

Полтавський університет економіки і торгівлі
Навчально-науковий інститут денної освіти
Форма навчання денна
Кафедра комп'ютерних наук та інформаційних технологій

Допускається до захисту

Завідувач кафедри

_____ Олена ОЛЬХОВСЬКА

«__» _____ 202_ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему

« ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ПІДБОРУ ЖИТЛА З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ »

зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»

освітня програма «Комп'ютерні науки»

ступеня бакалавр

Виконавець роботи Лушина Анастасія Андріївна

_____ «__» _____ 202_ р.

Науковий керівник зав. каф., к.ф.-м.н., Ольховська Олена Володимирівна

_____ «__» _____ 202_ р.

Рецензент

ПОЛТАВА 2025

РЕФЕРАТ

Записка: 64 с., 19 рис., 26 джерел.

Ключові слова: ВЕБДОДАТОК, АНАЛІЗ, МЕТОД, СИСТЕМА, ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ, АВТОМАТИЗАЦІЯ.

Об'єкт дослідження – веборієнтований програмний застосунок, який реалізує обчислювальні процедури методу аналізу ієрархій (MAI) з метою підтримки процесу прийняття рішень у задачах системного аналізу.

Предмет дослідження – методи і засоби реалізації програмного інструменту, що забезпечує зручне, швидке та точне виконання розрахунків за MAI у вебсередовищі.

Мета роботи – створення інноваційного інструменту для автоматизації процесів вибору оптимального рішення на основі методу аналізу ієрархій. Розроблений вебдодаток має забезпечити високу швидкодію, точність обчислень та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що робить його придатним для використання як професіоналами в галузі, так і звичайними користувачами без глибоких знань у математичному моделюванні.

У межах виконання дипломної кваліфікаційної роботи передбачалося дослідити теоретичні засади методу аналізу ієрархій та можливості його застосування для розв'язання прикладних задач у сфері системного аналізу. Також було проведено аналіз існуючих програмних продуктів із подібним функціоналом з метою виявлення їхніх сильних і слабких сторін. На основі цього було обґрунтовано вибір технологій та інструментальних засобів для реалізації вебдодатку. Подальшими етапами стали проєктування архітектури майбутньої системи, безпосередня розробка програмного забезпечення, а також його тестування з метою перевірки працездатності та оцінки ефективності використання в реальних умовах.

Методи дослідження – теоретичний аналіз літературних джерел з тематики методу аналізу ієрархій, системного аналізу та інформаційних технологій; порівняльний аналіз існуючих програмних рішень; моделювання програмної архітектури; емпіричне тестування розробленого застосунку.

У процесі виконання роботи було здійснено всебічний огляд теоретичних підходів до реалізації методу аналізу ієрархій, а також проаналізовано сучасні програмні рішення, що виконують аналогічні функції. Виявлені недоліки таких інструментів стали основою для формування вимог до розробленого додатку. Результатом роботи став вебзастосунок, що поєднує простоту використання, інтуїтивний інтерфейс та високу точність обчислень.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	9
РОЗДІЛ 2. ІНФОРМАЦІЙНИЙ ОГЛЯД.....	11
2.1.Огляд понять системного аналізу.....	11
2.2.Основні напрями та сфери застосування апарату системного аналізу.....	16
2.3.Сутність системного аналізу.....	17
РОЗДІЛ 3. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА.....	23
3.1.Загальний огляд існуючих методів системного аналізу.....	23
3.2.Огляд методу аналізу ієрархій.....	30
3.3.Аналіз існуючих обчислювальних ресурсів.....	35
3.4 Алгоритм роботи застосунку.....	37
РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА.....	46
4.1 Вибір технологій та інструментів для розробки.....	46
4.2. Проектування та структура вебзастосунку.....	47
4.3. Реалізація основного функціоналу та алгоритму.....	48
4.4. Побудова інтерфейсу користувача.....	54
4.5 Ролі користувачів та сценарії використання.....	55
4.6 Перспективи розробленого програмного забезпечення в майбутніх оновленнях.....	57
ВИСНОВКИ.....	59

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	60
-------------------------------------	----

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

Умовні позначення, символи, скорочення, терміни	Пояснення умовних позначень, скорочень, символів
MAI(АНР)	Метод аналізу ієрархій
AI	Аналіз ієрархії
JavaScript	
CI (Consistency Index, індекс узгодженості)	Показник, що оцінює ступінь узгодженості порівнянь у матриці.
CR (Consistency Ratio, відносний індекс узгодженості)	Відношення CI до випадкового індексу RI, що показує, наскільки узгоджені оцінки в матриці. Якщо $CR < 0.1$, вважається, що узгодженість прийнятна.
Вебсайт	Це сукупність веб-сторінок, оформлених в одному стилі та об'єднаних спільною концепцією.
Матриця парних порівнянь	Квадратна матриця, в якій значення елементів вказують на відносну важливість одного елемента порівняно з іншим.
Нормалізована матриця	Матриця, отримана шляхом нормалізації значень парних порівнянь для розрахунку вагових коефіцієнтів.
Альтернативи	Варіанти рішень, що порівнюються у процесі аналізу.
Критерії	Фактори, що впливають на вибір альтернативи та використовуються для її оцінки.

Головний критерій	Основна мета аналізу, відносно якої здійснюється вибір між альтернативами
-------------------	---

ВСТУП

У сучасному цифровому світі технології відіграють ключову роль у розвитку суспільства, автоматизації рутинних процесів і підвищенні ефективності роботи в різних сферах діяльності. Протягом останнього десятиліття технологічний прогрес значно вплинув на повсякденне життя: стрімкий розвиток мобільного зв'язку, високошвидкісного Інтернету, блокчейн-технологій, а також смартсистем свідчить про постійну інтеграцію новітніх інструментів у всі сфери людської діяльності. Не винятком є і сфера системного аналізу, де особливо актуальним є впровадження програмних рішень, що дозволяють автоматизувати процеси прийняття рішень [1-3].

Розроблене в рамках даної бакалаврської роботи програмне забезпечення є прикладом такого інноваційного інструменту. Воно автоматизує обчислення в задачах системного аналізу на основі методу аналізу ієрархій (MAI) і має на меті спростити процес вибору оптимального рішення для користувача, особливо у випадках, коли варіанти не є однозначними або важко зіставними.

Мета роботи полягала у створенні повнофункціонального вебдодатку, що реалізує метод аналізу ієрархій для автоматизованого розв'язання задач вибору. Одним із важливих аспектів проєкту було також створення якісного україномовного програмного продукту, який би міг стати конкурентоздатною альтернативою існуючим закордонним аналогам, сприяючи популяризації вітчизняного програмного забезпечення.

Об'єктом розробки виступає обчислювальний вебзастосунок, що реалізує функції методу аналізу ієрархій у рамках системного аналізу.

Предмет розробки – алгоритмічне та програмне забезпечення, що дозволяє автоматизувати процес оцінки альтернатив і прийняття рішень на основі порівняльного аналізу критеріїв, заданих користувачем.

Структура роботи включає чотири розділи. Перший розділ присвячений теоретичним засадам системного аналізу та загальній характеристиці методу аналізу ієрархій. У другому розділі подано огляд існуючих підходів до автоматизації обчислень у сфері системного аналізу, проведено аналіз програмних рішень зі схожим функціоналом, а також обґрунтовано вибір МАІ як основного методу. Третій розділ містить опис вибраних інструментів та технологій розробки, а також детальний аналіз алгоритму роботи майбутнього вебдодатку. У четвертому розділі подано безпосередню реалізацію розробленого програмного продукту, включаючи реалізацію основних обчислювальних модулів і логіки роботи інтерфейсу користувача.

Результатом виконаної роботи стало створення вебзастосунку – калькулятора, що реалізує метод аналізу ієрархій і дозволяє користувачу автоматизовано, швидко й точно здійснювати вибір найкращої альтернативи відповідно до заданих критеріїв. Розроблене рішення є завершеним і готовим до практичного використання.

Оформлення роботи виконано відповідно до методичних рекомендацій [2]. Результати виконання роботи апробовані на XLVIII Міжнародній науковій студентській конференції та у періодичному виданні *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security* [2-3].

РОЗДІЛ 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Основною метою виступає створення програмної реалізації, яка дозволить автоматизувати вирішення задач з області системного аналізу. Це дозволить зробити процес більш ефективним та швидким, оскільки продукт буде виконувати функції обчислення результату на основі введених даних користувача.

Увага звертається на автоматизацію обчислень та підтримку прийняття рішень у ситуаціях, коли користувач стикається із труднощами під час вибору найкращого варіанту. Такі обставини можуть виникати, зокрема, через суб'єктивність оцінок, коли людина яка користується цією послугою не має чітких критеріїв або не впевнена у своїх уподобаннях, або ж через складність та неоднозначність самих варіантів, що може спричинити перешкоди під час їх порівняння. Окрім цього, проблема може бути пов'язана з необхідністю врахування багатьох критеріїв, які мають різну вагу і можуть суперечити одне одному.

Суть дослідження полягає у створенні алгоритмів, які забезпечують точне визначення пріоритетів альтернатив, базуючись на методі аналізу ієрархій. Ці алгоритми повинні враховувати як кількісні, так і якісні аспекти критеріїв, що впливають на вибір. Також передбачається створення програмного забезпечення, яке надає користувачу зручний інтерфейс, автоматизує процес обчислень та робить його максимально прозорим і доступним для розуміння посередньому користувачу. У процесі дослідження були використані теоретичні відомості з області системного аналізу[1], офіційна документація використовуваних мов програмування включаючи іншу технічну літературу[5-11], а також дослідження споріднених наукових робіт[12-18]

Розроблене рішення дозволить знизити рівень суб'єктивності при прийнятті рішень та оптимізувати процес самого вибору. Програмне забезпечення буде корисним для вирішення завдань у різних сферах, таких як вибір житла, планування ресурсів, вибір технологій чи послуг тощо. Таким чином, кінцева мета полягає у створенні ефективного інструменту, який допоможе користувачу знайти найвигідніший варіант навіть у складних і неоднозначних умовах.

Робота калькулятора буде корисною як студентам, так і фахівцям у вивченні та практичному застосуванні методології системного аналізу, надаючи їм інструменти для глибшого розуміння складних систем. Водночас він розширює можливості проведення комплексних досліджень для систем різної природи, що дозволяє більш ефективно оцінювати їхню структуру та взаємозв'язки. Крім того, використання такого інструменту стимулює інтерес до системного мислення та аналізу, сприяючи розвитку навичок стратегічного планування та прийняття обґрунтованих рішень, в залежності від того, які фактори впливають на вибір необхідного варіанту.

РОЗДІЛ 2. ІНФОРМАЦІЙНИЙ ОГЛЯД

2.1.Огляд понять системного аналізу

Системний аналіз - це загальнонауковий метод пізнання, що полягає у вивченні складних об'єктів як цілісних систем певних елементів, пов'язаних між собою.

Система - об'єкт або процес, в якому елементи-учасники пов'язані деякими зв'язками і відносинами.

Підсистема - частина системи з деякими зв'язками і відносинами.

Якщо розглядати матеріальний світ, то однією із його загальних властивостей можна зазначити системність. Системність представляє собою загальну властивість об'єктивно існуючої єдності світу, його структурованості і взаємозв'язку.

Системність проявляється в трьох основних областях, серед яких: матеріальний світ, пізнавальна та практична діяльність. За допомогою системності ми можемо структурувати наші знання, застосовувати різного роду моделювання та прототипування навколишнього середовища, людини та інших об'єктів.

Теорія систем - це область наукового знання про навколишній світ як сукупність систем різної складності й різного рівня, які взаємодіють між собою. Теорія систем є загальнотеоретичним підходом, заснованим на методах діалектики, використанні знань філософії, прикладної математики, теорій пізнання та інших наукових дисциплін. Вона вивчає закономірності функціонування, взаємодії і розвитку великих систем.

Одною із основних класифікаційних ознак є складність системи, яка визначається типом та характером взаємодії між елементами системи. Складність не може бути висловлена за допомогою одного показника і її визначення залежить від галузі наук та застосування системи. Складність зазвичай необхідно виразити кількісно, хоча вона означає дещо якісне. Необхідно розрізняти статичну та динамічну складність. Статична складність - це внутрішня складність системи, а динамічна – це складність керування системою.

Головна процедура системного аналізу – побудова узагальнених моделей, в яких відображені закономірності реальної ситуації. Моделі системного аналізу відображають структуру, взаємозв'язки у складних системах, реальну ситуацію та проблеми, які в них виникають. За допомогою створених моделей досліджують системи й знаходять шляхи вирішення складних проблем практичної діяльності людини. Технічна основа системного аналізу – інформаційні системи, обчислювальна техніка і сучасні методи керування. На рисунку 2.1 розглянуто приклад класифікації систем, який може бути використано при дослідженні самої системи та на початковому етапі вирішення поставленої задачі.

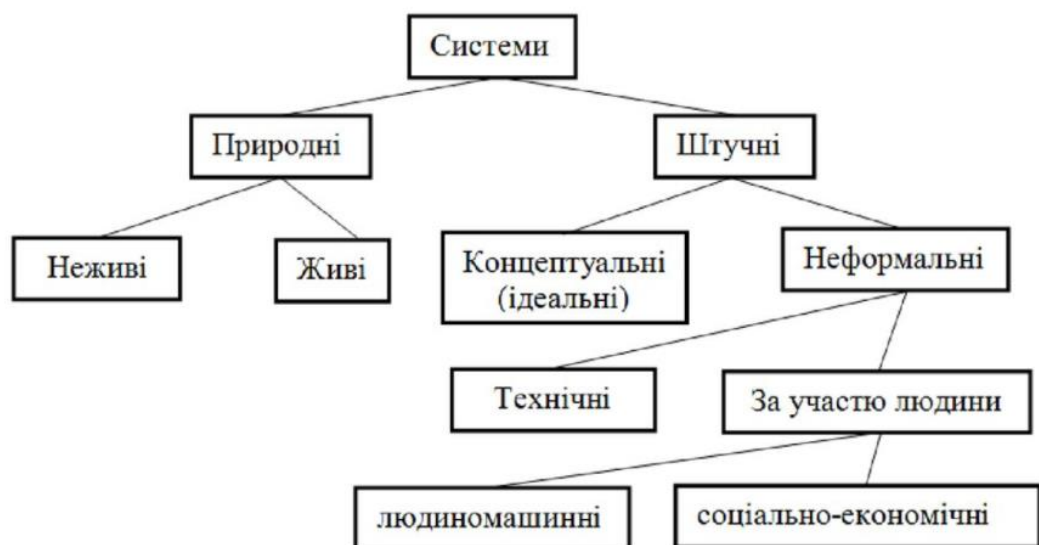


Рисунок 2.1 – Приклад класифікації систем за походженням

У системному дослідженні об'єкт, що аналізується, розглядається як певна множина елементів, взаємозв'язок яких зумовлює цілісні властивості цієї множини. Основний акцент робиться на виявлення різноманітності зв'язків і відношень, що мають місце як усередині досліджуваного об'єкта, так і у його взаємодії із зовнішнім середовищем. Властивості об'єкта як цілісної системи визначаються не тільки і не стільки сумарними властивостями його окремих елементів чи підсистем, скільки специфікою його структури, особливими системотворчими, інтегративними зв'язками досліджуваного об'єкта.

Системність матеріального світу вимагає адекватного підходу до його дослідження, пізнання. Ця об'єктивна потреба привела до формування системного підходу до вивчення складноорганізованого довкілля.

Системний підхід – це загальнонауковий методологічний напрямок, що розробляє методи та способи теоретичного дослідження складноорганізованих об'єктів.

Якщо у дослідженні та аналізі використовується системний підхід, то важливо враховувати майбутню структуру системи та усі взаємодії її елементів між собою.

Системний підхід ґрунтується на таких основних принципах:

1. принцип багатоплановості;
2. принцип багатовимірності;
3. принцип багаторівневості (ієрархічності);
4. принцип різнопорядковості властивостей;
5. принцип динамічності.

Принцип багатоплановості полягає у тому, що будь-яке складноорганізоване явище чи об'єкт аналізується з різних сторін. Воно

розглядається як самостійна одиниця із притаманними їй специфічними властивостями, як частина більшої макросистеми, законам якої вона підпорядковується, а також як система, що включає мікрооб'єкти, взаємодія яких впливає на її функціонування. Крім того, враховується взаємодія цього об'єкта як із елементами власної макросистеми, так і з об'єктами інших систем.

Принцип багатовимірності наголошує на тому, що складні явища чи об'єкти мають численні характеристики, які зазвичай об'єднуються у певні кластери або групи. Для об'єктивного дослідження явища необхідно аналізувати всі ці групи властивостей, а також зв'язки між ними.

Принцип багаторівневості передбачає дослідження об'єктів із врахуванням їх ієрархічної структури. Ієрархічність проявляється не лише у співвідношенні системи, підсистем і елементів, але й у характеристиках і властивостях самої системи та її складових, а також у критеріях їх оцінки.

Принцип різнопорядковості властивостей систем підкреслює, що складні системи мають закономірності, які проявляються на різних рівнях їхньої ієрархії. Деякі закономірності є універсальними для всієї системи, тоді як інші характерні лише для певних рівнів або окремих елементів цієї системи.

Принцип динамічності визначає необхідність вивчення складноорганізованих явищ або об'єктів у їхньому розвитку. Це включає аналіз усіх етапів їх існування — від зародження та створення до завершення функціонування чи знищення.

Зокрема, також дуже важливим є дотримуватись принципу цілісності системи. До основних загальних властивостей систем відносять цілісність, синергетичність і ієрархічність. Цілісність системи означає її здатність виступати єдиною сутністю, яка складається з елементів, організованих відповідно до певних принципів. Ця властивість вказує на те, що в ключових аспектах «сила» або «цінність» внутрішніх зв'язків між елементами системи перевищує силу або значимість зв'язків цих елементів із зовнішнім середовищем чи іншими системами.

Принципи системного підходу є загальними положеннями, що відображають абстраговані від конкретного змісту прикладних проблем відношення. Для конкретної системи чи проблемної ситуації принципи системного підходу повинні бути конкретизовані. Наповнення принципів конкретним змістом виконується системним аналітиком. Це дозволяє у випадку складних систем краще побачити суттєві особливості проблеми, врахувати важливі взаємні зв'язки. В багатьох випадках інтерпретація системних принципів в конкретних умовах дозволяє піднятися на новий рівень розуміння системи загалом, вийти за межі розгляду її «зсередини».

Така інтерпретація може приводити до висновків про відсутність умов для застосування деяких з принципів або їх незначного впливу в певних конкретних умовах. Також це дозволяє розглянути ситуацію та процеси з різних боків і врахувати деякі фактори, які можуть бути неочевидними на початку.

Також існують інші властивості та характеристики систем. Наприклад, синергетичність характеризує виникнення у системи нових властивостей, які відсутні у її окремих елементів. Властивості системи принципово не зводяться до суми характеристик її складових. Завдяки цьому можливості системи перевищують сукупні можливості її частин, що підвищує загальну продуктивність або функціональність системи.

Ієрархічність передбачає, що кожен компонент системи може самостійно розглядатися як система. Водночас, сама система може бути частиною більшої надсистеми.

2.2. Основні напрями та сфери застосування апарату системного аналізу

МАІ знайшов широке застосування у вирішенні складних завдань ухвалення рішень. Його використання охоплює тисячі прикладів і демонструє значні результати у сферах планування, розподілу ресурсів, визначення пріоритетів і вибору оптимальних альтернатив, що у свою чергу підтверджують дослідження та публікації, розглянуті на етапі проектування застосунку [19-26].

Як елементи, так і їх зв'язки можуть мати різну природу (фізичну, хімічну, біологічну, соціальну, інформаційну). Тому системним аналізом займаються представники різних галузей знань, вирішуючи при цьому багато в чому подібні задачі.

Крім того, МАІ застосовується в прогнозуванні, управлінні якістю, розробці бізнес-процесів, впровадженні функції якості та формуванні збалансованої системи показників. Однак, багато практичних застосувань МАІ залишаються під заборорою розголошення, оскільки вони пов'язані з ухваленням рішень на високих рівнях у великих організаціях, де питання безпеки та конфіденційності обмежують вільний доступ до такої інформації.

Водночас деякі аспекти використання МАІ знаходять відображення в науковій літературі. Зокрема вони включали:

1. вибір типу ядерного реактора (Міланський політехнічний університет).
2. вирішення, як найкраще зменшити вплив глобальної зміни клімату (*Fondazione Eni Enrico Mattei*).
3. кількісну оцінку загальної якості програмних систем (*Microsoft Corporation*).

Отже, системний аналіз дозволяє комплексно вивчати об'єкти та процеси, розглядати взаємозв'язки між різноманітними елементами системи, що робить

його ефективним інструментом для рішення складних проблем в різних областях діяльності.

2.3.Сутність системного аналізу

Системний аналіз являє собою комплексну методику дослідження, що здійснюється шляхом створення абстрактної концептуальної системи. Ця система описується за допомогою символічних репрезентацій або інших семантичних засобів і функціонує як структурована логічна конструкція. З метою більш детального вивчення теми було розглянуто наукові публікації[19-26], що детально характеризують опис даної наукової області, зокрема методу АІ та інших суміжних понять.

За допомогою розбиття системи на так звані компоненти, можна репрезентувати модель завдання, яке необхідно вирішити. Метою такої моделі є забезпечення інструментарію для глибокого розуміння, опису та оптимізації поведінки реальних систем, їхніх взаємозв'язків та відносин між компонентами. Таким чином, основне завдання розбивається на підзадачі, завдяки використанню компонентів абстрактної системи. Завдяки цьому можна краще дослідити та зрозуміти досліджуваний об'єкт. Проте, варто звернути увагу на те, що не дивлячись на розбиття завдання на підзавдання, основною метою є визначення та збереження як і підзадач для окремих компонентів системи, так і загальних завдань для змодельованої абстрактної системи.

Системний аналіз містить ряд розділів. Основними з них є економічний аналіз виробничо-господарської діяльності об'єкта управління та аналіз економічної ефективності виробничо-господарських процесів. Механізм їх застосування визначається у кожному конкретному випадку особливістю

об'єкта дослідження, що, в свою чергу, потребує використання специфічних способів пошуку оптимального рішення.

Сучасний стан системних уявлень формувався під впливом досліджень багатьох наукових напрямів. З різних боків до сучасного розуміння системності наближалася філософська думка та практична наукова і технічна методологія.

Водночас і деякою мірою незалежно методологія системного аналізу формувалася у кібернетиці, біології, психології, соціології, економічній науці.

Поняття системного аналізу та системного підходу надзвичайно важко відокремити, настільки тісно вони є взаємозалежними та близькими.

Системний підхід становить концептуальну основу системного аналізу, тому нерідко останнє поняття вживають у розширеному значенні як синонім системного підходу. На практиці, проводячи системний аналіз, реалізують ідеї системного підходу. З іншого боку, можна вважати системний аналіз робочою технологією втілення системного підходу в життя. При цьому варто враховувати, що при здійсненні системного аналізу об'єкта дослідник запозичує в системного підходу тільки найбільш загальні вихідні уявлення та передумови.

Системний аналіз тісно пов'язаний із низкою наукових дисциплін, що формують його методологічну та теоретичну основу. Насамперед, можна виділити три ключові джерела, з яких він походить. Першим є теорія систем, або більш загальна наука про системи, відома як системологія, що досліджує загальні закономірності функціонування складних систем. Другим джерелом є теорія прийняття рішень, яка розглядає процес вибору оптимальних стратегій у різних умовах невизначеності. Третім є структурно-функціональний аналіз, який, хоч і не є окремою наукою, виступає методологічною основою для багатьох дисциплін, включно із системним аналізом.

Окрім цих основних напрямів, системний аналіз взаємодіє з такими галузями, як теорія множин, що забезпечує математичний апарат для моделювання відносин між об'єктами, синергетика, яка досліджує процеси самоорганізації в складних системах, та системотехніка, що займається проектуванням і вдосконаленням технічних і організаційних систем. Важливу роль відіграє також дослідження операцій, або дослідження системних операцій, яке спрямоване на оптимізацію процесів прийняття рішень.

До близьких до системного аналізу дисциплін також належать моделювання систем, яке дозволяє будувати математичні, графічні або комп'ютерні моделі складних процесів, ергономіка, що вивчає взаємодію людини із системами для підвищення ефективності їх використання, та теорія катастроф, яка аналізує різкі зміни в динамічних системах. Значну роль відіграє й сучасна теорія управління, яка надає інструменти для розробки ефективних стратегій керування складними системами в різних сферах.

Зрештою, системний аналіз спирається на широкий спектр природничих, інженерних, математичних і суспільно-економічних наук, використовуючи їхні методи та підходи для комплексного вивчення та управління складними процесами.

Апарат системного аналізу дає можливість розкрити та зрозуміти закономірності функціонування технічних, біологічних, соціальних систем, логіку їхнього внутрішнього розвитку, і тому він широко застосовується в цих науках

Абстрактна система, що використовується в контексті системного аналізу, може приймати різні форми, включаючи математичні, комп'ютерні, мовні (вербальні) моделі або системи моделей. Цей підхід дозволяє досліджувати та аналізувати властивості та взаємозв'язки об'єктів, які характеризуються високим ступенем складності та неоднозначності при прямому спостереженні та розумінні.

Ключові аспекти системного аналізу включають в себе абстракцію реальних систем до моделей репрезентацій, структурування взаємозв'язків та відносин між компонентами, методологічне вивчення властивостей та взаємозв'язків об'єктів, а також розуміння взаємозв'язку між засобами та цілями їх реалізації.

Абстрагування реальних систем до моделей дозволяє представити і спростити розгляд складних явищ та виділити найважливіші характеристики, які впливають на роботу системи. Моделювання дає змогу оцінювати поведінку системи за різних умов та прогнозувати можливі наслідки змін.

Взаємодія елементів системи між собою досліджується за допомогою створених між ними взаємозв'язків. Ці зв'язки, в свою чергу, формують певну структуру, яка буде відображати поведінку та паттерн взаємодії між елементарними одиницями досліджуваного об'єкта чи явища. Системний аналіз спрямований на ідентифікацію цих компонентів, встановлення ієрархії між ними, а також визначення типів і характеру зв'язків. Це все дозволяє краще зрозуміти, як окремі частини впливають на загальну ефективність роботи системи. Також ці зв'язки визначають як загальні принципи функціонування системи, так і способи її взаємодії із зовнішнім середовищем.

Елементи, що формують структуру системи, є унікальними не за власними індивідуальними характеристиками (наприклад, у випадку соціальних чи економічних систем – не за особистісними чи конкретними ознаками), а за своїм місцем і роллю у загальній організації та функціонуванні системи. Вони виступають фундаментальними компонентами, які забезпечують стійкість, цілісність і здатність системи адаптуватися до змін.

Методологічне дослідження властивостей та залежностей системи визначає якими законами, правилами та механізмами управляється система, які фактори впливають на її функціонування та які закономірності визначають її розвиток. Такий підхід дає змогу оцінити потенційні ризики, виявити критичні точки та розробити методи оптимізації роботи системи.

Предметна область системного аналізу зводиться до вивчення складних багаторівневих множин систем різної природи та різних видів і класів з різноманітними властивостями і відношеннями між ними. Вона настільки широка, що не підлягає строгій та однозначній класифікації й впорядкуванню. Методи системного дослідження як способи чи шляхи практичного або теоретичного пізнання явищ і закономірностей функціонування і розвитку складних систем є досить різноманітними і не обмежуються будь-якими рамками.

Ці всі аспекти можна розглянути на прикладі довкілля. Довкілля являє собою складну сукупність безлічі об'єктів різного типу, які взаємодіють між собою, формуючи певні відносини. Однією з ключових характеристик цієї сукупності є складність.

Складність можна розуміти як наслідок взаємодії та взаємозалежності великої кількості об'єктів у процесі їхньої взаємодії. Це властивість системи, яка проявляється в її непередбачуваності, випадковості, неможливості повного пояснення або розуміння, а також у поведінці, що часто суперечить інтуїтивним очікуванням. Інтерпретація складності залежить від таких факторів, як культура, система цінностей, логіка та мова дослідника, що визначають його підхід до аналізу об'єкта.

У процесі взаємодії з довкіллям як суспільство загалом, так і окремі люди стикаються із ситуаціями, коли певні властивості цього середовища їх не влаштовують. Це усвідомлення невдоволеності створює те, що називається проблемною ситуацією.

Проблемна ситуація виникає як комбінація обставин і умов, у межах яких діють індивід чи група людей, причому ця комбінація містить протиріччя і не передбачає однозначного розв'язання. Усвідомлення проблемності відбувається поступово, через кілька етапів: спочатку виникає невиразне відчуття дискомфорту чи незадоволеності, потім формулюються певні

потреби, а згодом виявляються проблеми, що перешкоджають реалізації цих потреб.

Подальша діяльність людини або суспільства спрямована на пошук шляхів вирішення цих проблем через досягнення певних цілей. Ця діяльність передбачає відбір або створення таких об'єктів у довкіллі, які сприятимуть досягненню поставлених цілей. Паралельно постає необхідність оцінювати і порівнювати різні альтернативи, щоб обрати оптимальний шлях до розв'язання проблеми.

Ефективність такого порівняння залежить від якості кількісних оцінок, які повинні відображати суттєві властивості альтернатив, як-от очікуваний результат або ефективність. Для досягнення адекватності цих оцінок слід враховувати всі елементи кожної альтернативи, детально аналізуючи їхні характеристики. Такий підхід, відомий як "всебічний облік усіх обставин", дозволяє зробити обґрунтований вибір і наблизитися до розв'язання проблеми.

Основним завданням дисципліни можна вважати показ того, як різні знання

(математика, теорія управління, методи оптимізації) можуть допомагати вирішенню складних прикладних завдань, а системний інтегратор є головним помічником для архітекторів, конструкторів складних систем, ін.. При цьому для конструювання і дослідження складних систем системний аналіз не пропонує набори рецептів, а лише методологію.

Такий підхід дозволяє надавати розуміння сутності СА та апарату роботи складних систем, що є критично важливим для оптимізації процесів та прийняття обґрунтованих рішень в різноманітних галузях знань.

РОЗДІЛ 3. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

3.1. Загальний огляд існуючих методів системного аналізу

На сьогодні не існує єдиної загальноприйнятої методики системного аналізу в наукових дослідженнях. На практиці він застосовується через використання таких підходів: методів теорії дослідження операцій, що дозволяють здійснювати кількісну оцінку досліджуваних об'єктів; аналізу систем, який використовується для вивчення об'єктів в умовах невизначеності; а також системотехніки, що охоплює процеси проектування та синтезу складних систем під час дослідження їхнього функціонування, зокрема розробку й оцінку економічної ефективності автоматизованих систем керування (АСК) технологічними процесами.

Серед методів, що використовує системний аналіз на сьогодні найбільш поширені: евристичне програмування, семантичний підхід, методи аналогій, аналітичні методи та моделювання.

Системний аналіз поєднує формальні та неформальні методи, що дозволяє комплексно досліджувати складні системи. Формальні методи базуються на математичних і логічних моделях, забезпечуючи точність аналізу, тоді як неформальні спираються на експертне знання, що сприяє генерації нестандартних рішень. Хоча використання експертних оцінок може викликати суперечності, воно також сприяє вдосконаленню процесу ухвалення рішень і розвитку моделей.

До неформальних методів належать «мозкова атака», яка використовується для колективного генерування ідей, містить в собі методи евристики; метод експертних оцінок, що ґрунтується на аналізі думок

фахівців; метод «Дельфі», що передбачає багатоступеневе опитування експертів для досягнення узгодженої оцінки; діагностичні методи, які допомагають виявляти проблеми та прогнозувати їхній розвиток; морфологічні методи, що дозволяють систематизувати всі можливі варіанти розв'язання задачі, а також метод дерева цілей, який використовується для структурування завдань і визначення взаємозв'язків між цілями.

Метод Дельфі є спеціалізованим інструментом для аналізу складних стратегічних проблем, спрямованим на отримання достовірних прогнозів щодо майбутнього. Його основна мета полягає у мінімізації суб'єктивних факторів, таких як вплив авторитетів чи груповий тиск, за рахунок анонімного багатоступеневого опитування експертів. Метод передбачає створення системи зворотних зв'язків, що дозволяє послідовно уточнювати думки фахівців шляхом статистичного опрацювання їхніх оцінок. В результаті досягається підвищення об'єктивності прогнозування завдяки ітераційній процедурі узгодження позицій.

Метод Дельфі реалізується в кілька ітерацій, кожна з яких має чітку структуру та завдання. На першому етапі експертам дається детальне завдання з описом усього дослідження та анкета з ключовими питаннями. У складному системному аналізі також розробляється концептуальна модель та пояснюються можливі варіанти відповідей. Після отримання попередніх результатів аналітична група обробляє їх для визначення ключових показників: екстремальних значень оцінок, середнього значення та меж квазі-стабільних оцінок.

На другому етапі експерти надають узагальнену статистичну інформацію, включаючи середню оцінку та анонімні аргументи експертів з екстремальними позиціями. Це дозволяє учасникам переглянути свої попередні оцінки на основі колективного досвіду. Скориговані дані повторно аналізуються, що дає більш об'єктивні результати.

Наступні раунди (3-4) повторюють логіку другого етапу та допомагають додатково уточнити позиції. У кожному випадку думки мають тенденцію до зближення, але також може відбуватися поляризація. Це явище зазвичай спричинене належністю експертів до різних наукових шкіл, неоднозначністю в інтерпретації вихідних даних або нечіткими описами завдань.

Важливою перевагою цього методу є те, що він може виявляти та аналізувати суперечливі точки зору, що дозволяє глибше вивчити проблему. Чим більше ітерацій, тим вищий ступінь згоди між думками експертів, або чи можна досягти необхідного консенсусу. Отже, метод Дельфі забезпечує системний підхід до прийняття рішень, який мінімізує вплив суб'єктивних факторів в умовах невизначеності.

Метод дерева цілей – це потужний інструмент системного аналізу, який дозволяє структурувати складні цілі та завдання в чітку ієрархічну систему. Теоретичною основою є формування стабільної структури цілей, яка залишається актуальною з часом, незважаючи на зміни зовнішнього середовища. Ця структура будується з урахуванням закономірностей формування цілей, ієрархічних принципів та методів декомпозиції складних систем.

Особливістю цілей у методі дерева цілей є їх об'єктивне походження – вони виникають з реальних потреб системи та мають чітку ієрархічну структуру. Важливо розуміти, що цілі на вищому рівні можуть бути досягнуті лише після реалізації цілей на нижчому рівні. У міру просування вниз по ієрархії цілі стають більш конкретними та деталізованими. Критично важливо чітко формулювати кожен мету з можливістю кількісної або якісної оцінки.

На практиці дерево цілей може будуватись двома основними способами: "зверху-вниз" (від стратегічних цілей до оперативних завдань) або "знизу-вгору" (з подальшою інтеграцією локальних цілей у загальну систему). Незалежно від обраного підходу, метод дерева цілей забезпечує комплексне бачення системи цілей та чітке розуміння взаємозв'язків між її елементами, що

є необхідною умовою ефективного управління та досягнення поставлених цілей.

Формалізовані методи поділяються на три групи. Перша – статистичні методи, які включають математичну статистику, теорію ймовірностей і теорію масового обслуговування, що застосовуються для аналізу випадкових процесів і прогнозування поведінки систем. Друга – графічні методи, що охоплюють матричні та мережеві підходи, які дозволяють візуалізувати та оптимізувати структуру систем. Третя – аналітичні методи, що містять як класичні математичні підходи, так і методи математичного програмування, які використовуються для пошуку оптимальних рішень.

Поєднання формальних та неформальних методів забезпечує ефективний баланс між точними розрахунками та творчими підходами, що робить системний аналіз потужним інструментом для дослідження та управління складними системами.

Евристичне програмування - це метод, який використовує онтологічну модель для моделювання систем. Цей підхід базується на ідеї, що знання про систему міститься в її структурі та функціонуванні.

Підхід до розв'язання задач у програмуванні використовує евристики, тобто правила чи прийоми, що спрощують пошук рішень і допомагають отримати прийнятний результат за обмежений час. Основна мета даного методу програмування – знайти не обов'язково оптимальне, але практично прийнятне рішення для складних задач, які важко або неможливо вирішити точними методами через їх високу обчислювальну складність.

Онтологічна модель – це опис предметної області, який використовує стандартні елементи метамоделі (наприклад, об'єкти, відносини тощо).

Структура системи представлена як граф, де вузли - об'єкти, а ребра - зв'язки між ними.

Функціонування системи описується шляхом переміщення по графу, що відображає взаємодію об'єктів.

Великою перевагою є те, що моделювання складних систем із багатьма взаємопов'язаними компонентами дозволяє глибше зрозуміти їх роботу. Воно забезпечує здатність імітувати реальне функціонування системи, що робить процес аналізу більш точним. Також можна проводити експерименти, не впливаючи на саму систему, що особливо корисно у випадках, коли її безпосереднє тестування є ризикованим.

Недоліками такого аналізу є складність у створенні точної моделі структури системи, оскільки деякі аспекти буде складно сформувати. Крім того, існує ризик надмірної деталізації моделі, що може ще більше ускладнювати сприйняття загальних закономірностей і робити аналіз менш ефективним. Також цей підхід виявляється малопридатним для систем, що характеризуються високою непередбачуваністю або змінним часом реакції, оскільки їхні параметри можуть швидко змінюватися, що ускладнює створення стабільної моделі.

Семантичний підхід зосереджується на змістовній природі інформації та взаємозв'язках між елементами системи. У межах цього підходу система моделюється як мережа понять, де кожне поняття має власні властивості та встановлені зв'язки з іншими поняттями. Функціонування системи описується через перетворення понять та їхню взаємодію, що дозволяє детально аналізувати зв'язки між елементами.

Серед переваг семантичного підходу можна виділити його здатність до моделювання систем, у яких інформація виступає ключовим чинником, а також можливість абстрагування від технічних деталей до рівня понять, що сприяє глибшому аналізу взаємозв'язків між елементами системи. Водночас цей підхід має і певні недоліки, зокрема його низьку ефективність у випадках, коли система містить велику кількість технічних деталей, непридатність для високошвидкісних систем, що потребують миттєвого реагування, а також можливі проблеми з точністю моделювання в умовах нестабільної семантики.

Метод аналогій дозволяє встановлювати відношення еквівалентності, відповідності або схожості між двома системами за певними ознаками. При цьому будь-яка з цих систем може бути як реально існуючою, так і абстрактною. Якщо два або більше явищ, які відрізняються за своєю фізичною природою, можуть бути описані одним і тим самим диференціальним рівнянням із дотриманням граничних умов, такі явища вважаються аналогічними. Завдяки цьому підходу розширюються можливості дослідження різних процесів, і він уже давно знайшов широке застосування в наукових дослідженнях.

У широкому сенсі метод аналогій є важливим евристичним підходом до розв'язання творчих задач, оскільки його застосування виступає проміжною ланкою між інтуїтивними та логічними процесами мислення. У процесі вирішення творчих завдань використовують як конкретні, так і абстрактні аналогії.

Одним із прикладів є пошук аналогій у живій природі з подальшим перенесенням їх на неживі об'єкти, зокрема в технічні сфери. У таких аналогіях, своєю чергою, можуть встановлюватися відповідності за формою, структурою, функціями, процесами та іншими характеристиками, що сприяє створенню нових технічних рішень на основі природних принципів.

Насамперед, цей метод сприяє розширенню меж пізнання, оскільки дозволяє переносити знання, закономірності та принципи функціонування одних систем на інші, що істотно спрощує процес вивчення складних об'єктів і явищ. Також цей метод є ефективним інструментом моделювання, особливо у випадках, коли безпосереднє дослідження системи є ускладненим або неможливим. Завдяки здатності встановлювати структурні, функціональні або процесуальні відповідності між різними об'єктами, метод аналогій забезпечує можливість інтеграції міждисциплінарних знань і сприяє розвитку нових наукових підходів. Проте однією з основних проблем є ймовірність

встановлення поверхневих або неточних аналогій, що може призводити до некоректних висновків і спотвореного розуміння об'єкта дослідження.

Оскільки аналогія не завжди враховує глибинні закономірності функціонування систем, існує ризик надмірного спрощення складних процесів. Зокрема, кількісне оцінювання рівня відповідності між аналогічними системами є складним, що ускладнює формалізацію та математичне обґрунтування отриманих результатів.

Аналітичні методи та моделювання засновані на математичному описі системи та її процесів. Аналітичний метод є інструментом глибокого дослідження особливостей і специфіки внутрішньосистемної взаємодії, що передбачає використання абстрагування, спрощення та формалізації. Головне завдання аналітичного методу полягає у виявленні внутрішніх тенденцій та потенційних напрямів розвитку досліджуваного об'єкта. Серед його особливостей основне полягає в тому, що система представляється як набір взаємопов'язаних змінних, які задовольняють певні рівняння. Також сам процес функціонування системи описується через зміни цих змінних з часом або іншими параметрами. Завдяки такому підходу, є можливим максимально точно створити математичну модель. Це, в свою чергу, призводить до здатності проведення числових експериментів, метою яких є оптимізація цього процесу. Також метод дозволяє використовувати в роботі вже існуючі моделі для нових систем. Проте, не завжди створення точної математичної моделі реальної системи може бути дуже легким завданням. Це може спричинити надмірну складність самої моделі, що унеможливить її використання для простих систем. Також таке рішення не підходить для систем з високою невизначенністю або непередбачуваною поведінкою.

Кожен із цих методів має свої особливості та сфери застосування. Вибір конкретного методу залежить від характеру предмету дослідження, доступних даних та цілей аналізу. У багатьох випадках ефективно комбінувати кілька методів, щоб отримати комплексний і повний результат системного аналізу.

3.2.Огляд методу аналізу ієрархій

Метод аналізу ієрархій представляє собою сучасний інструментарій системного аналізу, який дозволяє структурувати та вирішувати складні багатокритеріальні проблеми. Суть методу полягає у послідовній декомпозиції проблеми на ієрархічно організовані рівні, починаючи від загальної мети до конкретних альтернатив рішення. Цей підхід забезпечує чітке формалізоване представлення складних систем і дозволяє кількісно оцінювати взаємозв'язки між їхніми елементами.

Цей метод розроблений американським вченим Томасом Л. Сааті в 1970 році, відтоді він активно розвивається і широко використовується на практиці. Метод аналізу ієрархій можна застосовувати не лише для порівняння об'єктів, але і для вирішення складніших проблем управління, прогнозування та ін. Метод включає кілька в себе основних етапів, що забезпечують ефективне вирішення проблеми.

Першим кроком є моделювання проблеми як ієрархії. Основні характеристики полягають у представленні проблеми як ієрархічно упорядкованої структури з головною метою та підзадачами, тобто використовується декомпозиція. Декомпозиція в контексті інформаційних технологій та системного аналізу - це ключовий інструмент, що дозволяє розбити складні системи та задачі на більш зрозумілі та легко керовані частини (підзадачі). Цей процес загалом спрощує розробку, підтримку та тестування програмного забезпечення, тим самим скорочуючи витрати та підвищуючи якість продукту. Використання декомпозиції сприяє створенню чіткої структури проекту та визначенню зв'язків між його елементами, що є надзвичайно важливим для забезпечення цілісності та послідовності всього проєкту.

Гарним прикладом декомпозиції є використання об'єктно-орієнтованого програмування(ООП) у програмуванні. Завдяки ООП можна декомпозувати систему на класи та об'єкти, що виконують окремі завдання і мають чітко визначені відносини між собою. Такий підхід дає змогу легко додавати нові функції або змінювати існуючі без ризику порушення роботи всієї системи.

Потім створюється ієрархічна структура моделі проблеми, що представляє всі її елементи у вигляді впорядкованої системи.

Наступним кроком є експертне оцінювання переваг, під час якого залучені спеціалісти оцінюють значущість різних альтернатив. Зокрема, для цього необхідно вводити поняття умовних оцінок. Щоб визначити об'єкти між собою, використовується попарне порівняння для утворення оцінки важливості кожного з критеріїв. На основі цих оцінок визначаються локальні пріоритети, що формують базу для подальшого аналізу. Після цього проводиться оцінка узгодженості висновків, яка дозволяє перевірити, наскільки обґрунтованими є отримані дані. Завершальним етапом є синтез локальних пріоритетів, у результаті чого формуються остаточні висновки та рекомендації, необхідні для прийняття рішення.

У методології МАІ виділяють два фундаментальних типи ієрархічних структур:

1. Повністю зв'язані ієрархії характеризуються тим, що будь-який критерій верхнього рівня має взаємозв'язок з кожною з альтернатив нижчого рівня. Така структура передбачає однаковий склад і кількість альтернатив для всіх критеріїв, що спрощує процедуру порівняльного аналізу.
2. Частково зв'язані ієрархії відрізняються відсутністю уніфікованого зв'язку між критеріями та альтернативами. В цьому випадку окремі критерії можуть оцінювати різні набори альтернатив, що дозволяє враховувати специфіку кожного критерію, але ускладнює процедуру аналізу.

Локальний пріоритет визначає відносну важливість елементів одного рівня ієрархії щодо їх спільного елемента вищого рівня. Для його обчислення використовується метод власного вектора на основі матриць попарних порівнянь.

На практиці часто застосовують спрощений метод середнього геометричного для обчислення наближених значень.

Матриці попарних порівнянь є ключовим інструментом у методі аналізу ієрархій. Вони будуються для всіх елементів-нащадків, які належать до відповідного елемента-предка на будь-якому рівні ієрархії, крім останнього, де зазвичай розташовані альтернативи вибору. Процес порівняння здійснюється за дев'ятибальною шкалою, де експерт оцінює ступінь домінування одного елемента над іншим у цілих числах.

Оцінювання послідовності тверджень експерта є критично важливим етапом, оскільки отримані дані використовуються для визначення вагових коефіцієнтів. Цей процес дозволяє кількісно оцінити такі аспекти, як бажаність, сила впливу, цінність або ймовірність для кожного об'єкта-нащадка відносно його безпосереднього об'єкта-предка.

Для оцінки якості експертних суджень використовуються два показники: індекс узгодженості та відношення узгодженості. Ці метрики дозволяють кількісно виміряти ступінь непослідовності в оцінках експерта.

Ієрархічний синтез виконує важливу функцію в методі - він дозволяє зважити власні вектори матриць попарних порівнянь альтернатив з урахуванням ваг критеріїв, що присутні в ієрархії. Цей процес дає змогу обчислити загальні пріоритети альтернатив. Після виконання синтезу оцінюється однорідність всієї ієрархії шляхом підсумовування показників однорідності всіх рівнів, які попередньо були приведені до першого рівня ієрархії.

Алгоритм синтезу глобальних пріоритетів включає три основні етапи:

1. Визначення головних власних векторів для всіх матриць попарних порівнянь у ієрархії;
2. Початок ієрархічного синтезу з передостаннього рівня ($s-1$);
3. Розрахунок векторів пріоритетів альтернатив для всіх вершин на кожному рівні.

Системний аналіз займає особливе місце серед наукових дисциплін, оскільки поєднує як теоретичний, так і прикладний аспекти, забезпечуючи комплексний підхід до вивчення та управління складними системами.

Теоретичний аспект системного аналізу спрямований на виявлення фундаментальних закономірностей поведінки складних систем. Він включає систематизацію принципів, які визначають функціонування таких систем, а також встановлення сфер застосування існуючих методів їх дослідження. Важливим завданням цього аспекту є розробка нових методів аналізу, що дозволяють ефективніше моделювати, прогнозувати та оптимізувати системи.

Крім того, системний аналіз формує наукові підходи та рекомендації для інших дисциплін, спрямовані на вдосконалення методологій дослідження та розширення можливостей аналізу складних процесів.

Прикладний аспект системного аналізу зосереджується на вирішенні конкретних завдань у процесі дослідження та управління системами. Він включає формулювання цілей аналізу конкретних систем, їхню пріоритизацію та визначення ступеня важливості різних аспектів дослідження. Одним із ключових методів є декомпозиція, яка дозволяє розбивати складні проблеми на окремі складові без втрати їхньої цілісності, що полегшує їхнє вивчення та подальше управління. Водночас застосовується агрегування, яке дає змогу об'єднувати окремі елементи системи таким чином, щоб їхні ключові властивості залишалися незмінними.

У прикладному аспекті методологія системного аналізу відіграє вирішальну роль у реалізації системного підходу насамперед на етапі постановки завдань.

Ще одним важливим завданням прикладного аспекту є визначення та аналіз взаємозв'язків як всередині системи, так і між її елементами та зовнішнім середовищем. Це дозволяє оцінювати вплив зовнішніх факторів на систему, прогнозувати її поведінку в різних умовах та забезпечувати ефективне управління. Завдяки поєднанню теоретичних досліджень та практичних методів системний аналіз виступає потужним інструментом для вивчення, проектування та оптимізації складних систем у різних галузях науки, техніки, економіки та управління.

Головні концепції системного аналізу:

1. Системний підхід.
2. Побудова математичних моделей систем.
3. Послідовний розгляд усіх перетинів системи (стратифікація) з метою визначення перспектив та більш чіткого формулювання мети роботи.
4. Широке використання обчислювальних алгоритмів та обчислювальної техніки

Як елементи, так і їх зв'язки можуть мати різну природу (фізичну, хімічну, біологічну, соціальну, інформаційну). Тому системним аналізом займаються представники різних галузей знань, вирішуючи при цьому багато в чому подібні задачі.

Крім того, МАІ застосовується в прогнозуванні, управлінні якістю, розробці бізнес-процесів, впровадженні функції якості та формуванні збалансованої системи показників. Однак, багато практичних застосувань МАІ залишаються під забороною розголошення, оскільки вони пов'язані з ухваленням рішень на високих рівнях у великих організаціях, де питання безпеки та конфіденційності обмежують вільний доступ до такої інформації.

Водночас деякі аспекти використання МАІ знаходять відображення в науковій літературі. Зокрема вони включали:

4. вибір типу ядерного реактора (Міланський політехнічний університет).

5. вирішення, як найкраще зменшити вплив глобальної зміни клімату(*Fondazione Eni Enrico Mattei*).
6. кількісну оцінку загальної якості програмних систем (*Microsoft Corporation*).

Метод знайшов широке застосування в різних сферах діяльності, включаючи управління проектами, стратегічне планування, оцінку інвестиційних можливостей та багато інших сфер, де необхідно приймати складні рішення на основі низки критеріїв оцінки. Основна цінність полягає в системному підході до аналізу проблем, можливості враховувати як об'єктивні дані, так і суб'єктивні уподобання, а також у наочності та прозорості процесу прийняття рішень. Завдяки цим властивостям АНР продовжує залишатися одним з найефективніших інструментів для аналізу складних систем та прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

3.3.Аналіз існуючих обчислювальних ресурсів

На етапі проєктування застосунку було проведено дослідження та аналіз схожих за структурою та метою застосунків та онлайн-ресурсів. В ході цього дослідження було виявлено, що лише кілька калькуляторів які схожим чином можуть обчислювати наявні задачі і також містять у собі обчислювальну функцію на основі МАІ.

Переважно, ці обчислювальні продукти мають походження з країни-агресора, тому метою даного проєкту є створення альтернативного рішення, яке буде більш зрозумілим та зручним для ширшого кола користувачів. Це були як і онлайн сервіси, так і встановлюване програмне забезпечення, яке слугувало навчальним тренажером з певної області понять системного аналізу.

Представлення процесу обчислення у загальному вигляді використовує табличні розрахунки, але в будь-якому з цих продуктів, саме така форма обрахунків є достатньо ефективною та зрозумілою для визначення необхідного результату.

З недоліків, оглянуті ресурси містили у собі складний та застарілий інтерфейс, що може з першого ж кроку відштовхнути користувача. Або ж, програми використовували складні формули для пояснення процесу обчислень. З іншого боку, іноді пояснень щодо процесу було дуже мало. Це робить продукт зрозумілим лише обмеженій кількості аудиторії. Наприклад, такий продукт більше підійшов би спеціалістам чи експертам, які є обізнаними в даній науковій області, для яких увесь цей матеріал не потребує додаткового спрощення чи теоретичного роз'яснення. Інтерфейс є надзвичайно важливою складовою, тому потрібно продумати та створити це якомога ефективніше, простіше і якомога зрозуміліше.

Головна мета розроблюваного продукту полягає в тому, щоб цей продукт допоміг користувачу якнайшвидше отримати результат, та, за потреби, дав змогу користувачу також отримати детальні розрахунки. Це не є обов'язковим, і таким чином існує вибір, що розширює можливості та може привабити своїм функціоналом та доступністю.

3.4 Алгоритм роботи застосунку

В основі роботи застосунку закладений особливий алгоритм дій, який дозволяє ефективно та змістовно використовувати калькулятор. Пропонується розглянути окремо кожну дію. На рисунку 3.2 проілюстрована покрокова інструкція роботи з калькулятором.



Рисунок 3.2 – Алгоритм використання калькулятору

Першим кроком потрібно завантажити застосунок на пристрій(ноутбук чи комп'ютер) та запустити програму. Після запуску відкривається вікно програми з основним інтерфейсом, де розміщено кілька основних інтерактивних блоків. На рисунку 3.1 зображено інтерфейс калькулятору при запуску програми

На панелі з будинками зазначено повідомлення «Критерії не обрано», в тому разі, якщо критерії для визначення розрахунків ще не обрано. Кнопка «Отримати розрахункову таблицю з результатом» не є активною та на неї ще не можна натиснути. На рисунку 3.3 зображено інтерфейс додатку при запуску програми.

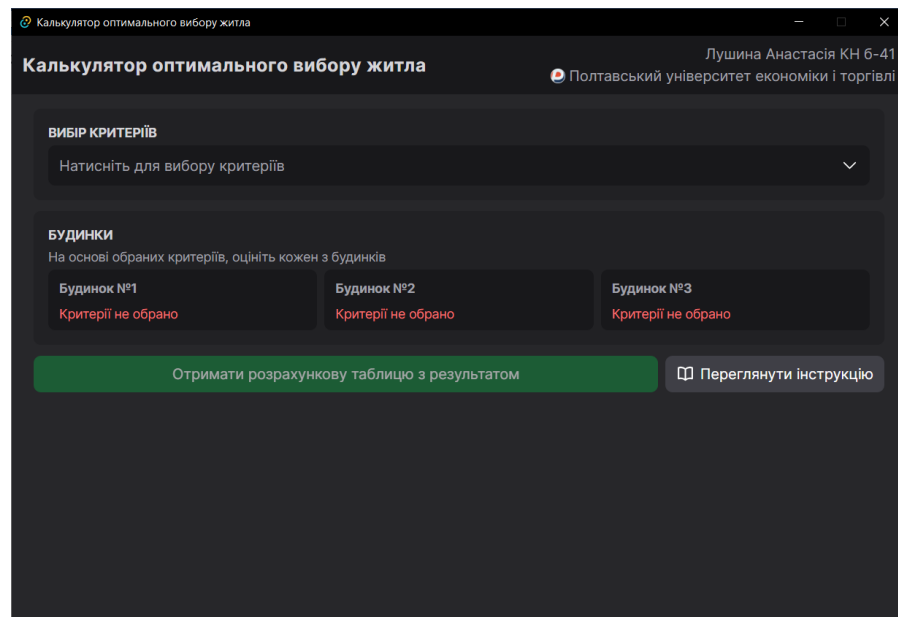


Рисунок 3.3 – Інтерфейс калькулятора при запуску програми

Другим кроком необхідно натиснути кнопку «Переглянути інструкцію». Після натиску відкривається вікно з покроковим поясненням експлуатації застосунку. На рисунку 3.4 проілюстровано перегляд фрагменту інструкції користувача.

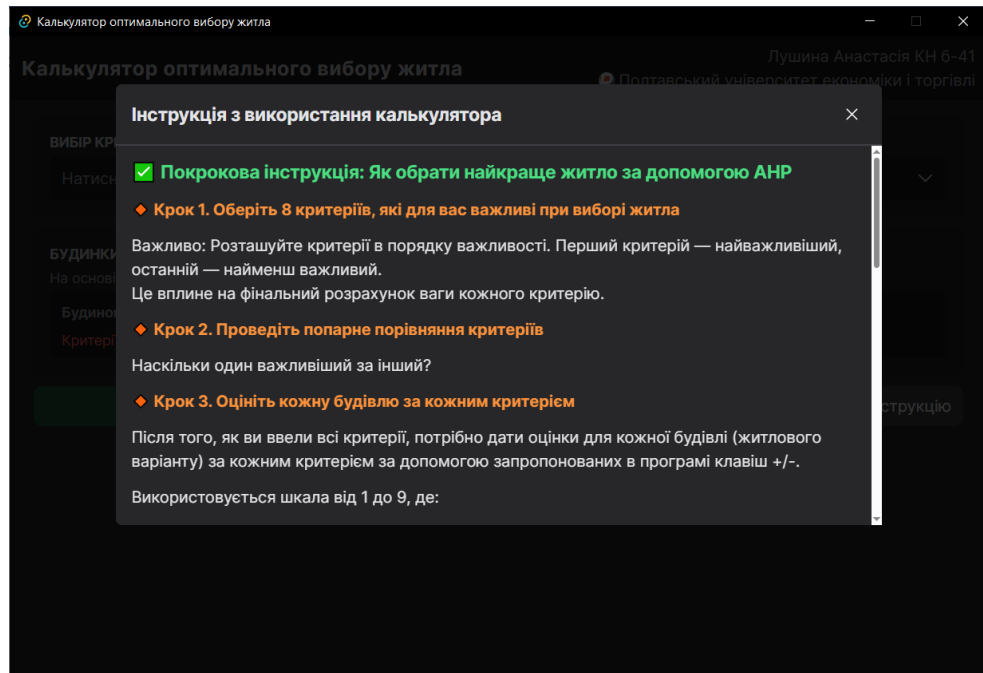


Рисунок 3.4– Фрагмент інструкції користувача

Третім кроком, після ознайомлення з інструкцією, необхідно зробити вибір критеріїв, дотримуючись порад з інструкції користувача. Потрібно обрати 8 критеріїв, розташувавши їх у порядку значущості, це буде необхідно для врахування фінального результату, спираючись на алгоритм МАІ. Для вибору критеріїв, треба натиснути на компонент вибору критеріїв. На панелі розміщена підказка для цього. На рисунку 3.5 зображена панель вибору критеріїв.

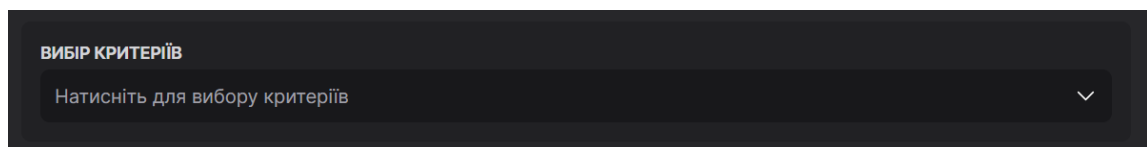


Рисунок 3.5 – Панель вибору критеріїв

Після взаємодії з панеллю розгортається випадаючий список із варіантами критеріїв, які можна обрати. На рисунку 3.6 зображений список із можливими критеріями вибору.

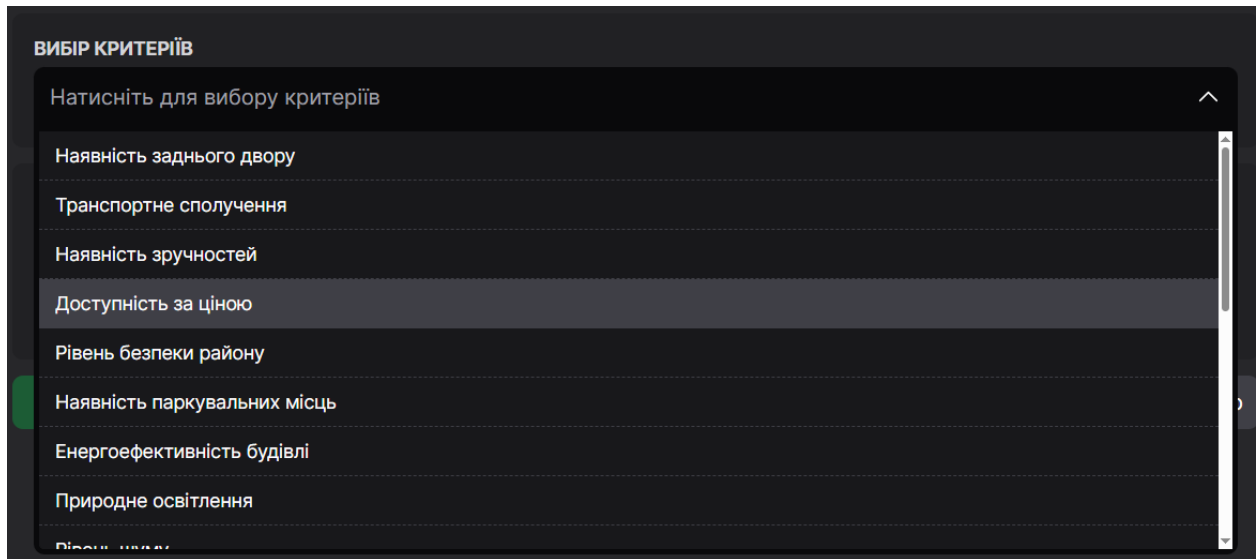


Рисунок 3.6 – Вибір критеріїв із випадального списку

Цей список можна переглянути повністю за допомогою обертання коліщатка миші або смуги прокручування, що знаходиться з правого боку.

Після вибору всіх необхідних критеріїв виникає сповіщення, яке повідомляє користувачу щодо обраної максимальної кількості критеріїв. Також біля кожного критерію зазначений номер, який відображає вагу пріоритетності даного критерію, де 1 – найважливіший критерій, а 8 – найменш важливий критерій під час розрахунків. Це враховує етап попарного порівняння критеріїв між собою в методі АІ. Таке порівняння дозволяє кількісно оцінити суб'єктивні переваги та включити їх у математичну модель МАІ. На даному етапі це порівняння відбувається всередині програмних розрахунків. На рисунку 3.7 зображена панель вибору критеріїв після здійснення вибору.

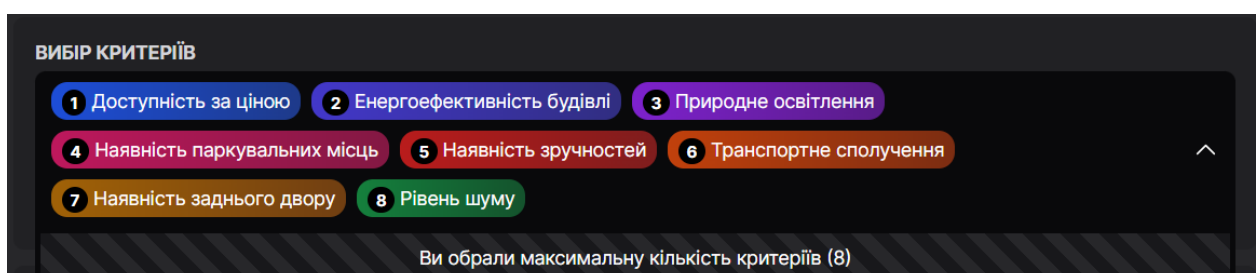


Рисунок 3.7– Обрані критерії

Сповіднення щодо максимальної кількості критеріїв можна згорнути, натиснувши на стрілочку з правого боку панелі. Зокрема, після виконання вищезазначених дій, вікно програми зазнає наступних змін, які зображено на рисунку 3.8:

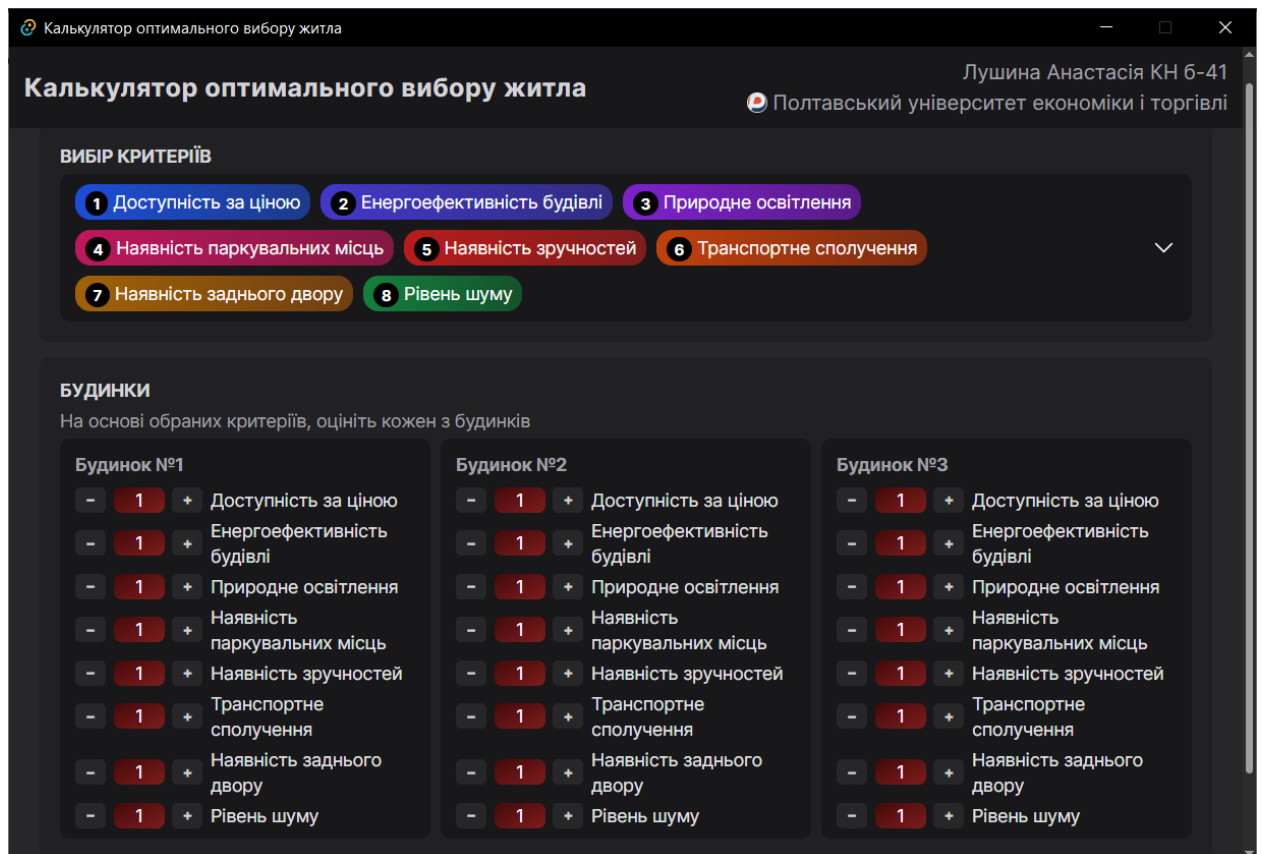


Рисунок 3.8 – Вікно програми після вибору критеріїв.

На панелі з віртуальними будинками відображено обрані критерії, відповідно до попередньо визначених характеристик.

Отже, четвертим кроком, необхідно поставити експертні оцінки. Користувач має змогу самостійно це зробити, з урахуванням інструкції, до якої можна звернутися в будь-який момент. Кожен критерій порівнюється з іншими за 9-бальною шкалою Сааті, що дає змогу визначити ступінь переваги одного над іншим. Формування матриці порівнянь з подальшим розрахунком власного вектора дозволяє отримати об'єктивні вагові коефіцієнти для

кожного критерію. Спершу ми оцінюємо найважливіший критерій за допомогою введення числа з оцінкою в комірку або за допомогою клавіш «+» та «-» на панелі з віртуальними будинками. Наприклад, якщо будинок №2 влаштовує користувача за цим критерієм найбільше то потрібно поставити критерію найвищу оцінку, відповідно іншим двом будинкам в порядку пріоритетності треба поставити нижчі оцінки.

Нарешті, п'ятим кроком потрібно натиснути кнопку для отримання результату обчислень.

Будинки
На основі обраних критеріїв, оцініть кожен з будинків

Будинок №1	Будинок №2	Будинок №3
- 2 + Доступність за ціною	- 9 + Доступність за ціною	- 5 + Доступність за ціною
- 5 + Енергоефективність будівлі	- 1 + Енергоефективність будівлі	- 8 + Енергоефективність будівлі
- 7 + Природне освітлення	- 8 + Природне освітлення	- 3 + Природне освітлення
- 4 + Наявність паркувальних місць	- 2 + Наявність паркувальних місць	- 9 + Наявність паркувальних місць
- 4 + Наявність зручностей	- 9 + Наявність зручностей	- 2 + Наявність зручностей
- 2 + Транспортне сполучення	- 8 + Транспортне сполучення	- 5 + Транспортне сполучення
- 2 + Наявність заднього двору	- 6 + Наявність заднього двору	- 9 + Наявність заднього двору
- 2 + Рівень шуму	- 5 + Рівень шуму	- 9 + Рівень шуму

Отримати розрахункову таблицю з результатом

Переглянути інструкцію

Рисунок 3.9 – Виставлені оцінки

На рисунку 3.9 зображено вигляд застосунку після здійснення оцінки критеріїв.

Коли всі експертні оцінки виставлено, стає активною кнопка «Отримати розрахункову таблицю з результатом». Натиснувши на неї, можна переглянути результати розрахунків. На рисунку 3.10 зображено демонстративний варіант результатів роботи програми.

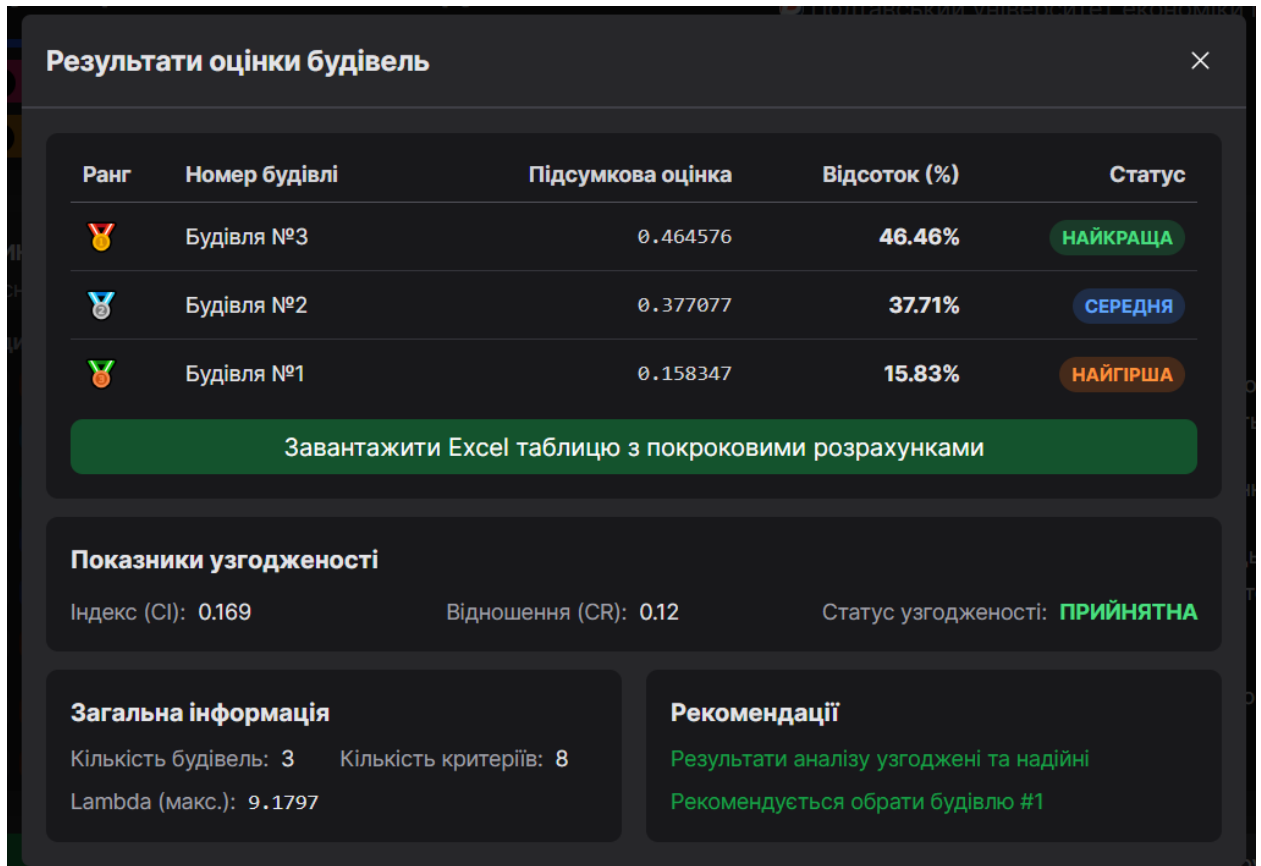


Рисунок 3.10– Результати розрахунків

У цьому вікні зазначено фінальний результат, відповідно до вхідних даних. Також виведено деяку загальну інформацію, яка була використана в проміжних та загальних розрахунках, що видно на рисунку вище. Зокрема, додатковим кроком можна натиснути кнопку для отримання проміжних розрахунків, представлених в табличному редакторі Excel. Коли цю кнопку натиснуто, на пристрій завантажується розрахунковий файл.

Рисунок 3.11 – Завантаження розрахункового файлу

На рисунку 3.11 зображено процес завантаження розрахункового файлу. Відкривши файл, можна переглянути яким чином заповнювалась таблиця та відбувались розрахунки, що забезпечує прозорість та точність обчислень.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	АНАЛІЗ ІЄРАХІЙ (АНР) - ПОКРОКОВЕ РІШЕННЯ											
2												
3	КРОК 1: Матриця парних порівнянь критеріїв											
4												
5	Доступність за ціною Енергоефективність бу Природне освітлення Наявність паркувальни Наявність зручностей Транспортне сполуче Наявність заднього дв Рівень шуму											
6	Доступність за ціною	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	Енергоефективність бу	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	Природне освітлення	5	3	1	0	0	0	0	0	0	0	
9	Наявність паркувальни	7	5	3	1	0	0	0	0	0	0	
10	Наявність зручностей	9	7	5	3	1	0	0	0	0	0	
11	Транспортне сполучен	9	9	7	5	3	1	0	0	0	0	
12	Наявність заднього дв	9	9	9	7	5	3	1	0	0	0	
13	Рівень шуму	9	9	9	9	7	5	3	1	0	0	
14												
15	КРОК 2: Заповнена матриця парних порівнянь											
16												
17	Доступність за ціною Енергоефективність бу Природне освітлення Наявність паркувальни Наявність зручностей Транспортне сполуче Наявність заднього дв Рівень шуму											
18	Доступність за ціною	1	0,333333	0,2	0,142857	0,111111	0,111111	0,111111	0,111111	0,111111		
19	Енергоефективність бу	3	1	0,333333	0,2	0,142857	0,111111	0,111111	0,111111	0,111111		
20	Природне освітлення	5	3	1	0,333333	0,2	0,142857	0,111111	0,111111	0,111111		
21	Наявність паркувальни	7	5	3	1	0,333333	0,2	0,142857	0,111111	0,111111		
22	Наявність зручностей	9	7	5	3	1	0,333333	0,2	0,142857	0,111111		
23	Транспортне сполучен	9	9	7	5	3	1	0,333333	0,2	0,142857		
24	Наявність заднього дв	9	9	9	7	5	3	1	0,333333	0,2		
25	Рівень шуму	9	9	9	9	7	5	3	1	0,333333		
26												
27	КРОК 3: Геометричне середнє (Vi)											
28												

КРОК 10: Підсумкові результати		
Підсумкова оцінка	Значення	
Будівля №1	0,158347	
Будівля №2	0,377077	
Будівля №3	0,464576	
РАНЖУВАННЯ:		
Ранг	Будівля	Оцінка
1	Будівля №3	0,464576
2	Будівля №2	0,377077
3	Будівля №1	0,158347

Рисунок 3.12; 3.13 – Фрагменти розрахункової таблиці Excel.

На рисунках 3.12 та 3.13 зображено демонстративні результати розрахунків із фрагментів таблиці.

Підсумовуючи вищезазначене, запропонована методика на основі МАІ дозволяє уніфікувати процес прийняття рішень, мінімізувати вплив суб'єктивних факторів та обґрунтовано вибрати оптимальний варіант житла з урахуванням усіх суттєвих критеріїв оцінки. Отримані результати демонструють високу ефективність методу для вирішення складних багатокритеріальних задач у сфері нерухомості.

РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

4.1 Вибір технологій та інструментів для розробки

Основною метою розроблюваного ПО є забезпечення користувачу допомоги у прийнятті рішення, оскільки розглянуте на даний момент існуюче програмне забезпечення реалізує дану функцію недостатньо якісно та зрозуміло для посередньої людини. Саме тому, обрані технології повинні задовільняти потребу у якомога зрозумілішому інтерфейсі, а також підтримувати стабільну роботу алгоритмів та розрахунків, оскільки це є невід'ємною частиною майбутнього продукту.

Наразі існує досить широке коло інструментів та технологій, поєднуючі які, розробник може створити неповторний та дійсно унікальний проєкт. Судячи з цього, можна підібрати досить ефективні та підходящі рішення для необхідної задачі.

Для розробки програми було застосовано наступні технології:

1. Frontend: JavaScript з використанням фреймворку Next.js 14. Next.js надає можливість створення швидких та оптимізованих веб-додатків з підтримкою серверного рендерингу (SSR), статичної генерації (SSG) та інших сучасних підходів до розробки інтерфейсів.
2. Backend: Мова програмування Rust у поєднанні з фреймворком Tauri 2. Tauri дозволяє створювати легковесні додатки, які використовують системний WebView2 для відображення інтерфейсу, що забезпечує високу продуктивність та мінімальний розмір виконуваного файлу. Rust, як мова програмування, забезпечує високу швидкодію, безпеку пам'яті

та сучасні можливості для розробки надійного програмного забезпечення.

Цей стек технологій дозволяє створювати ефективні, безпечні та легкі додатки з сучасним інтерфейсом та потужним функціоналом.

Tauri є сучасним фреймворком для трансформації веб-додатків у нативні програми, які не потребують додаткових середовищ виконання, таких як ChromeDriver. Замість цього вони використовують системний WebView2, що значно зменшує розмір вихідного двійкового файлу. Наприклад, розмір програми, розробленої за допомогою Tauri, становить лише 9 МБ, тоді як використання популярного фреймворку Electron могло б призвести до збільшення розміру до 200 МБ. Фреймворк Tauri базується на мові програмування Rust, яка є сучасним аналогом C++ і характеризується високою швидкістю та підвищеною безпекою. Rust був розроблений одним із членів Mozilla — організації, відомої своїм акцентом на безпеку програмного забезпечення. Яскравим прикладом є браузер Mozilla Firefox, який залишається одним із небагатьох популярних незалежних браузерів, що підкреслює важливість безпеки в сучасному програмному забезпеченні.

4.2. Проєктування та структура вебзастосунку

Для створення калькулятора, що вирішуватиме задачі методом AI, необхідно розробити правильну та ефективну архітектуру. Основними компонентами продукту є компоненти введення даних, обчислень та користувацького інтерфейсу. Введення даних забезпечує можливість додавання критеріїв, альтернатив та альтернативної системи порівнянь обраних критеріїв. Також компонент виконує перевірку введених даних,

наприклад, цілісність розрахункових матриць або правильність співвідношень.

Така структура забезпечує оптимальну ефективність і служить гарним прикладом для розуміння та демонстрації кожного кроку. Точність розрахунків користувача сприяє довірі до роботи. Зокрема, структура повинна бути досить простою та логічною, що допомагає забезпечити швидкість роботи самого калькулятора. Це є суттєвою перевагою, оскільки чіткість і прозорість слугуватимуть вагомим аргументом для прийняття остаточного рішення. Зокрема, структура повинна бути помірно простою та логічною, що сприятиме забезпеченню швидкодії самого калькулятора.

Швидкість є невід'ємною та надзвичайно важливою складовою продукту, оскільки вона стане помітною вже під час першого запуску програми. Якщо програмне забезпечення виявиться незручним або повільним при першому використанні, існує ризик негайно втратити частину аудиторії. Кожен модуль у програмі виконує певний набір функцій і має своє конкретне призначення. Важливо гармонійно поєднати всі ці модулі між собою, що створить чітку систему та ієрархію. Розглянемо кожен модуль окремо:

Модуль обчислень відповідає за розрахунок ваги критеріїв через обробку матриць парних порівнянь із використанням методу власного вектора. До його функцій входять нормалізація даних, оцінка узгодженості матриць та обчислення глобальної вагомості альтернатив. Результати обробляються на основі комбінування локальних і глобальних вагомостей, що дозволяє отримати підсумкове ранжування альтернатив.

Для реалізації математичної основи алгоритмів важливо інтегрувати ключові етапи МАІ. Спочатку будується ієрархічна структура завдання у вигляді дерева, де вершини представляють цілі, критерії та альтернативи, а рівні відповідають розподілу завдання за підцілями. На етапі аналізу парних порівнянь формується матриця відносин між критеріями та альтернативами.

Для кожної матриці проводиться нормалізація рядків, обчислення власного вектора і оцінка узгодженості шляхом визначення показника узгодженості CI та випадкової послідовності CR. Якщо матриця не узгоджена, потрібно переглянути вхідні дані. При обчисленні ваги альтернатив застосовується множення матриць, де зважуються критерії за їх пріоритетністю. Підсумковий рейтинг формується шляхом ранжування отриманих значень.

4.3. Реалізація основного функціоналу та алгоритму

Основні алгоритми роботи базовані на використанні методу AI, тому що це є основною функцією розроблюваного застосунку. Архітектура системи базується на сучасному технологічному стеку, що забезпечує оптимальне поєднання продуктивності, безпеки та ергономіки розробки. Інтерфейсна частина реалізована з використанням JavaScript та фреймворку Next.js 14, який надає ефективні механізми серверного рендерингу (SSR) та статичної генерації контенту (SSG), а також вбудовані оптимізації продуктивності.

Продукт забезпечує досить швидкі розрахунки завдяки особливостям технології розробки, що свідчить про гнучкість та адаптацію для більшості пристроїв, оскільки на систему пристрою йтиме набагато менше навантаження.

Можливості фреймворку Tauri 2 у поєднанні з JavaScript та Rust є основою для калькулятору. Це дозволило розробити сучасний та доступний інтерфейс у поєднанні із швидкими розрахунковими алгоритмами. Серед переваг також присутня мультиплатформенна підтримка застосунку на різних операційних системах, наприклад, Windows, MacOS, Linux, iOS тощо.

Наступною перевагою Tauri є висока адаптивність. Фреймворк дозволяє розробляти повнофункціональні GUI-додатки як виключно засобами Rust без використання JavaScript, так і з повним акцентом на JS-код, мінімізуючи залучення Rust до єдиного рядка. Отже, володіння Rust не є обов'язковою умовою для ефективного застосування Tauri. В рамках JavaScript-оточення фреймворк інтегрує спеціалізовані API-модулі, що забезпечують доступ до низькорівневих операцій, зокрема керування файловою системою та взаємодію з апаратними компонентами.

Обчислювальний модуль розроблений на мові Rust, що забезпечує високошвидкісну обробку даних, гарантовану безпеку роботи з пам'яттю, мінімальні накладні витрати та крос-платформенну сумісність. Використання системного WebView2 для відображення інтерфейсу дозволяє створювати легкі, але потужні крос-платформенні додатки.

Система інтегрує три ключові компоненти, які функціонально взаємопов'язані для підтримки процесу прийняття рішень. Модуль введення даних забезпечує інтерактивне формування критеріїв оцінки, набору альтернатив та матриць парних порівнянь, автоматично перевіряючи цілісність вхідних даних, узгодженість оцінок та відповідність математичним вимогам методу аналізу ієрархій. Обчислювальний модуль відповідає за точне визначення вагових коефіцієнтів критеріїв та ранжування альтернатив, а модуль візуалізації надає зручні інструменти для аналізу та інтерпретації результатів.

Така архітектура дозволяє досягти високої ефективності обчислень при збереженні зручності інтерфейсу, що є критично важливим для систем підтримки прийняття рішень. Використання сучасних технологій забезпечує масштабованість системи та можливість її подальшого вдосконалення.

Обчислювальний модуль, реалізований з використанням ефективних алгоритмів, виконує точні розрахунки згідно методології аналізу ієрархій, забезпечуючи високий рівень точності результатів.

Основні кроки:

1. Заповнення матриці попарного порівняння

```
const comparePairwise = (criteriaObj) => {
  for (i = 0; i < criteriaObj.array.length; i++) {
    for (j = 0; j < criteriaObj.array.length; j++) {
      if (j > i) {
        criteria1.array[i][j] = 1 / criteriaObj.array[j][i]
      }
    }
  }
}
```

Рисунок 4.1 – Матриця попарного порівняння

На рисунку 4.1 зображено фрагмент коду для обчислення матриці попарного порівняння. Початкові значення вводяться у вигляді верхньої частини трикутної матриці, де a_{ij} - відносна перевага критерію i над критерієм j . Нижня трикутна частина обчислюється як обернене значення:

У методі порівнюються елементи попарно за шкалою від 1 (рівнозначність) до 9 (абсолютна перевага).

2. Розрахунок вектора V_i (геометричне середнє).

```
const calculateVi = (criteriaObj) => {
  criteriaObj.Vi = []

  for (i = 0; i < criteriaObj.array.length; i++) {
    criteriaObj.Vi.push(Math.pow(criteriaObj.array[i].reduce((a, b) => a * b), 1 / criteriaObj.array.length))
  }

  criteriaObj.Vi_sum = criteriaObj.Vi.reduce((a, b) => a + b)
}
```

Рисунок 4.2 – Розрахунок вектора V_i

На рисунку 4.2 зображено фрагмент коду для розрахунку вектора V_i . Для кожного рядка матриці обчислюється геометричне середнє (добуток елементів у степені $\frac{1}{n}$, де n - кількість елементів).

3. Розрахунок вектора пріоритетів P_i (нормалізація V_i)

```
const calculatePi = (criteriaObj) => {
  criteriaObj.Pi = []

  for (i = 0; i < criteriaObj.array.length; i++) {
    criteriaObj.Pi.push(criteriaObj.Vi[i] / criteriaObj.Vi_sum)
  }

  criteriaObj.Pi_sum = criteriaObj.Pi.reduce((a, b) => a + b)
}
```

Рисунок 4.3 - нормалізація V_i

На рисунку 4.3 зображено фрагмент коду для нормалізації V_i . Кожне V_i ділиться на суму всіх V_i , щоб отримати ваги (нормалізовані значення).

4. Розрахунок λ_i (лямбда) та λ_{max} (перевірка узгодженості)

```
const calculateLambdai = (criteriaObj) => {
  criteriaObj.Lambdai = []

  for (i = 0; i < criteriaObj.array.length; i++) {
    let sum = 0

    for (j = 0; j < criteriaObj.array.length; j++) {
      sum += criteriaObj.array[i][j] * criteriaObj.Vi[j]
    }

    criteriaObj.Lambdai.push(sum / criteriaObj.Vi[i])
  }

  criteriaObj.Lambda_sum = criteriaObj.Lambdai.reduce((a, b) => a + b)
  criteriaObj.Lambda_max = criteriaObj.Lambda_sum / criteriaObj.array.length
}
```

Рисунок 4.4 - Перевірка узгодженості оцінок

На рисунку 4.4 зображено фрагмент коду для перевірки узгодженості оцінок. Це допомагає зрозуміти, наскільки послідовні наші оцінки. Згідно з МАІ перевірка узгодженості виконується шляхом наближеного обчислення найбільшого власного значення матриці. Даний етап буде допрацьовано та реалізовано в програму з часом.

Обчислення індексу узгодженості (CI) та коефіцієнта узгодженості (CR)

Ці показники дозволяють визначити, наскільки узгодженою є матриця порівняння.

де **RI** - середній індекс випадкової узгодженості (Random Index), який залежить від розмірності **n**.

Цей код реалізує МАІ для одного критерію. На практиці так розраховуються ваги для багатьох критеріїв (наприклад, ціна, розташування, площа), а потім обчислюється загальний рейтинг альтернатив.

Output:

```
{
  array: [ [ 1, 0.125, 0.111111111111111 ], [ 8, 1, 1 ], [ 9, 1, 1 ] ],
  Vi: [ 0.2403749283845681, 2, 2.080083823051904 ],
  Vi_sum: 4.3204587514364725,
  Pi: [ 0.055636436363302365, 0.4629138050062478, 0.48144975863044975 ],
  Pi_sum: 1,
  Lambdai: [ 3.001541625064224, 3.0015416250642244, 3.001541625064224 ],
  Lambda_sum: 9.004624875192672,
  Lambda_max: 3.001541625064224
}
```

Рисунок 4.5 – Демонстрація результату розрахунків в коді програми

На рисунку 4.5 зображено демонстрацію розрахунків всередині коду програми. Інтерфейсний модуль програми графічно відображає всі етапи роботи системи, починаючи від введення вихідних даних і закінчуючи фінальними результатами. Також можливим є завантаження таблиці Excel з проміжними розрахунками, де покроково можна переглянути результати обчислень по кожному критерію.

4.4. Побудова інтерфейсу користувача

Інтерфейс було розроблено таким чином, щоб це за допомогою візуальних властивостей поєднувало у собі зокрема і корисний функціонал. У застосунку збережено спільне для всіх схожих програм представлення обчислювальної частини, а саме розрахункова таблиця з відповідними комірками.

При розробці продукту враховано простоту та зрозумілі пояснення теоретичних відомостей для користувача. Це допомагає зробити вхід в калькулятор швидким та комфортним.

Створення універсального та інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу для застосунку з вибору оптимального варіанту будинку є критично важливим з точки зору системного аналізу. На відміну від традиційних табличних онлайн-калькуляторів, запропонований підхід пропонує низку суттєвих переваг, які значно підвищують ефективність процесу прийняття рішень.

Перш за все, ієрархічна структура інтерфейсу точно відображає логіку методу аналізу ієрархій, що дозволяє значно зменшити когнітивне навантаження на користувача. Замість необхідності аналізувати складні таблиці з числовими даними, користувач отримує наочну візуалізацію залежностей між критеріями, що сприяє кращому розумінню всього процесу прийняття рішень. Поетапне представлення інформації дозволяє уникнути інформаційного перевантаження, яке часто виникає при роботі зі звичайними калькуляторами.

Важливою перевагою є інтерактивність системи. На відміну від статичних таблиць, наш застосунок дозволяє динамічно коригувати вагові коефіцієнти з миттєвим відображенням результатів, що робить процес дослідження різних сценаріїв значно більш зручним та наочним. Адаптивний

підхід до різних рівнів підготовки користувачів забезпечує комфортну роботу як для новачків, так і для досвідчених користувачів.

З точки зору системного аналізу, застосунок пропонує цілісне представлення всіх компонентів задачі в єдиній візуальній моделі. Це дозволяє одночасно аналізувати як окремі елементи, так і їх взаємозв'язки, що є ключовим для прийняття обґрунтованих рішень. Наочне відображення впливу окремих критеріїв на кінцевий результат дає змогу користувачам краще зрозуміти логіку отриманих висновків.

Ергономічні характеристики інтерфейсу, такі як мінімізація необхідних дій для отримання результату, наявність контекстних підказок та інтерактивної довідки, а також варіативність подання результатів (у вигляді графіків, діаграм або текстових висновків) роблять застосунок значно зручнішим у використанні порівняно з традиційними табличними рішеннями.

Таким чином, застосування принципів системного аналізу при проектуванні інтерфейсу дозволило створити інструмент, який не лише забезпечує більш високу якість прийняття рішень, але й робить цей процес значно більш зручним, наочним та доступним для користувачів з різним рівнем підготовки. Ці переваги стають особливо очевидними при порівнянні з обмеженими можливостями звичайних табличних онлайн-калькуляторів.

4.5 Ролі користувачів та сценарії використання

У процесі проектування програмного засобу для вибору оптимального варіанту житла на основі методу аналізу ієрархій було виявлено чітку диференціацію користувачів за рівнем експертизи та цілями використання системи. Першу категорію становлять користувачі, орієнтовані виключно на отримання кінцевого результату. Вони характеризуються прагматичним

підходом, віддають перевагу мінімалістичному інтерфейсу та не потребують детального розуміння алгоритмів роботи системи. Їх основною мотивацією є оперативне отримання готового рішення для подальшого практичного застосування.

Другу категорію представляють користувачі з аналітичним типом мислення, для яких важливим є не лише результат, а й процес його отримання. Ця група включає студентів, викладачів та фахівців, які використовують систему з навчальною метою або для поглибленого аналізу. Вони зацікавлені у відображенні проміжних результатів, коефіцієнтів важливості критеріїв та детальному поясненні кожного етапу розрахунків.

Така класифікація користувачів стала основою для реалізації зручного та універсального інтерфейсу, який поєднує у собі набір функцій для швидкого отримання результату та можливість завантажити файл з деталізованим відображенням усіх етапів обчислень. Подібний підхід дозволив задовольнити потреби обох груп користувачів, підвищивши ефективність та зручність використання розробленого застосунку.

На рисунку 4.6 зображено взаємодії типів користувачів із застосунком.

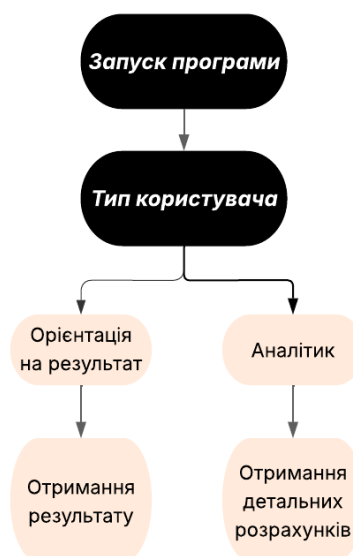


Рисунок 4.6 – Діаграма взаємодії типів користувачів із застосунком

4.6 Перспективи розробленого програмного забезпечення в майбутніх оновленнях

Розроблений програмний продукт має значний потенціал для подальшого вдосконалення. Основним напрямком розвитку є оптимізація обчислювальних процесів. Передбачається впровадження нових алгоритмів, які дозволять прискорити обробку даних та зменшити навантаження на систему. Особливу увагу буде приділено реалізації паралельних обчислень, що дасть змогу ефективно працювати з великими обсягами інформації.

Важливим аспектом розвитку є розширення сфери застосування програми. Поточний функціонал, орієнтований на вибір оптимального варіанту будинку, може бути адаптований для вирішення інших типових задач, таких як оцінка інвестиційних проектів, аналіз ризиків або прийняття управлінських рішень. Це дозволить значно розширити аудиторію користувачів.

Передбачається реалізація інтерактивних інструментів візуалізації, які полегшать сприйняття результатів аналізу. Також планується додати функціонал для збереження та порівняння різних сценаріїв розрахунків.

Перспективним напрямком є інтеграція з сучасними хмарними технологіями. Це дасть можливість отримувати доступ до системи з будь-якого пристрою, зберігати історію обчислень та організовувати спільну роботу над проектами. У майбутньому можливе впровадження елементів машинного навчання для аналізу історії прийнятих рішень та формування персоналізованих рекомендацій.

Впровадження цих оновлень дозволить створити більш потужний та універсальний інструмент для підтримки прийняття рішень, який буде корисним як для окремих користувачів, так і для цілих організацій.

ВИСНОВКИ

У ході виконання бакалаврської роботи було досягнуто поставленої мети - створено повнофункціональний вебдодаток, що реалізує метод аналізу ієрархій для автоматизованого вирішення задач системного аналізу. Розроблений програмний продукт є сучасним інструментом підтримки прийняття рішень, який ефективно поєднує теоретичні основи МАІ з практичними можливостями веб-технологій.

Основним результатом дослідження стало створення конкурентоздатного україномовного програмного рішення, яке за своїми функціональними характеристиками не поступається іноземним аналогам. Застосунок дозволяє значно спростити процес оцінки альтернатив за заданими критеріями, забезпечуючи при цьому високу точність обчислень та зручний інтерфейс взаємодії.

Теоретична значимість роботи полягає у систематизації знань про застосування методу аналізу ієрархій у сучасних інформаційних системах. Практична цінність розробки виражається у можливості її використання у різних сферах - від управлінського консалтингу до інженерного проектування.

Перспективи подальшого розвитку проекту включають розширення функціональності за рахунок інтеграції хмарних технологій, впровадження механізмів машинного навчання для аналізу історії рішень, а також адаптацію системи для різних предметних областей. Отримані результати свідчать про ефективність обраного підходу та доцільність подальших досліджень у цьому напрямку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Посібник системний аналіз : навч. посібник / [авт. кол.: О. В. Білецький, О. М. Григор'єв, В. М. Демченко та ін.] ; за ред. О. В. Білецького. – Одеса : Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова, 2015. – 123 с. – Режим доступу:
<http://dspace.opu.ua/jspui/bitstream/123456789/12878/1/%D0%9F%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%A1%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B7.pdf>
2. Ольховська О.В. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи для студентів за освітньою програмою «Комп'ютерні науки» спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» - 58 ст.
3. Ольховська О., Черненко О., Парфьонова Т., Лушина А. *Розробка системи підтримки прийняття рішень на основі методу аналізу ієрархій* // Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security. – 2025. – № 1. – С. 3–10.
4. Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених "Комунальна та промислова теплоенергетика" (КНІТ), випуск 2, 2023 р. / [редкол.: О. В. Іванов, П. П. Петров та ін.]. – Полтава : Полтавський університет економіки і торгівлі, 2023. – 150 с. – Режим доступу:
<https://dspace.puet.edu.ua/bitstream/123456789/13014/3/%D0%97%D0%91%D0%86%D0%A0%D0%9D%D0%98%D0%9A%20%D1%82%D0%B5%D0%B7%20%D0%9A%D0%9D%D0%86%D0%A2%20%D0%B2%D0%B8%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%BA%202%202023.pdf>
5. **Freeman E.** *Head First JavaScript Programming*. – O'Reilly Media, 2014. – 640 p.

6. *Tauri*. About this book. URL: <https://v2.tauri.app/about/book/>
7. *React*. Офіційна документація. URL: <https://reactjs.org/docs/>
8. *Math.js*. Офіційна документація. URL: <https://mathjs.org/>
9. *Системний аналіз* // Вікіпедія : вільна енциклопедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Системний_аналіз
10. *Сучасний довідник з JavaScript* // JavaScript.info. URL: <https://uk.javascript.info/>
11. *Tauri*. About this book [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://v2.tauri.app/about/book/>. – Назва з екрана.
12. Панкратова Н. Д. Системний аналіз. Теорія та застосування. — Київ: Наукова думка, 2019. — 150 с.
13. Варенко В. М., Братусь І. В., Дорошенко В. С., Смольников Ю. Б., Юрченко В. О. Системний аналіз інформаційних процесів: Навч. посіб. — Київ: Університет «Україна», 2013. — 203 с.
14. Швець С. В., Швець У. С. Основи системного аналізу: Навч. посіб. — Суми: Сумський державний університет, 2017. — 126 с.
15. Сорока К. О. Основи теорії систем і системного аналізу: Навч. посіб. — Харків: ХНАМГ, 2004. — 291 с.
16. Дудник І. М. Вступ до загальної теорії систем. — Київ: Кондор, 2009. — 205 с.
17. Красношлик О. Ю. Системний аналіз в тестуванні програмного забезпечення: Магістерська робота. — Одеса: НУ «ОЮА», 2024. — 55 с.
18. Самандасюк М. А. Системний аналіз як інструмент вибору методів тестування програмного забезпечення: Дипломна робота бакалавра. — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. — 123 с.
19. Liudmyla Koliechkina, Olena Dvirna. Using Models of Combinatorial Optimization Problem to Estimate the Parameters of an Intelligent System. 4th International Workshop of IT-professionals on Artificial Intelligence (ProfIT AI

2024), 25-27.09.2024. Cambridge, MA, USA, p. 385-391.

<https://dblp.org/db/conf/profitai/profitai2024.html>

20. Liudmyla Koliechkina, Olena Dvirna, Yuri Ivanov, Kseniia Verhal, The Higher Educational Information System: Management of the Timetable Scheduling, 3rd International Workshop of IT-professionals on Artificial Intelligence 2023, (ProfIT AI 2023), Waterloo, Canada, November 20-22, 2023, pp.48-58. <https://ceur-ws.org/Vol-3641/paper5.pdf>

21. Liudmyla Koliechkina, Olena Dvirna, Serhii Khovben, Multi-Criteria Decision Discrete Model for Selecting Software Components in Component-Based Development, 3rd International Workshop of IT-professionals on Artificial Intelligence 2023, (ProfIT AI 2023), Waterloo, Canada, November 20-22, 2023, pp.182-193 <https://ceur-ws.org/Vol-3641/paper16.pdf>

22. L. Koliechkina, T. Hudz and V. Kylnyk, "Modeling of Bank Performance Indicators Based on Business Intelligence and Data Analysis," 2023 IEEE 13th International Conference on Electronics and Information Technologies (ELIT), Lviv, Ukraine, 2023, pp. 87-92, doi: 10.1109/ELIT61488.2023.10310849. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10310849/authors#authors>

23. Natalia Semenova, Liudmyla Koliechkina, Viktor Koliechkin, Solving Vector Optimization Problems on Combinatorial Configurations With Fuzzily Specified Data, International Scientific Symposium «Intelligent Solutions» IntSol-2023, September 27–28, 2023, Kyiv-Uzhhorod, Ukraine, pp.257-266. https://ceur-ws.org/Vol-3538/Paper_23.pdf

24. Sergiy Yakovlev, Oksana Pichugina, Liudmyla Koliechkina. Combinatorial point configurations and polytopes. Łódź University Press, 2023, 232p., monografia DOI: <https://doi.org/10.18778/8331-391-7>

25. Koliechkina L., Nahirna A.N. The Mathematical Model on Set of Partial Permutations for the Optimization of Complex Information Systems. IEEE International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC),

05-09 October, 2020 Kyiv,
 Ukraine <https://ieeexplore.ieee.org/author/37086824791>

26. Liudmyla Koliechkina, Olena Dvirna The Coordinate Method of Solving Multiobjective Problems Optimization on the Combinatorial Configurations. Book of Proceedings of the 9th International Symposium and 31st National Conference on Operational Research Operational Research in Engineering Sciences and Sustainable Development, 2023, pp.11-15 chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://eeee2023.uniwa.gr/HELORS%202023_Book%20of%20Proceedings.pdf