-0,149	1,000	-0,001
3	0,288	-0,001	1,000

Кінцева форма факторної моделі, яка показує, як кожна змінна розкладається на вплив факторів плюс залишкову частину:

$X_1 = -0,130 \cdot F_1 + 0,635 \cdot F_2 + 0 \cdot F_3 + \varepsilon_1;$	$X_2 = 0,592 \cdot F_1 - 0,182 \cdot F_2 + 0,369 \cdot F_3 + \varepsilon_2;$
$X_3 = 0,730 \cdot F_1 - 0,217 \cdot F_2 + 0 \cdot F_3 + \varepsilon_3;$	$X_4 = 0,729 \cdot F_1 - 0,258 \cdot F_2 + 0,347 \cdot F_3 + \varepsilon_4;$
$X_5 = 0 \cdot F_1 + 0 \cdot F_2 + 0,973 \cdot F_3 + \varepsilon_5;$	$X_6 = 0 \cdot F_1 + 0 \cdot F_2 + 0,256 \cdot F_3 + \varepsilon_6;$
$X_7 = 0,780 \cdot F_1 - 0,153 \cdot F_2 - 0,373 \cdot F_3 + \varepsilon_7;$	$X_8 = 0,438 \cdot F_1 + 0 \cdot F_2 - 0,202 \cdot F_3 + \varepsilon_8;$
$X_9 = 0,748 \cdot F_1 + 0,303 \cdot F_2 + 0,201 \cdot F_3 + \varepsilon_9;$	$X_{10} = 0,133 \cdot F_1 - 0,870 \cdot F_2 + 0,260 \cdot F_3 + \varepsilon_{10};$
$X_{11} = 0,830 \cdot F_1 + 0,359 \cdot F_2 + 0,192 \cdot F_3 + \varepsilon_{11};$	$X_{12} = 0,698 \cdot F_1 + 0,729 \cdot F_2 + 0,188 \cdot F_3 + \varepsilon_{12};$
$X_{13} = 0 \cdot F_1 - 0,783 \cdot F_2 + 0 \cdot F_3 + \varepsilon_{13};$	$X_{14} = 0,572 \cdot F_1 - 0,186 \cdot F_2 + 0,226 \cdot F_3 + \varepsilon_{14};$
$X_{15} = 0,598 \cdot F_1 + 0 \cdot F_2 + 0,301 \cdot F_3 + \varepsilon_1;$	

Інтегрована модель факторного відбору та категоріальної регресії для прогнозування рівня ризику імплантації

Модель категоріальної регресії:

$$Y_i^* = 0,126 \cdot f_{1i}^* - 0,857 \cdot f_{2i}^* + 0,164 \cdot f_{3i}^* + \varepsilon_i.$$

Таблиця 3.10. Параметри якості моделі категоріальної регресії для залежної змінної «Група ризику»

Множинний R	R ²	Скоригований R ²	Середня квадратична помилка прогнозу
0,926	0,858	0,857	0,142

Таблиця 3.11. Результати аналізу дисперсії (ANOVA) для моделі категоріальної регресії залежної змінної «Група ризику»

Джерело	Сума квадратів	Ступені свободи	Середній квадрат	F-критерій	Рівень значущості
Регресія	476,376	5	95,275	665,264	0,000
Залишки	78,624	549	0,143		
Загальна	555,000	554			

Таблиця 3.12. Стандартизовані коефіцієнти та статистична значущість предикторів моделі категоріальної регресії для залежної змінної «Група ризику»

Предиктор	Стандартизовані коефіцієнти		Ступені свободи	F-критерій	Рівень значущості
	Beta	Оцінка стандартної похибки			
F ₁	0,126	0,028	2	20,869	0,000
F ₂	-0,857	0,021	1	1681,605	0,000
F ₃	0,164	0,033	2	25,502	0,000

Таблиця 3.13. Кореляції, внесок предикторів та показники мультиколінеарності для моделі категоріальної регресії (залежна змінна «Група ризику»)

Предиктор	Кореляція			Внесок предиктора	Показник мультиколінеарності	
	Нульова кореляція	Часткова кореляція	Напівчасткова кореляція		Після трансформації	До трансформації
F ₁	,255	,311	,123	,037	,961	,823
F ₂	-,906	-,911	-,831	,905	,939	,886
F ₃	,300	,393	,161	,057	,960	,920

Нейромережева модель прогнозування рівня ризику імплантації

Початкові показники для моделювання:

- Гіперемія слизової в субкардіальній ділянці (бінарна змінна: 1-наявна; 0-відсутня) - X_1 ;
- Скарги на печію (бінарна змінна: 1-наявна; 0-відсутня) - X_2 ; Скарги на відчуття регургітації (бінарна змінна: 1-наявна; 0-відсутня) - X_3 ;
- Наявність дефектів слизової класифікованих за Лос-Анджелівською класифікацією оцінки рефлюкс-езофагіту (порядкова змінна: дефекти відсутні – 0; тип А – 1; тип В -2; тим С – 3; тип D - 4) - X_4 ;
- Наявність ерозій вкритих фібрином (бінарна змінна: 1-наявні; 0-відсутні) - X_5 ;
- Наявність ерозій вкритих гематином (бінарна змінна: 1-наявні; 0-відсутні) - X_6 ;
- Наявність виразок вкритих фібрином (бінарна змінна: 1-наявні; 0-відсутні) - X_7 ;
- Наявність виразок вкритих гематином (бінарна змінна: 1-наявні; 0-відсутні) - X_8 ;
- Показник розташування Z-лінії (кількісна змінна, см) - X_9 ;
- Висота верхнього стравохідного сфінктера (кількісна змінна, см) - X_{10} ;
- Показник діафрагмального звуження (кількісна змінна, см) - X_{11} ;
- Показник висоти пролабування шлунку в стравохід або кардіальну ділянку шлунку (кількісна змінна, см) - X_{12} ;
- Протяжність пролабування (кількісна змінна, см) - X_{13} ;
- Гіперемія в нижній третині стравоходу (бінарна змінна: 1-наявна; 0-відсутня) - X_{14} ;
- Куріння (бінарна змінна: 1-наявне; 0-відсутнє) - X_{15} .

Рівні ризику для залежної змінної:

- 0 (відсутній ризик). Ймовірність розвитку ускладнень мінімальна.
- 1 (низький ризик). Ймовірність ускладнень мінімальна.
- 2 (середній ризик). Ймовірність ускладнень помірна.
- 3 (високий ризик). Ймовірність ускладнень підвищена.
- 4 (критичний ризик). Ймовірність ускладнень висока.

Нейромережева модель прогнозування рівня ризику імплантації

Архітектура MLP складається з трьох основних рівнів:

- Вхідний шар: $D = 50$ змінних.
- Прихований шар: один шар із $H = 7$ нейронів, активаційна функція - гіперболічний тангенс:

$$f(z) = \tanh(z) = \frac{e^z - e^{-z}}{e^z + e^{-z}}.$$

- Вихідний шар: 5 нейронів (по одному для кожної групи ризику), активаційна функція – Softmax:

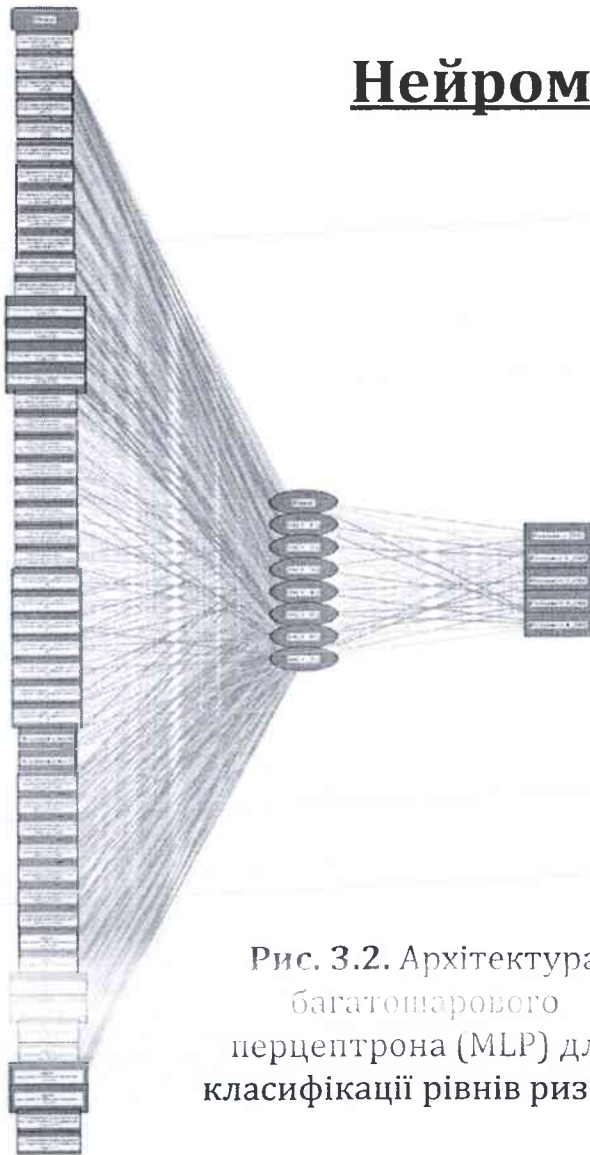
$$g(z_k) = \frac{e^{z_k}}{\sum_{r=0}^4 e^{z_r}}.$$

Нейромережева модель прогнозування рівня ризику імплантації

Таблиця 3.14. Матриця класифікації для моделі MLP

Вибірка	Спостережена група ризику	Передбачена група ризику					% правильних класифікацій
		0	1	2	3	4	
Навчальна	0	2	0	0	0	0	100,0%
	1	0	132	0	0	0	100,0%
	2	0	1	228	0	0	99,6%
	3	0	0	0	31	0	100,0%
	4	0	0	0	0	7	100,0%
	Загальний %	0,5%	33,2%	56,9%	7,7%	1,7%	99,8%
Тестова	0	1	0	0	0	0	100,0%
	1	0	59	1	0	0	98,3%
	2	0	0	79	0	0	100,0%
	3	0	0	0	14	0	100,0%
	4	0	0	0	0	1	100,0%
	Загальний %	0,6%	38,1%	51,6%	9,0%	0,6%	99,4%
Залежна змінна: Група ризику							

Рис. 3.2. Архітектура багатoshарового перцептрона (MLP) для класифікації рівнів ризику



Нейромережева модель прогнозування рівня ризику імплантації

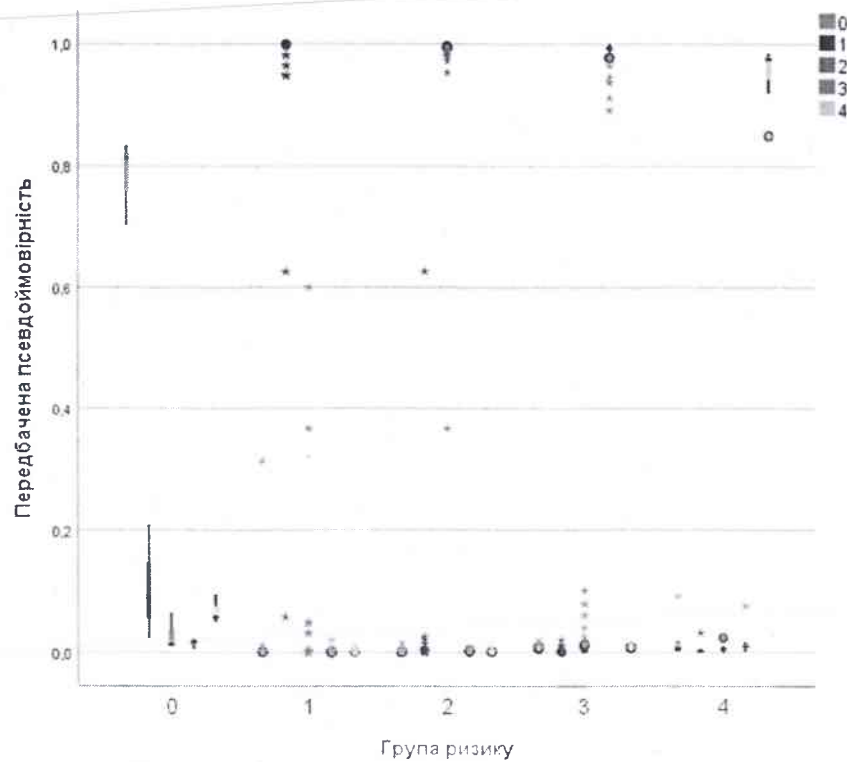


Рис. 3.3. Графік передбачених псевдоймовірностей для моделі MLP

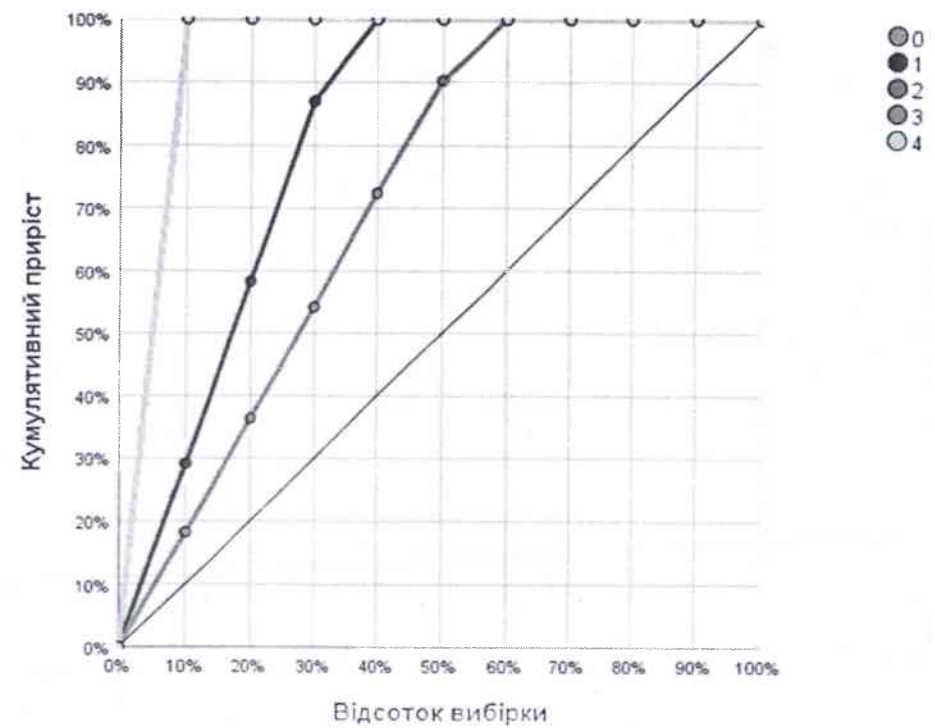


Рис. 3.4. Крива приросту для моделі MLP при класифікації пацієнтів за рівнями ризику

Нейромережева модель прогнозування рівня ризикy імплантації

$$E = - \sum_{i=1}^{N_{train}} \sum_{k=0}^4 y_k^{(i)} \ln(\hat{y}_k^{(i)}).$$

$$\text{Imp}(d) = \sum_{j=1}^H \sum_{k=1}^K |\omega_{jd}^{(1)}| |\omega_{kj}^{(2)}|;$$

$$\text{NormImp}(d) = 100\% \cdot \frac{\text{Imp}(d)}{\max_{d'} \text{Imp}(d')}.$$

Таблиця 3.15. Важливість незалежних змінних у моделі MLP для прогнозування рівня ризику імплантації діагностичних пристроїв

Вхідні змінні $\tilde{x}_d$	Imp(d)	NormImp(d)	Медична інтерпретація
Наявність гіперемії слизової в субкардіальній ділянці	0,022	12,3%	Локальні запальні зміни слизової у субкардіальній зоні.
Скарги на печію	0,022	12,1%	Суб'єктивний симптом кислотного рефлюксу.
Скарги на відчуття регургітації	0,019	10,6%	Характерна скарга, що супроводжує гастроєзофагеальний рефлюкс.
Наявність дефектів слизової класифікованих за Лос-Анджелівською класифікацією оцінки рефлюкс-езофагіту	0,035	19,2%	Об'єктивний показник ступеня ураження слизової стравоходу.
Висота верхнього стравохідного сфінктера	0,051	28,2%	Морфометричний параметр, що характеризує функціональний рівень сфінктера.
Показник протяжності пролабування	0,181	100,0%	Основний морфологічний показник ступеня пролабування шлунку. Має найвищий рівень впливу
Показник діафрагмального звуження	0,059	32,5%	Анатомічний показник діафрагмального кільця.
Показник висоти пролабування шлунку в стравохід або кардіальну ділянку шлунку	0,103	56,7%	Відображає висоту зміщення шлунку відносно діафрагми.
Куріння	0,021	11,5%	Поведінковий фактор ризику.
Показник розташування Z-лінії	0,034	18,7%	Морфологічний показник переходу епітелію стравоходу в епітелій шлунку.
Наявність ерозій вкритих фібрином	0,029	16,2%	Ознака гострих поверхневих уражень слизової.
Наявність ерозій вкритих гематином	0,158	86,9%	Показник перенесених ерозивних процесів або мікрокровотеч. Має високий рівень впливу
Наявність виразок вкритих фібрином	0,035	21,1%	Ознака активного виразкового процесу.
Наявність виразок вкритих гематином	0,160	88,3%	Ознака загоєних або хронічних виразкових уражень. Має високий рівень впливу
Наявність гіперемії в нижній третині стравоходу	0,060	33,3%	Показник запальних змін у нижній частині стравоходу.

Порівняння моделей

Характеристика моделі	CATREG	MLP
Якість моделі	Гірша CATREG забезпечує надійне пояснення результатів, що корисно для клінічного обговорення.	Краща MLP потужна за точністю, але потребує обережної перевірки узагальнення, щоб не помилялася на нових пацієнтах.
Інтерпретованість	Краща CATREG можна офіційно включити в клінічні протоколи як пояснюваний інструмент	Гірша MLP варто використовувати як додатковий автоматичний аналіз, але з обов'язковим поясненням (інтерпретаційним шаром)
Чутливість до розріджених даних	Вища CATREG краще підходить для невеликих вибірок або підгруп	Нижча MLP треба застосовувати лише після ретельного балансу даних
Налаштування параметрів моделювання	Без додаткового ПЗ. Досить SPSS	Без додаткового ПЗ. Досить SPSS
Ресурси та впровадження		
Висновок	CATREG – оптимальний вибір для клінічного використання та пояснювальних звітів	MLP – ефективна для автоматизованого скрінінгу або попереднього розподілу пацієнтів у великих вибірках

Стратегія впровадження отриманих моделей у клінічну практику

Логістична модель – це швидкий, інтерпретований інструмент для прийняття рішення «імплантувати / ні»; добре підходить для первісної верифікації показань.

Факторна модель + модель категоріальної регресії CATREG - це прозора, інтерпретована і стійка модель для стратифікації ризику; рекомендована як основа протоколу ризик-градації.

MLP модель має високу продуктивність і здатність виявляти складні нелінійні взаємозв'язки; корисна як додатковий автоматичний триаж, але вимагає пояснюваності та ретельної валідації перед впровадженням.

Оптимальний робочий підхід: поєднання (CATREG як офіційний інструмент стратифікації + MLP для автоматичної перевірки) з обов'язковим human-in-loop та зовнішньою валідацією.

Перед тим як застосовувати модель у реальному житті, треба перевірити, що вона дійсно узагальнює, а не просто «запам'ятала» дані тренувальної вибірки.

Перевірка, валідація і моніторинг після впровадження

1. **Валідація перед застосуванням:** внутрішня k-fold CV + бутстреп; зовнішня валідація на незалежній когорті (обов'язково). k-fold CV – це перевірка, наскільки добре модель працює на різних частинах вибірки. Bootstrap – це перевірка, наскільки прогнози моделі надійні і стабільні, якщо дані трохи «підмінити». На перших етапах мають бути щоквартальні перевірки продуктивності, аналіз випадків невірної класифікації.
2. **Кваліфікаційні перевірки після розгортання.** Потрібно слідкувати за змінами в розподілі вхідних ознак; при суттєвих змінах має бути повторне навчання нейромережі або перегляд факторних змінних у моделі категоріальної регресії.
3. **Документація і пояснення:** для MLP впровадити методи пояснюваності (SHAP або LIME) і зберігати пояснення для кожного клінічно важливого висновку.
4. **Клінічний аудит:** щонайменше 1-2 рази на рік проводити клінічний аудит рішень (ціль – перевірити, чи використання моделей покращує клінічні результати і чи немає системних помилок).

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-прикладну задачу формалізації процесу визначення показань до імплантації діагностичних пристроїв у пацієнтів із патологією шлунково-стравохідного переходу шляхом побудови та порівняння математичних моделей, заснованих на комплексному статистичному аналізі клінічних, ендоскопічних і морфометричних даних. Проведені дослідження дозволили створити багаторівневу систему моделювання, яка зменшує суб'єктивність клінічних рішень, підвищує точність стратифікації ризику та формує стандартизований алгоритм клінічного процесу.

Комплексне порівняння моделей показало, що кожна з них має свою оптимальну область застосування: **логістична регресія** є найдоцільнішою для первинної оцінки показань, **інтегрована модель факторного відбору та категоріальної регресії** для прогнозування рівня ризику імплантації – для багаторівневої стратифікації ризику, а **нейронна мережа** – для автоматизованого розпізнавання складних клінічних ситуацій. Поєднання цих моделей у єдиному алгоритмі дозволило розробити інтегровану систему прийняття рішень, яка враховує точність, інтерпретованість, оперативність та технічні можливості реальної клінічної практики.