

Міністерство освіти і науки України  
Запорізька обласна державна адміністрація

Шифр: «Оптимізація фінансових показників аптек»

Тема роботи: „ **ЗДОРОВ’Я НАСЕЛЕННЯ**

”

Напрямок: фізико-математичні науки

2019 рік

**АНОТАЦІЯ**

**Мета.** Створення моделі залежності показників здоров'я від обсягів викидів забруднюючих речовин.

**Методика.** Для розв'язування даного завдання було прийнято рішення використовувати технології штучних нейронних мереж.

**Результати.** Представлено результати аналізу впливу забрудненого атмосферного повітря на захворюваність населення. Запропоновано методи побудови математичної моделі залежності показників захворюваності від обсягів викидів забруднюючих речовин. Порівняльний аналіз роботи створених моделей показав, що найкращі результати досягнуті у моделі на основі нейронної мережі довгої короткочасної пам'яті (LSTM). Розроблено модифікований генетичний метод для оптимізації параметрів моделі на основі нейронної мережі довгої короткочасної пам'яті. Запропоновано модифікацію одного з операторів генетичного методу, а саме оператору мутацій, яка дозволяє проводити пошук оптимальних значень, виключаючи втрату надбаних під час пошуку кращих рішень.

**Наукова новизна.** Наукова новизна роботи полягає в використанні модифікованого генетичного методу для оптимізації параметрів моделі на основі нейронної мережі довгої короткочасної пам'яті. Принципова відмінність використаного генетичного алгоритму від існуючих модифікацій полягає у використанні диплоїдного набору хромосом в особин популяції, яка еволюціонує.

Крім цього запропоновано модифікацію одного з операторів генетичного методу, а саме оператору мутацій. Відмінність застосування оператору від класичного методу полягає у визначенні кількості особин, що піддаються дії цього оператора.

**Практична значимість.** Запропонована модель на основі нейронної мережі довгої короткочасної пам'яті та модифікація класичного методу і оператора мутації є досить ефективним рішенням для встановлення математичної залежності показників здоров'я від обсягів викидів забруднюючих речовин. Практичне використання розроблених методів дасть можливість своєчасно коригувати плановані лікувально-діагностичні, профілактичні заходи, завчасно визначати необхідні ресурси для локалізації та ліквідації захворювань з метою збереження здоров'я населення.

**Ключові слова:** *моделювання, обсяги викидів, забруднюючі речовини, стаціонарні джерела, хвороби системи кровобігу, рак, нейронні мережі, генетичний алгоритм, метод рою часток, python, keras, theano, cuda*

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів....	4
Вступ.....	5
1. МОДЕЛЮВАННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ПОКАЗНИКІВ ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ ВІД ОБСЯГІВ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН У ПОВІТРЯ.....	6
2.1. Постановка завдання.....	16
2.2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми.....	17
2.3. Мета і задачі дослідження.....	19
2.4. Розробка модифікованого генетичного методу на основі нейронної мережі довгої короткочасної пам'яті.....	19
2.5. Висновки за розділом.....	22
3. Експерименти методів ініціалізації початкової популяції еволюційного алгоритму.....	23
Висновки.....	29
Перелік посилань.....	31

# **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

AIC – Akaike information criterion

BIC – Bayesian information criterion

GLM – Generalized Linear Model

IDE – Integrated Development Environment

MS – Microsoft

MS SSAS – Microsoft SQL Server Analyzes Services

MS SSIS – Microsoft SQL Server Integration Services

SQL – Structured Query Language

UI – User Interface

БД – база даних

ГА – генетичний алгоритм

ОС – операційна система

ПЗ – програмне забезпечення

РСУБД – реляційна система управління базами даних

СУБД – система управління базами даних

ШН – штучний нейрон

ШНМ – штучна нейронна мережа

## ВСТУП

У сучасному конкурентному середовищі швидкість та правильність прийняття рішень є ключовим фактором успішності ритейлера, яким є і аптечна мережа. Головними індикаторами успішності роботи аптеки є її фінансові показники: прибуток та оборот.

Впливати на ці показники можна різними методами, але одним з найефективніших методів є оптимізація асортименту складу аптеки.

Питання оптимального асортименту є важливим як для аптеки, що працює тривалий час, так і для аптеки, що тільки буде відкриватись.

На вибір асортименту впливають такі фактори, як площа аптеки, собівартість медикаментів, оборотність асортиментних позицій, маркетингові фактори, фактори сезонності, екологічні фактори, фактори географічного положення аптеки відносно місцевої інфраструктури і т. ін.

Оптимізація асортименту призведе до більш ефективного використання площі аптек, зменшення незадоволеного попиту та, в кінцевому результаті, до зменшення роздрібної вартості ліків за рахунок зменшення видатків на зберігання та обслуговування неоптимальне завантаження площі аптеки [1].

Завдання оптимізації – це широке поле для використання сучасних методів розрахунку - нейронних мереж та генетичних алгоритмів.

Метою роботи є дослідження методів оптимізації асортименту аптеки за допомогою нейронних мереж і генетичних алгоритмів.

# **1. МОДЕЛЮВАННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ПОКАЗНИКІВ ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ ВІД ОБСЯГІВ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН У ПОВІТРЯ**

Розв'язання завдань медичного діагностування пов'язано з необхідністю побудови моделей залежності показників здоров'я пацієнтів від різних факторів. До таких факторів в багатьох випадках можуть відноситися кількість викидів забруднюючих речовин в районі проживання конкретних пацієнтів.

У даній роботі виконано дослідження залежності показників захворюваності населення хворобами системи кровообігу, туберкульозом та онкологічними хворобами від обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря в результаті діяльності стаціонарних джерел забруднення в різних регіонах України, а також розробка моделі залежності показників захворюваності від обсягів викидів забруднюючих речовин. Це забезпечить можливість прогнозування показників захворюваності, що може бути використано при плануванні регіональних бюджетів в розділі витрат на охорону здоров'я, медикаментозне забезпечення населення, здійснення заходів щодо покращення екологічного становища.

Проблематика досліджуваної предметної області є досить актуальною і привертає багато уваги як з боку світової наукової спільноти у галузі охорони здоров'я, так і з боку дослідників у сфері Data Science. Згідно Статуту Всесвітньої Організації охорони здоров'я, мати найвищий досяжний рівень здоров'я є одним з основних прав будь-якої людини, а охорона навколишнього середовища (зокрема, забруднення повітря і води) є одним з 70 основних напрямків діяльності ООН [1].

Водночас, відтворення моделі такої залежності не є простою задачею, адже рівень забруднення не є єдиним фактором, що впливає на рівень захворюваності, і залежність захворюваності від обсягів викидів не є лінійною. Тому таке моделювання потребує використання сучасних методів таких, наприклад, як штучні нейронні мережі, генетичні алгоритми, тощо. В роботі наведено аналіз динаміки обсягів викидів забруднюючих речовин і діоксиду вуглецю в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення, а також динаміку показників захворюваності по такими хворобам, як туберкульоз, хвороби органів кровообігу і онкологічні хвороби (рак) в різних регіонах України за роки незалежності. Розглянуті традиційні математичні моделі, які використовуються для аналізу залежності, а також сучасні підходи моделювання з застосуванням таких методів, як штучні нейронні мережі, генетичні алгоритми, мультиагентні системи (алгоритм рою часток) і їх комбіновані варіанти.

В ході роботи було побудовано моделі залежності показників захворюваності від обсягів викидів забруднюючих речовин. Розроблено модифікований генетичний метод для оптимізації параметрів моделі на основі нейронної мережі довгої

короткочасної пам'яті. Крім цього запропоновано модифікацію одного з операторів генетичного методу, а саме оператору мутацій, яка дозволяє проводити пошук оптимальних значень, виключаючи втрату надбаних під час пошуку кращих рішень.

## 2. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

Загальна мапа забрудненням атмосферного повітря України зображена на рисунку 1.1.

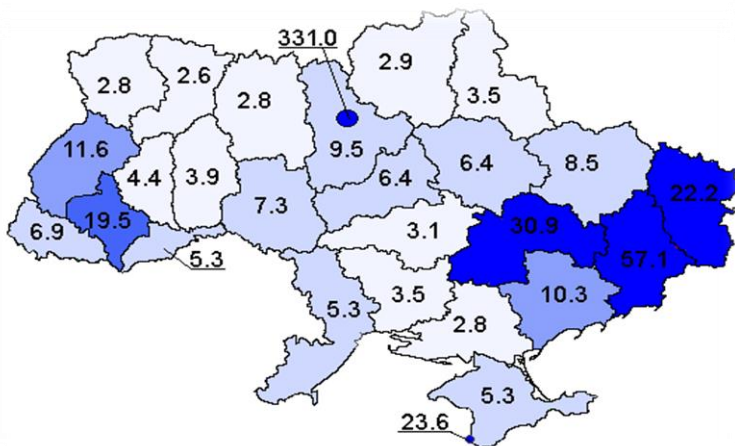


Рисунок **Ошибка! Текст указанного стиля в документе отсутствует.**1 – Викиди шкідливих речовин в атмосферне повітря у 2009р (тонн на 1м2) [1]

### Законодавство України про захист повітря

В Україні, як і в більшості розвинених країн світу, прийнято і діє атмосфероохоронне законодавство, яке передбачає розгалужену систему правових засобів, що спрямовані на забезпечення охорони атмосферного повітря від забруднення і запобігання шкідливому впливу різноманітних факторів на нього (хімічних, фізичних, біологічних, тощо). У цьому контексті, кабінетом Міністрів України затверджено перелік забруднюючих речовин, які є найбільш поширені і небезпечні, і викиди яких в атмосферне повітря підлягають державному регулюванню.

Також, з метою оцінки стану атмосферного повітря Міністерством охорони здоров'я України встановлені нормативи гранично допустимих концентрацій (ГДК) забруднюючих речовин в атмосферному повітрі і рівні шкідливих фізичних впливів на нього, які є єдиними для всієї території України [2]. Крім цього, передбачено, що в окремих (необхідних) випадках і для окремих регіонів України можуть також встановлюватися більш суворі нормативи ГДК.

Окрім цього, Міністерством екології та природних ресурсів України та Міністерством охорони здоров'я України встановлені нормативи гранично допустимих викидів забруднюючих речовин (ГДВ) стаціонарними і пересувними джерелами забруднення і нормативи гранично допустимого впливу фізичних та біологічних факторів.

Для випадків, коли з об'єктивних причин встановлення ГДВ для конкретного населеного пункту неможливе, передбачено встановлення тимчасово узгоджені нормативи викидів (ТУВ). У цьому випадку, застосовується принцип поетапного зниження обсягів забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферу. На період реалізації заходів, що забезпечують дотримання нормативів ГДВ, підприємства, які мають стаціонарні джерела забруднення, мають розробляти проекти нормативів ТУВ та плани поетапного зниження цих викидів згідно з встановленими нормативами та узгоджувати їх з місцевими адміністраціями, представляти їх на затвердження до відповідних органів.

З метою забезпечення охорони стану і складу атмосферного повітря Законом України "Про охорону атмосферного повітря" встановлена дозвільна система регулювання викидів в атмосферу, що породжує відповідні правові наслідки [3]. Згідно Закону, викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами можуть здійснюватися підприємством лише після отримання відповідного дозволу, що видається територіальним органом Міністерства екології та природних ресурсів України і за погодженням з територіальним органом Міністерства охорони здоров'я України.

Дозвіл на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами є офіційним документ, що надає право організаціям, підприємствам, установам та окремим громадянам (суб'єктам господарювання) експлуатувати об'єкти, з яких надходять забруднюючі речовини або їх суміші в атмосферне повітря, за умови дотримання встановлених відповідних нормативів ГДВ та суворого дотримання вимог до технологічних процесів, пов'язаних з господарчою діяльністю, у частині обмеження викидів забруднюючих речовин. Такий дозвіл є строковим і діє лише протягом визначеного в ньому терміну.

Постанова Кабінету Міністрів України від 13 березня 2002 року (зі змінами, внесеними постановою Кабінету Міністрів України від 16 червня 2004 року) [4] встановлює порядок проведення та оплати робіт, пов'язаних з видачею дозволів на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами, а також, порядок обліку установ, підприємств та громадян - суб'єктів господарської діяльності, які отримали такі дозволи.

Згідно зі ст. 13 Закону України "Про охорону атмосферного повітря" [3] рівні впливу фізичних та біологічних факторів на стан атмосферного повітря, вимоги щодо їх скорочення встановлюються відповідним дозволом на основі затверджених нормативів. Кабінет Міністрів України встановлює порядок розроблення, видачі та



оплати робіт, пов'язаних із видачею дозволів на рівні впливу фізичних та біологічних факторів на стан атмосферного повітря, та обліку підприємств, установ, організацій і громадян – суб'єктів господарської діяльності, які отримали такі дозволи.

Експлуатація існуючого та новоствореного устаткування з визначеними рівнями впливу фізичних та біологічних факторів на стан атмосферного повітря суб'єктами господарської діяльності можлива лише за умов дотримання встановлених нормативів гранично - допустимих рівнів впливу фізичних та біологічних факторів і наявності відповідного дозволу, який є офіційним документом і діє протягом визначеного в ньому терміну.

Відповідно до законодавства, у разі порушення умов і вимог до викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря і рівнів впливу фізичних та біологічних факторів на його стан, передбачених дозволом, господарська чи інші види діяльності, пов'язані з порушенням цих умов і вимог, може бути обмежена, тимчасово заборонена (зупинена) або припинена.

Стаття 15 Закону України "Про охорону атмосферного повітря" визначає обов'язки установ, підприємств, організацій та громадян, які є суб'єктами господарчої діяльності, які здійснюють викиди забруднюючих речовин або впливи фізичних та біологічних факторів, що можуть призвести до виникнення надзвичайних екологічних ситуацій техногенного та природного характеру або до надзвичайних екологічних ситуацій. А саме:

установи, підприємства, організацій та громадяни, які є суб'єктами господарчої діяльності, зобов'язані здійснювати організаційно-господарські та інші заходи щодо забезпечення виконання умов і вимог, які передбачені у відповідних дозволах на викиди забруднюючих речовин та інший шкідливий вплив;

установи, підприємства, організацій та громадяни, які є суб'єктами господарчої діяльності, зобов'язані самостійно вживати заходи щодо зменшення обсягів викидів забруднюючих речовин і зниження шкідливого впливу фізичних та біологічних впливів;

установи, підприємства, організацій та громадяни, які є суб'єктами господарчої діяльності, повинні забезпечувати ефективну безперебійну роботу та підтримання у справному стані споруд, устаткування й апаратури для очищення викидів та зменшення інших шкідливих впливів;

установи, підприємства, організацій та громадяни, які є суб'єктами господарчої діяльності, зобов'язані розробляти і мати заздалегідь розроблені спеціальні заходи щодо охорони атмосферного повітря;

установи, підприємства, організацій та громадяни, які є суб'єктами господарчої діяльності, можуть складувати, зберігати чи розміщувати виробниче, побутове сміття та інші відходи лише за наявності спеціального дозволу на визначених місцевими органами територіях і лише у межах встановлених ними лімітів;

установи, підприємства, організацій та громадяни, які є суб'єктами господарчої діяльності, мають заздалегідь розробляти та погоджувати спеціальні заходи щодо охорони атмосферного повітря. У разі виникнення надзвичайних екологічних ситуацій керівники Установи, підприємства, організацій та громадяни, які є суб'єктами господарчої діяльності зобов'язані негайно в порядку, який визначений Законом України "Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру" [5], повідомляти про це органи, які державного контролю у галузі охорони атмосферного повітря, і зобов'язані вжити заходів до охорони атмосферного повітря, ліквідації причин і наслідків його забруднення, тощо.

Законодавство України також містить приписи, метою яких є регулювання діяльності, що впливає на погоду і клімат. Діяльність, яка спрямована на штучні зміни стану атмосфери та атмосферних явищ у господарських цілях, може здійснюватися установами, підприємствами, організаціями та громадянами, які є суб'єктами господарчої діяльності, тільки за умов наявності відповідного дозволу, виданого спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань охорони навколишнього природного середовища або його територіальними органами, за погодженням із спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань охорони здоров'я або його територіальними органами, місцевими органами виконавчої влади та місцевого самоврядування. Постановою Кабінету Міністрів України від 13 березня 2002 року (зі змінами, внесеними постановою від 16 червня 2004 року) затверджено порядок погодження і видачі дозволів на провадження діяльності, пов'язаної із штучними змінами стану атмосфери та атмосферних явищ у господарських цілях.

Установи, підприємства, організацій та громадяни, які є суб'єктами господарчої діяльності, зобов'язані відповідно до міжнародних договорів, згода на обов'язковість яких надана Верховною Радою України, скорочувати і в подальшому повністю припинити виробництво та використання хімічних речовин, що шкідливо впливають на озоновий шар, а також проводити роботу щодо зменшення викидів речовин, накопичення яких в атмосферному повітрі може призвести до негативних змін клімату. Такі зобов'язання відповідають Рамковій конвенції ООН про зміну клімату та Кіотському протоколу до цієї конвенції [6], що ратифіковані Україною.

Національне законодавство України з охорони атмосферного повітря забороняє експлуатацію, виробництво та проектування транспортних та інших пересувних засобів і установок (пересувних джерел забруднення), вміст забруднюючих речовин у відпрацьованих газах яких перевищує значення, встановлені відповідними нормативами, або рівні впливу відповідних фізичних факторів.

З метою недопущення забруднення атмосферного повітря господарська діяльність, що пов'язана з використанням пестицидів та мінеральних добрив, повинна проводитись згідно вимоги до охорони атмосферного повітря.

Законодавство визначає правила та вимоги щодо транспортування, зберігання і застосування пестицидів та мінеральних добрив.

Крім цього, в Україні впроваджено комплекс вимог до охорони атмосферного повітря під час видобування корисних копалин і проведення вибухових робіт. Відповідно до статті 19 Закону України "Про охорону атмосферного повітря", ці види діяльності також мають проводитися виключно особами, які погоджені зі спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань охорони навколишнього природного середовища, спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань охорони здоров'я, іншими органами виконавчої влади та місцевого самоврядування, з дотриманням вимог щодо охорони атмосферного повітря.

Іншим напрямом охорони атмосферного повітря є його захист від забруднення побутовими, виробничими та іншими видами відходами. Складування, зберігання або транспортування промислових та побутових відходів, що можуть бути джерелами забруднюючого впливу на атмосферне повітря, або речовинами, які мають неприємний запах, чи є джерелами іншого шкідливого впливу на атмосферне повітря, може здійснюватись лише за наявності відповідного дозволу на визначених місцевими органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування територіях, з додержанням нормативів екологічної безпеки і з метою подальшої утилізації або видалення.

Не допускається спалювання зазначених відходів на території підприємств, установ, організацій і населених пунктів, окрім випадків, коли спалювання здійснюється з використанням спеціальних установок при додержанні вимог, встановлених законодавством про охорону атмосферного повітря.

Крім цього, згідно законодавства, власники або уповноважені ними органи управління установ, підприємств, організацій, які є суб'єктами господарчої діяльності, зобов'язані забезпечувати переробку, утилізацію та своєчасне вивезення відходів, що є джерелами забруднення атмосферного повітря, на підприємства, які використовують їх як сировину, або на спеціально відведені для цього місця чи об'єкти.

До правових заходів охорони атмосферного повітря належить також регулювання шкідливого фізичного впливу на атмосферу, зокрема, відвернення і зниження шуму. Чинним законодавством передбачений комплекс дій направлений на відвернення, зниження і досягнення безпечних рівнів виробничих та інших шумів. Зниження, відвернення шумів, а також досягнення безпечних рівнів виробничих та інших шумів мають забезпечуватися:

розробкою, створенням і впровадженням машин і механізмів, а також технологій використання машин і механізмів, які мінімізують рівень шуму при їх експлуатаванні;

реконструкцією та удосконаленням конструкцій транспортних та інших пересувних засобів, їх окремих вузлів, регламентів та умов їх використання, утриманням у належному справному стані залізничних і трамвайних колій, автомобільних шляхів, вуличного покриття, тощо;

розміщенням об'єктів, що є, або можуть бути, джерелами шумового забруднення, відповідно до санітарно-гігієнічних вимог, встановлених законодавством;

плануванням будівництва таких об'єктів відповідно встановлених законодавством норм і мап шуму;

виробництвом будівельних матеріалів, конструкцій, технічних засобів спорудження житла, об'єктів соціального призначення та будівництвом споруд з необхідними акустичними властивостями;

впровадженням організаційних заходів для відвернення і зниження виробничих, комунальних побутових і транспортних шумів, зокрема, розробкою і використанням раціональних схем і режимів руху транспорту у межах населених пунктів.

Стаття 21 Закону України "Про охорону атмосферного повітря" встановлює обов'язки громадян щодо виконання вимог, встановлених з метою зниження побутового шуму у квартирах, а також у дворах жилих будинків, на вулицях, у місцях відпочинку та інших громадських місцях.

Частина другою статті 13 цього закону (в редакції від 3 червня 2004 року) затверджує порядок видачі дозволів на гранично допустимі рівні шуму, що утворюється стаціонарними джерелами, зокрема під час роботи машин, механізмів, обладнання, інструментів, а також користування звуковідтворювальною апаратурою та музичними інструментами у концертних і танцювальних закладах та на відкритих майданчиках, у театрах і кінотеатрах, дискотеках, казино, інших закладах розважального та грального бізнесу і культури, музичних закладах освіти, у ресторанах, кафе, барах, інших закладах громадського харчування, торгівлі, побутового обслуговування, тощо.

Законом України "Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення" [7] передбачений захист населення від шкідливого впливу шуму, іонізуючих випромінювань та інших фізичних факторів. Стаття 24 цього закону з метою відвернення і зменшення шкідливого впливу на здоров'я населення шуму, неіонізуючих випромінювань та інших фізичних факторів зобов'язує органи виконавчої влади, місцевого самоврядування, підприємства, установи, організації та громадян при здійсненні будь-яких видів діяльності:

здійснювати відповідні організаційні, господарські, технічні, технологічні, архітектурно-будівельні та інші заходи щодо запобігання утворенню та зниженню шуму до рівнів, встановлених санітарними нормами;

забезпечувати під час роботи закладів громадського харчування, торгівлі, побутового обслуговування, розважального та грального бізнесу, культури, при

проведенні концертів, дискотек, масових святкових і розважальних заходів тощо рівні звучання звуковідтворювальної апаратури та музичних інструментів у приміщеннях і на відкритих площадках, а також рівні шуму в прилеглих до них жилих і громадських будівлях, що не перевищують рівнів, установлених санітарними нормами;

вживати заходів щодо недопущення впродовж доби перевищень рівнів шуму, встановлених санітарними нормами, в таких приміщеннях і на таких територіях (захищені об'єкти):

жилих будинків і прибудинкових територіях;

лікувальних, санаторно-курортних закладів, будинків-інтернатів, закладів освіти, культури;

готелів і гуртожитків;

розташованих у межах населених пунктів закладів громадського харчування, торгівлі, побутового обслуговування, розважального та грального бізнесу;

інших будівель і споруд, у яких постійно чи тимчасово перебувають люди;

парків, скверів, зон відпочинку, розташованих на території мікрорайонів і груп житлових будинків;

шум на захищених об'єктах при здійсненні будь-яких видів діяльності не повинен перевищувати рівнів, установлених санітарними нормами для відповідного часу доби.

Крім цього, на захищених об'єктах забороняються гучний спів і вигуки, користування звуковідтворюючою апаратурою та іншими джерелами побутового шуму, проведення салютів, феєрверків, використання піротехнічних засобів у нічний час із 22-ої до 8-ої години.

З 21-ої до 8-ої години у робочі дні (а у святкові та неробочі дні – цілодобово) на захищених об'єктах забороняється проведення ремонтних робіт, що супроводжуються шумом. Власник або орендар приміщень, у яких передбачається проведення ремонтних робіт, зобов'язаний заздалегідь повідомити мешканців прилеглих квартир про початок зазначених робіт. Ремонтні та будівельні роботи можуть проводитися також у святкові та неробочі дні при наявності згоди мешканців усіх прилеглих квартир. Шум, який утворюється під час проведення будівельних робіт, в жодному разі, не повинен перевищувати санітарних норм цілодобово.

Вимоги щодо додержання тиші та обмежень певних видів діяльності, що супроводжуються шумом, передбачені частинами другою, третьою та четвертою ст. 13 Закону України "Про охорону атмосферного повітря", не поширюються на випадки:

здійснення в закритих приміщеннях будь-яких видів діяльності, що супроводжуються шумом, за умов, що виключають проникнення шуму в прилеглі приміщення, в яких постійно чи тимчасово перебувають люди;

здійснення в закритих приміщеннях будь-яких видів діяльності, що супроводжуються шумом, за умов, що виключають проникнення шуму за межі таких приміщень;

попередження та(або) ліквідації наслідків аварій, стихійного лиха, інших надзвичайних ситуацій;

надання невідкладної допомоги, запобігання або припинення правопорушень;

запобігання крадіжкам, пожежам, а також виконання завдань цивільної оборони;

проведення зборів, мітингів, демонстрацій, походів, інших масових заходів, про які завчасно сповіщено органи виконавчої влади чи місцевого самоврядування;

роботи обладнання і механізмів, що забезпечують життєдіяльність жилих і громадських будівель, за умов ужиття невідкладних заходів щодо максимального обмеження проникнення шуму в прилеглі приміщення, в яких постійно чи тимчасово перебувають люди;

відзначення встановлених законом святкових і неробочих днів, днів міст, інших свят відповідно до рішення місцевої ради" проведення спортивних змагань;

проведення салютів, феєрверків, інших заходів із використанням вибухових речовин і піротехнічних засобів у заборонений час за погодженням із уповноваженим органом місцевого самоврядування в порядку, передбаченому правилами додержання тиші в населених пунктах і громадських місцях.

Сільські, селищні, міські ради затверджують правила додержання тиші в населених пунктах і громадських місцях, установлюють заборони та обмеження щодо певних видів діяльності, що супроводжуються утворенням шуму (з урахуванням особливостей окремих територій (курортні, лікувально-оздоровчі, рекреаційні, заповідні тощо)), а також установлюють порядок проведення салютів, феєрверків, інших заходів із використанням вибухових речовин і піротехнічних засобів.

Органи виконавчої влади, місцевого самоврядування забезпечують контроль за додержанням керівниками та посадовими особами підприємств, установ, організацій усіх форм власності, а також громадянами санітарного та екологічного законодавства, правил додержання тиші в населених пунктах і громадських місцях, інших нормативно-правових актів у сфері захисту населення від шкідливого впливу шуму, неіонізуючих випромінювань та інших фізичних факторів, в межах повноважень, встановлених законом,

Згідно чинного законодавства, основним правовим засобом, який спрямований на охорону атмосферного повітря, є правова регламентація проектування, будівництва та реконструкції підприємств та інших об'єктів, які впливають або можуть впливати на стан атмосферного повітря. Проектування, будівництво і реконструкція підприємств та інших об'єктів, які впливають або можуть впливати на стан атмосферного повітря, удосконалення існуючих і впровадження нових технологічних процесів та устаткування здійснюються, виключно, з обов'язковим

дотриманням норм екологічної безпеки, державних санітарних вимог і правил, а також з урахуванням таких факторів, як накопичення і трансформації забруднення в атмосфері, його транскордонного перенесення, особливості кліматичних умов в регіоні.

Згідно діючого законодавства, спеціально уповноваженим органом виконавчої влади з питань містобудування та архітектури здійснюється погодження проектів забудови, будівництва та реконструкції підприємств та інших об'єктів, які впливають або можуть впливати на стан атмосферного повітря. Погодження здійснюється із урахуванням висновків природоохоронних, санітарних та інших органів виконавчої влади або місцевого самоврядування відповідно до їх повноважень, визначених законом.

Статтею 23 Закону України "Про охорону атмосферного повітря" забороняється будівництво та введення в експлуатацію нових і реконструйованих підприємств та інших об'єктів, які не відповідають встановленим законодавством вимогам про охорону атмосферного повітря. Крім цього, забороняється впровадження відкриттів, винаходів, корисних моделей, промислових зразків, раціоналізаторських пропозицій, застосування нової техніки, імпортного устаткування, технологій і систем, якщо вони не відповідають вимогам, установленим законодавством про охорону атмосферного повітря. У разі виявлення порушення законодавчо встановлених вимог, уповноважені державні органи припиняють таку діяльність, винні особи притягуються до відповідальності.

В законі також регламентовано встановлення санітарно-захисних зон. Санітарно-захисні зони встановлюються для забезпечення оптимальних умов життєдіяльності людини в районах житлової забудови, масового відпочинку і оздоровлення населення при визначенні місць розміщення нових, реконструкції діючих підприємств та інших об'єктів, які впливають або можуть вплинути на стан атмосферного повітря.

У разі, якщо межі або режим санітарно-захисної зони порушено і, в наслідок цього виникає необхідність у відселенні мешканців, перенесення об'єктів соціального призначення або здійснення інших заходів, підприємства, установи, організації та громадяни – суб'єкти підприємницької діяльності, місцеві органи виконавчої влади, органи місцевого самоврядування повинні вирішувати питання про фінансування необхідних робіт і заходів та строки їх реалізації.

Законодавством України з охорони атмосферного повітря регламентовано проведення організаційно-економічних заходів, які передбачають:

стягнення зборів за забруднення навколишнього природного середовища (зокрема, атмосферного повітря);

відшкодування збитків, які виникли наслідок порушення норм законодавства про охорону атмосферного повітря;

стимулювання установ, підприємств, організацій та громадян, які є суб'єктами підприємницької діяльності впровадження маловідходних, ресурсозберігаючих технологій, шляхом надавання податкових, кредитних та інших пільг;

участь держави у фінансуванні екологічних заходів і будівництві об'єктів екологічного призначення.

## 2.1. ПОСТАНОВА ЗАВДАННЯ.

Математична залежність показників захворюваності від обсягів викидів забруднюючих речовин можна визначити як функцію, в якій незалежною змінною буде обсяг викидів забруднюючих речовин, а залежною – показник захворюваності (1)

$$K_{morb} = f(x_{emiss}), \quad (1)$$

де  $K_{morb}$  – показник захворюваності,  $x_{emiss}$  – показники, що характеризують вплив обсягів викидів.

Виходячи з наведених даних і аналізу статистичних даних [2], можна дійти висновку, що шукана математична модель буде не детермінованою, а скоріш стохастичною.

Окрім обсягів викидів забруднюючих речовин на рівень захворюваності, вочевидь, оказують вплив і множина інших факторів, точну кількість яких визначити досить проблематично. Якщо позначити ці фактори як  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , то узагальнену модель залежності (1) можна представити у формі (2):

$$K_{morb} = f(x_{emiss}, x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (2)$$

Під час аналізу статистичних даних встановлено [3], що основним фактором впливу викидів на здоров'я людини є наявність в їх складі токсичних речовин. В свою чергу, характер і ступінь впливу токсичних речовин, їх здатність провокувати патологічні стани в організмі людини варіюють в залежності від комбінації метеорологічних і кліматичних факторів таких, наприклад, як температура повітря і кількість опадів.

Крім цього, звичайно, на показники захворюваності впливає якість медичного обслуговування населення. У якості основних метрик, які доцільно враховувати при будівництві моделі залежності показників захворюваності, використано показники кількості лікарів (усіх спеціалізацій) у регіоні і кількість лікарняних ліжок у стаціонарних відділеннях медичних закладів регіону, як кількісний показник обсягів медичного обслуговування.



Нарешті, оскільки розподілення захворюваності в різних регіонах є статистичним, для моделювання такої залежності варто враховувати і кількість населення в регіоні.

Оскільки, згідно даних медичної статистики [1 - 3], загальна захворюваність населення має різні показники у різних вікових групах (як правило, збільшується з віком), доцільно також враховувати середній вік населення у регіоні.

Таким чином, узагальнену модель залежності показників захворюваності від обсягів викидів з деяким припущенням можна привести до виду (3):

$$K_{morb} = f(x_{emiss}, x_{popul}, x_{temp}, x_{rainfall}, x_{docs}, x_{beds}), \quad (3)$$

де  $x_{popul}$  – показник, що характеризує вплив кількості населення,  $x_{temp}$  – середня температура повітря,  $x_{rainfall}$  – кількість опадів,  $x_{docs}$  – показник, що характеризує вплив кількості лікарів,  $x_{beds}$  – показник, що характеризує вплив загальної кількості ліжок у стаціонарних відділеннях.

Для досягнення мети роботи, необхідно провести аналіз динаміки показників викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення та динаміки показників захворюваності по таким хворобам, як хвороби системи кровообігу, туберкульоз, та захворювання на рак (онкологічні захворювання) в різних регіонах України, виявити залежності між ними та створити модель цієї залежності, яка надала би можливість прогнозувати динаміку показників захворюваності від обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря у майбутньому.

## **2.2.АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ.**

Методи прогнозування захворюваності активно розвиваються з початку ХХ століття. В останні роки число робіт на цю тему стрімко зростає завдяки розвитку інформаційних систем і появи великих обсягів статистики, доступної для аналізу.

Класичний регресійний аналіз [4] – найпопулярніший метод прогнозування захворюваності. Завдання регресії полягає в знаходженні оцінок невідомих параметрів і формуванні функціональної залежності між захворюваністю і факторами, що її зумовлюють. Серед регресійних моделей слід виділити дві групи: неадаптивні моделі, для оцінки параметрів яких використовуються всі наявні дані, і адаптивні моделі, значення параметрів яких розраховуються на основі ковзного вікна спостережень.

Неадаптивні регресивні моделі призначені враховувати всю передісторію захворюваності на аналізованій території. Для їх побудови використовуються всі

наявні дані або, принаймні, спостереження останніх років, що володіють схожими характеристиками. Так, якщо властивості процесу захворюваності змінилися, ймовірно, застарілі дані вже не допоможуть уточнити прогноз. Адаптивні регресійні моделі представляють обмежений відрізок тимчасового ряду і повинні бути досить чутливі для того, щоб реагувати на поточні тенденції захворюваності.

Неадаптивні моделі дозволяють отримати проєкції захворюваності на будь-який термін, але такі моделі ігнорують локальні коливання епідемічних показників і погано підходять для короткострокового прогнозування. Адаптивні моделі, навпаки, призначені для формування прогнозів на декілька тижнів вперед. При досить великій ширині ковзного вікна можуть бути розраховані і середньострокові оцінки захворюваності, але досягнення високої їх якості проблематично [5].

В роботі [6] запропоновано використання динамічних байєсівських мереж для прогнозування захворюваності, що забезпечує облік структури кореляції даних. Байєсівські мережі зображують у формі спрямованого графа, вершини якого відповідають змінним моделі, а ребра – ймовірнісним залежностям між ними, які задані певними законами розподілу. Після навчання байєсівські мережі дозволяють оцінити ймовірність настання певної події при спостереженні деякої послідовності явищ. Байєсівські мережі сьогодні стрімко набирають популярність в різних областях знань і застосовуються до задачі прогнозування захворюваності переважно в простій формі прихованих марковських моделей (СММ).

Побудова СММ можливо як при великому, так і малій кількості вихідних даних, однак алгоритми оцінки параметрів моделі складно обчислювальні, тому СММ зазвичай аналізують на основі вузького ковзного вікна спостережень. З цієї причини на даний момент байєсівські мережі надають можливість лише короткострокового прогнозування захворюваності. Більш того, найчастіше СММ застосовуються лише для виявлення підвищеної захворюваності.

Робота [7] надає опис використанню штучних нейронних мереж (ШНМ) для встановлення залежності показників захворюваності населення хворобами від зовнішніх чинників. Методологія ШНМ широко відома і добре підходить для вирішення завдань, аналітичне дослідження яких доволі важке. ШНМ є спрямований зважений граф, вершини якого моделюють функціонування біологічних нейронів. Вершини приймають вхідні сигнали і при досить великому значенні їх зваженої суми перетворюють їх у вихідний сигнал. Навчання ШНМ полягає в обчисленні коефіцієнтів зв'язків між вершинами, що визначають силу вхідних сигналів, і виконується на основі емпіричних даних: статистики захворюваності і за наявності, значень факторів, її зумовлюють.

Мета навчання ШНМ – визначення явних і неявних залежностей між вхідними та вихідними даними. Показники захворюваності, як правило, зашумлені, тому для навчання ШНМ потрібно порівняно велика їх кількість. Достатню для довгострокового прогнозування передісторію захворюваності ще тільки належить

накопичити, тому поки ШНМ підходять скоріше для прогнозування на малі терміни.

На жаль, універсального способу прогнозування захворюваності не існує - оптимальний підхід слід вибирати, порівнюючи результати, отримані за допомогою різних методів на основі емпіричних даних. Найчастіше складно віддати перевагу одному методу прогнозування – декілька підходів дають результати порівнянної якості.

### **2.3.МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.**

Об'єкт дослідження – залежність показників здоров'я від обсягів викидів забруднюючих речовин.

Мета роботи – створення моделі залежності показників здоров'я від обсягів викидів забруднюючих речовин.

Метод дослідження – традиційні моделі (логістична регресія, метод опорних векторів, метод найменших квадратів, випадковий ліс, метод найближчого сусіда), нейронні мережі, комбіновані методи (нейронні мережі і генетичні алгоритми, нейронні мережі і мультиагентні системи).

### **2.4.РОЗРОБКА МОДИФІКОВАНОГО ГЕНЕТИЧНОГО МЕТОДУ НА ОСНОВІ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДОВГОЇ КОРОТКОЧАСНОЇ ПАМ'ЯТІ.**

Для розв'язування даного завдання було прийнято рішення використовувати метод штучних нейронних мереж, а саме використання багатошарового перцептронну [8].

Сутність запропонованої оптимізації класичного методу полягає в додаванні до каріотипу кожної особини ще однієї хромосоми з таким самим генним складом, тобто використовувати диплоїдний набір, що складається з двох гомологічних хромосом. Обидві хромосоми піддаються дії тих же самих операторів з однаковими параметрами. Таким чином, при схрещуванні каріотип нащадка буде також складатися з двох гомологічних хромосом, як і у його батьків. Домінуючий ген в запропонованій модифікації обирається випадковим чином з двох алельних генів і використовується для обчислення значення функції пристосованості – фітнес функції, тобто, говорячи в термінах біології, визначає фенотип особини.

Позначимо особу як  $a_n^t$ , де  $n$  – означає номер особи,  $t$  – деякий момент часу еволюційного процесу. В якості вектора керуючих змінних приймемо  $\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_m)$  – це найменша неподільна одиниця, що характеризує в

математичній моделі (3) внутрішні параметри на кожному  $t$ -му кроці пошуку оптимального рішення.

Для опису особин введемо два типи варіабельних ознак, що відображають якісні і кількісні відмінності між особинами за ступенем їх вираженості. Якісні ознаки особин  $a_n^t$ , визначаються із узагальненої моделі (3) як  $s(\bar{x})$ , де кожній точці  $\bar{x}$  відповідає  $a_n^t$ . В якості гена приймемо комбінацію  $s_i(a_i)$ , яка визначає фіксоване значення керуючої змінної  $x_i$ . Кожна особина характеризується  $m$  генами, а  $s(\bar{x})=(s_1, s_2, \dots, s_m)$  можна інтерпретувати хромосомою, що містить  $n$  зчеплених між собою генів, які слідують один за одним у строго визначеній послідовності. Хромосому особини  $a_n^t$  будемо позначати як  $x_n^t$  [9], тобто

$$x_n^t = x(a_n^t) = (x_1(a_n^t), x_2(a_n^t), \dots, x_m(a_n^t)) = s(\bar{x}) = (s_1, s_2, \dots, s_m). \quad (4)$$

Кількісні ознаки – ознаки, які виявляють мінливість, в зв'язку з чим ступінь їх вираженості можна охарактеризувати числом та розраховуються в роботі за формулою:

$$d(x_i^t, x_j^t) = \sum_{n=1}^m x_n(a_i^t) \cdot x_n(a_j^t), \quad (5)$$

де  $a_i^t, a_j^t$  – особи,  $x_i^t, x_j^t$  – гени, що нерівні за своїми значеннями,  $m$  – кількість позицій [10].

На першому етапі відбувається ініціалізація популяції. Генний склад кожної з двох гомологічних ( $H, H'$ ) хромосом особин обирається випадковим чином. Для визначення фенотипу особини з кожної алелі обирається ген, що буде визначатися як домінуючий і буде визначати фенотип особини, тобто приймає участь в обчисленні функції пристосованості особини. Визначення фенотипу особини можна представити у вигляді формули [10]:

$$F_j = \sum_{i=1}^m \text{rand}[H_j g_i; H'_j g_i]. \quad (6)$$

де  $F_j$  – фенотип  $j$ -ої особини,  $m$  – кількість алелей в парі хромосом та  $H_j g_i$  –  $i$ -ий ген в парі гомологічних хромосом  $j$ -ої особини.

Таким чином, фактично визначаються аргументи фітнес-функції особини. Після обчислення функцій пристосованості і відбору особин популяції проводиться схрещування. Генотип особини-нащадка має таку ж структуру, як і генотип батьків, тобто складається з двох гомологічних хромосом. До нащадків застосовується оператор мутацій. При цьому, мутувати може будь-яка алель пари гомологічної хромосом, але в кожній алелі мутує лише один ген.

Далі еволюцію популяції  $P^t$  будемо представляти як чергування поколінь, в процесі якого особини змінюють свої варіабельні ознаки:

$$\eta_{сер}(t) = \frac{1}{t} \sum_{n=1}^m \eta(a_n^t), \quad (7)$$

де сукупність з  $m$  генотипів всіх особин  $(a_1^t, a_2^t, \dots, a_m^t)$ , що утворюють популяцію  $P^t$  і хромосомний набір  $(x_1^t, x_2^t, \dots, x_m^t)$ , який повністю містить в собі генетичну інформацію про популяції  $P^t$  в цілому.

Процедура вибору «найкращого» рішення з популяції  $P^t$  враховує не тільки значення функції пристосованості  $F_j$ , але і структуру хромосом  $x_i^t$ , отже її можна представити у вигляді [11]:

$$d(a^t, a_i^t) = \min_{l=1, m} d(x(a^t), x(a_i^t)) \quad (8)$$

при умові, що  $\eta(a_i^t) < \eta(a^t)$ , де  $a^t$  – «найкраща» особина в популяції  $P^t$ ,  $a_i^t$  – особина, що виключається з популяції  $P^t$ ,  $d(x(a^t), x(a_i^t))$  – міра «близькості» генотипів особин.

Далі, як і в класичному методі, цикл повторюється до настання умов закінчення виконання оптимізації.

Підсумовуючи, можна сказати, що запропонований метод відрізняється від класичного генетичного методу використанням не однієї хромосоми, а пари гомологічних хромосом, і додаванням етапу визначення тих генів алелі, які будуть приймати участь у визначенні значення функції пристосованості особини. Результатом такої модифікації є підтримання досить високої варіабельності ознак (генів) в популяції (генофонду популяції) під час еволюції, яка, в той же час, може мати невеликий вплив на фенотип особин.

Зазначену модифікацію методу було використано для оптимізації LSTM [11] нейронної мережі: кількості вузлів мережі, функції оптимізації при навчанні, розміру підвибірки та кількості епох навчання.

Іншою запропонованою модифікацією генетичного методу є модифікація оператора мутацій. На відміну від класичного застосування цього оператора, коли мутації піддаються усі особини генерації з певною імовірністю, пропонується ввести поняття мутаційної стійкості особини і здійснюється згідно з таким розподілом:

$$x_i^t = \begin{cases} x_i', & P(x_i') = \frac{\eta(x_i')}{\eta(x_i') + \eta(x_i'')}; \\ x_i'', & P(x_i'') = 1 - P(x_i'), \end{cases} \quad (9)$$

де  $x_i^l$  – нащадок,  $\eta(x')$ ,  $\eta(x'')$  – значення функції пристосованості, що оцінюють, відповідно, батьківські кодування  $x'$  і  $x''$  [12].

Обчислене значення функції пристосованості особини (фітнес функції) може бути інтерпретоване як значення мутаційної стійкості особини. Отже, пропонується на кожній ітерації методу після обчислення функції пристосованості проводити ранжування особин отриманої генерації за значенням мутаційної стійкості. На відміну від класичного оператора, на початку вказується не вірогідність мутації, а частка особин, які піддаються дії оператора. (10).

$$K_{mut} = H_{gen} * R_{mut}, \quad (10)$$

де  $K_{mut}$  – кількість особин, що піддаються дії мутації,  $H_{gen}$  – кількість особин отриманої генерації,  $R_{mut}$  – частка особин генерації, що піддаються дії мутації [12].

Фактично, пропонується застосовувати оператор тільки до особин з найнижчим значенням функції пристосованості. У цьому випадку, у разі потрапляння популяції в локальний екстремум функції, застосований оператор мутацій має дозволити проводити пошук виходу з нього не змінюючи отриманих найкращих на момент застосування значень, а тільки за рахунок більш слабких особин. Визначена частка особин, що піддаються дії оператора, повинна бути достатньою для забезпечення створення потенціалу для подальшої еволюції усієї популяції.

Такі мутації повинні бути більш «м'якими» у сенсі збереження знайдених на попередніх ітераціях алгоритму найкращих значень і мають нівелювати небезпеку втрати екстремуму функції при їх застосуванні не зупиняючи пошук нових кращих значень.

Розроблено модифікований генетичний метод для оптимізації параметрів моделі на основі нейронної мережі довгої короткочасної пам'яті, який демонструє залежність показників захворюваності від обсягів викидів.

Крім цього запропоновано модифікацію одного з операторів генетичного методу, а саме оператору мутацій. Така модифікація оператора дозволяє проводити пошук оптимальних значень, виключаючи втрату надбаних під час пошуку кращих рішень.

## 2.5.ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ

Під час роботи були досліджені різноманітні моделі, дана оцінка якості прогнозування на їх основі. Окрім традиційних моделей таких, як логістична регресія, метод опорних векторів, та інших, були побудовані і перевірені моделі на основі багат шарового перцептронну та мережі довгої короткочасної пам'яті.

Крім цього, було розроблено методику підбору параметрів нейронної мережі і параметрів тренування мережі з використанням генетичного методу.

З цією метою було розроблено дві модифікації методу, які раніше не застосовувалися – використання діплоїдного набору хромосом та модифікація оператора мутацій.

Наукова новизна першої модифікації полягає в використанні не однієї хромосоми в каріотипі особин популяції, а пари гомологічних хромосом, до того, діплоїдного набору хромосом. Під каріотипом особини мається на увазі набір хромосом, специфічний для даного виду особин, що характеризується певною кількістю хромосом та особливістю їхньої будови. Фенотип особини визначається одним з алельних генів обраним випадковим чином.

Використання такої модифікації дозволяє підтримувати доволі велику варіабельність ознак популяції впродовж еволюції, створюючи потенціал для подолання імовірних локальних екстремумів.

Також було розроблено модифікацію оператора мутацій, яка також раніше не використовувалась. На відміну від класичного методу, особини, які піддаються дії оператора мутації обираються не випадковим чином, а у відповідності до їх мутаційної стійкості, що відповідає значенню функції пристосованості особини. Таким чином, мутують «слабкіші» особини, а геном «сильних» особин залишається незмінним. У цьому випадку зменшується вигодопродукування втрати досягнутого впродовж еволюції екстремуму функції внаслідок дії оператора мутацій, а перехід до нового екстремуму здійснюється у випадку накопичення достатньої питомої ваги «кращих» ознак в популяції.

Слід зауважити, що такий підхід до розробки і тренування нейронних мереж не є широко розповсюдженим і не має багатої кількості посилань у літературі, на відміну від інших комбінованих методів використання нейронних мереж і генетичних алгоритмів. Також такий метод є досить ресурсномістким і потребує використання методів високопродуктивних обчислень, наприклад, обчислень на графічних картах NVIDIA з підтримкою архітектури CUDA.

### **3. ЕКСПЕРИМЕНТИ МЕТОДІВ ІНІЦІАЛІЗАЦІЇ ПОЧАТКОВОЇ ПОПУЛЯЦІЇ ЕВОЛЮЦІЙНОГО АЛГОРИТМУ.**

Для розробки і тестування моделі використано статистичну інформацію про обсяги викидів забруднюючих речовин та діоксиду вуглецю в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення і інформацію про рівень захворюваності по таким показникам, як кількість випадків захворювань системи кровообігу (zareєстровані в амбулаторних установах), кількість нових випадків туберкульозу і кількість zareєстрованих випадків раку. Період спостережень – з 1990 року по 2015 рік з розбивкою по роках і регіонах України [2] .

В ході роботи було створено і досліджено декілька моделей створених з залученням методу штучних нейронних мереж.

Спочатку, було побудовано просту модель, що має зовнішній шар з сімома нейронами (по кількості вхідних параметрів), один прихований повнозв'язаний шар з 12 нейронами і вихідний шар з одним нейроном.

У якості метрики мережі використано має (Mean Absolute Error) - середню абсолютну помилку [13].

Результат навчання і роботи створеної мережі відображено на рисунку 1.

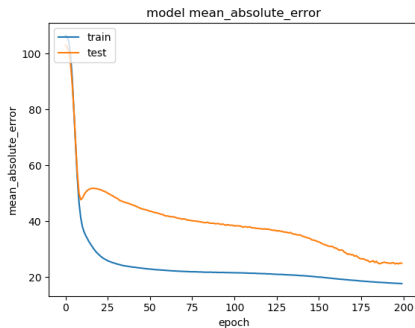


Рисунок 1 – Значення метрики мережі (mae) для показника «Кількість нових випадків туберкульозу»

На наведеному графіку чітко спостерігається поступове зниження значень помилки впродовж тренування мережі. Вочевидь, в районі 10-15 епохи тренування досягає локального екстремуму. Про локальність мінімуму помилки може свідчити подальше поступове зменшення помилки мережі. Отже, доцільним в даному випадку є подальше тренування моделі.

Для покращення метрики нейронних мереж, їх збіжності, витрат на навчання, тощо існує декілька підходів пов'язаних з підбором оптимальної топології мережі та методів навчання.

Навчання мережі з двома прихованими шарами проводилося впродовж 100 епох (розмір підвибірки 75) і сплітом валідаційної вибірки, що дорівнював 0,1. Результати навчання мережі наведені на рисунку 2.

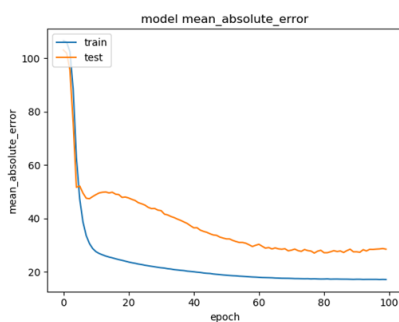




Рисунок 2 – Значення метрики мережі (mae) для показника «Кількість нових випадків туберкульозу»

В даному випадку, спостерігається схожа з попередньою моделлю картина - поступове зниження значень помилки впродовж тренування мережі. Наприкінці тренування спостерігається збіг мережі. Як і в попередньому випадку, для показника «Число нових випадків туберкульозу» спостерігається досягнення локального мінімуму помилки.

Одним з прийомів запобігання ефекту перенавчання нейронної мережі є метод виключення (Dropout) [14], що полягає в виключенні деяких нейронів мережі під час процесу навчання. В створену раніше модель було додано виключення після першого прихованого шару (виключено 50% нейронів). Результати навчання мережі відображені на рисунку 3.

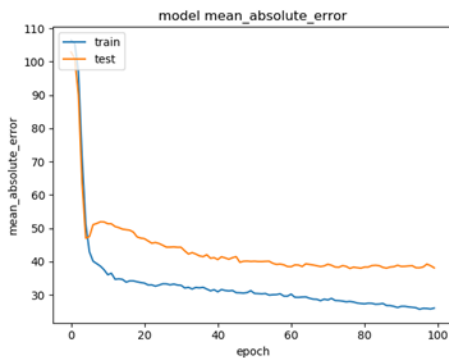


Рисунок 3 – Значення метрики мережі (mae) для показника «Кількість нових випадків туберкульозу»

Як і в попередніх випадках, під час тренування спостерігається збіг мережі, але дещо раніше – приблизно під час 60 – 70 епохи навчання. В усіх трьох випадках для показника «Число нових випадків туберкульозу» спостерігається знаходження локального мінімуму помилки мережі, що вочевидь є особливістю моделі на основі багатошарового перцептрону для даного показника захворюваності. Крім цього, завдяки використанню дропауту, крива тренування втрачає плавність і перетворюється на ломану.

Представлені дані можна розглядати як часовий рядок, тобто значення розглянутих параметрів змінюються в часі. Для аналізу і прогнозування часових рядів можна використовувати моделі на основі нейронних мереж довгої короткочасної пам'яті [15].

Мережа з використанням LSTM шару отримує на вхід вісім параметрів. Прихований LSTM шар складається з двадцяти нейронів, а вихідний шар з одного нейрону. Результати випробувань моделі наведені на рисунку 4.

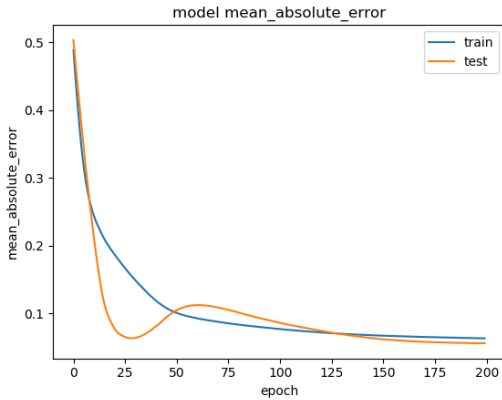


Рисунок 4 – Значення метрики LSTMмережі (mae) підчас навчання для показника «Кількість випадків захворювань системи туберкульозу»

На рисунку 4 відображено зміну значення помилки мережі впродовж тренування. Для показників «Число нових випадків туберкульозу» та «Число випадків захворювань системи кровообігу» спостерігається досягнення локального мінімуму з подальшим виходом з нього. Під кінець тренування спостерігається відсутність подальшого зменшення значення помилки моделі, тому можна вважати, що під час тренування досягнуто глобального мінімуму помилки, а мереже вважається тренуваною. У таблиці 1 відображено порівняльні результати значень середньої абсолютної помилки (MAE), отримані під час випробування різних типів моделей (логістична регресія, багатошарові нейромережеві моделі та ін.), створених в ході дослідження. Таким чином, можна побачити, що найменшу помилку передбачення з наведених методів дає модель на основі штучної нейронної мережі короткої довгочасної пам'яті.

У ході роботи для оптимізації мережі довгої короткочасної пам'яті було використано метод рою часток. Результати виконання алгоритму (визначення найменшого значення помилки мережі на кожній ітерації алгоритму) відображено на рисунку 5.

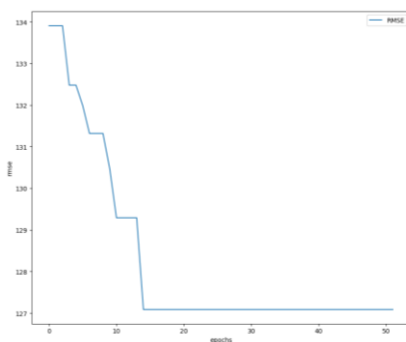


Рисунок 5 – Результат роботи алгоритму рою часток для оптимізації мережі довгої короткочасної пам'яті

В результаті оптимізації були отримані такі оптимальні параметри мережі:

- кількість вузлів мережі – 1000;
- оптимізатор – Adadelta;
- розмір підвибірки – 1;
- кількість епох тренування – 100.

Мережа довгої короткочасної пам'яті з такими параметрами на тестовій вибірці має значення помилки (RMSE) – 127,08735307850266.

Таблиця 1 – Значення середньої абсолютної помилки під час випробувань моделей, створених в ході дослідження проблеми

Прогнозований параметр	Тип прогнозуючої моделі									
	Л	М	М	М	М	М	М	М	М	
	Логістична регресія	Метод опорних векторів	Метод найменших квадратів	Метод випадкових лісів	Метод найближчого сусіда	Метод агатовий перцептрон з одним прихованим	Метод агатовий перцептрон з трьома прихованими	Метод агатовий перцептрон з трьома прихованими	Метод агатовий перцептрон з трьома прихованими	Метод агатовий перцептрон з трьома прихованими

						шаром (128 нейрон ів)	шарам и (128, 1024 і 128 нейрон ів)	шарам и і дропау тами (128, дропау т (0,5), 1024, дропау т (0,5), 128 нейрон ів)	вузла ми ДКЧП шару
Ч исло нових випадк ів туберк ульозу	9.764 <sup>2</sup>	0.271 <sup>4</sup>	2.957 <sup>2</sup>	.671 <sup>7</sup>	.236 <sup>8</sup>	3.445 <sup>2</sup>	1.675 <sup>2</sup>	2.3047 <sup>2</sup>	.139 <sup>6</sup>
Ч исло випадк ів захвор ювань систем и кровоо бігу	814.1 <sup>3</sup> 74	794.4 <sup>2</sup> 33	789.7 <sup>1</sup> 27	71.01 <sup>5</sup> 8	73.00 <sup>5</sup> 4	766.47 <sup>1</sup> 0	752.41 <sup>1</sup> 6	620.67 <sup>1</sup> 6	41.889 <sup>4</sup>
Ч исло всіх зареес трован их випадк ів раку	400.3 <sup>1</sup> 57	050.6 <sup>1</sup> 90	67.38 <sup>3</sup> 1	56.38 <sup>1</sup> 7	10.15 <sup>2</sup> 7	36.419 <sup>3</sup>	38.953 <sup>3</sup>	72.465 <sup>2</sup>	26.096 <sup>2</sup>

## ВИСНОВКИ.

Проаналізовано наявну офіційну статистичну інформацію щодо обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення і динаміки таких показників захворюваності населення, як кількість випадків туберкульозу, кількість виявлених в амбулаторних умовах захворювань системи кровообігу і кількість захворювань на рак в різних регіонах України.

Досліджено методи побудови математичної моделі залежності вказаних показників захворюваності від обсягів викидів забруднюючих речовин.

Порівняльний аналіз роботи створених моделей показав, що найкращі результати досягнуті у моделі на основі нейронної мережі довгої короткочасної пам'яті (LSTM).

Під час створення і тренування моделі на основі мережі довгої короткочасної пам'яті було досліджено можливість використання методу рою часток і генетичного алгоритму для оптимізації параметрів мережі, розроблено модифікацію класичного методу і модифікацію оператору мутацій.

Розроблено дві модифікації генетичного методу – модифікацію з використанням діплоїдного набору хромосом та модифікацію оператору мутацій. Перша модифікація полягає в використанні не однієї хромосоми в каріотипі особин популяції, а пари гомологічних хромосом, тобто, діплоїдного набору хромосом. Під каріотипом особини мається на увазі набір хромосом, специфічний для даного виду особин, що характеризується певною кількістю хромосом та особливістю їхньої будови. Фенотип особини визначається одним з алельних генів обраним випадковим чином. Використання такої модифікації дозволяє підтримувати доволі велику варіабельність ознак популяції впродовж еволюції, створюючи потенціал для подолання імовірних локальних екстремумів.

Також було розроблено модифікацію оператору мутацій, яка також раніше не використовувалась. На відміну від класичного методу, особини, які піддаються дії оператору мутації обираються не випадковим чином, а у відповідності до їх мутаційної стійкості, що відповідає значенню функції пристосованості особини. Таким чином, мутують «слабкіші» особини, а геном «сильних» особин залишається незмінним. У цьому випадку зменшується вирогідність втрати досягнутого впродовж еволюції екстремуму функції внаслідок дії оператора мутацій, а перехід до нового екстремуму здійснюється у випадку накопичення достатньої питомої ваги «кращих» ознак в популяції.

Отже, отримані результати дозволяють зробити висновок про те, що запропонована модель на основі нейронної мережі довгої короткочасної пам'яті та модифікація класичного методу і оператора мутації є доцільними та ефективним рішенням для встановлення математичної залежності показників здоров'я від обсягів викидів забруднюючих речовин. Практичне використання розроблених

методів дасть можливість своєчасно коригувати плановані лікувально-діагностичні, профілактичні заходи, завчасно визначати необхідні ресурси для локалізації та ліквідації захворювань з метою збереження здоров'я населення.

Під час виконання проекту було досліджено предметну область, вивчено проблематику поставленої задачі, наведено її актуальність доцільність.

Було проаналізовано наявну офіційну статистичну інформацію щодо обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення і динаміки таких показників захворюваності населення, як кількість випадків туберкульозу, кількість виявлених в амбулаторних умовах захворювань системи кровообігу і кількість захворювань на рак в різних регіонах України.

Було досліджено певні методи побудови математичної моделі залежності вказаних показників захворюваності від обсягів викидів забруднюючих речовин. Отримані під час дослідження результати було вивчено і проаналізовано, зроблені висновки щодо можливості використання побудованих моделей для обчислення прогнозу показників захворюваності.

В результаті роботи було зроблено висновок, що найбільш оптимальною, с точки зору точності прогнозу є модель на основі нейронної мережі довгої короткочасної пам'яті (LSTM).

Під час створення і тренування моделі на основі мережі довгої короткочасної пам'яті було досліджено можливість використання методу рою часток і генетичного алгоритму для оптимізації параметрів мережі, розроблено модифікацію класичного методу і модифікацію оператора мутацій, які раніше не використовувалась.

Під час роботи було розроблено дві модифікації генетичного методу, які раніше не застосовувалися – використання діплоїдного набору хромосом та модифікація оператора мутацій.

Наукова новизна першої модифікації полягає в використанні не однієї хромосоми в каріотипі особин популяції, а пари гомологічних хромосом, тобто, діплоїдного набору хромосом. Під каріотипом особини мається на увазі набір хромосом, специфічний для даного виду особин, що характеризується певною кількістю хромосом та особливістю їхньої будови. Фенотип особини визначається одним з алельних генів обраним випадковим чином.

Використання такої модифікації дозволяє підтримувати доволі велику варіабельність ознак популяції впродовж еволюції, створюючи потенціал для подолання імовірних локальних екстремумів.

Також було розроблено модифікацію оператора мутацій, яка також раніше не використовувалась. На відміну від класичного методу, особини, які піддаються дії оператора мутації обираються не випадковим чином, а у відповідності до їх мутаційної стійкості, що відповідає значенню функції пристосованості особини. Таким чином, мутують «слабкіші» особини, а геном «сильних» особин залишається

незмінним. У цьому випадку зменшується вигоідність втрати досягнутого впродовж еволюції екстремуму функції внаслідок дії оператора мутацій, а перехід до нового екстремуму здійснюється у випадку накопичення достатньої питомої ваги «кращих» ознак в популяції.

Отримані в результаті оптимізації моделі нейронної мережі довгої короткочасної пам'яті було використано при створенні програмного пакету Air Health Model для моделювання залежності показників захворюваності від обсягів викидів забруднюючих речовин, до складу якого входить додаток, який дозволяє швидко отримувати прогноз показників захворюваності, має дружній інтерфейс користувача і використовує підготовлені і треновані моделі.

Було проаналізовано економічний аспект проекту, розраховано витрати на розробку проекту, обґрунтовано його економічну доцільність.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Забруднення атмосферного повітря в Україні. [online] Available at: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Забруднення\\_атмосферного\\_повітря\\_в\\_Україні](https://uk.wikipedia.org/wiki/Забруднення_атмосферного_повітря_в_Україні)
2. Державна служба статистики України. [online] Available at: <http://ukrstat.gov.ua>
3. Вплив забруднення навколишнього середовища на життя і здоров'я людей . [online] Available at: [http://pidruchniki.com/13930518/ekologiya/vpliv\\_zabrudnennya\\_navkolishnogo\\_sere\\_dovischa\\_zhittya\\_zdorovya\\_lyudey](http://pidruchniki.com/13930518/ekologiya/vpliv_zabrudnennya_navkolishnogo_sere_dovischa_zhittya_zdorovya_lyudey)
4. Cantu-Paz, E., 2016. Solving Travelling Salesman Problem with an Improved Hybrid Genetic Algorithm. *Journal of Computer and Communications*, 4, ISSN Online: 2327-5227 ISSN Print: 2327-5219
5. Anisur, R, Zahidul, I., 2014. A hybrid clustering technique combining a novel genetic algorithm with K-Means. *Knowledge-Based Systems*, vol.71, no.11, pp. 345–365
6. Haykin, S., 2016. Neural Networks and Learning Machines. *Pearson Education*, pp
7. Pratyay, K., Prasanta, K., 2014. A novel differential evolution based clustering algorithm for wireless sensor networks. *Applied Soft Computing*, vol.25, no.12, pp. 414–425.
8. Shkarupylo, V., Skrupsky, S., Oliinyk, A., Kolpakova, T., 2017. Development of stratified approach to software defined networks simulation. *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 89, Issue 5/9, pp. 67–73. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.110142
9. Fedorchenko, I., Oliinyk, A., Stepanenko, A., Zaiko, T., Shylo, S., Svyrydenko, A., 2019. Development of the modified methods to train a neural network to solve the task on recognition of road users. *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 2, Issue 9/98, pp. 46–55. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.164789

10. Oliinyk, A., Fedorchenko, I., Stepanenko, A., Rud, M., Goncharenko, D., 2018. Evolutionary method for solving the traveling salesman problem. *Problems of Infocommunications. Science and Technology : 5th International Scientific-Practical Conference PICST2018*, Kharkiv, Ukraine, pp. 331 – 339. DOI: 10.1109/INFOCOMMST.2018.8632033
11. Sanches, D., Whitley, D., 2017. Improving an exact solver for the traveling salesman problem using partition crossover. *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference*, pp. 337-344. DOI: 10.1145/3071178.3071304
12. Hussain, A., Muhammad, Y., 2017. Genetic Algorithm for Traveling Salesman Problem with Modified Cycle Crossover Operator. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 7. DOI: 10.1155/2017/7430125
13. Buse, M., Mutlu, A., 2014. Logarithmic learning for generalized classifier neural network. *Neural Networks*, vol.60, no.12, pp. 133–140
14. Garcia, T., Cancelas, N., Soler-Flores, F., 2014. The artificial neural networks to obtain port planning parameters. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, vol.162, no.19, pp. 168–177
15. Alam, S., Dobbie, G., Koh, Y., Riddle, P., Rehman, S., 2014. Research on Particle Swarm Optimization based clustering: a systematic review of literature and techniques. *Swarm and Evolutionary Computation*, vol.17, no.8, pp. 1–13.
16. Oliinyk, A., Fedorchenko, I., Stepanenko, A., Rud, M., Goncharenko, D.: Combinatorial optimization problems solving based on evolutionary approach. In: 2019 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems, CADSM 2019 - Proceedings 8779290, p. 41-45. DOI: 10.1109/CADSM.2019.8779290
17. Fedorchenko, I., Oliinyk, A., Stepanenko, A., Zaiko, T., Svyrydenko, A., Goncharenko, D.: Genetic method of image processing for motor vehicle recognition. In: CEUR Workshop Proceedings 2353, p. 211-226. ISSN: 16130073.
18. УДК 004.9 Степаненко О.О.<sup>1</sup> , Федорченко Є. М.<sup>2</sup> , Харченко А.С.<sup>3</sup> , Гончаренко Д.А.<sup>4</sup> , Косміна О.В.<sup>5</sup> 1 канд. техн. наук, доц. ЗНТУ 2 старш. викл. ЗНТУ 3 студ. гр. КНТ-116 ЗНТУ 4 студ. гр. КНТ-216 ЗНТУ 5 студ. гр. КНТз-113м ЗНТУ Степаненко О.О, ФедорченкоЄ.М, Харченко А.С, ГончаренкоД.А, КосмінаО.В. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ЗДОРОВ'Я КУРЦІВ Тиждень науки
19. УДК 004.9 Степаненко О.О.<sup>1</sup> , Федорченко Є. М. <sup>2</sup> , Харченко А.С. <sup>3</sup> , Гончаренко Д.А. <sup>4</sup> , Кожушаний С.І. <sup>5</sup> 1 канд. техн. наук, доц. ЗНТУ 2 старш. викл. ЗНТУ 3 студ. гр. КНТ-116 ЗНТУ 4 студ. гр. КНТ-216 ЗНТУ 5 студ. гр. КНТ-413м ЗНТУ Степаненко О.О., Федорченко Є.М., Харченко А.С., Гончаренко Д.А., Кожушаний С.І. ПРОГНОЗУВАННЯ ПОГОДИ
20. УДК 004.9 Степаненко О.О.<sup>1</sup> , Федорченко Є. М.<sup>2</sup> , Гончаренко Д.А.<sup>3</sup> , Харченко А.С.<sup>4</sup> , Малашок Н.М. <sup>5</sup> 1 канд. техн. наук, доц. ЗНТУ 2 старш. викл.



ЗНТУ 3 студ. гр. КНТ-216 ЗНТУ 4 студ. гр. КНТ-116 ЗНТУ 5 студ. гр. КНТ-213м  
ЗНТУ Степаненко О.О., Федорченко Є.М., Гончаренко Д.А., Харченко А.С.,  
Малашок Н.М. ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА СПІВВІДНОШЕННЯ ЦІНА-ЯКІСТЬ  
ЛІКАРСЬКИХ ПРЕПАРАТІВ

21. УДК 004.9 Рисіков В.П. 1 , Степаненко О.О.1 , Федорченко Є. М.2 , Скачко Л.  
П.3 , Харченко А.С.4 , Гончаренко Д.А.5 , Плешко П.В. 6 1 канд. техн. наук, доц.  
ЗНТУ 2 старш. викл. ЗНТУ 3 асист. ЗНТУ 4 студ. гр. КНТ-116 ЗНТУ 5 студ. гр.  
КНТ-216 ЗНТУ 6 студ. гр. КНТ-713м ЗНТУ Рисіков В.П., Степаненко О.О.,  
Федорченко Є.М., Скачко Л.П., Харченко А.С., Гончаренко Д.А., Плешко П.В.  
ПРОГРАМНА МОДЕЛЬ ВИЖИВАННЯ АГЕ

22. УДК 004.9 Степаненко О.О.1 , Федорченко Є. М.2 , Гончаренко Д.А.3 ,  
Харченко А.С.4 , Короткий О.В.5 1 канд. техн. наук, доц. ЗНТУ 2 старш. викл. ЗНТУ  
3 студ. гр. КНТ-216 ЗНТУ 4 студ. гр. КНТ-116 ЗНТУ 5 студ. гр. КНТ-113м ЗНТУ  
Степаненко О.О., Федорченко Є.М., Гончаренко Д.А., Харченко А.С., Короткий  
О.В. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДІВ ПОБУДОВИ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ  
ДЛЯ ЗАДАЧ МЕДИЧНОЇ СТАТИСТИКИ

23. УДК 004.9 Степаненко О.О. 1 , Федорченко Є. М. 2 , Харченко А.С.3 ,  
Гончаренко Д.А.4 , Бережняк О.О.5 1 канд. техн. наук, доц. ЗНТУ 2 старш. викл.  
ЗНТУ 3 студ. гр. КНТ-116 ЗНТУ 4 студ. гр. КНТ-216 ЗНТУ 5 студ. гр. КНТ-413м  
ЗНТУ Степаненко О.О., Федорченко Є.М., Харченко А.С., Гончаренко Д.А. ,  
Бережняк О.О. ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ МОВ ПРОГРАМУВАННЯ  
СЕРВЕРНИХ СКРИПТІВ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАСТОСУНКУ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ З  
ВИКОРИСТАННЯМ NODEJS ТА WEBSOCKET