МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет економіки, підприємництва та інформаційних технологій
Кафедра інформаційних технологій

Допущено до захисту
"_____" _____ 2026 р.
Зав. кафедри, к.т.н., доцент
_____ **Ліщук Р.І.**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ КУРСІВ ВАЛЮТ

Виконав - студент 4 курсу, групи 41-кн
освітньої програми «Комп'ютерні науки»
спеціальності F3 Комп'ютерні науки
Думик Тарас Сергійович

Науковий керівник - д.т.н., професор
Кулаков Павло Ігорович

Умань - 2026

Зміст

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ……..... 7
ВСТУП…… 8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ…… 10
1.1. Об’єкт та предмет дослідження…… 10
1.2. Сучасний стан засобів прогнозування валютних курсів ……. 15
1.3. Постановка задачі..... 19
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ КУРСІВ ВАЛЮТ…… 20
2.1. Математична модель ринку валюти ……..……... 20
2.2. Опис генетичного алгоритму прогнозування валютних курсів …… 25
2.3. Побудова прогнозу валютного курсу на основі рекурентної нейронної мережі..... 28
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ВАЛЮТНИХ КУРСІВ ……... 31
3.1. Обгрунтування вибору мови програмування …… 31
3.2. Програмна реалізація обчислення прогнозу курсів валют……... 34
3.3. Розробка графічного інтерфейсу та тестування …… 38
ВИСНОВОК…… 44
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ…… 45
ДОДАТОК А. Лістинг програми……... 48

Вступ

Під валютою зазвичай розуміють сукупність грошово-кредитних відносин і засобів розрахунку, що функціонують у конкретній суверенній державі [1]. Здійснення міждержавних торговельних операцій вимагає обов'язкового проведення конвертаційних процедур, тобто купівлі-продажу грошових одиниць різних емітентів. На офіційному порталі Національного банку України розкрито деталізовані статистичні масиви, що відображають ретроспективну динаміку котирувань приблизно 80 ключових світових валют [2]. Разом із тим, сучасний фінансовий простір охоплює сурогатні гроші, криптоактиви, грошові системи невизнаних світовою спільнотою геополітичних утворень, а також локальні та корпоративні платіжні інструменти.

Показник валютного паритету є індикатором макроекономічної взаємодії між суб'єктами господарювання різних країн. Через постійний рух валютних індексів коливається кінцева вартість імпортованої продукції; це безпосередньо позначається і на внутрішньому виробництві, яке використовує закордонні компоненти, комплектуючі чи енергоносії. Рівень валютного курсу виступає детермінантою для оцінки рентабельності капіталовкладень, формування облікових ставок і стримування інфляційних процесів, а його амплітуда здатна трансформувати кон'юнктуру ринку зайнятості та комерційної нерухомості.

Саме тому моніторинг і моделювання фінансових індикаторів перебувають у фокусі уваги науковців, комерційних структур та широких верств населення. Потреба у верифікованих даних щодо історичних трендів та майбутніх флуктуацій котирувань, які безпосередньо формують національний платіжний баланс, зростає експоненціально. Якісне довгострокове та короткострокове прогнозування є фундаментом для капіталізації як приватного інвестора, так і державного бюджету. Навпаки, похибки в прогнозних моделях загрожують деструктивними фінансовими збитками. Таким чином, оптимізація алгоритмів розрахунку майбутньої вартості валют є пріоритетним науково-практичним завданням.

Актуальність

Актуальність кваліфікаційної роботи бакалавра полягає в тому, що на сучасному етапі розробка високоточних систем прогностичного аналізу, особливо для валютного ринку, набула критичного значення внаслідок дестабілізації глобальної фінансової архітектури, що спричинена наслідками затяжних епідеміологічних криз, повномасштабною військовою агресією проти України та іншими макроекономічними потрясіннями.

Об'єкт дослідження - процес розробки програмних засобів для пргнозування курсів валют.

Предмет дослідження - програмні засоби і алгоритми, необхідні для аналізу факторів впливу на курси валют, а також моделі, методи і програмні засоби прогнозування валютних курсів.

Мета дослідження

Метою та завданням кваліфікаційної роботи бакалавра є розробка програмного забезпечення, призначеного для підвищення точності прогнозування валютних курсів.

Для досягнення визначеної мети передбачається вирішення наступних завдань:

- провести грунтовний аналіз впливних факторів на коливання валютних курсів;
- розробити математичну модель системи прогнозування валютних курсів;
- створити алгоритм роботи системи прогнозування валютних курсів;
- розробити програмне забезпечення для реалізації алгоритму прогнозування валютних курсів;
- провести тестування розробленого програмного забезпечення та зробити висновки по роботі.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Об’єкт та предмет дослідження

На початкових етапах розвитку людської цивілізації звичних для нас платіжних засобів взагалі не існувало, тому будь-які торговельні операції відбувалися за допомогою безпосереднього натурального обміну, коли конкретний обсяг певного продукту чи речі обмінювали на відповідну кількість іншого необхідного майна. З плином часу суспільство почало виокремлювати серед усього різноманіття певні універсальні предмети чи продукти, які брали на себе функцію загального еквівалента вартості, і саме вони тривалий період виступали в ролі перших прообразів грошей. Такими специфічними платіжними інструментами у різних куточках планети ставали, наприклад, зерна ячменю, рідкісні морські перлини чи інші цінні ресурси. Проте справжній прорив у фінансовій сфері відбувся завдяки винахідливості жителів держави Лідія, які першими в історії людства почали карбувати та офіційно використовувати для розрахунків повноцінні срібні монети.

Згодом, коли у світі почали активно розвиватися та зміцнювати свої позиції перші фінансові інституції, звичні паперові розписки та банківські квитанції поступово трансформувалися в самостійні грошові знаки. Протягом тривалого періоду, який охоплює часові межі між сімнадцятим та дев'ятнадцятим століттями, на території більшості провідних держав Європи панувала система так званого золотого стандарту. Цей фінансовий режим передбачав, що державні паперові банкноти мали чітко визначену, гарантовану та незмінну цінність, яка безпосередньо прив'язувалася до вартості фізичного благородного металу.

Кардинальні зміни відбулися вже після завершення Другої світової війни під час проведення масштабної Бреттон-Вудської міжнародної конференції, за результатами якої більшість країн світу ухвалили рішення перейти на використання фіатних грошей. Під цим терміном розуміють специфічні платіжні засоби, номінальна вартість яких штучно і директивно визначається державними керівними інституціями, причому ці знаки не мають реального забезпечення у

вигляді золота чи інших матеріальних активів. У межах цієї нової світової системи базовим еталоном було затверджено американський долар, який на той момент залишався єдиною надійною світовою валютою, що зберігала жорстко зафіксоване співвідношення свого курсу до фізичного золота. Однак ця епоха закінчилася у 1971 році, коли уряд Сполучених Штатів Америки прийняв одностороннє рішення повністю денонсувати та скасувати умови Бреттон-Вудської угоди. Саме ця історична подія призвела до того, що абсолютно всі наявні у світі грошові системи остаточно перетворилися на суто фіатні.

Згодом, під впливом стрімкого науково-технічного прогресу та глобальної електронної революції, масштаби міжнародної торгівлі між різними державами, комерційними структурами та приватними особами почали збільшуватися колосальними темпами. Оскільки кожна національна валюта володіє своєю специфічною внутрішньою або абсолютною цінністю на ринку, окремі громадяни, великі банківські установи та цілі країни усвідомили вигоду і почали розглядати самі гроші як повноцінний товар.

Описані вище історичні та економічні процеси крок за кроком заклали міцний фундамент для формування та розвитку сучасного глобального валютного ринку. Цей фінансовий простір перебуває під постійним і потужним тиском величезної кількості різноманітних зовнішніх чинників, і ретельне відстеження та глибокий аналіз цих факторів є критично важливими, оскільки саме вони дають змогу фахівцям з більшим чи меншим ступенем вірогідності прораховувати та прогнозувати майбутні коливання валютних курсів. Однією з таких рушійних і визначальних сил, що безпосередньо формують ринкову кон'юнктуру, є щоденна активність професійних трейдерів та великих інвесторів, які здійснюють масштабні капіталовкладення.

Процес обміну грошових коштів традиційно відбувається через роботу з конкретними валютними парами, де чітко розмежовуються дві складові: грошова одиниця, яку учасник ринку планує безпосередньо придбати або реалізувати, визначається як базова валюта, тоді як інша грошова одиниця, за допомогою якої

здійснюється розрахунок або яку отримують взамін базової, має назву валюти котирування, або зустрічної валюти. Крім того, цей глобальний простір позбавлений єдиного фізичного центру чи географічного розташування, оскільки всі операції здійснюються у віртуальному режимі за допомогою комп'ютерних мереж, мобільного зв'язку або засобів електронної пошти.

Усі ключові суб'єкти цього міжнародного процесу, серед яких державні інституції, центральні та комерційні банки, великі інвестиційні фонди, а також приватні трейдери, постійно фокусуються на аналітичній роботі та побудові моделей для передбачення поведінки обраних валют як на найближчі дні, так і у довгостроковій перспективі. Для цього вони детально вивчають комплекс різнопланових макроекономічних та геополітичних чинників, які здатні трансформувати ринкове середовище. За будь-яких цінових рухів кожен учасник торгів керується класичним базовим правилом економіки - намагається придбати актив за мінімально можливою вартістю, щоб згодом реалізувати його за максимально вигідною високою ціною. Фінансист спрямовує свій капітал на купівлю тієї валюти, яка, за його аналітичними розрахунками та очікуваннями, демонструватиме тенденцію до подорожчання протягом певного періоду часу. Зважаючи на те, що сучасний ринок повністю переведений у цифровий формат та оперує в електронному вигляді, будь-які цінові показники злітають або стрімко падають протягом лічених часток секунди. Навіть окрема резонансна політична новина, несподівана заява лідерів країн або раптова зміна будь-якого іншого вагомого фактора впливу здатні миттєво та кардинально розвернути тренд і змінити поточне становище на світовому ринку.

У сучасному фінансовому середовищі часто звучить теза про те, що будь-які спроби спрогнозувати майбутній рух обмінного курсу є абсолютно даремними та безперспективними. Послідовники цього підходу переконані, що внутрішня природа міжнародного валютного ринку є принципово непередбачуваною, а динаміка котирувань підпорядковується концепції випадкового блукання, що особливо яскраво простежується на прикладі

поведінки провідних світових валютних пар за участю американського долара. Практично всі великі гравці фінансового сектора постійно залучають до роботи професійних аналітиків і детально враховують їхні висновки при формуванні власних стратегій. Така практика зумовлена тим, що накопичені історичні дані насправді є ефективним інструментом для виявлення тенденцій до плавного підвищення або зниження вартості валют, щонайменше до того моменту, поки в геополітиці чи макроекономіці не стануться масштабні потрясіння. Загальний рух капіталу на ринку формується під впливом виважених рішень досвідчених експертів, а фінансова вигода, яку отримують суб'єкти торгівлі, безпосередньо залежить від математичної точності та надійності прогнозних моделей. Навіть під час різких і хаотичних цінових стрибків більшість ринкових аномалій за своєю структурою повторюють певні закономірності, які вже неодноразово траплялися в минулому. Отже, ретроспективна інформація все ж володіє високою цінністю і робить цілком реальним передбачення навіть серйозних ринкових зсувів. Спеціалізовані дослідження доводять, що алгоритми прогнозування демонструють свою високу ефективність і в довгострокових часових інтервалах. Сьогодні, в епоху бурхливого розвитку систем штучного інтелекту, робототехніки та технологій машинного навчання, для аналізу валютного ринку протестовано величезну кількість цифрових моделей, більшість з яких продемонстрували відмінні результати. При цьому центральні банки різних держав перебувають у постійній координації, прагнучи стабілізувати або цілеспрямовано зміцнити позиції своїх національних грошових одиниць. Наприклад, в Україні за формування та реалізацію монетарної політики і регулювання обмінного курсу безпосередньо відповідає Національний банк України. Аналогічні функції у Сполучених Штатах Америки виконує Федеральний резервний банк Нью-Йорка, який уважно моніторить процеси на світових майданчиках, здійснює оперативне управління золотовалютними резервами США та за потреби вдається до прямих інтервенцій. Залежно від поставлених цілей, ця установа або викуповує з ринку долари, масово

розпродаючи іноземні активи задля стимулювання зростання курсу національної валюти, або, навпаки, викидає на ринок великі обсяги американських доларів та скуповує іноземні грошові знаки з метою зниження їхньої вартості.

Правильне визначення майбутнього вектора коливань валют має колосальне значення для всієї світової торгівлі, оскільки курс виступає одним із ключових індикаторів загального економічного здоров'я будь-якої суверенної держави. Його можна охарактеризувати як своєрідний фінансовий міст, що сполучає народногосподарські комплекси різних країн. Через коливання котирувань вартість імпортованих товарів для кінцевого споживача може суттєво зростати або зменшуватися. Цей вплив поширюється і на продукцію внутрішнього виробництва, якщо для її створення використовуються закордонні комплектуючі, деталі чи сировинні матеріали. Обмінні курси також прямо визначають кінцеву рентабельність інвестиційних проєктів, ступінь зацікавленості з боку іноземних інвесторів, темпи інфляційних процесів, а також ситуацію на ринку праці та в девелоперському секторі нерухомості. В умовах сучасної глобалізації, коли обсяги закупівлі іноземних товарів часто перевищують показники споживання продукції місцевих фабрик і заводів, валютний фактор стає визначальним для ціноутворення. Слабкість національної грошової одиниці неминуче призводить до того, що цінники на закордонні товари в магазинах починають стрімко повзти вгору. Навпаки, зміцнення позицій місцевої валюти дозволяє певною мірою стримати інфляцію та знизити витрати на придбання імпорту. Таким чином, обмінний курс фактично виступає головним регулятором експортно-імпортного балансу та чинить фундаментальний вплив на глобальну геоекономіку. Глибокий аналітичний підхід, постійний моніторинг зовнішніх факторів та грамотне оперування специфічними торговельними знаннями дозволяють бізнесу отримувати високі прибутки. Крім того, якісне прогнозування поведінки валют допомагає урядам формувати тривалі, прогнозовані та стабільні партнерські економічні відносини.

1.2. Сучасний стан засобів прогнозування валютних курсів

У сучасній науковій літературі опубліковано значну кількість результатів глибоких досліджень, які всебічно аналізують різноманітні підходи до прогнозування динаміки обмінних курсів зарубіжних валют. Наприклад, у [3] автори фокусують свою увагу на детальному порівняльному аналізі трьох типів архітектур: нейронної мережі довготривалої короткострокової пам'яті (LSTM), рекурентної мережі з керованими блоками (GRU), а також базової рекурентної нейронної мережі (SRNN). Ці інструменти застосовувалися для побудови прогнозів одночасно по двадцяти двох національних валютах відносно американського долара. Сконструйовані дослідниками цифрові моделі продемонстрували здатність успішно розраховувати курсові коливання на тридцять днів наперед, використовуючи як вихідну інформацію ретроспективні дані за попередній річний період. Для забезпечення максимальної об'єктивності експерименту всі мережі функціонували з ідентичною кількістю внутрішніх шарів, параметрів входу та виходу, а також з аналогічними алгоритмами оптимізації та швидкістю навчання. Значна частка цієї роботи була присвячена саме пошуку відмінностей між мережами та оцінці фінальних результатів під впливом різноманітних факторів.

Водночас у [4] детально описуються альтернативні методології машинного навчання, серед яких штучна нейронна мережа з прямим зв'язком (ANN) та рекурентні мережі (RNN), адаптовані для розрахунку вартості непальської рупії щодо трьох ключових світових валют: євро, британського фунта стерлінгів та американського долара. Тестуючи різні конфігурації систем, зокрема ANN, SRNN, GRU та LSTM, науковці брали за основу такі базові щоденні фінансові маркери, як ціни відкриття та закриття торгових сесій, а також мінімальні та максимальні пікові значення вартості за добу. На основі проведених експериментів дослідники прийшли до висновку, що мережа типу LSTM забезпечує суттєво вищу точність та кращі результати, ніж її структурні аналоги SRNN та GRU.

В іншому проекті [5] автори вирішили спрогнозувати рух тайського бату, спираючись на математичний апарат прихованої марківської моделі (HMM). У цій роботі враховувалися чотири фундаментальні макроекономічні чинники: поточний індекс американського долара, внутрішній рівень інфляції, чинні відсоткові ставки, а також загальні темпи економічного зростання. Ключове ноу-хау цього дослідження полягало в унікальній технології інтеграції та кодування цих чотирьох різнопланових факторів у єдину послідовність аналітичних спостережень для подальшого навчання моделі HMM. Після завершення математичного розшифрування кожен отриманий результат прогнозу дозволяв одночасно оцінити стан усіх чотирьох зазначених чинників. Експериментальна перевірка алгоритму здійснювалася на масиві щоденної інформації за період з 2022 по 2024 рік і продемонструвала вражаючу точність — середня відсоткова помилка при розрахунках курсу тайської валюти склала лише 0,167%.

Авторський колектив [6] у своїх висновках наголошує на тому, що міжнародна система FOREX утримує статус найбільшого та найбільш ліквідного фінансового майданчика на планеті. У своїй праці вони презентували оригінальну модифіковану нечітку реляційну модель для аналізу валютного ринку. Ефективність функціонування цієї розробки ретельно зіставлялася з іншими поширеними математичними концепціями, зокрема з багатошаровими персептронами, нейромережами з радіальною базисною функцією, а також штучними системами нечітких інтерфейсів. Усі зазначені методи оцінювалися за критерієм точності прогнозу на один крок уперед, причому експерименти проводилися на базі реальних добових котирувань американського долара щодо швейцарського франка.

Паралельно з цим, у [7 - 9] для аналітичного моделювання форекс-ринку було успішно впроваджено метод машини опорних векторів (SVM). Дослідники наочно довели, що цей підхід за багатьма критеріями випереджає за ефективністю традиційні нейромережі або популярні статистичні моделі класу ARIMA. Проте автори зазначають, що обов'язковою умовою для успішного

практичного розгортання моделі на базі SVM є максимально точний підбір відповідної функції ядра, а також коректне визначення значень ключових вільних параметрів, таких як показник регуляризації та функція втрат. У процесі роботи було детально прораховано та проаналізовано тенденції розвитку шести різних світових валют відносно австралійського долара.

У [10] пропонується алгоритм генетичного програмування (GP). Його специфіка полягає в побудові математичних рівнянь, які описують лінійні та нелінійні взаємозв'язки між такими подіями ринку, як тривалість спрямованої зміни (DC) та рівень перевищення (OS) у конкретному аналітичному масиві. Розробники провели комплексну оцінку своєї оптимізованої торгової стратегії на базі двохсот п'ятдесяти унікальних наборів даних DC. При цьому використовувалися п'ять варіантів порогових значень та п'ять різних валютних пар, сформованих на основі внутрішньоденної статистики зі спотового сектору форекс-ринку. Підсумкові показники підтвердили, що даний алгоритм здатний самостійно генерувати високоефективні інвестиційні стратегії, які за рівнем прибутковості статистично перевершують більшість загальновідомих сучасних інструментів, включаючи класичні методи технічного аналізу.

Своєю чергою, у [11, 12] автори висунули ідею створення ансамблю генетичних нечітких предикторів (GFPE), орієнтованого на роботу з хаотичними або нестаціонарними часовими рядами. Можливості цього методу були успішно випробувані як на теоретичних моделях хаотичних рядів Маккі-Гласса, так і на практичних завданнях з розрахунку нестаціонарних курсів зарубіжних валют. Оцінка точності запропонованої концепції здійснювалася шляхом порівняння зі стандартними нечіткими та нейромережевими інструментами на основі показника середньоквадратичної помилки (RMSE). Крім того, у цій же праці було описано гібридну модель, яка об'єднує машини опорних векторів, орієнтовані на аналіз настроїв ринку, та алгоритм оптимізації зграї китів для передбачення щоденної вартості цифрових активів, що підтвердило універсальність та надійність такого підходу для ширшого кола завдань.

У роботі [13] автори поставили за мету глибоко вивчити взаємозв'язок між прямими іноземними інвестиціями (FDI), обсягами експортної торгівлі та загальним рівнем волатильності обмінних курсів у Китайській Народній Республіці. Для реалізації цього завдання ними була застосована модель векторної авторегресії у поєднанні з критерієм причинності Грейнджера.

Своєрідним продовженням теми оптимізації торгових процесів є [14], де пропонується інтегрувати у валютний ринок генетичні алгоритми для автоматичного підбору найбільш вигідних стратегій на основі технічних індикаторів. Створені таким чином торгові алгоритми з підтримкою нейтральної позиції продемонстрували чисту річну прибутковість на рівні 3,7% протягом усього тестового періоду, що суттєво перевищило фінансові результати систем, які не використовували нейтральну позицію.

У [15] науковці сфокусувалися на вивченні мікроструктурних особливостей валютного ринку та провели скрупульозний аналіз потоку замовлень (ордерів), який справедливо вважається однією з головних рушійних змінних при формуванні вартості грошових одиниць. Для верифікації реального зв'язку між коливаннями часових рядів потоку замовлень та змінами курсів валют автори застосували методи коінтеграції та спеціалізовані моделі виправлення помилок.

Окремо варто відзначити [16], де в ролі одного з додаткових інформаційних чинників для моделювання ринку було використано Індекс споживчих настроїв (CCI). Здобуті під час експериментів результати наочно доводять, що інтеграція індексу CCI як важливого параметру в аналітичну модель класу GARCH дозволила частково підвищити загальну точність розрахунків обмінного курсу. У [17] увазі трейдерів пропонується спрощена концепція, яка передбачає використання всього однієї універсальної моделі для проведення зворотного аналізу цін як базового інструменту прогнозування майбутніх ринкових тенденцій. Для обґрунтування цієї ідеї автори здійснили масштабний огляд профільної літератури з технічного аналізу форекс-ринку, а

фінальні результати їхньої праці суттєво полегшили роботу практикуючих трейдерів при проведенні щоденного аналізу.

На завершення, у [18] констатується, що наукові пошуки та прикладні дослідження у сфері торгівлі іноземною валютою наразі перебувають на піку своєї активності. Оскільки найважливішим елементом будь-якої торгової структури є саме якісне передбачення ринкових змін, автори цієї статті прагнули презентувати світовій спільноті власну унікальну та цілісну валютну систему.

1.3. Постановка задачі

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є розробка програмного забезпечення, призначеного для підвищення точності прогнозування валютних курсів. Розроблене програмне забезпечення повинно бути зручним і практичним рішенням, яке забезпечує прогностичний аналіз валютного ринку, що є актуальним завданням внаслідок дестабілізації глобальної фінансової архітектури, що спричинена наслідками епідеміологічних криз, повномасштабною військовою агресією проти України та іншими факторами.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка програмного забезпечення, призначеного для підвищення точності прогнозування валютних курсів. Для досягнення мети передбачено вирішення наступних завдань:

- провести грунтовний аналіз впливних факторів на коливання валютних курсів;
- розробити математичну модель системи прогнозування валютних курсів;
- створити алгоритм роботи системи прогнозування валютних курсів;
- розробити програмне забезпечення для реалізації алгоритму прогнозування валютних курсів;
- провести тестування розробленого програмного забезпечення та зробити висновки по роботі.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ КУРСІВ ВАЛЮТ

2.1. Математична модель ринку валюти

Для моделювання окремого сегмента міжнародного фінансового простору сформуємо абстрактну математичну структуру. Початковим етапом побудови такої моделі є визначення скінченної множини досліджуваних грошових одиниць, яку можна представити у вигляді базового набору:

$$G = \{ g\ 1\ , \dots , g\ n \} \tag{2.1}$$

Кожен окремий елемент, що входить до цієї системи, наділяється індивідуальним кількісним показником, вираженим через невід'ємне дійсне число. При цьому сукупна сума всіх наявних характеристик має обов'язково перевищувати нульове значення, тобто

$$q\ i \geq 0, , i = 1, \dots , n, q\ 1 + \cdots + q\ n > 0. \tag{2.2}$$

Враховуючи, що будь-який тип грошей усередині моделі можна вільно конвертувати, пропорція взаємного обміну між парою умовних грошових одиниць g_i і g_j формалізується через розрахунковий коефіцієнт

$$c(i, j) = q_j / q_i \tag{2.3}$$

Для повноти функціоналу програмного забезпечення необхідно мати коефіцієнти $c\ (\ i, j\ )$ для всіх валют. Набір коефіцієнтів $c(\ i, j\ )$ складе матрицю обміну $C = \{\ c\ (\ i, j\ )\ \}\ , i = 1, \dots , n, j = 1, \dots , n$. Цей інформаційний масив за своєю суттю є апріорним, оскільки зазвичай надходить у систему в готовому вигляді із зовнішніх інформаційних джерел або платформ і визначається терміном «курси валют». Встановлене між активами відношення конвертації, що базується на обчислених коефіцієнтах, математично відповідає класичному відношенню еквівалентності. Це підтверджується послідовним виконанням трьох фундаментальних умов: рефлективності, симетричності та транзитивності:

- будь-яку валюту можна обміняти саму на себе;

- якщо валюту a можна обміняти на валюту b , то й валюту b можна обміняти на валюту a ;

- якщо валюту a можна обміняти на валюту b , а валюту b на валюту c , то валюту a можна обміняти на валюту c .

З практичної точки зору, саме третя властивість - транзитивність - відіграє вирішальну роль під час програмної обробки інформаційних потоків. Досить часто через технічні обмеження зовнішніх каналів зв'язку, дефіцит вихідних даних або з метою оптимізації та підвищення компактності збереження інформації у базах даних, імпортувати абсолютно всі елементи матриці $C = \{c\ (\ i, j\ )\ \}$ не уявляється можливим. Завдяки дотриманню принципу транзитивності, для безпомилкового математичного відновлення та розрахунку будь-якого втраченого значення всередині матриці обміну розробнику достатньо володіти інформацією лише про один її повний рядок.

Щоб запропонована теоретична модель була максимально адекватною та повністю відображала реальні процеси на ринку, необхідно чітко зафіксувати дві ключові математичні закономірності матриці C. Перша з них є найбільш тривіальною і полягає в тому, що всі значення, розташовані на головній діагоналі матриці, суворо дорівнюють одиниці, оскільки одна умовна грошова одиниця обмінюється на аналогічну одиницю самої себе без залишку чи зміни вартості. Друге: якщо $c\ (\ i, j\ )$ одиниць валюти i обмінюються на одну одиницю валюти j , то одна одиниця валюти i обмінюється на $1 / c\ (\ i, j\ )$ одиниць валюти j .

Усі числові компоненти, що утворюють матрицю обміну $C = \{c\ (\ i, j\ )\}$ відображають динаміку валюти i відносно до валюті j і навпаки. Проте в ситуації, коли фіксується коливання лише одного окремо взятого курсу $c\ (\ i, j\ )$ стає вкрай важко аналітично визначити, зміною якої саме з двох фінансових змінних воно було спровоковане. Саме тому для побудови об'єктивного моніторингу реальних процесів виникає наукова потреба у веденні спеціалізованого інтегрального показника. Така характеристика має демонструвати чисту динаміку конкретного курсу не відносно якогось одного обраного активу, а з урахуванням усієї

сукупності наявних у моделі грошових одиниць. Побудована таким чином всебічна залежність означатиме, що розрахований індекс набуде властивості повної незалежності від будь-якого базового фінансового блага, стаючи інваріантним стосовно кожної конкретної валюти. Це дозволить дослідникам та алгоритмам програми з максимальною точністю та неупередженістю давати оцінку глобальним змінам реальної вартості грошових коштів. Оскільки теоретично можна сконструювати нескінченно велику кількість подібних розрахункових маркерів, для подальшого аналізу чітко дефініюємо адитивні та мультиплікативні індекси такого типу:

$$IndAdd(i) = \frac{c(i,j)}{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} c(i,j)} \text{ де } j \in \{1, \dots, n\}; \quad (2.4)$$

$$IndMult(i) = \frac{c(i,j)}{\sqrt[n]{\prod_{i=1}^{n} c(i,j)}} \text{ , де } j \in \{1, \dots, n\}. \quad (2.5)$$

Значення індексів для валюти i не залежить від вибору валюти j . Визначимо послідовність моментів часу $t \in \{1, \dots, T\}$, в які проводиться визначення значень курсів валют для вхідних даних. Відповідно, інваріантні індекси будуть функцією від t :

$$IndAdd(i,t) = \frac{c(i,j,t)}{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} c(i,j,t)} \text{ де } j \in \{1, \dots, n\}, t \in \{1, \dots, T\}; \quad (2.6)$$

$$IndMult(i,t) = \frac{c(i,j)}{\sqrt[n]{\prod_{i=1}^{n} c(i,j)}} \text{ де } j \in \{1, \dots, n\}, t \in \{1, \dots, T\}. \quad (2.7)$$

Ці індекси можуть сильно відрізнятися, що ускладнює сприйняття тенденцій зміни курсу валют. Валютний кошик є штучно створеним фінансовим інструментом, що є специфічною комбінацією декількох іноземних грошових одиниць. Головна перевага практичного застосування такого мультивалютного набору полягає в ефективному нівелюванні ризиків та усуненні негативних наслідків, пов'язаних із потенційною нестабільністю чи різкими коливаннями курсів окремих національних валют. Об'єднання різних грошових ресурсів у

чітко визначених пропорціях гарантує вищий рівень загальної фінансової стійкості, дозволяє здійснювати всебічну й комплексну аналітичну оцінку поточної ринкової кон'юнктури, а також відкриває широкі можливості для гнучкого врахування глобальних макроекономічних трансформацій у процесі здійснення обмінних операцій. Кількісний вміст тієї чи іншої грошової одиниці в межах сформованого набору прийнято називати питомою вагою цієї валюти. Значення кожного з таких вагових коефіцієнтів обов'язково перебуває в межах стандартизованого діапазону від нуля до одиниці, тоді як сумарне значення абсолютно всіх часток у кошику беззастережно дорівнює одиниці. На практиці подібні валютні комплекси виконують функцію повноцінних розрахункових або умовних одиниць, що робить їх багато в чому схожими на звичайні поодинокі валюти. Саме через цю функціональну аналогію для математичної формалізації та коректного моделювання поняття мультивалютного кошика раціонально використовувати спеціальний редукований індекс. Особливість цього показника полягає в тому, що він залишається повністю незалежним від базових валютних компонентів, на основі яких зазвичай розраховуються індивідуальні індекси складових елементів системи. Отже, фінальна величина, яку ми намагаємося визначити, повинна виступати математичною функцією від інваріантних індексів окремо взятих валют, які обов'язково приводяться до єдиного початкового моменту часу.

$$CBind\,(w, \frac{t}{t_0}) = \sum_{i=1}^{n} w_1 IndR\left(i, \frac{t}{t_0}\right) \tag{2.8}$$

де n - кількість валют в кошику.

Обмеження на значення питомих ваг $w = (w_1, \dots, w_n)$ мають вигляд:

$$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1,\ w_i \geq 0 \forall i \in \{1, \dots, n\} \tag{2.9}$$

Використання адитивного індексу відкриває широкі можливості для ефективного моделювання та практичної роботи з такими мультивалютними наборами, окремі складові елементи яких характеризуються надзвичайно малими ваговими коефіцієнтами, що практично наближаються до нульової

позначки. Процес формування та побудови максимально стабільного валютного кошика підпорядковується певним математичним закономірностям, де ключовим критерієм виступає мінімізація коливань. Зокрема, розраховане значення індексу для такого кошика з мінімальним рівнем волатильності повинно демонструвати гранично низьку динаміку змін у часовому просторі, а за умов досягнення ідеальних параметрів функціонування системи — взагалі залишатися абсолютно константним та незмінним протягом усього аналізованого періоду. Для того щоб мати чітке кількісне вираження стійкості або, навпаки, мінливості створеного фінансового інструменту, загальний рівень нестабільності зазначеного кошика прийнято визначати та оцінювати через математичний апарат дисперсії:

$$D = \frac{1}{T}\sum_{i=1}^{T}(CBind\ (\mathrm{w}, t) - \mathrm{M}CBind\ (\mathrm{w}))^2, \tag{2.10}$$

$$\mathrm{M}CBind\ (\mathrm{w}) = \frac{1}{T}\sum_{i=1}^{T} CBind\ (\mathrm{w}, t), \tag{2.11}$$

Таким чином, для успішної побудови та практичного формування оптимізованого валютного кошика з найменшим рівнем волатильності виникає об'єктивна необхідність точного розрахунку таких вагових коефіцієнтів wi, за яких підсумковий показник математичної дисперсії D досягав би свого гранично мінімального значення. З метою знаходження цих оптимальних числових параметрів та вирішення поставленої оптимізаційної задачі необхідно задіяти спеціалізований математичний алгоритм мінімізації функції. Для ефективного та надійного розв'язання цієї проблеми, зважаючи на складність пошукового простору, доцільно скористатися можливостями еволюційного моделювання, а саме прикладним інструментарієм генетичного алгоритму, який дозволяє здійснювати спрямований пошук глобального екстремуму через механізми природного відбору та спадковості.

2.2. Опис генетичного алгоритму прогнозування валютних курсів

Основна суть науково-практичної задачі щодо моделювання та побудови збалансованого валютного кошика з мінімальними показниками волатильності зводиться до точного обчислення та обґрунтування такої оптимальної множини вагових коефіцієнтів $w = (w_1, \dots , w_n)$, які б у своїй сукупності гарантували досягнення абсолютного мінімуму цільової функції, що описується математичними виразами. Для успішного розв'язання цього завдання застосовується генетичний алгоритм, який за своєю природою є ефективним евристичним методом спрямованого пошуку, призначеним для розв'язання складних оптимізаційних проблем та побудови адекватних моделей. Його функціонування базується на процесах ітераційного підбору, багаторазового комбінування та випадкової варіації визначених параметрів системи, що повністю імітує природні механізми біологічної еволюції та спадковості. Даний обчислювальний підхід передбачає послідовне виконання низки фундаментальних етапів, де все починається зі створення стартового набору потенційних рішень шляхом ініціалізації або генерації початкової популяції хромосом. Наступним обов'язковим кроком є ретельне обчислення та оцінка функції пристосованості кожної окремої хромосоми в межах наявної популяції, після чого здійснюється перевірка виконання заздалегідь визначеного критерію або умови зупинки всього еволюційного процесу. Якщо умови завершення не виконано, запускається процедура селекції та відбору найбільш перспективних хромосом-батьків для подальшого відтворення. Надалі відбувається безпосереднє застосування базових генетичних операторів, таких як схрещування та випадкова мутація, що забезпечує генетичне різноманіття, і на основі отриманих результатів здійснюється формування абсолютно нової дочірньої популяції. Весь цей замкнений цикл повторюється доти, доки не буде виконано умову зупинки, що зрештою дозволяє здійснити фінальний вибір єдиної «найкращої» хромосоми, кодовані параметри якої і є шуканим оптимальним розв'язком.

В основі роботи генетичного алгоритму лежить відтворення популяції екземплярів, де в хромосомі (генотипі) кожного з них зашифровано певний варіант розв'язання поставленої проблеми (фенотип). Стартовий набір таких варіантів створюється абсолютно довільно на початковому етапі функціонування системи. Щоб визначити ефективність та якість одержаних розв'язків, застосовують спеціальний критерій - функцію пристосованості. Після цього аналізується чисельність наявної популяції на предмет її відповідності лімітам середовища, яке здатне забезпечити життєдіяльність лише обмеженої кількості екземплярів. У разі фіксації надлишкової чисельності запускається процедура редукції, за якої відсіюються зайві елементи і залишається лише дозволений обсяг хромосом. Якщо на даній стадії зафіксовано виконання критерію зупинки обчислювального процесу, алгоритм завершує роботу та видає найефективніший варіант із максимальним показником цільової функції як фінальний результат. Коли ж підстав для завершення розрахунків немає, відбираються найбільш життєздатні екземпляри для їхньої подальшої рекомбінації та модифікації за допомогою еволюційних механізмів. Процес схрещування обраних батьківських пар за допомогою оператора кросинговеру приводить до появи нових особин, чий генетичний код поєднує в собі інформаційні фрагменти обох батьків. Окремі новостворені суб'єкти додатково піддаються випадковим точковим змінам коду через дію оператора мутації. Усі одержані нащадки разом із вихідними хромосомами об'єднуються, утворюючи оновлену популяційну структуру. При цьому циклічне виконання етапів під трактується як зміна поколінь (генерація), а тривалий процес розвитку всієї системи формується з послідовного чергування таких циклів.

В якості функції пристосовуваності використано рівняння (2.10). Оптимальним значенням функції пристосовуваності буде її мінімальне значення. Набір з n хромосом w утворює популяцію. Після створення хромосоми вона нормалізується. Визначимо операції схрещування наступним чином:

$$\beta = 2\,(\,1 - r\,) - 0.5; \tag{2.12}$$

$$r = Random\,(\,0;\,1); \tag{2.13}$$

$$child1_{\,i} = |\alpha \times \text{parent } 1_i + \beta \times \text{parent2}_{\,i}| \tag{2.14}$$

$$child2_{\,i} = |\alpha \times \text{parent2}_i + \beta \times \text{parent } 1_{\,i}| \tag{2.15}$$

$$\alpha = 2r - 0.5; \tag{2.16}$$

Вищенаведені вирази застосовуються для усіх елементів вектора хромосоми w , де r - довільне число від 0 до 1. Обрані батьківські особини позначені, як parent1 і parent2, а дочірні - *child1* і *child2*. До дочірних хромосом застосована функція нормалізації для виконання накладених обмежень, після чого обислюється значення пристосованості. Після цього дочірні хромосоми додаються до популяції. На етапі мутації по черзі вибирається одна з хромосом і один з її генів. До цього гену вносяться зміни:

$$w\,(\,i\,) = w\,(\,i\,) * Random\,(\,0;\,1) + 0.5. \tag{2.17}$$

Після завершення модифікацій мутовані хромосоми з оновленими генними структурами піддаються обов'язковій процедурі нормалізації, після чого для них здійснюється повторне обчислення показників функції пристосованості. На етапі редукції відбувається примусове відновлення базової чисельності популяції відповідно до заздалегідь встановлених системних параметрів. Цей процес реалізується шляхом попереднього ранжування всіх наявних хромосом за рівнем їхньої ефективності, на основі чого найменш придатні варіанти рішень безповоротно видаляються із загального набору. Усі вищезазначені процедури циклічно дублюються на кожному новому кроці аж до повного завершення всього еволюційного циклу. Як тільки фіксується виконання встановленого критерію зупинки, генетичний алгоритм видає фінальний масив хромосом-рішень, попередньо впорядкований за ступенем їхньої оптимальності, який надалі безпосередньо використовується для конструювання мультивалютних кошиків із найнижчим рівнем коливання.

2.3. Побудова прогнозу валютного курсу на основі рекурентної нейронної мережі

Рекурентна нейронна мережа є сильно пов'язаною нейронною мережею, її головною відмінністю від звичайних мереж прямого зв'язку є нявність зворотного зв’язку. Вихід прихованого шару в рекурентній нейронній мережі повертається до себе назад. На рис.2.1 наведено типову структуру простої рекурентної нейронної мережі.

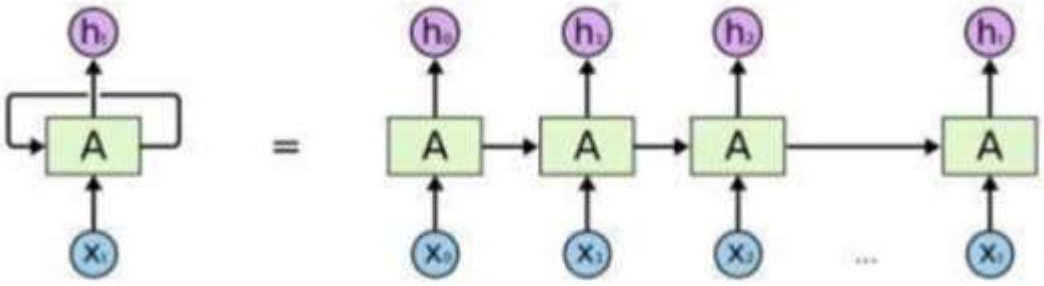


Рисунок 2.1 - Рекурентна нейронна мережа

Вхідні вузли цієї архітектури спрямовують інформаційні потоки до прихованого шару, який оснащений сигмоїдальними функціями активації, що повністю відповідає принципам функціонування класичних повнозв'язних штучних нейронних мереж. Ключова відмінність полягає в тому, що згодом вихідні сигнали зазначеного прихованого шару рекурсивно повертаються назад у цей же самий шар. Саме завдяки інтеграції такого зворотного зв'язку з'являється унікальна можливість здійснювати послідовну передачу оброблених даних від одного дискретного кроку обчислень у мережі до наступного. Утім, за глибшого аналізу стає зрозуміло, що вони не мають кардинальних структурних розбіжностей із традиційними архітектурами, оскільки будь-яку рекурентну мережу можна концептуально уявити у вигляді певної послідовності ідентичних копій однієї базової мережевої структури, де кожен окремий дублікат транслює накопичені знання своєму безпосередньому наступнику. При цьому вихідні параметри прихованого шару обов'язково пропускаються крізь спеціалізований блок часової затримки, що відкриває перспективи для математичного моделювання складних динамічних процесів, які мають виражену залежність від

чинника часу або суворої послідовності елементів. Для ефективної роботи рекурентних нейромереж критично важливо володіти механізмами довготривалої пам'яті, які дозволяють успішно виявляти та поєднувати приховані взаємозв'язки між даними, що розділені значними часовими інтервалами. Наявність подібної довготривалої пам'яті дозволила б обчислювальній системі значно глибше та якісніше аналізувати характер взаємозалежностей і закономірностей між різними подіями, що відбуваються на світовому валютному ринку. Проте із суттєвим розширенням кількості аналізованих часових кроків стрімко зростає ризик виникнення серйозних обчислювальних аномалій, коли градієнти в процесі зворотного поширення помилки або неконтрольовано акумулюються, або повністю нівелюються, зменшуючись до нуля. З метою мінімізації негативних наслідків явища згасання градієнта та для забезпечення стабільного практичного функціонування глибоких рекурентних архітектур виникла гостра потреба у впровадженні інструменту, здатного нейтралізувати постійне перемноження занадто малих значень градієнтів, які є меншими за одиницю.

Ефективним розв'язанням цієї фундаментальної проблеми стала архітектура довгої короткострокової пам'яті (LSTM), яка містить у своїй структурі унікальну логічну одиницю, розроблену спеціально для успішного придушення ефекту затухання градієнтів. Зазначене інженерне рішення суттєво підвищує потенціал рекурентної нейромережі, роблячи її максимально адаптованою та корисною для виконання завдань, що вимагають збереження контексту протягом тривалого часу, зокрема й для високоточного прогнозування динаміки курсів на фінансових ринках. Цей позитивний ефект досягається завдяки формуванню особливого внутрішнього стану пам'яті, який трансформується шляхом простого математичного додавання до обробленого вхідного сигналу, що кардинально знижує руйнівний мультиплікативний вплив дрібних градієнтів на загальну здатність мережі до навчання. Архітектура LSTM являє собою специфічний різновид рекурентної нейронної мережі, навчання якої

базується на алгоритмі зворотного поширення помилки крізь час (BPTT), і яка спроможна повністю долати критичні обмеження класичного затухання градієнтів. Моделі на основі LSTM можуть успішно застосовуватися як базові елементи для конструювання масштабних обчислювальних мереж, орієнтованих на розв'язання надскладних прикладних задач машинного навчання, пов'язаних з обробкою послідовностей даних. Замість традиційних індивідуальних нейронів у структурі LSTM використовуються складніші функціональні блоки пам'яті, які інтегруються один з одним через послідовну систему шарів. Кожен такий автономний блок оснащений спеціальними внутрішніми воротами (controlled gates), які здійснюють гнучке керування поточним станом та фінальним виходом даного елемента. Блок здійснює послідовну обробку вхідного інформаційного масиву, причому абсолютно кожен логічний вентиль усередині структури використовує для регулювання потоків активаційні сигмоїдальні функції, що дозволяє реалізувати умовний характер оновлення внутрішнього стану та дозованого додавання нових відомостей, які безперервно протікають крізь цей блок.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ВАЛЮТНИХ КУРСІВ

3.1. Обгрунтування вибору мови програмування

C# є універсальною об'єктно-орієнтованою мовою програмування, створеною корпорацією Microsoft. З моменту свого дебюту у 2000 році цей інструмент утримує позиції ключового засобу проектування десктопного софту під управлінням Windows. Ця мова визнана оптимальним рішенням для побудови корпоративних систем, настільних Windows-додатків та ігрової індустрії, оскільки на ній функціонує популярний рушій Unity.

Побудова C# від самого початку базувалася на канонах ООП. Цей методологічний підхід дозволяє розробнику чітко описувати типи й структури даних для подальшого застосування до них уніфікованих процедур. ООП групує інформацію в окремі об'єкти, спрощуючи поділ складного програмного комплексу на автономні модулі, які значно простіше створювати, коригувати та інтегрувати. Завдяки принципам ООП взаємодія з об'єктами відбувається через задекларовані класи без потреби прямого втручання в їхні приховані внутрішні параметри. Написані в такому стилі програми характеризуються високою читабельністю, легкістю тестування, швидким реагуванням на виникаючі збої та загальною оптимізацією текстового обсягу коду.

Систему C# відносять до високорівневих мов через близькість її синтаксичних конструкцій до звичайної людської мови. Вона володіє значним рівнем абстрагування від низькорівневих машинних команд, через що написаний розробником текст потребує обов'язкової компіляції для належного сприйняття апаратною частиною комп'ютера. Такі мови є надзвичайно зручними завдяки простоті розуміння синтаксису, на відміну від низькорівневих аналогів на кшталт C. Проте C# має цікаву специфіку: якщо класична мова C цінується за можливість безпосереднього оперування пам'яттю за допомогою покажчиків, то

в C#, попри його високий рівень абстракції, також збережено обмежений функціонал для роботи з покажчиками, що додає йому гнучкості.

Потенціал C# як самостійної мови міг би обмежитися виключно сегментом настільних програм для Windows, але завдяки кросплатформним середовищам виконання та масштабним інструментаріям фреймворків .NET він перетворився на високоефективний міжплатформний інструмент. Платформа .NET пропонує розробникам різноманітні середовища виконання, серед яких відомий проєкт Mono та фірмовий CLI від Microsoft, котрі транслюють інструкції C# у машинний код будь-якої популярної операційної системи. Іншою важливою перевагою .NET є мовна сумісність, що дозволяє компонентам C# безперешкодно взаємодіяти із кодом, створеним на C++, F#, Visual Basic чи Windows PowerShell у межах одного проекту. Також програмісти можуть використовувати сучасну платформу .NET Core, яка містить велику кількість гнучких модулів і стандартизованих бібліотек класів, що суттєво прискорюють розгортання веб-сервісів та сучасних додатків.

C# входить до великої родини мов програмування C. Сама по собі ця спорідненість не є прямим технічним бонусом, проте володіння C# значно спрощує подальше опанування C, C++ або Java через схожі синтаксичні правила та спільні базові закономірності. Для комерційної розробки це є суттєвим плюсом, оскільки фахівці можуть легко взаємодіяти в суміжних проектах, а вбудовані функції інтероперабельності C# дозволяють гармонійно поєднувати різні технологічні стеки в межах єдиного програмного продукту.

Інтегрована робоча область (IDE) забезпечує повний цикл написання, верифікації, дебаггінгу та збирання коду. Середовище Visual Studio виступає еталонним інструментом завдяки низці вагомих переваг: наявності єдиного простору для всіх типів .NET-додатків, підтримці суміжних мов і форматів (Visual Basic, C, C++, JSON), вбудованим засобам налагодження, компіляції та автоматичного очищення пам'яті. Крім того, воно пропонує адаптивний інтерфейс користувача та нативну інтеграцію з системою контролю версій Git

для організації ефективної командної роботи над загальною базою вихідного коду. Сьогодні Visual Studio визнана індустріальним стандартом серед IDE для створення будь-яких програмних продуктів на C#.

Раціональний розподіл ресурсів оперативної пам'яті є критично важливим для стабільної роботи софту. У мові C# за це відповідає інтегрований збирач сміття, який самостійно моніторить об'єкти, що втратили актуальність, і автоматично звільняє зайняті ними сектори. На відміну від розробки некерованого коду, де програміст змушений вручну прописувати алгоритми для запобігання витокам пам'яті, автоматизоване керування повністю усуває необхідність створення ручних команд для деалокації ресурсів і підготовки простору для нових даних.

C# є типобезпечною мовою, що виключає можливість довільної зміни типу змінної після її оголошення. Якщо об'єкт визначено як ціле число, йому неможливо присвоїти текстове значення, що гарантує прогнозовану поведінку коду та обмежує доступ лише до виділених під цей тип комірок пам'яті. Статична перевірка типів відбувається безпосередньо під час компіляції, що дозволяє локалізувати помилки ще до запуску програми. Водночас, починаючи з четвертої версії, в C# реалізовано механізм динамічної типізації за допомогою ключового слова dynamic. Це дозволяє ігнорувати перевірку типів на етапі компіляції, відкладаючи її до моменту виконання, що забезпечує гнучкість при інтеграції з кодом, отриманим з інших екосистем, наприклад, із мови IronPython.

Розвитком і модернізацією C# планомірно займається корпорація Microsoft, яка за останні чотири роки представила три великі версії мови разом із платформою .NET 5. Компанія публікує детальні інструкції, практичні посібники та навчальні відеоматеріали. Значна частина цієї документації присвячена базовим архітектурним елементам .NET, таким як загальна система типів (CTS), компілятори та засоби асинхронного програмування, а решта матеріалів детально описує специфіку синтаксису C# у різних його релізах.

Усі ці характеристики роблять мову відмінним інструментом для великих розробницьких команд, хоча при виборі технології слід враховувати й специфічні мовні обмеження.

3.2. Програмна реалізація обчислення прогнозу курсів валют

Вхідною інформацією для розрахункового аналітичного блоку слугують структуровані файли з розширенням DBF. Даний стандарт зберігання традиційно застосовується в системах керування базами даних з метою каталогізації відомостей про досліджувані об'єкти та супровідні метадані. Архівні документи зазначеного типу, що містять світові котирування грошових одиниць, знаходяться у вільному доступі на веб-ресурсі Міністерства фінансів України [19]. Ознайомитися з внутрішнім наповненням таких таблиць розробник чи аналітик може за допомогою табличного процесора Microsoft Excel.

У процесі програмної обробки із вхідних масивів відбираються лише два ключові вектори: календарний день реєстрації фінансового показника та безпосередньо його числова величина. Зчитування записів із першоджерела реалізовано шляхом виконання реляційних SQL-запитів із залученням системних компонентів OLE DB. Початкові відомості щодо коливань конкретної грошової одиниці відносно національної валюти імпортуються в об'єкти типу System.Data.DataTable, які моделюють двовимірні табличні структури. Наступним кроком ці структури комплектуються у загальне сховище System.Data.DataSet. Далі фінансові масиви зазнають структурної трансформації та перетворюються на набір матриць, де кожна окрема матриця відображає пропорції взаємного обміну на конкретний календарний момент. Показники, яких бракує, обчислюються на основі правила транзитивності фінансових інструментів. У переформатованому вигляді інформаційні потоки акумулюються в межах того самого об'єкта DataSet, що складається з елементів DataTable. Проте тепер системні таблиці групуються не за критерієм приналежності до певної грошової одиниці, а прив'язуються до конкретних

часових точок. Паралельно генерується вектор дат, довжина якого чітко збігається із сукупною кількістю таблиць у результуючому DataSet. Схема відповідних перетворень на прикладі чотирьох розрахункових валют відображена на рисунку 3.1.

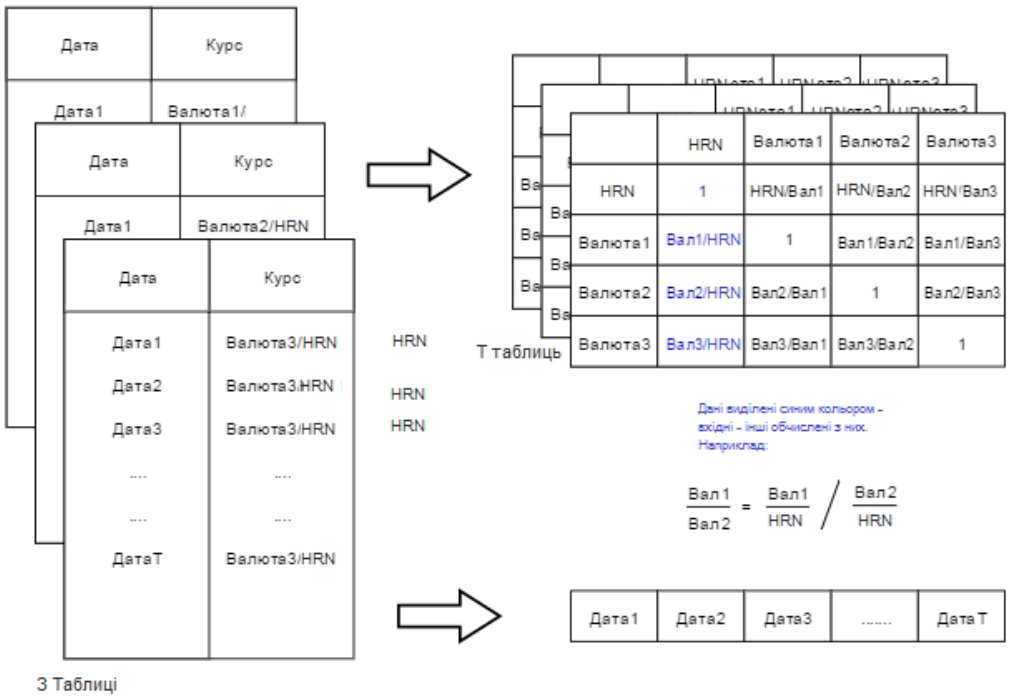


Рисунок 3.1 - Процеси перетворення вхідних даних.

Підготовлені розрахункові матриці відображаються у вікні програми як структуровані сітки за допомогою компонента Windows Forms під назвою DataGridView, де об'єктом прив'язки відомостей виступає конкретний елемент DataTable (база котирувань). Порядковий індекс потрібної таблиці встановлюється відповідно до позиції в часовому масиві тієї дати, яку оператор зазначив на графічному календарі. Цей календарний блок інтегровано за допомогою стандартного інструменту Windows Forms (компонент MonthCalendar). Разом із цим, на базі зібраних фінансових показників формується плоска діаграма за участю інтегрованого функціоналу сторонньої бібліотеки ZedGraph. Коли первинна інформація успішно імпортована та структурована, запускається алгоритм обчислення незмінних інваріантних індексів, що виступають як неупереджені індикатори коливань вартості окремої

грошової одиниці й надалі застосовуються під час моделювання кошиків валют та побудови аналітичних прогнозів. Визначення конкретного математичного підходу — сумуючого (адитивного) чи множинного (мультиплікативного) — покладається безпосередньо на користувача системи. Програмна реалізація мовою C# для процедури, що здійснює калькуляцію адитивних показників, проілюстрована на рис. 3.2. У свою чергу, архітектура функції для визначення мультиплікативних параметрів детально представлена на рис. 3.3.

```
double [,] CreateAdditiveIndices( int baseCurrency) // baseCurrency - номер базовий валюти
{
        double    [,]    index    =    новий    double    [numberOfCurrency,
        numberOfTimeMoments];double indexT0 = 1;// Індекс у початковий момент
        часу
        for (j = 0; j < numberOfCurrency; j++)  // j - номер валюти
            for (t = 0; t < numberOfTimeMoments; t++)  // t - момент часу
            {
                double sum = 0;
                for ( int i = 0; i < numberOfCurrency; i++) // підрахунок суми в (3.2.1)
                    sum = sum + rates[t][i][baseCurrency];
                index[j, t] = rates[t][j][baseCurrency]/(sum/numberOfCurrency);if (t
                == 0)
                    indexT0 = index[j, 0];
                index[j, t] = index[j, t] / indexT0;  // (3.2.3)
            }
       return index;
}
```

Рисунок 3.2 - Функція підрахунку адитивних індексів

```
        double    [,]    index    =    новий    double    [numberOfCurrency,
        numberOfTimeMoments];double indexT0 = 1;// Індекс у початковий момент
        часу
        for (j = 0; j < numberOfCurrency; j++)  // j - номер валюти
            for (t = 0; t < numberOfTimeMoments; t++)  // t - момент часу
            {
    double comp = 1;
    for ( int i = 0; i < numberOfCurrency; i++) // підрахунок твори в
        comp = comp * rates[t][i][baseCurrency]; index [j, t] =
    Pow (comp, 1.0 / numberOfCurrency);if (t == 0)
        indexT0 = index[j, 0];      // Індекс в початковий момент часуindex[j, t] =
    index[j, t] / indexT0; // (3.2.3)
 }return index;
```

Рисунок 3.3 - Функція підрахунку мультиплікативних індексів

З метою забезпечення лаконічності та кращого сприйняття в представленому коді об'єкти типу DataSet було замінено на структури багатовимірних масивів. По завершенні обчислювальних процедур сформовані фінансові показники, аналогічно до вихідних котирувань, відображаються у віконних матрицях, а також можуть бути трансформовані в лінійні діаграми для будь-якої конкретної грошової одиниці, яку аналітик виділить у переліку доступних варіантів.

Грошові кошики у межах розрахункового аналітичного блоку моделюються через систему зведених індексів. Конструювання такого кошика стає можливим виключно після калькуляції індивідуальних індикаторів для кожної окремої валюти. Під час цього процесу формується інтерактивний список доступних найменувань, де галочками чи виділенням обираються компоненти для створення сукупного портфеля. За текстовими назвами програмний алгоритм ідентифікує відповідні порядкові номери елементів у загальному масиві показників. Кількісні вагові коефіцієнти розробник або користувач прописує в діалоговому рядку вручну, розділяючи їх пробілами. Після цього система запускає процес синтаксичного аналізу (парсингу) введеного рядка. На даному етапі критично важливо заблокувати випадкове чи помилкове введення некоректних символів (наприклад, літер або специфічних знаків замість числових значень). Неправильно заповнений текстовий фрагмент автоматично коригується шляхом фільтрації та видалення заборонених знаків із подальшим приведенням до стандартного формату запису. Окрім цього, перевіряються системні математичні ліміти, встановлені для вагових пропорцій у моделі. Повідомлення про порушення цих правил транслюються на монітор у вигляді спливаючих вікон. Очищення та валідація вмісту робочого текстового рядка здійснюється за допомогою апарату регулярних виразів. Зокрема, алгоритм відсікання помилкових літер і знаків реалізовано за схемою, що продемонстрована на рис. 3.4.

```
string patternWrongSymb = @"[^0123456789,. ]" ;
string replacementWS = "" ;
string text = Regex .Replace(input, patternWrongSymb, replacementWS);
```

Рисунок 3.4 - Усунення некоректних символів

У наведеному фрагменті коду кожен знак, який не належить до розряду цифр, знаків розділення у вигляді крапки чи коми, а також відступів, автоматично стирається з пам'яті. У разі, коли за підсумками синтаксичного розбору та валідації структурні частки визнаються правильними, система запускає алгоритм визначення підсумкових показників кошика валют та миттєво транслює сформовану лінію на екранну діаграму.

3.3. Розробка графічного інтерфейсу та тестування

Візуальне середовище взаємодії (graphical user interface, GUI) являє собою такий спосіб організації простору користувача, де керування софтом відбувається через безпосередній контакт із наочними об’єктами на моніторі. Протилежним підходом до побудови взаємодії виступає консольне текстове керування, яке відкинуто як невідповідне. Впровадження візуального вікна забезпечує граничну ергономічність і комфорт для оператора, а також відкриває шляхи для наочної демонстрації масивів відомостей у різноманітних форматах.

Відповідно, інвестиція ресурсів і часу у проектування повноцінного візуального простору є цілком доцільною. Базою для побудови віконної системи обрано технологію Windows Forms, інтегровану в платформу .NET Framework. Створення застосунку згідно з визначеними завданнями проекту вимагає застосування набору типових компонентів керування, серед яких клавіші дій, зони введення тексту, структуровані списки, матричні таблиці та компоненти відображення графіки. Усі згадані інструменти інтегровані в обрану платформу та легко конструюються в інтерактивному дизайнерському середовищі, що суттєво прискорює загальний процес написання коду. Зважаючи на суто науково-дослідну спрямованість софту, необхідність у створенні унікальних чи

ексклюзивних візуальних стилів відсутня, тому цей інструментарій розробки повністю задовольняє наявні потреби. Створюваний програмний блок для аналітики та прогнозування фінансових показників має оперувати масштабними масивами вхідних відомостей. Дані охоплюють поточні котирування, ринкові індекси, показники грошових кошиків та обчислені перспективні тренди часових рядів. Потрібно опрацьовувати ретроспективну статистику за тривалі періоди, причому масштаби відомостей суттєво збільшуються на етапі аналізу та калькуляції похідних показників. Інструменти мови C# разом із базовими засобами Windows Forms дозволяють запрограмувати цей функціонал самостійно. Однак у публічному просторі є чимало готових програмних пакетів, які забезпечують побудову діаграм із гнучкими параметрами конфігурації.

Прикладом такого продукту є відкритий компонент ZedGraph, що вирізняється наявністю детальних інструкцій, високою швидкістю обчислень та надійністю [20]. Саме його доцільно інтегрувати в проект. Зону відображення трендів буде змонтовано зверху робочої області, а елементи налаштування та керування відображенням - під нею (рис. 3.5).

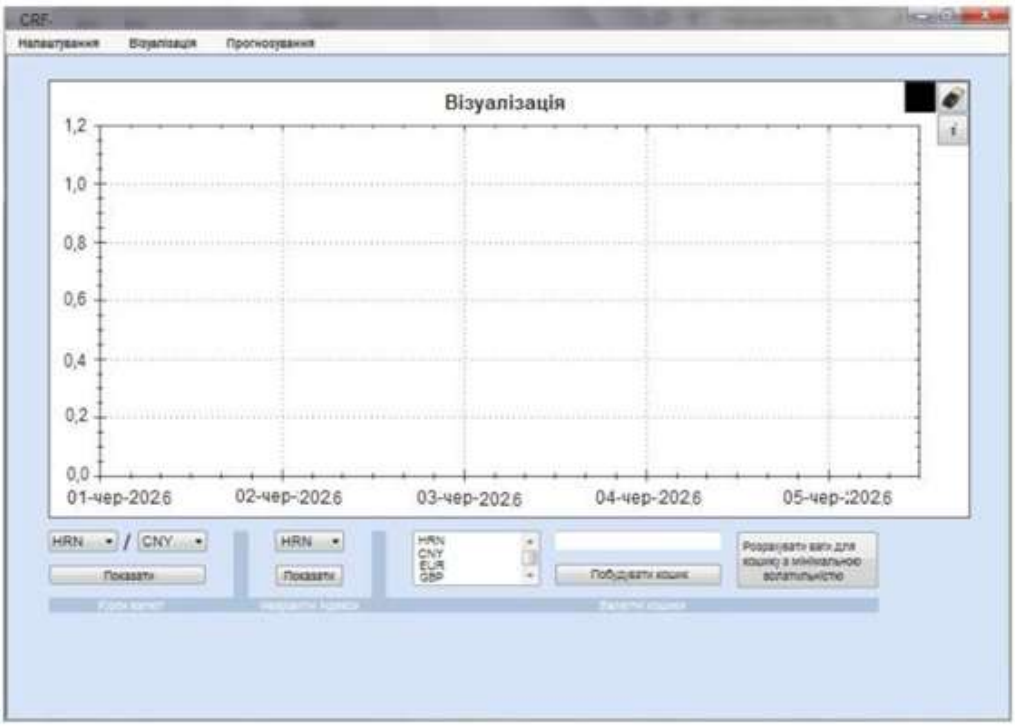


Рисунок 3.5 – Вікно візуалізації

Програмні засоби графічного моделювання розбиті на три функціональні блоки: «ринкові котирування», «стабільні індекси» та «мультивалютні портфелі». У межах перших двох блоків аналітику достатньо лише відмітити прапорцями необхідні грошові одиниці та активувати керівну клавішу «Показати». Щоб згенерувати лінійну діаграму комбінованого портфеля, слід у запропонованому переліку виділити конкретні валюти, які увійдуть до його структури. Після цього у діалоговому полі прописуються числові частки впливу кожної позиції через пробіли. Будь-який коефіцієнт не може виходити за рамки діапазону від нуля до одиниці, а їхня загальна математична сума повинна суворо дорівнювати одиниці. При активації клавіші «Побудувати кошик» результуюча крива відобразиться у верхній зоні інтерфейсу. Шляхом вибору певних валютних компонентів та натискання керуючого елемента «Розрахувати ваги для кошика з мінімальною волатильністю» запускається оптимізаційний алгоритм, за підсумками якого текстовий рядок автоматично заповниться розрахованими частками, що зводять до мінімуму загальні ринкові коливання. Траєкторія руху такого збалансованого портфеля позначена червоним кольором на рис. 3.6.

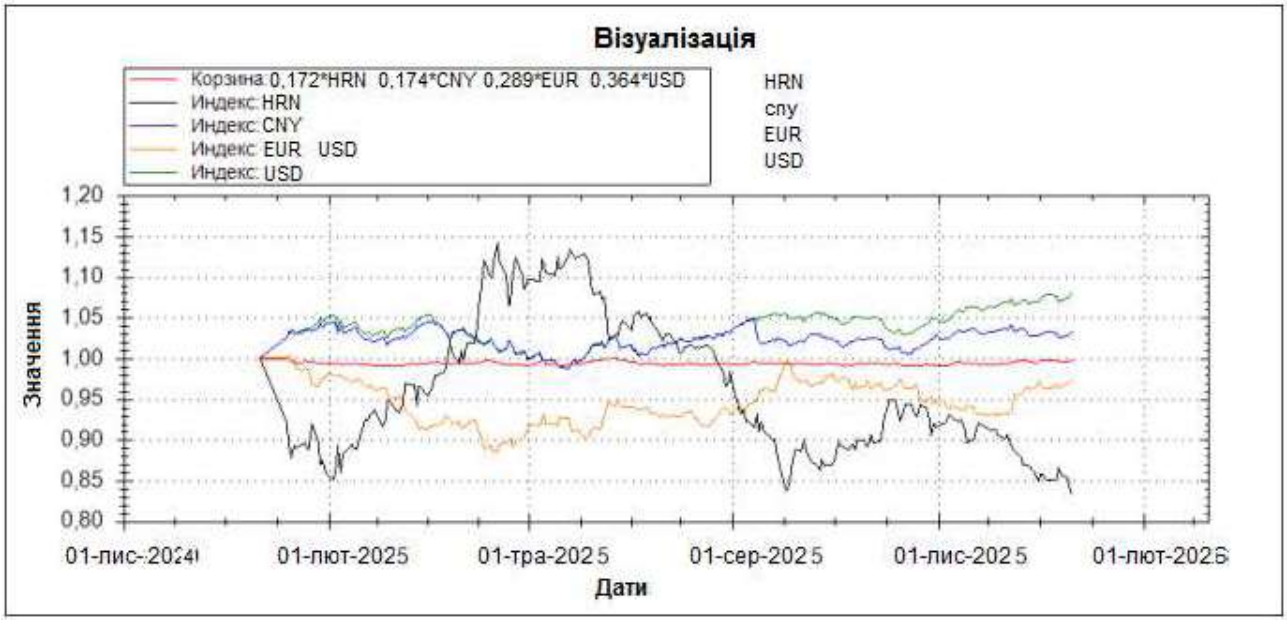


Рисунок 3.6 – Вікно побудови стабильного кошику валют

Для переходу до вікна прогнозування необхідно скористатися пунктом головного меню модуля прогнозування валютних курсів (рис. 3.7).

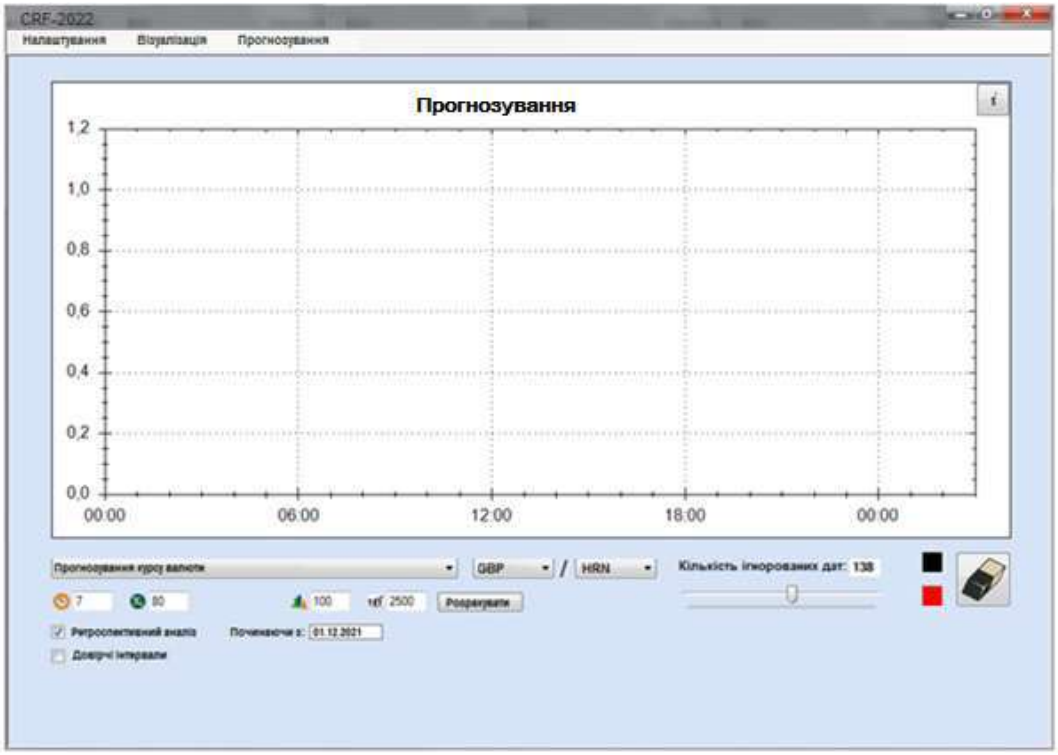


Рисунок 3.7 – Вікно прогнозування

У горішній зоні робочої області аналітичного моделювання змонтовано екранне вікно для відображення трендів. Безпосередньо під цією областю згруповано комплекс розкривних меню та робочих рядків введення, що слугують для конфігурації розрахункових коефіцієнтів. Перший ліворуч розкривний перелік під назвою «Прогнозування курсу валюти» дозволяє оператору визначити один із трьох доступних аналітичних режимів: «Прогнозування курсу валюти», «Прогнозування інваріантного індекса валюти» або ж «Прогнозування інваріантного індекса валютного кошику». При активації перших двох варіантів за участю розміщених поруч допоміжних селекторів вибираються конкретні грошові одиниці, тоді як у фінальному варіанті запускається процедура аналізу комплексного мультивалютного портфеля.



Рисунок 3.8 – Параметри, використані при прогнозі курсу GBP/HRN

З метою виконання більш прецизійного калібрування передбачено спеціальні діалогові зони, забезпечені графічними маркерами: часовий горизонт екстраполяції, що обчислюється в операційних добах, при цьому до уваги беруться виключно робочі дні фіксації міжбанківських котирувань (п'ятиденний тижневий цикл); обсяг факторних ознак, виражений у відсоткових частках від загального масиву відомостей, на основі якого здійснюється визначення найкращих параметрів регресійного рівняння; чисельність індивідів усередині генерації для евристичного еволюційного методу оптимізації відхилень моделі; сукупне число генераційних циклів у межах згаданої генетичної процедури зниження похибки наближення. З метою спрощення експлуатації всі перелічені позиції заздалегідь укомплектовані базовими розрахунковими значеннями. Під час позиціонування покажчика миші над будь-яким графічним маркером активується контекстне інформаційне віконце з поясненням. Шляхом активації селектора навпроти опції зворотного тестування відкривається інтерактивний календарний блок, де задається початкова точка часового зрізу. У подібний спосіб активується режим розрахунку та відображення меж статистичної значущості (довірчих зон). За умов накопичення критично великого масиву ретроспективної інформації в пам'яті застосунку, доцільно виключити з розрахункового алгоритму застарілу її частку задля підвищення прогнозної спроможності математичного апарату. Дана дія реалізується за допомогою відповідного трекера переміщення у правій зоні графічного вікна.

Для проведення перевірки задіювалися історичні показники вартості американського долара щодо української гривні, оприлюднені Національним банком України за часовий інтервал від 01.01.2025 р. до 31.12.2025 р..

Експеримент полягав у тому, щоб спираючись на наявний інформаційний масив сформувати перспективну оцінку на певну кількість діб наперед та зіставити її з фактичними ринковими котируваннями. На вхідну матрицю розрахункових комплексів надходив числовий рядок із котируваннями валюти у гривневому еквіваленті за зафіксовану ретроспективну епоху. Протяжність цього рядка була визначена як аналітичне вікно, на базі якого вираховувався тренд фінансового показника на наступну часову відмітку. Зокрема, беручи до уваги параметри валютного ринку в поточний момент часу (t), виходячи з яких вимагається вирахувати рівень вартості у наступній позиції часового ряду (t + 1), є можливість задіяти як пояснювальні параметри як поточну числову величину, час (t), так і, приміром, цінові рівні за дві попередні реєстраційні відмітки (t - 1) та (t - 2). При побудові цієї аналітичної процедури у вигляді класичної регресійної задачі, предикторами виступатимуть змінні (t – 2), (t – 1), t, тоді як результуючим відгуком буде показник (t+1). Підсумки апробації аналітичного інструментарію передбачення котирувань засвідчили значну продуктивність застосованих зворотних рекурсивних алгоритмів. Обґрунтоване в дослідженні поєднання архітектури багатовимірної лінійної рекурсії з евристичним еволюційним пошуком дозволило підвищити точність прогнозних оцінок на 1,4 %.

Висновок

Протягом виконання кваліфікаційної роботи бакалавра було розроблено програмне забезпечення для аналізу та прогнозування курсів валют. Мета розробки програмного забезпечення - підвищення точності прогнозування валютних курсів.

Актуальність теми роботи зумовлена тим, що на сучасному етапі розробка високоточних систем прогностичного аналізу для валютного ринку, набула критичного значення внаслідок дестабілізації глобальної фінансової системи, що спричинена наслідками епідеміологічних криз, повномасштабною військовою агресією проти України та іншими макроекономічними факторами.

У кваліфікаційній роботі бакалавра проведено грунтовний аналіз впливних факторів на коливання валютних курсів, розроблено математичну модель системи прогнозування валютних курсів, створено алгоритм роботи системи прогнозування валютних курсів, розроблено програмне забезпечення для реалізації алгоритму прогнозування валютних курсів, проведено елементи тестування програмного забезпечення.

В процесі виконання роботи встановлено, що інтеграція регресійного аналізу та еволюційного моделювання суттєво підвищує точність передбачення майбутньої вартості валютних активів. Практичні випробування математичного апарату багатофакторної лінійної регресії в задачах розрахунку майбутніх котирувань підтвердили необхідність залучення сторонніх інструментів для покращення підсумкових даних. У результаті було доведено, що генетичний алгоритм діє як високоефективний каталізатор оптимізації, який дозволяє мінімізувати похибки прогнозів, отриманих за допомогою стандартних лінійних регресійних моделей.

Розроблене програмне забезпечення є зручним і практичним рішенням, яке забезпечує високоточне прогнозування валютних курсів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Aggarwal and A. K. Sahani, "Comparison of Neural Networks for Foreign Exchange Rate Prediction," 2020 IEEE 15th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS), 2020, pp. 415-419, doi: 10.1109/ICIIS51140.2020.9342733.

2. Мінфін. Архів валютних курсів. URL: https://minfin.com.ua/currency/.

3. Diego, A., Ildar, B., & Oleksiy, P., (2017) A Survey on Computer Science Techniques in the FOREX Market: Models and Applications. *Research in Computing Science 138.* pp. 89– 98; ISSN 1870-4069.

4. Архів готівкового курсу USD / finance.ua. URL: https://charts.finance.ua/ua/currency/cash/-/0/usd

5. Tomas, C., (2007) Forecast Accuracy and Biases in Professional FX Rate Predictions.*University of Van Tilburg*. Pp. 2-60. 96.96.41.

6. Goodman, S.H. (1978). Foreign exchange rate forecasting techniques: Implications for business and policy. *The Journal of Finance*, 34, 2, 415-427.

7. Frankel, J.A. & Rose, A.K. (1995). Empirical research on nominal exchange rates. In: Grossman, G. and Rogoff, K. (editors) (1995). *Handbook of International Economics, 3. Amsterdam: North-Holland*, 1689-1729.

8. Mark, N. C. (1995), "Exchange Rates and Fundamentals: Evidence on Long-Horizon Predictability," *American Economic Review 85 (March)*: pp. 201-18.

9. I. Handayani, U. Rahardja, E. Febriyanto, H. Yulius and Q. Aini, "Longer Time Frame Concept for Foreign Exchange Trading Indicator using Matrix Correlation Technique," *2019 Fourth International Conference on Informatics and Computing* (ICIC), 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICIC47613.2019.8985709.

10. P. -W. Tsai, C. -H. Liu, L. -C. Liao and J. -F. Chang, "Using Consumer Confidence Index in the Foreign Exchange Rate Forecasting," *2015 International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIHMSP)*, 2015, pp. 360-363, doi: 10.1109/IIH-MSP.2015.36.

11. S. Ranjit, S. Shrestha, S. Subedi and S. Shakya, "Comparison of algorithms in Foreign Exchange Rate Prediction," 2018 IEEE 3rd International Conference on Computing, Communication and Security (ICCCS), 2018, pp. 9-13, doi: 10.1109/CCCS.2018.8586826.

12. S. Nootyaskool and W. Choengtong, "Hidden Markov Models predict foreign exchange rate," 2014 14th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT), 2014, pp. 99- 101, doi: 10.1109/ISCIT.2014.7011878.

13. M. AmirAskari and M. B. Menhaj, "A modified fuzzy relational model approach to prediction of Foreign Exchange rates," 2016 4th International Conference on Control, Instrumentation, and Automation (ICCIA), 2016, pp. 457-461, doi: 10.1109/ICCIAutom.2016.7483206.

14. J. Kamruzzaman, R. A. Sarker and I. Ahmad, "SVM based models for predicting foreign currency exchange rates," Third IEEE International Conference on Data Mining, 2003, pp. 557-560, doi: 10.1109/ICDM.2003.1250976.

15. A. Adegboye, M. Kampouridis and C. G. Johnson, "Regression genetic programming for estimating trend end in foreign exchange market," 2017 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI), 2017, pp. 1-8, doi: 10.1109/SSCI.2017.8280833.

16. Daijin Kim and Chulhyun Kim, "Forecasting time series with genetic fuzzy predictor ensemble," in IEEE Transactions on Fuzzy Systems, vol. 5, no. 4, pp. 523-535, Nov. 1997, doi: 10.1109/91.649903.

17. N. A. Hitam, A. R. Ismail, R. Samsudin and O. Ameerbakhsh, "The Influence of Sentiments in Digital Currency Prediction Using Hybrid Sentiment-based Support Vector Machine with Whale Optimization Algorithm (SVMWOA)," *2021 International Congress of Advanced Technology and Engineering (ICOTEN)*, 2021, pp. 1-7, doi: 10.1109/ICOTEN52080.2021.9493454.

18. Z. Xu, "Analysis on the Dynamic Causality Relationships among FDI, Foreign Trade and Exchange Rate Volatility," *2013 Third International Conference on*

Intelligent System Design and Engineering Applications, 2013, pp. 354-357, doi: 10.1109/ISDEA.2012.88.

19. H. Zhang and R. Ren, "High Frequency Foreign Exchange Trading Strategies Based on Genetic Algorithms," *2010 Second International Conference on Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing*, 2010, pp. 426-429, doi: 10.1109/NSWCTC.2010.234.

20. Y. Xiao and R. Ren, "An Empirical Study of Three Rounds Trading Model of Foreign Exchange Market," *2010 Third International Conference on Business Intelligence and* Financial Engineering, 2010, pp. 414-417, doi: 10.1109/BIFE.2010.101.