

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Львівська політехніка»

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

БІГУН РОМАН РОМАНОВИЧ

УДК 004.89

ДИСЕРТАЦІЯ
СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ РОЗВИТКУ
ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД

124 – Системний аналіз

Технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Бігун Р.Р.

Науковий керівник (консультант) Литвин Василь Володимирович, д.т.н.,
професор

Львів - 2023

АНОТАЦІЯ

Бігун Р. Р. Система підтримки прийняття рішень розвитку територіальних громад. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 124 «Системний аналіз» – Національний університет «Львівська політехніка», Міністерство освіти і науки України, Львів, 2023.

Зміст анотації. Дисертація присвячена побудові системи, математичних методів та програмних засобів підтримки прийняття рішень для розв’язання актуального науково-прикладного завдання підтримки прийняття рішень розвитку територіальних громад.

Місцевий розвиток певної території формується під впливом багатьох критеріїв. Швидкий темп поширення процесу глобалізації світової економіки є одним з тих критеріїв, які суттєво впливають на формування нових закономірностей та напрямів місцевого розвитку. Аналізуючи процес збільшення впливу громад в економічному секторі певних територій можна помітити ознаки цього критерію. Українська держава також займає місце серед держав, населення яких вже зрозуміло та прийняло високий показник важливості громад в прямій участі в місцевому розвитку. Для головних представників громад процес децентралізації та зміни процесів самоврядування визначатимуть принципово інший рівень відповідальності за розвиток. Розгляд такої концепції розвитку місцевих громад сформує перетворення територіальних громад із об’єкта управління на суб’єкт управління. А також з’явиться можливість самостійно забезпечувати власну спроможність. Ідея формування територіальних громад в подальшому очікує від них прийняття відповідальності за свій розвиток та економічну матеріальну забезпеченість. Таке формування ідеї вимагає від органів територіальних громад чіткого розуміння структури та властивостей сучасного розвитку. Також очікується, що територіальні елементи влади будуть володіти всіма потрібними знаннями,

навичками та досвідом, що забезпечить достатній рівень конкурентноспроможності громад.

Досвід розвинутих країн демонструє, що основою успішного розвитку громад є об'єднання територій та ресурсів, при якому держава створює необхідні умови для розвитку громад, а вже вони самі повинні обирати пріоритети, які їм необхідні.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у:

- вперше розроблено гібридну систему підтримки прийняття рішень розвитку територіальних громад, що дає змогу вибрати напрям розвитку та проаналізувати стан агропромислового та туристичного комплексу територіальної громади;
- вперше побудовано систему вибору напряму розвитку територіальних громад, використовуючи метод аналізу ієрархій та онтологічне подання знань, що дає змогу вибрати стратегію розвитку на основі наявних у територіальній громаді ресурсів;
- дістали подальшого розвитку підходи до вирішення задачі оптимізації збору відходів шляхом використання покращеного алгоритму *k*-середніх, задачі комівояжера і методу «гілок та границь», що дає змогу мінімізувати довжину пройденого маршруту одним сміттєвозом;
- дістали подальшого розвитку методи підтримки прийняття рішень розвитку агропромислового комплексу шляхом аналізу його ключових факторів, регулювання яких може позитивно вплинути на зростання економічної складової територіальних громад;
- дістали подальшого розвитку методи підтримки прийняття рішень розвитку туристичного комплексу шляхом аналізу ключових факторів розвитку туризму за допомогою PLS-PM моделювання.

У **першому розділі** проведено аналіз та зроблено аналітичний огляд існуючих математичних методів та систем підтримки прийняття рішень для можливого їх застосування у дослідженні. Також досліджено проблеми

розвитку територіальних громад. Через те, що влада ігнорує прогресивні зміни в управлінні розвитком територіальних громад, а також нехтує громадською думкою та проблем власників земель, ми бачимо такі проблеми, як бідність, безробіття, вимушена трудова міграція, занепад соціальної інфраструктури та інші. Для нормалізації роботи вирішення різних економічних проблем громадою самостійно та подальшого їхнього розвитку важливою умовою є залучення наукових підходів, одним з яких є розробка математичних моделей розвитку таких громад.

У **другому розділі** розроблено та обґрунтовано математичний апарат, який надає змогу комплексно проводити аналіз впливу розвитку агропромислового сектору на загальний економічний стан територіальної громади. Отримана багатофакторна кореляційно-регресійна модель в подальшому може бути вбудованою в систему прогнозування результатів для оцінювання функціонування сільського господарства областей України.

Також було вибрано та обґрунтовано математичний апарат, який надає змогу проводити аналіз основних факторів впливу на розвиток туристичної галузі, отриманий на основі PLS-PM моделі. Даний аналіз може бути використаний для успішного вирішення задач сталого розвитку туристичної індустрії територіальних громад.

Для побудови системи напряму розвитку територіальних громад було використано метод аналізу ієрархій. Цей метод являє собою математичний апарат системного підходу до складних проблем прийняття рішень, що використовує метод попарних порівнянь у поєднанні з методом послідовних порівнянь. Особа, що приймає рішення не отримує якогось «правильного» рішення після застосування даного методу, а отримує такий варіант (альтернативу), який найкращим чином узгоджується з розумінням суті проблеми вимоги до рішення. Завдяки застосуванню методу аналізу ієрархій, вдалося отримати модель напряму розвитку територіальної громади, в залежності від ресурсів, які належать цій громаді.

У розділі також реалізовано алгоритм оптимізації вивозу сміття для зменшення фінансових витрат у сфері збору та утилізації відходів. Для цього було використано покращений алгоритм k -середніх для кластеризації пунктів збору сміття, задачу комівояжера та метод «гілок та границь» для пошуку оптимальних шляхів між самими кластерами та всередині них. За допомогою побудованого алгоритму вдалося досягнути мінімізації декількох важливих значень. Одним з таких значень є довжина пройденого сміттєвозом маршруту. Зменшення даної величини означає зменшення витрат, які відводяться на забезпечення роботи відповідного транспортного засобу.

У **третьому розділі** виокремлено модулі системи підтримки прийняття рішень (СППР) та проаналізовано окремі компоненти функціонування цієї системи.

Система обробки задач побудованої СППР складається з чотирьох модулів:

- агропромислового;
- аналізу та підтримки прийняття рішень щодо розвитку туризму;
- вибору напрямку розвитку;
- оптимізації вивезення сміття.

Кожен модуль можна застосовувати окремо при необхідності. Для цього було описано алгоритм та метод функціонування для кожної частини за допомогою UML-діаграм, псевдокоду або простої візуалізації кроків алгоритму чи методу. Першим кроком застосовується алгоритм оптимізації вивозу сміття. Далі застосовують алгоритм вибору напрямку розвитку територіальної громади. Якщо в процесі обчислення вибрано напрям «розвиток агропромислового виробництва та сільгосппереробки», то застосовується ще агропромисловий модуль, де аналізуються фактори, які впливають на аграрний комплекс. Якщо був вибраний напрям «розвиток туристичного потенціалу громади», то будуюмо модуль підтримки прийняття рішень щодо розвитку туризму. Оскільки напрямів розвитку можна вибрати декілька, то обидва модулі – підтримки

прийняття рішень щодо розвитку туризму та агропромислового комплексу – можуть бути використані.

У **четвертому розділі** реалізовано систему підтримки прийняття рішень (СППР) розвитку територіальних громад за допомогою таких програм та мов програмування, як: Microsoft Excel, SmartPLS 3, Python, Windows Forms (C#).

Агропромисловий модуль використовує кореляційно-регресійну модель і складається з єдиного компонента – Microsoft Excel – табличного процесора для роботи з електронними таблицями і аналізом даних. Використання табличного процесору Microsoft Excel дає можливість створити не лише кореляційно-регресійну модель, а й зробити прогнози про загальні показники економічного процесу та визначити розвиток підприємств у майбутньому.

Модуль оптимізації вивезення сміття написаний мовою програмування Python. Першим кроком даного модуля знаходить дані про місцезнаходження смітників та їхню ємність. Потім ці дані імпортуються в програму, яка обраховує найкоротший шлях вивозу сміття.

Модуль підтримки прийняття рішень щодо розвитку туризму використовує програмне забезпечення SmartPLS і обчислює параметри моделі та оптимізує модель. Але спершу необхідно ідентифікувати змінні моделі, знайти потрібну статистику та імпортувати дані в програму.

Модуль вибору напряму розвитку написаний мовою програмування C# з використанням інтерфейсу програмування додатків Windows Forms. Даний інтерфейс дуже зручний для побудови та використання додатків, яким потрібно мати графічний інтерфейс користувача.

Також у розділі проаналізовано результати програмних експериментів та обґрунтовано науково-практичне значення розробленого програмного забезпечення. Вхідну вибірку формували реальні дані з порталу органу Державної служби статистики України, оскільки саме цей національний орган відповідає за функціонування загальнодержавної системи економіко-статистичної інформації на території України.

Ключові слова: об'єднана територіальна громада, математична модель, оптимізація, система підтримки прийняття рішень, багатофакторна регресія, задача комівояжера, метод аналізу ієрархій, напрям розвитку, PLS-PM моделювання, онтологічна модель.

Список публікацій здобувача

1. Bihun, R., Lytvyn, V., Oleksiv, N. (2021). *Mathematical modeling and analysis of the development of territorial communities*. Technology Audit and Production Reserves, 3 (2 (59)), 6–12. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.232788>.
2. Bihun, R., Lytvyn, V. (2022). *Optimization of garbage removal within a territorial community*. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (3 (115)), 24-30. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252001>.
3. Bihun, R., & Lytvyn, V. (2022). *Algorithm for optimizing garbage removal*, Proceedings of the 8th International scientific and practical conference «Innovations and prospects of world science», (March 29-31, 2022), Vancouver: Perfect Publishing, 33-36. Available at: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2022/04/INNOVATIONS-AND-PROSPECTS-OF-WORLD-SCIENCE-29-31.03.22.pdf>.
4. Bihun, R., Lytvyn, V., & Oleksiv, N. (2022). *Mathematical modeling of tourism development in territorial communities*. Technology Audit and Production Reserves, 2(2(64)), 21-30. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.254273>.
5. Бігун, Р., & Литвин, В. (2022). *Аналіз індикаторів сталого розвитку туризму у Закарпатській області*, Матеріали III міжнародної конференції «Технології, інструменти та стратегії реалізації наукових досліджень» (Т. 1), Вінниця: Європейська наукова платформа, 121-127. Available at: <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/mcnd/issue/view/15.04.2022/729>.
6. Бігун, Р., & Литвин, В. (2022). *Моделювання процесів розвитку територіальних громад*. Вісник Національного університету «Львівська

політехніка». Серія: «Інформаційні системи та мережі», Випуск 11, 173-186.
doi: <https://doi.org/10.23939/sisn2022.11.173>.

7. Bihun, R., & Lytvyn, V. (2022). *Decision-making support system for territorial communities*. Scientific Papers of Silesian University of Technology – Organization and Management Series, Issue 167, 33-49. doi: <http://dx.doi.org/10.29119/1641-3466.2022.167.2>.

ABSTRACT

Bihun R. R. Decision support system for the development of territorial communities. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 124 "Systems Analysis" – National University "Lviv Polytechnic", Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2023.

Abstract content. The dissertation is devoted to the construction of a system, mathematical methods and software tools for decision-making support to solve the actual scientific and applied task of decision-making support for the development of territorial communities.

The local development of a certain territory is formed under the influence of many criteria. The rapid rate of spread of the process of globalization of the world economy is one of those criteria that significantly influence the formation of new trends and patterns of local development. Analyzing the process of increasing the influence of communities in the economic sector of certain territories, one can notice signs of this criterion. The Ukrainian state also occupies a place among the states whose population has already understood and accepted a high indicator of the importance of communities in direct participation in local development. For the main representatives of communities, the process of decentralization and changes in self-government processes will determine a fundamentally different level of responsibility for development. Consideration of such a concept of development of local communities will shape the transformation of territorial communities from an object of management to a subject of management. And there will also be an opportunity to

independently provide one's own capacity. The idea of forming territorial communities in the future expects them to accept responsibility for their development and economic material security. Such formation of an idea requires the bodies of territorial communities to have a clear understanding of the structure and properties of modern development. It is also expected that the territorial elements of the government will have all the necessary knowledge, skills and experience, which will ensure a sufficient level of competitiveness of the communities.

The experience of developed countries shows that the main prerequisite for successful community development is the unification of territories and resources, in which the state creates the necessary conditions for community development, and they must choose the priorities they need.

The scientific novelty of the obtained results consists in:

- for the first time, a hybrid decision-making support system for the development of territorial communities was developed, which makes it possible to choose the direction of development and analyze the state of the agro-industrial and tourist complex of the territorial community;
- for the first time, a system for choosing the direction of development of territorial communities was built, using the method of analysis of hierarchies and ontological representation of knowledge, which makes it possible to choose a development strategy based on the resources available in the territorial community;
- further developed approaches to solving the problem of optimizing waste collection by using the improved k-means algorithm, the traveling salesman problem and the "branches and boundaries" method, which makes it possible to minimize the length of the route traveled by one garbage truck;
- received further development of the methods of supporting decision-making in the development of the agro-industrial complex by analyzing its key factors, the regulation of which can positively affect the growth of the economic component of territorial communities;

- received further development of decision-making support methods for the development of the tourist complex by analyzing the key factors of tourism development using PLS-PM modeling.

The first section provides an analytical review and the analysis of existing mathematical methods and decision support systems for their possible use in research. The problems of the development of territorial communities were also investigated. The main causes of such social problems as unemployment, poverty and forced labor migration, the decline of social infrastructure, are the government's disregard for the need for progressive changes in the management of the development of territorial communities, and neglect of public opinion and the problems of landowners. An important condition for the normalization of work, the ability to solve various economic problems of the community independently and their further development is the involvement of scientific approaches, one of which is the development of mathematical models of the development of such communities.

In **the second chapter**, a mathematical apparatus was developed and substantiated, which allows a comprehensive analysis of the impact of the development of the agro-industrial sector on the general economic condition of the territorial community. As a result, the obtained multifactorial correlation-regression model in the future can be integrated in the regional administration to forecast the results of the functioning of agriculture in the regions of Ukraine.

The mathematical apparatus that allows the analysis of the main factors influencing the development of the tourism industry, obtained based on the PLS-PM model, was also selected and substantiated. This analysis can be used to successfully solve the problems of sustainable development of the tourism industry of local communities.

The method of analysis of hierarchies was used to build a system of direction of development of territorial communities. It is a mathematical tool of a systematic approach to complex decision-making problems, which uses the method of pairwise comparisons in combination with the method of sequential comparisons. The

decision-maker does not receive a "correct" decision after applying this method but receives an option (alternative) that best corresponds to the understanding of the essence of the problem of the decision requirement. Thanks to the application of the method of analysis of hierarchies, it was possible to obtain a model of the direction of development of the territorial community, depending on the resources belonging to this community.

The section also implements an algorithm for optimizing garbage removal to reduce financial costs in the field of garbage collection and disposal. For this purpose, an improved k-means algorithm was used for the clustering of garbage collection points, the traveling salesman problem, and the "branches and bounds" method for finding optimal paths between and within the clusters themselves. With the help of the constructed algorithm, it was possible to minimize several important values. One of such values is the length of the route traveled by the garbage truck. A decrease in this value indicates a decrease in the costs allocated to ensure the operation of the corresponding vehicle.

The third section highlights the modules of the decision support system (DSS) and analyzes the individual components of the functioning of this system.

The task processing system of the constructed DSS consists of four modules:

- agro-industrial;
- analysis and support of decision-making regarding the development of tourism;
- choosing the direction of development;
- optimization of garbage disposal.

Each module can be used separately if necessary. To do this, the algorithm and method of operation for each part were described using UML diagrams, pseudocode or a simple visualization of the steps of the algorithm or method. The first step is to use the algorithm to optimize garbage disposal. Next, the algorithm for choosing the direction of development of the territorial community is used. If the "Development of agro-industrial production and agricultural processing" direction is selected in the

calculation process, then an agro-industrial module is also used, which analyzes the factors affecting the agro-industrial complex. If the direction "Development of the tourism potential of the community" was chosen, then we build a decision support module for tourism development. Since several directions of development can be chosen, both modules – decision support module for tourism development and agro-industrial complex – can be used.

The fourth section implements a decision support system for the development of local communities using programs and programming languages such as Microsoft Excel, SmartPLS 3, Python, Windows Forms (C #).

The agro-industrial module uses a correlation-regression model and consists of a single component – Microsoft Excel – a spreadsheet processor for working with electronic spreadsheets and data analysis. The use of the Microsoft Excel table processor makes it possible to create not only a correlation-regression model, but also to make forecasts about the general indicators of the economic process and determine the development of enterprises in the future.

Garbage optimization module is written in Python programming language. The first step of this module is finding data on the location of dumpsters and their capacity. This data is then imported into a program that calculates the shortest route for garbage disposal.

The decision support module for tourism development uses SmartPLS software and calculates model parameters and optimizes the model. But first it is necessary to identify the variable models, find the necessary statistics and import the data into the program.

The development direction selection module is written in the C# programming language using the Windows Forms application programming interface. This interface is very convenient for building and using applications that require a graphical user interface.

The section also analyzes the results of software experiments and substantiates the scientific and practical significance of the developed software. The input sample

was formed by real data from the portal of the body of the State Statistics Service of Ukraine, since this national body is responsible for the functioning of the national system of economic and statistical information on the territory of Ukraine.

Key words: unified territorial community, mathematical model, optimization, decision support system, multifactor regression, traveling salesman problem, method of analysis of hierarchies, direction of development, PLS-PM modeling, ontological model.

References

1. Bihun, R., Lytvyn, V., Oleksiv, N. (2021). *Mathematical modeling and analysis of the development of territorial communities*. Technology Audit and Production Reserves, 3 (2 (59)), 6–12. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.232788>.
2. Bihun, R., Lytvyn, V. (2022). *Optimization of garbage removal within a territorial community*. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (3 (115)), 24-30. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252001>.
3. Bihun, R., & Lytvyn, V. (2022). *Algorithm for optimizing garbage removal*. Proceedings of the 8th International scientific and practical conference «Innovations and prospects of world science», (March 29-31, 2022), Perfect Publishing, Vancouver, Canada, 33-36. Available at: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2022/04/INNOVATIONS-AND-PROSPECTS-OF-WORLD-SCIENCE-29-31.03.22.pdf>.
4. Bihun, R., Lytvyn, V., & Oleksiv, N. (2022). *Mathematical modeling of tourism development in territorial communities*. Technology Audit and Production Reserves, 2(2(64)), 21-30. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.254273>.
5. Bihun, R., & Lytvyn, V. (2022). *Analysis of indicators of sustainable tourism development in the Transcarpathian region*, Proceedings of the III International Conference "Technologies, tools and strategies for the implementation of scientific research" (Vol. 1), Vinnytsia: European Scientific Platform, 121-127. Available at: <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/mcnd/issue/view/15.04.2022/729>.

6. Bihun, R., & Lytvyn, V. (2022). *Modeling of Territorial Community Development Processes*. Bulletin of the National University «Lviv Polytechnic». Series: «Information Systems and Networks», №11, 173-186.
doi: <https://doi.org/10.23939/sisn2022.11.173>.
7. Bihun, R., & Lytvyn, V. (2022). *Decision-making support system for territorial communities*. Scientific Papers of Silesian University of Technology – Organization and Management Series, Issue 167, 33-49. doi: <http://dx.doi.org/10.29119/1641-3466.2022.167.2>.

ЗМІСТ

| | |
|---|-----|
| ВСТУП..... | 18 |
| РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ТА ПРОБЛЕМ РОЗВИТКУ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД..... | 25 |
| 1.1. Аналіз методів | 25 |
| 1.2. Аналіз систем..... | 35 |
| 1.3. Проблеми розвитку територіальних громад | 43 |
| Висновки до розділу I..... | 55 |
| РОЗДІЛ 2. ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ РОЗВИТКУ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД..... | 56 |
| 2.1. Математична модель розвитку територіальних громад..... | 57 |
| 2.2. Оптимізація ресурсів для розвитку територіальних громад | 103 |
| Висновки до розділу II..... | 114 |
| РОЗДІЛ 3. МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ФУНКЦІОНУВАННЯ СППР РОЗВИТКУ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД..... | 116 |
| 3.1. Методи функціонування окремих модулів СППР..... | 118 |
| 3.2. Алгоритми функціонування СППР | 122 |
| Висновки до розділу III | 128 |
| РОЗДІЛ 4. РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ РОЗВИТКУ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД..... | 129 |
| 4.1. Структура програмного забезпечення | 129 |
| 4.2. Вхідні дані та очікуваний результат чисельного експерименту | 130 |
| 4.3. Аналіз результатів програмного експерименту | 136 |
| 4.4. Науково-практичне значення розробленого ПЗ | 139 |
| Висновки до розділу IV | 140 |

| | |
|---|-----|
| ВИСНОВКИ..... | 141 |
| СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ..... | 143 |
| ДОДАТОК А СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ТА АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ | 155 |
| ДОДАТОК Б ПРОГРАМНИЙ КОД РЕАЛІЗАЦІЇ ЗАСТОСУНКА ВИБОРУ НАПРЯМУ РОЗВИТКУ | 157 |
| ДОДАТОК В ПРОГРАМНИЙ КОД РЕАЛІЗАЦІЇ ЗАСТОСУНКА ОПТИМІЗАЦІЇ ВИВОЗУ СМІТТЯ | 166 |
| ДОДАТОК Г АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ..... | 173 |

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

СППР – система підтримки прийняття рішень;

ТГ – територіальна громада;

НП – населений пункт;

ОТГ – об'єднана територіальна громада;

ЗБО – задача багатокритеріальної оптимізації

ОПР – особа, що приймає рішення

ПЗС – пункт збору сміття

МНК – метод найменших квадратів

БД – база даних

КПЦ – комплексна цільова програма

ВВП – валовий внутрішній продукт

ВСТУП

На сьогодні ряд зарубіжних країн перебувають на етапі корінних змін у системі регулювання суспільних відносин. У питаннях перспектив для місцевого розвитку децентралізація постала дієвим способом зміни суттєвих характеристик суспільства. Досвід розвинутих країн демонструє, що основою успішного розвитку громад є об'єднання територій та ресурсів, при якому держава створює необхідні умови для розвитку громад, а вже вони самі повинні обирати пріоритети, які їм необхідні.

За основний напрям розвитку української економіки сучасність розглядає збільшення місцевого рівня управління для регіонів та окремих територіальних громад. Такий напрям дозволить зменшити об'єм праці на органи центральної влади шляхом перенесення частини роботи локально. Також такий шлях покращення розвитку управління дає можливість приймати рішення, які найкраще підходять для потреб місцевого населення. Такий підхід є похідним результатом від децентралізації та демократизації.

Політичним силам громад потрібно володіти багатьма навичками для ефективного застосування певних кроків регіональної або місцевої політики. Однією з таких характеристик є здатність формувати відповідність та єдність між поставленими цілями. Пріоритизація завдань на різних рівнях управління органів місцевого самоврядування або органів виконавчої влади відіграє важливу роль для розв'язання ключових проблем розвитку, а також для досягнення довгострокових операційно-стратегічних цілей.

Основним претендентом на основу ефективної системи влади в Україні мають стати спроможні об'єднані територіальні громади. Тому, при створенні нових територіальних громад з новим законодавчим та фінансовим відділом, на відповідні органи влади покладається кілька зобов'язань. Вони мають формувати та пояснювати новоствореній громаді головні пріоритетні сфери розвитку, визначати його маршрут та оголошувати засоби та методи, які

потрібні для його подолання. Створення територіальних громад проходить низку випробувань. До переліку таких викликів належать:

- ускладнене прийняття органами нових громад загальних пріоритетів щодо представлення ключових послуг її представникам. Цей момент пов'язаний з тим, що до зливання громад в одну територіальну кожний орган окремої групи володів власними методами та пріоритетами управління;
- невміння правильно та економічно-обґрунтовано використовувати нові, доступні після об'єднання, ресурси (земельні, територіальні, бюджетні, тощо);
- виникнення питання узгодження різних управлінських питань з багатьма представниками керуючого апарату.

З огляду на такий перелік ускладнень при створенні нових територіальних громад виникають критичні запити стратегій, які б забезпечили правильне планування розвитку новостворених об'єднань. Прийнята стратегія повинна максимально охоплювати всі переваги та доступні ресурси територіальної громади (природні, матеріальні, територіальні та ін.). За такого підходу вибору стратегії правильно організований апарат влади зможе досягти максимального рівня успіху в локальному розвитку.

Для багатьох країн одним з основних доповнень діяльності доходів вважається туризм. Більше того, він становить основну ланку доходу для деяких країн. Останніми роками спостерігається тенденція розвитку туризму як виду діяльності, оскільки саме він забезпечує значну кількість робочих місць, піднімає дохід мікро- так макро- економіки та розвиває національну культуру та економіку. Зростання ВВП, можливість побудови туризму на існуючій інфраструктурі з подальшим її розвитком для стимулювання місцевої торгівлі та його вплив на розвиток інших великих галузей – все це також можна назвати вагомими перевагами туризму. Попри всі надбані результати досліджень, які проводилися останніми десятиліттями в цій галузі, все ще спостерігається

значний зростаючий попит на розгляд питань туризму в сукупності з розглядом бізнес ідей та технічно-економічних можливих реалізацій цих ідей.

Іншим важливим напрямком розвитку територіальних громад є агропромисловий комплекс. За умови ефективного розвитку даного сектору, можна отримати одну з ключових ланок для забезпечення економічної безпеки та стабільності країни. Тому припускається, що агропромисловість може бути також ключовою ланкою розвитку територіальних громад, оскільки сучасність української економіки визнає аграрний сектор як важливий структурний елемент розвитку.

Для розвитку територіальних громад необхідно також оптимізувати такі напрями, як оптимальне управління відходами. Значне зростання темпів глобалізації, погіршення екологічної ситуації впливають на зростання цін на товари та послуги, які виносяться при обговоренні утилізації сміття. Це змушує керівництво територіальних громад і населених пунктів більше цікавитися питанням оптимального вивозу сміття.

Вдосконалення та пошук нових шляхів та методів розвитку територіальних громад стали темою багатьох праць спеціалістів та дослідників, авторами яких є, наприклад, М. Розенхальд, Л. Л. Ламб, І. Парасюк, Н. Єременко, Г. Васильченко. Значна частина проведених досліджень ставили за мету розглянути та дослідити економіку та державне управління територіальних громад. Такий розгляд визначає актуальність та змістовність дослідження завдань, які описують технічні процеси розвитку територіальних громад. Одним з ключових моментів такого розгляду є розробка математичної моделі вищезгаданих задач та методів пошуку їх розв'язку. Побудова таких моделей та знаходження методів її дослідження забезпечує розвиток територіальних громад опираючись на науково-обґрунтований підхід.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Тема дисертації відповідає науковому напрямку «Дослідження, розроблення і впровадження інтелектуальних розподілених інформаційних технологій та

систем на основі ресурсів баз даних, сховищ даних, пристроїв даних та знань з метою прискореного формування інформаційного суспільства» кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету «Львівська політехніка».

Дисертація виконана в межах науково-дослідної роботи кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету «Львівська політехніка» «Методи та засоби функціонування систем підтримки прийняття рішень на основі онтологій» (номер державної реєстрації U0118U000269), терміни виконання роботи: 01.2018–12.2019 рр., а також держбюджетної науково-дослідної роботи «Система підтримки прийняття рішень розпізнавання мультиспектральних образів на основі технологій машинного навчання та онтологічного підходу» (номер державної реєстрації 0120U102203), терміни виконання роботи: 04.2020–12.2021рр.).

Мета і задачі дослідження

Метою дисертації є розроблення системи, математичних моделей, методів та програмних засобів підтримки прийняття рішень розвитку територіальних громад. Для досягнення поставленої мети в роботі потрібно розв'язати такі **задачі**:

- 1) провести аналіз існуючих математичних методів та систем підтримки прийняття рішень для можливого їх застосування у дослідженні розвитку територіальних громад;
- 2) провести аналіз проблем розвитку територіальних громад;
- 3) розробити математичні моделі, методи та алгоритми розвитку територіальних громад;
- 4) розробити та реалізувати систему підтримки прийняття рішень розвитку територіальних громад на основі запропонованих методів.

Об'єкт дослідження – процеси розвитку територіальних громад.

Предмет дослідження – математичні методи та програмні засоби підтримки прийняття рішень розвитку територіальних громад.

Методи дослідження. Дослідження, виконані під час роботи над дисертацією, базувалися на основі використання кореляційно-регресійного аналізу, алгоритму Фаррара-Глобера, методу найменших квадратів для визначення вектору оцінок коефіцієнтів регресії, PLS-PM моделювання, покращеного алгоритму методу *k*-середніх для задач об'ємної кластеризації, задачі комівояжера і методу «гілок та границь», метод аналізу ієрархії.

Наукова новизна одержаних результатів

Наукова новизна одержаних результатів у процесі виконання дисертаційної роботи полягає у такому:

- вперше розроблено гібридну систему підтримки прийняття рішень розвитку територіальних громад, що дає змогу вибрати напрям розвитку та проаналізувати стан агропромислового та туристичного комплексу територіальної громади;
- вперше побудовано систему вибору напрямку розвитку територіальних громад, використовуючи метод аналізу ієрархій та онтологічне подання знань, що дає змогу вибрати стратегію розвитку на основі наявних у територіальній громаді ресурсів;
- дістали подальшого розвитку підходи до вирішення задачі оптимізації збору відходів шляхом використання покращеного алгоритму *k*-середніх, задачі комівояжера і методу «гілок та границь», що дає змогу мінімізувати довжину пройденого маршруту одним сміттєвозом;
- дістали подальшого розвитку методи підтримки прийняття рішень розвитку агропромислового комплексу шляхом аналізу його ключових факторів, регулювання яких може позитивно вплинути на зростання економічної складової територіальних громад;
- дістали подальшого розвитку методи підтримки прийняття рішень розвитку туристичного комплексу шляхом аналізу ключових факторів розвитку туризму за допомогою PLS-PM моделювання.

Практичне значення одержаних результатів

Практична цінність роботи полягає у наступному:

- проаналізовано ключові фактори агропромислового та туристичного комплексу для зростання економічної частини територіальних громад;
- розроблено та впроваджено систему підтримки прийняття рішень розвитку територіальних громад, яка складається з чотирьох модулів: агропромислового, оптимізації вивозу сміття, підтримки прийняття рішень щодо розвитку туризму, вибір напрямку розвитку;
- розроблено математичне та програмне забезпечення функціонування окремих модулів побудованої системи підтримки прийняття рішень розвитку територіальних громад.

Запропонована система та методи прийняття рішень впроваджені у навчальний процес Національного університету «Львівська політехніка», кафедри інформаційних систем та мереж у дисциплінах «Методи оптимізації та дослідження операцій», «Методології системного аналізу», «Моделювання процесів аналізу даних» для студентів освітніх рівнів «бакалавр» та «магістр», спеціальності 124 «Системний аналіз».

Одержані в дисертаційній роботі результати використано під час розроблення прототипу системи та впроваджено у Новояворівській об'єднаній територіальній громаді, а також при виконанні науково-дослідної роботи кафедри «Інформаційні системи та мережі».

Особистий внесок здобувача

Основні положення та результати дисертаційної роботи одержані здобувачем особисто. У друкованих працях, опублікованих у співавторстві, внесок здобувача такий: [1] – математична модель та аналіз розвитку територіальних громад на основі багатфакторної кореляційно-регресійної моделі; [2, 3] – метод оптимізації маршруту збору сміття в об'єднаній

територіальній громаді (або окремого населеного пункту); [4, 5] – математичний апарат для аналізу ключових факторів розвитку туристичного сектору, використовуючи PLS-PM моделювання; [6] – розробка системи вибору напрямку розвитку територіальних громад; [7] – розробка системи підтримки прийняття рішень розвитку територіальних громад.

Апробація результатів дисертації

Основні результати дисертаційної роботи доповідалися на семінарах та конференціях:

- 8th International scientific and practical conference «Innovations and prospects of world science», (March 29-31, 2022, Vancouver, Canada);
- III Міжнародна наукова конференція «Технології, інструменти та стратегії реалізації наукових досліджень» (м. Львів, 15 квітня, 2022 р.);
- наукових семінарах кафедри «Інформаційні системи та мережі» Національного університету «Львівська політехніка» (2019-2022).

Публікації

Основні результати дисертаційної роботи висвітлено в 7 наукових публікаціях, з яких: 3 наукові статті у наукових фахових виданнях України, 1 наукова стаття у науковому виданні, яке включено до міжнародних наукометричних баз даних, що індексується у базі SCOPUS, 1 наукова стаття у науковому періодичному виданні іншої держави, 2 тези доповідей на науково-технічних конференціях міжнародного та державного рівня.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ТА ПРОБЛЕМ РОЗВИТКУ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД

У розділі розглянуто методи і системи підтримки прийняття рішень, проведено аналіз цих методів для можливого їх застосування у дослідженні розвитку територіальних громад. Також досліджено проблеми розвитку територіальних громад.

1.1. Аналіз методів

Методи підтримки прийняття рішень – це методи, які через збір та аналіз даних можуть впливати на процес ухвалення рішень. Такі методи діляться на п'ять груп [8]. Першу групу складають методи, де наперед відома залежність загальної корисності альтернатив від оцінок за окремими критеріями. До другої групи належать методи компенсації, де ми намагаємося урівноважити оцінки однієї альтернативи оцінками іншої, щоб знайти, які оцінки кращі. Третя група – це методи порогів порівняння. Ці методи задають правило порівняння двох альтернатив, за якого одну альтернативу вважають кращою за іншу. До четвертої групи відносять аксіоматичні методи, в яких визначають ряд ознак (аксіом), які повинні задовольняти залежність загальної корисності від оцінок за окремими критеріями. І до останньої групи належать діалогові методи, які застосовуються тоді, коли модель проблеми відома частково.

Розглянемо спочатку один з прямих методів, а саме: метод домінування. Альтернатива $x_i \in A$ називається домінованою, якщо є інша альтернатива $x_j \in A$, яка має не гірші оцінки за всіма критеріями і кращу оцінку хоча б за одним критерієм.

$$x_j > x_i \leftrightarrow (\forall k = 1 \dots m: q_{kj} \geq q_{ki}) \vee (k = 1 \dots m: q_{kj} > q_{ki}),$$

де q_{kj} – оцінка альтернативи за критерієм Q_k . Це правило надає змогу утворити множину недомінованих альтернатив. Цей метод вирізняється очевидністю і

простотою розуміння. Недоліком є його ресурсозатратність, тобто множина недомінованих альтернатив може бути надто великою і тому побудувати цю множину неможливо через ресурсні обмеження.

Методи компенсації дають змогу переходити від порівняння якості за різними критеріями до порівняння альтернатив. Це можна зробити декількома способами. Одним з таких способів є виокремлення побудови кривих байдужості і порівняння різниці оцінок альтернатив за критеріями. Точки байдужості шукають для побудови функції корисності для одного критерію, яка має спільну одиницю вимірювання з функцією корисності за іншим критерієм.

У методах порогів непорівнянності (ЕЛЕКТРА) зв'язок між будь-якою парою альтернатив визначається послідовністю бінарних відношень. Чим «сильніші» відношення, тим більші вимоги ставляться до переваги однієї альтернативи над іншою. На основі вибраного бінарного відношення виконують попарне порівняння всіх альтернатив. Альтернативи, які виявились сильнішими у всіх порівняннях, формують множину «ядро». Коли одна альтернатива має за всіма критеріями не гірші, і хоча б по одному – кращі оцінки, то таке відношення називають відношення повного домінування, яке є найсильнішим відношенням. Множиною Парето називають ядро, яке сформоване за допомогою відношення повного домінування. Після того, як виділили множини Парето, можна задати слабше співвідношення і отримати нове ядро за допомогою методу порогів непорівнянності. Нове ядро буде містити вже меншу кількість альтернатив. Цей процес продовжується доти, доки не досягнуть задану кількість елементів. За умов слабкої структурованості методи порогів непорівнянності дають змогу переходити від прямих критеріальних оцінок до порівняльних, але необхідність мати точні прямі оцінки сильно звужує галузь застосування.

Аксіоматичні методи використовують інформацію про критеріальні оцінки альтернатив, які агрегуються у комплексну оцінку корисності. В основі аксіоматичних методів прийняття рішень покладено обґрунтування певних

властивостей агрегуючої функції (скалярної функції корисності від векторного аргументу критеріальних оцінок). Ці властивості задаються системою аксіом. Перевірка справедливості аксіом для цієї задачі прийняття рішень дає змогу використовувати певну форму функції корисності:

$$u_i = U(q_{i1}, q_{i2}, \dots, q_{im}),$$

де u_i – комплексна корисність альтернативи x_i ; q_{i1} – корисність альтернативи x_i за критерієм Q_j ; U – функція корисності.

Аксиоматичні методи можна поділити на дві групи:

- теорія корисності (оцінки альтернатив за критерієм відомі);
- теорія очікування корисності (оцінки альтернатив задані у вигляді функції розподілу ймовірностей).

В умовах слабкої структурованості аксиоматичні методи варто розглядати лише як обґрунтування можливості використання інших методів оцінювання багатоаспектних альтернатив залежно від деяких постульованих для задачі прийняття рішень параметрів (транзитивність, незалежність і тощо).

Існують також двійники аксиоматичних методів, які беруть за основу інформацію про критеріальні оцінки альтернатив і оцінки важливості критеріїв. Це такі методи, як:

- метод зваженої суми;
- мультиплікативний метод;
- лексикографічне впорядкування критеріїв.

Ці методи мають обмежене застосування через те, що потрібно точно задавати значення оцінок.

Найгнучкішими методами пошуку розв'язку багатокритеріальних задач вважають діалогові методи. Головною ознакою таких методів є участь у процесі розв'язування децидента (висока посадова особа, від якої залежить вирішення питання), а це дає змогу скоригувати перебіг розв'язування та врахувати деякі неформальні моменти. Такі методи відрізняються характером

моделі (наприклад, лінійна); типом інформації, яким апіорі користується децидент; способом отримання інформації від децидента.

Основні методи прийняття рішень в умовах невизначеності.

Невизначеність виникає у відкритих завданнях прийняття рішень, у яких особа, що приймає рішення (ОПР) не знає всієї сукупності чинників, що діють. Спочатку формують множину гіпотез. Потім оцінюють. Ситуація невизначеності характеризується тим, що вибір конкретного плану дій може зумовити будь-який результат із певної множини варіантів, але ймовірність впливу випадкових факторів невідома.

До основних методів прийняття рішень в умовах невизначеності належать [8]:

- матричні;
- теорія ігор;
- дерева рішень;
- аналітично-систематизаційні;
- ділові ігри;
- групові.

Матричний метод оцінювання є одним з багатьох простих методів, які використовуються для оцінки наслідків реалізації рішень. Суть методу полягає у використанні матриці, яка будується на основі всіх можливих майбутніх наслідків. Розглядаються як позитивні, так і негативні наслідки. Для того, щоб розрахувати ефективність деякого рішення, використовують множення ймовірності настання деякого випадку на відповідне його значення у складі всіх можливих випадків, що відбудуться внаслідок реалізації певного рішення. Користь використання такого типу матриці полягає в тому, що розглядається досить багато альтернативних наслідків рішень. Проте, побудована таким чином матриця, не дає гарантії, що вибраний варіант рішення матиме високий відсоток точності. Це пов'язано з тим, що під час її складання є ймовірність

допущення похибки при оцінюванні важливості події чи ймовірності її настання.

Розділ математичної теорії, який розглядає задачі, типові для військової справи, конкурентної боротьби і т. п., називається теорією ігор. Іншими словами, цей розділ – це математична теорія ситуацій, у яких зіткнулися інтереси двох або більше сторін, які мають різні цілі. Метою ігрового прийняття рішення є врахування можливої поведінки конфліктних сторін та визначення стратегії, яку має застосувати розумний гравець у конфлікті з розумним суперником, для того, щоб гарантувати кожному з них виграш. Крім цього, відхилення будь-якого з гравців від обраної оптимальної стратегії тільки зменшить його виграш.

Використання елементів теорії графів та теорії ймовірності для графічної побудови різних варіантів дій, які можна запропонувати для вирішення існуючих проблем, описують роботу метода дерева рішень.

В аналітично-систематизованому методі прийняття рішень кінцевим етапом є системний аналіз, який описується такою послідовністю кроків:

- 1) знаходження приводу для рішення, тобто визначення мети;
- 2) визначення предмету рішення;
- 3) класифікація та оцінювання цільової установки;
- 4) розробка та зваження альтернативи;
- 5) виявлення негативних наслідків та ризиків, оцінювання їхніх ймовірностей та важливості;
- 6) прийняття остаточного рішення.

Імітація діяльності керівників і можливість передбачення причин, що змінюють ситуацію в організації, описується діловою грою. Головна перевага такої гри – практична форма набуття досвіду. В такому напрямку гри відсутні протиріччя між абстрактним характером навчального предмета і реальним характером професійної діяльності. Також гра характеризується відсутністю протиріч в системному характері використовуваних знань та їх приналежності

до різних дисциплін. Ділова гра – це формулювання установок професійної діяльності з легким додаванням стереотипів та коригуванням самооцінки. Порівняно з традиційними методами, які передбачають домінування інтелектуальної сфери, у грі проявляється особистість. Однак ділові ігри мають ряд обмежень, серед яких основними є:

1) через відсутність методично проробленого способу розгортання будь-якої професійної діяльності в грі багато гравців насправді «не грають»;

2) застосування власних принципів створення гри кожним автором не дає змоги використовувати такі розробки в широкій практиці.

Груповий метод має в основі створення груп для прийняття важливих рішень деякими конкретними організаціями. Основною ідеєю такого створення є те, що група не може існувати як єдине ціле без єдиних підходів та думок з принципових питань. В такому методі оптимальним для всіх способом розв'язання важливого завдання є групова думка, яка може бути сформована різними способами. Питанням чи завжди групові рішення є кращими за індивідуальні, як об'єднуються індивідуальні думки в єдине рішення, та які наслідки спільні рішення приносять для групи в цілому та для індивідів групи, задається соціальна психологія. Сам процес прийняття групового рішення цей напрям психології розглядає в двох аспектах: теоретичному та практичному. До переваг групового рішення можна віднести:

1) стереотипи мислення руйнуються швидше і легше;

2) у групі наявне більш широке коло знань та інформації – отже більше ресурсів для кращого розуміння поточного питання;

3) відповідальність за прийняте рішення лягає на плечі всієї групи, а не конкретної особи;

4) відсутність певного суб'єктивізму в рішенні, що дає можливість для більш адекватного розуміння суті питання.

До недоліків відносять:

1) нездатність прийти чи прийти швидко до певного рішення, коли є явне розходження думок та поглядів;

2) прийняття компромісів, які не завжди актуально описують рішення проблеми;

3) потреба у часі для прийняття та узгодження всіх думок індивідів групи – прийняття рішень може займати багато часу;

4) є ймовірність наявності примусу та тиску з боку одних індивідів на інших з метою нав'язати якусь конкретну ідею.

Цільові методи підтримки прийняття рішень [9].

Актуальність багатокритеріальних методів оцінки альтернатив при підтримці прийняття рішень можлива тільки при виконанні двох необхідних умов. До таких умов належить:

1) можливість побудови єдиної множини критеріїв, за кожним з яких може бути оцінена кожна альтернатива;

2) особа, що приймає рішення (ОПР) «володіє проблемою».

Відомі багатокритеріальні методи підтримки прийняття рішень не можуть бути застосовані через те, що принаймні одна з перелічених умов не виконується при прийнятті рішень щодо побудови складних комплексних цільових програм (КПЦ). Різноманітність альтернатив – одна з характерних ознак таких КПЦ. Визначення для кожного проекту ступеня досягнення головної цілі КПЦ, обумовленого повним виконанням цього проекту, є єдиним можливим способом порівняльної оцінки ефективності проектів.

Методи підтримки прийняття рішень з урахуванням досвіду особи, що приймає рішення [9].

Підвищення якості рішень, що приймаються, є можливим, як вже було згадано, з урахуванням досвіду ОПР. Варто зауважити, що таке покращення можливе, якщо умови, за яких приймаються рішення, є стаціонарними та система переваг ОПР залишається незмінною. Також варто зауважити, що обсяг попередніх рішень такого ж ґатунку, що і рішення, яке приймається, є достатньо

великим. Якщо такі зобов'язання виконуються, то з'являється можливість відшукати ваги відносної важливості альтернатив, базуючись на основі досвіду, а не тільки шляхом експертного оцінювання їхніх значень.

Існує багато популярних методів у СППР, які використовують інформаційні технології, включаючи аналіз і вироблення альтернатив. Одними з ключових таких методів можна назвати наступні:

- інформаційний пошук;
- інтелектуальний аналіз даних;
- витяг (пошук) знань в базах даних;
- міркування на основі прецедентів;
- імітаційне моделювання;
- генетичні алгоритми;
- штучні нейронні мережі;
- штучний інтелект.

Наука, яка вивчає процес пошуку неструктурованої документальної інформації, називається інформаційним пошуком (informational retrieval). Цей термін вперше був озвучений Кельвіном Мкром в 1948р. Послідовність операцій, спрямованих на збір, обробку та надання необхідної інформації зацікавленим особам є елементом процесу пошуку. В загальному пошук інформації складається з кількох етапів:

- 1) визначення чи уточнення інформаційної потреби і формулювання інформаційного запиту;
- 2) визначення сукупності можливих джерел конкретної інформації (інформаційних масивів);
- 3) отримання інформації із знайдених інформаційних масивів;
- 4) ознайомлення з результатами пошуку та їх оцінювання.

Інформаційний пошук може бути здійснений по декількох напрямках. Повнотекстовий напрям означає пошук по всьому наявному документу. Пошуку по метаданим – за деякими атрибутами документа, які є підтримувані системою

(назва документа, дата створення, розмір, автор і т. д). Ще одним напрямом є пошук по зображенню – за змістом зображення.

Сукупність методів для здійснення інформаційного пошуку також є різноманітною. До такої сукупності входять:

- адресний метод – пошук документів чітко за сформованим запитом (чисто формальні ознаки);
- семантичний – пошук за змістом;
- документальний – пошук у сховищі інформаційно-пошукових систем первинних документів або в базі даних вторинних документів, що відповідають запиту;
- фактографічний – пошук фактів, які відповідають інформаційним запитом.

Інтелектуальним аналізом даних (data mining) називають виявлення взаємозв'язків та/або закономірностей між змінними у великих масивах необроблених даних. Термін був введений вперше у 1989 році Г. П'ятецький-Шапіро. Такий тип аналізу дає можливість знайти вирішення різноманітного кола завдань. Прикладом таких задач можуть бути задачі класифікації, моделювання та прогнозування, кластеризації, скорочення опису, асоціації, аналізу відхилень, візуалізації тощо.

Пошук знань в базах даних (knowledge discovery in databases) є процесом виявлення ряду інформаційних знань в базах даних. Такими знаннями можна назвати закономірності, правила, прогнози та зв'язки між елементами даних. Для користування таким пошуком використовують аналітичні технології data mining. Процес вилучення знань з бази передбачає виконання послідовності операцій, необхідних для підтримки аналітичного процесу. Такими операціями є консолідація та валідація даних, очистка даних від факторів, які не несуть потрібної інформації, оптимізація даних для вирішення певної задачі, інтерпретація отриманих результатів з їх подальшою візуалізацією та можливе їхнє застосування в бізнес-додатках.

Міркування на основі прецедентів (case-based reasoning) – ще один метод підтримки прийняття рішень за допомогою інформаційних технологій. Підхід, що використовує в основі прецеденти, дає можливість вирішити нову задачу, використовуючи або адаптуючи рішення вже відомої задачі. Для його реалізації, як правило, використовують чотири основні етапи. Ці етапи утворюють послідовність дій, яку називають циклом міркування на основі прецедентів або CBR-циклом. Для того, щоб вилучити прецедентів та їх модифікацій, розроблено цілий ряд різних методів. Найпопулярнішими є метод найближчого сусіда, метод вилучення прецедентів на основі дерев рішень та на основі знань. Також до таких методів належить метод вилучення прецедентів з урахування їх застосовності та апарат штучних нейронних мереж.

Під імітаційним моделюванням розуміють метод підтримки прийняття рішень, який дає змогу будувати моделі, що описують процеси так, як вони б проходили у дійсності. Таку побудовану модель можна використати для багатьох сценаріїв подій. Результати будуть визначені випадковим характером процесів. Такий підхід дає змогу отримати достатньо стійку статистику. Імітаційне моделювання може бути:

- агентне - використовується для дослідження децентралізованих систем;
- дискретно-подієве – використовує абстрагування від безперервної природи подій, розглядає тільки основні події модельованої системи, такі як «очікування», «обробка замовлення», «рух з вантажем» та ін.;
- системна динаміка – будують графічні діаграми для досліджуваної системи, які показують причинні зв'язки і глобальні впливи одних параметрів на інші в часі, які надалі використовуються для побудови моделі, яка імітується на комп'ютері.

Відомими системами імітаційного моделювання є AnyLogic, Arena, eM-Plant, Powersim, GPSS.

До відомих методів алгоритму пошуку, який широко використовують для пошуку відповідей до питань задач оптимізації та моделювання, також

належить генетичний метод. Такий метод передбачає пошук шляхом послідовного підбору, комбінування та варіації потрібних параметрів із застосуванням механізмів, які теоретично описують біологічну еволюцію. Цей алгоритм є варіацією еволюційних обчислень (evolutionary computation). Його відмінною ознакою є наголос на використанні оператора «схрещування», який відповідає за процес рекомбінації рішень-кандидатів. Такий процес має паралель в живій природі, а саме – роль схрещування. Генетичні методи є потужним засобом пошуку рішень в об'ємних та складних просторах пошуку.

Штучний інтелект (artificial intelligence) – наука про розробку інтелектуальних систем та комп'ютерних програм, головною метою яких є розуміння людського інтелекту. Зауважимо, що використовувані методи не обов'язково повинні бути біологічно обґрунтовані. Оскільки досліджено тільки деякі механізми інтелекту, то є певні обмеження щодо розуміння цього поняття. Тому в межах науки під штучним інтелектом мають на увазі тільки обчислювальну частину здатності досягати цілей у світі. Якщо в СППР використовують методи штучного інтелекту, то говорять про інтелектуальну СППР.

В інтелектуальних системах також використовують методи опрацювання інформаційних ресурсів, до яких належать такі методи, як: формування текстового контенту, оперативного управління текстовим контентом та супроводу текстового контенту [10]. Ці методи дають змогу скоротити цикл виробництва (формування, управління, супровід) та економії часу в поширенні текстового контенту.

1.2. Аналіз систем

Архітектура будови систем прийняття рішень зазвичай складається з наступних елементів [11]:

- 1) лінгвістичної системи;
- 2) системи подання даних та інформації;

3) системи обробки задач;

4) системи обробки задач конкретних областей та системи знань.

Конкретна СППР складається з чотирьох елементів, які вказані вище, і з додаткових особливостей цієї системи для врахування її вимог (якщо такі особливості подані додатково).

Рис. 1.1. схематично візуалізує взаємодію елементів і структури системи підтримки прийняття рішень.

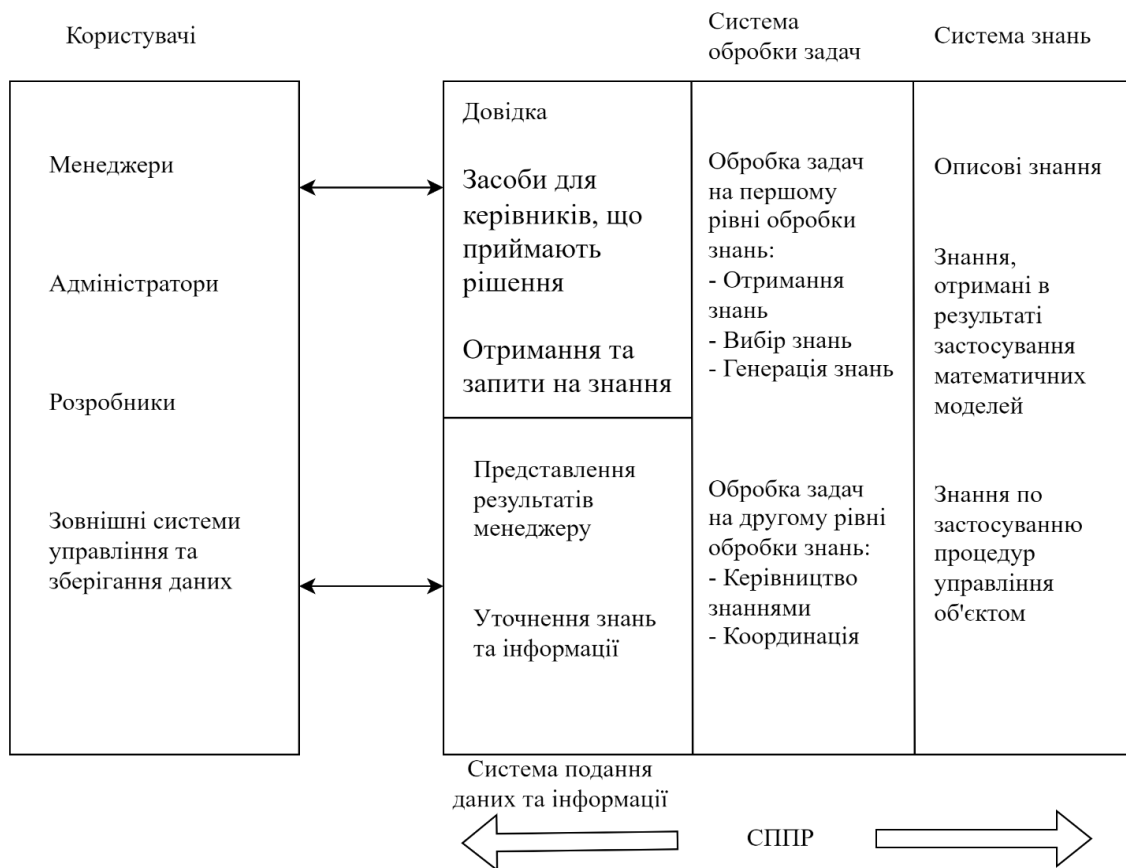


Рис. 1.1. Архітектура системи підтримки прийняття рішень

Інформаційні системи підтримки прийняття рішень можна класифікувати так [12]:

- текстові;
- гіпертекстові;
- орієнтовані на використання баз даних та сховищ даних;
- табличні;

- орієнтовані на моделі;
- СППР, які використовують штучний інтелект;
- гібридні;
- групові.

Проведемо короткий опис кожного пункту.

Текстові СППР.

Інженери, менеджери та девелопери користуються текстовою інформацією, як базою даних для прийняття рішень. Ця інформація збирається, обробляється в текстовому вигляді, і належить до текстових СППР, яка займає вагомe місце в сучасних інформаційних системах. Новітні системи мають здатність до інтелектуального аналізу тексту та виокремлення нових фактів, які необхідні для розв'язку задачі управління.

Гіпертекстові, Web орієнтовані СППР.

Сучасні системи обробки текстової інформації спираються на електронну обробку тексту. Такий тип обробки потребує деякої стандартизації. Також він вимагає представлення інформації у такому вигляді, в якому вона могла би бути оброблена спеціальними програмами незалежних виробників. Завдяки цим вимогам і з'явився гіпертекст – текст для перегляду на комп'ютері для обміну інформацією. Гіпертекст дає змогу зв'язати багато документів, які пов'язані один з одним за змістом, використовуючи посилання. А розвиток Інтернету надав більших можливостей гіпертекстовим СППР, які зараз орієнтуються на Web.

Web-системи підтримки прийняття рішень – це такі СППР, які доступні в Інтернеті. Web орієнтовані СППР ідентифікуються за наступними критеріями:

- зручний доступ в Інтернеті;
- підтримують прийняття рішень окремих осіб, клієнтів, співробітників, менеджерів, незалежно від їх фізичного розташування або часу доступу;
- мають спеціальний інтерфейс користувача, властивий для Інтернет додатків;

- використовують процеси прийняття рішень, які частково структуровані або неструктуровані і на різних етапах процесу прийняття рішень можуть бути виконані в Інтернеті;

- використовують досвід, бази знань, документи, моделі та методи пошуку знань, великої і різноманітної групи користувачів, які є доступними через Інтернет.

Діапазон застосування Web орієнтованих СППР дуже широкий і включає різні види діяльності, такі як: комерційна, біржова, виробнича, наукова і культурна.

СППР орієнтовані на використання баз даних та сховищ даних.

Даний тип СППР пов'язаний з використанням реляційних баз і сховищ даних. Реляційні бази – це такі бази, які сформовані на основі відношень – таблиць, які мають зв'язки між собою. Побудова таблиць базується правилами нормалізації баз даних і використовує мову SQL (Structured Query Language) – мова програмування для взаємодії користувача з базами даних. Архітектура таких баз, в основному, будується системним архітектором.

Існують і «сховища даних» – спеціальний клас систем баз даних, який являє собою велику колекцію даних з декількох інтегрованих операційних систем, орієнтованих на конкретну предметну область. Вміст сховища постійно нагромаджується і ніколи не оновлюється, не переписується і не видаляється. Це зумовлено тому, що сховища даних задумані для підвищення продуктивності СППР і можуть мати вигляд реляційної або багатовимірної бази даних.

Табличні СППР.

Оскільки СППР використовують бази даних, а ті в свою чергу складаються з таблиць, то є і спеціально відведені системи, які називаються табличні. Вони дають змогу не тільки створювати, відображати, коригувати таблиці, але і виконувати інтелектуальну обробку даних, які містяться у цих таблицях. Тим

самим користувачі отримують більше можливостей, порівняно з текстовими чи орієнтованими на використання баз даних СППР.

У таблиці можна занести константи, формули, а також посилання. Табличні СППР використовують для аналізу роботи підприємства, тенденцій розвитку ринку, прогнозування, статистичного аналізу даних, кластерного аналізу.

Орієнтовані на моделі СППР.

В основі побудови таких типів СППР лежить ідея групування різних пошуків рішення. Оголошену в моделі проблему такі рішення розв'язують послідовно або паралельно. При цьому користувачу доступна панель керування процесом у вигляді можливостей коригувати або змінювати моделі та вибирати різний сценарій пошуку в процесі розв'язання задачі. Результати, отримані при завершенні процесу побудови СППР, зберігаються як шаблони, які використовують для подальших досліджень.

СППР, які орієнтовані на моделі, використовуються для моделювання складних систем управління. На сьогодні, такі моделі використовують системи SAP і ORACAL.

СППР, які використовують штучний інтелект.

Такі СППР базуються на використанні штучного інтелекту, який використовує методи і алгоритми, які роблять висновки та пропозиції на основі обчислень за спеціальними методами і програмами на комп'ютері. Комп'ютер сам може робити висновок чи рішення правильне чи ні. Він також може слідкувати і аналізувати причинно-наслідкові зв'язки між факторами процесу прийняття рішень.

У систему можна закласти декілька алгоритмів штучного інтелекту, щоб зробити систему гнучкішою і здатною вирішувати складніші проблеми.

Інша назва таких систем – експертні системи, оскільки вони моделюють поведінку експерта при прийнятті рішення. Це корисно тоді, коли не має

експертів в тій чи іншій галузі управління. Перевагою штучного інтелекту є його цілодобова доступність і безконфліктність.

Гібридні СППР.

Гібридні СППР – це комбінація розглянутих вище систем. Більшість систем підтримки прийняття рішень, які зараз використовуються, є гібридними системами.

На рис. 1.2 показана структура гібридної системи підтримки прийняття рішення.

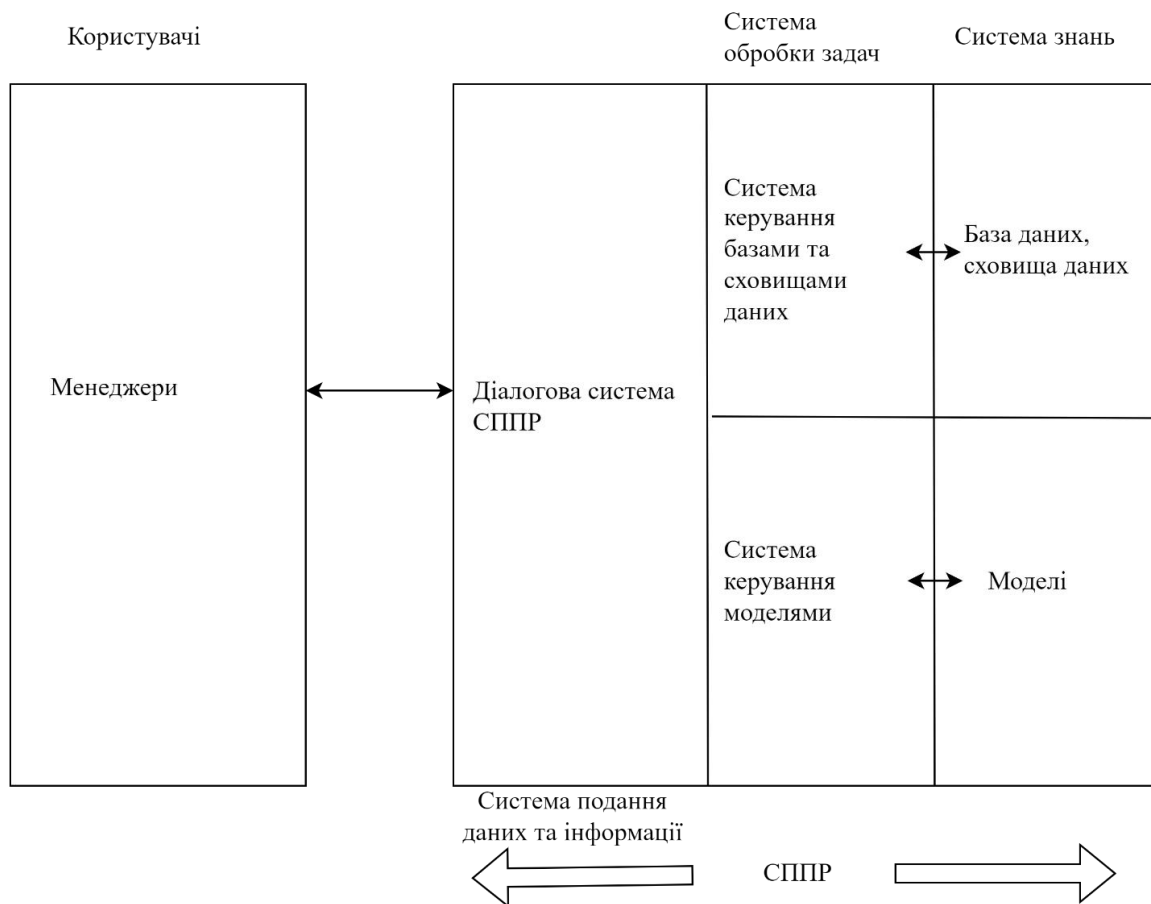


Рис. 1.2. Структура гібридної системи СППР

Такі системи мають за ідею мінімізувати ряд негативних сторін та виділити привабливі сторони системи, що можуть бути скомбінованими. Інтеграція СППР передбачає два основні підходи: гніздування та синергія. Ідея підходу гніздування базується на трансфері вкладеної системи до системи, яка

прийняла цю підсистему. Наприклад, Microsoft Word може використовувати деякі властивості таблиці Microsoft Excel, яка вкладена в документ Word. Синергетичний підхід такої ідеї не має вкладень. В ньому всі методи СППР поєднанні в один інструмент, який забезпечує або їхнє незалежне один від одного використання, або використання певного набору методів в сукупності однієї операції.

Групові СППР.

Групова система підтримки прийняття рішень – це інформаційна система, що допомагає прийняти рішення групі людей, що мають спільне завдання та ціль, і яка забезпечує інтерфейс до загальнодоступного інформаційного середовища. Групові СППР використовують технології хмарного програмного забезпечення, системи керування моделями та БД, систему керування інтерфейсом користувача, систему керування поштою. Також такі СППР можуть використовувати різні моделі і функції управління моделями, які є необхідними, щоб задовольнити потреби всіх учасників групи. Групова система підтримки прийняття рішень має бути зручною.

Також СППР можна поділити на декілька поколінь розвитку [12]: перше покоління – з 1970 до 1980 р., друге – з 1980 р. до середини 90-х років, третє – з середини 90-х років ХХ ст. і донині.

СППР першого покоління мають такі основні характеристики:

- керування даними – велика кількість інформації, бази даних;
- керування обчисленнями – моделі розроблялися фахівцями в галузі інформатики для спеціальних проблем;
- користувацький інтерфейс – мови програмування для великих електро-обчислювальних машин, що використовуються тільки програмістами.

СППР другого покоління мають нові властивості:

- керування даними – необхідна і достатня кількість інформації відповідно до сприйняття ОПР;

- керування обчисленнями – гнучкі моделі, що відповідають способу мислення ОПР;
- інтерфейс користувача – зручний користувачу, безпосередня робота кінцевого користувача.

Основними цілями другого покоління є:

- допомога ОПР у розумінні проблеми, що полягає в її структуризації, генеруванні постановок задач і формування критеріїв;
- допомога у вирішенні задачі, суть якої полягає в генеруванні і/або виборі моделей і методів прийняття рішень;
- допомога в аналізі результатів, тобто проведення аналізу типу «Що буде..., якщо... », пошук і видача аналогічних рішень у минулому і їхніх наслідках.

Третє покоління відрізняється від другого лише тим, що додалися нові можливості завдяки методів штучного інтелекту та інформаційних технологій, як: сховища даних та OLAP-системи. Сховища даних дають змогу аналізувати великі об'єми даних для вибору раціонального рішення. OLAP-системи дають змогу швидше маніпулювати великими базами даних для дослідження різних показників бізнесової діяльності.

Наведемо властивості сучасних комп'ютерних систем підтримки прийняття рішень [13]:

1. СППР надає ОПР допомогу в процесі прийняття рішень і забезпечує підтримку у всьому спектрі різних типів структурованих, неструктурованих і напівструктурованих завдань. Згенерована комп'ютером інформація разом з людським розумом створюють єдине ціле для прийняття рішень.
2. СППР підтримує і підсилює (але не замінює і не відмінює) судження та оцінки керівника. Контроль лишається за людиною.
3. СППР покращує ефективність прийняття рішень, а не лише продуктивність ОПР.

4. СППР інтегрує моделі та аналітичні методи зі стандартним доступом до даних і вибіркою даних. Для допомоги у прийнятті рішень активізуються одна або декілька моделей (математичних, статистичних, імітаційних, кількісних, якісних або комбінованих).
5. СППР є зрозумілим навіть для осіб, які не мають багато досвіду використання ЕОМ. Системи є зрозумілими користувачам і добре задокументовані.
6. СППР побудована за принципом інтерактивного розв'язування завдань. ОПР може підтримувати комунікацію з СППР у постійному режимі, а не обмежуватися введенням певних команд з наступним очікуванням результатів.
7. СППР є гнучкою та адаптивною і може пристосуватися до змін у середовищі чи в підході до розв'язування задач, які обирає ОПР. У свою чергу, ОПР теж має адаптуватися до змінюваних умов і підготувати систему.
8. СППР не має нав'язувати ОПР процесу прийняття рішень. ОПР має мати різні можливості, щоб обирати їх у формі та послідовності, які відповідають його стилю «уявлених моделей».

1.3. Проблеми розвитку територіальних громад

Об'єднаною територіальною громадою (ОТГ) називають добровільне об'єднання органів самоврядування декількох адміністративних одиниць.

Територіальна громада (ТГ) – мешканці сіл, селищ та міст які мають спільну самостійну адміністративно-територіальну одиницю проживання. Об'єднані під добровільною згодою жителів села, які мають спільний адміністративний центр [14], також утворюють територіальну громаду.

Верховною Радою було ухвалено Закон України № 157 від 5 лютого 2015 року «Про добровільне об'єднання територіальних громад» [15], а урядом було

прийнято Методику формування спроможних територіальних громад (постанова Кабінету Міністрів України № 214 від 8 квітня 2015 року) [16].

Уже з січня 2017 року в Україні налічувалось 366 ОТГ, в які об'єдналось 1740 територіальних одиниць, у яких відбулися перші вибори місцевої влади. 2017 рік приніс формування та прийняття ряду законів, метою яких було врегулювати проблемні питання об'єднання та формування. Перші вибори місцевого керуючого апарату у новостворених ОТГ відбулися 30 квітня 2017 року у 47 об'єднаних територіальних громадах. А середина червня 2020 року в Україні вже описувалася з 1469 об'єднаними територіальними громадами, в яких мали місце перші місцеві вибори [17].

Таким чином динаміка процесів формування та розвитку об'єднаних територіальних громад в Україні показала досить хороші показники. Однак, подальша реалізація різних реформ стикнеться з перепонами через існуючі не вирішені оперативні та стратегічні проблеми. Зокрема, серед таких проблемних питань, можна відзначити [18]:

1) Відсутність завершеності у перспективних планах формування територіальних громад. У зв'язку з цим велика кількість ОТГ побудовані без врахування вимог Методики щодо їх створення [16]. Також цю проблему яскраво виражено у деяких ОТГ, які були створені задля отримання додаткових ресурсів та повноважень, але які нездатні забезпечити своїх жителів відповідним рівнем послуг. Відсутність ресурсів належної якості у таких громадах унеможливорює сталий розвиток їх населення.

2) Відсутність правильно спланованих високоякісних інвестиційних проектів та нездатність розробити чіткі високоякісні інвестиційні проекти з метою отримання міжнародних коштів. Це спричиняє неефективне використання фінансових засобів територіальних громад [19].

3) Відсутність підтримки місцевих рад, районних адміністрацій через страх втрати ними робочих повноважень чи місця, тому протидіють створенню ОТГ.

У той же час місцеві ради не хочуть втратити свій вплив на районні чи селищні ради.

4) Відсутність врегулювання ефективного розподілу повноважень та функцій між районними адміністраціями та місцевими радами ОТГ. Через відсутність офіційної позиції моделі всіх рівнів територіального устрою також виникають протиріччя між органами місцевої влади та адміністративних районів, які створюються. В таких ситуаціях виникає низка проблем щодо розподілу повноважень.

5) Неналежний рівень кваліфікації представників керівного апарату та службовців в цілому. Відсутність забезпечення відповідними кваліфікаційними курсами, а також відсутність достатнього кадрового забезпечення апарату місцевого самоврядування. Дефіцит висококваліфікованого кадрового забезпечення підвищує рівень неефективності при використанні ресурсів та фінансів. Також відсутність професіоналів у керівному апараті провокує неспроможність освоєння держаних коштів. В такому випадку ОТГ не готові для впровадження якісного стратегічно обдуманого планування розвитку громад.

6) Недостатній рівень якості надання різних пакетів послуг, наприклад, соціальних та адміністративних.

Також варто згадати про недостатність уваги, приділеної до питання контролю за законністю прийнятих рішень, яка в свою чергу має високий рівень актуальності. Це пов'язано з тим, що існують дуже великі корупційні ризики стосовно використання та витрат виділених державних коштів. Стаття 64 Бюджетного кодексу України [20] на законному рівні стимулює процес об'єднання територіальних громад відповідного до деякого перспективно розробленого плану. В ній об'єднано визначення таких важливих елементів, як склад доходів об'єднаних територіальних громад, які створені відповідно до Закону №157 та перспективний план утворення території громад. Утворений таким чином дохід значною мірою відрізняється від доходів інших місцевих

територіальних одиниць. Додатковим фінансовим джерелом для ОТГ є кошти держаного фонду регіонального розвитку для реалізації інвестиційних проектів. Також допоміжним ресурсом з фінансами є міжнародні проекти та програми підтримки децентралізації в Україні.

Фінансова підтримка вже давно є одним з найважливіших питань стимулювання об'єднання територіальних громад. Стаття 24-1 Бюджетного кодексу України [20] каже, що така фінансова підтримка відбувається у формі субвенцій для формування інфраструктури згідно зі стратегічними програмами розвитку територій.

Через те, що влада ігнорує прогресивні зміни в управлінні розвитком територіальних громад, а також нехтує громадською думкою та проблем власників земель, ми бачимо такі проблеми, як бідність, безробіття, вимушена трудова міграція, занепад соціальної інфраструктури та інші. Саме тому необхідним є залучення наукових підходів та розробки математичних моделей розвитку громад для можливості вирішення різних економічних проблем громадою самостійно та подальшого її процвітання.

Наукові праці В. Бабаєва, І. Козюри, В. Куйбіді, А. Лазора, В. Мамонової, І. Санжаровського, Ю. Свірського, І. О. Кресіної, В.І. Шарія та багато інших наукових діячів зосереджені саме на питання розвитку територіальних громад. Чимало робіт беруть за основу побудову алгоритмів з використанням природних систем (такі, як ройові алгоритми) для різних прикладних задач. Зокрема у роботі [21] задача розбиття графу використовується для побудови збалансованих дерев. А у [22] такі математичні моделі використовують для задач кластеризації.

Дослідження роботи [23] дають можливість зробити висновок, що сучасні вітчизняні ідеї про зберігання, раціональне використання, а також про збільшення частки власного ресурсного потенціалу територіальної громади, широко охоплюють одні з найкращих світових досягнень та вітчизняних напрацювань, здобутих за часи незалежності. Однак простір досліджень

стосовно збереження, оптимального використання та збільшення рівня ресурсного потенціалу громади в подальшому, залишається доволі громіздким для вітчизняних наукових досліджень. Результати таких досліджень дадуть відповіді на багато питань, одним з яких є, для прикладу, питання екологічної безпеки.

Робота [24] містить дослідження апарату фінансової децентралізації разом з його перевагами та недоліками. Ще одним досягненням було дослідження процесу формування дохідної частини локальних бюджетів, яке було проведено з умовою, що таке формування має місце в умовах децентралізації та відбулося за рахунок податкових чи неподаткових надходжень. Міжбюджетні трансфери враховані не були. А у роботі [25] розглянуто питання фінансового стимулювання розвитку об'єднаних територіальних громад в умовах продовження реформи децентралізації. Показано роль фінансово-бюджетної складової децентралізації управління на місцевому рівні. Проаналізовано окремі показники виконання місцевих бюджетів об'єднаних територіальних громад в усіх областях України. Сформовано умови ефективного виконання власних та делегованих повноважень органами місцевого самоврядування.

Для успішного розвитку регіонів потрібні визначеність і наявність консолідуючих ідей з приводу майбутнього. Це важливі потреби бізнесу і суспільства, які задовольняються через механізм територіального соціально-економічного планування, перш за все, стратегічного планування. У роботі [26] розглянуто поняття стратегічного управління, описані відмінності стратегічного і поточного управління на прикладі управління галузями соціального блоку. Досліджено сутність управління територіальним господарством регіону, а також питання реалізації життєзабезпечення і соціального обслуговування населення, вдосконалення територіального господарства в цілому, придбання їм нових якісних характеристик більш високого рівня.

На прикладі Латвії, у [27] проаналізовано структурну схему оцінювання територіального стану розвитку, розроблену раніше, оцінюючи цей стан розвитку статистичних регіонів країни. Аналіз показав, що неможливо зробити однозначні висновки щодо рівня їх розвитку, оскільки кожен регіон Латвії має свою якість або суть розвитку.

Наукові доробки у [28, 29] розкривають широке коло питань, серед яких дослідження сутності поняття «децентралізація публічної влади», її види та форми, принципи реалізації, оцінювання моделей децентралізації, алгоритм реалізації реформи тощо. У той же час деякі питання залишаються не вирішеними як у теоретичному, так і методологічному аспектах, а тому обумовлюють необхідність подальшого дослідження та пошук шляхів вирішення проблем у цій сфері діяльності.

Таким чином, результати аналізу дають змогу зробити висновок про те, що розвиток територіальних громад є важливою темою. Це дозволить краще формувати місцеві бюджети і покращувати економіку країни.

Проблема ефективної утилізації відходів входить до питань розвитку територіальних громад і має тенденцію швидкого зростання оскільки з інтенсивним зростанням рівня глобалізації з шаленими темпами нарощується об'єм відходів, зокрема побутових.

Неправильно вибраний підхід до керування процесами управління відходами призводить до більших витрат на збір відходів, що виводить тематику оптимізації збору відходів на перші сходинки актуальності та важливості світового рівня. Формулювання проблеми збору відходів залежить від типу досліджуваної території і має два основні типи. До першого типу належать всі підходи, які працюють за узагальнено-локальним принципом, тобто пункти збору сміття розташовані в певних фіксованих місцях. Також такий тип носить назву «проблема вузлом». Другий метод об'єднує підходи локального збору, тобто такого збору, при якому сміття забирається від будинку до будинку і називається «проблема дуги». За таких формулювань

вирішують проблему маршрутизації транспортного засобу. У роботі [30] представлено розгляд двоцілевої моделі збору сміття. Тип досліджуваної ділянки – сільська місцевість протягом планового періоду. Також в роботі [30] досліджується задача з проблемою дуги на територіях сільських місцевостей Іспанії. Але залишилося нерозглянутим питання для проблеми вузла.

У [31] можна знайти короткий огляд одних з останніх підходів та способів їх застосувань у сферах збору та транспортування відходів. Розглянуто алгоритм оптимізації колоній мурах та імітованого відпалу. Також до розгляду увійшли генетичний алгоритм та жадібні адаптивні процедури пошуку. Досліджено також алгоритм пошуку великої околиці та інші.

Дослідження [32] представляє рішення задачі оптимізації збору та утилізації сміття, включаючи часові перерви для водіїв транспорту перевезення відходів. У цій роботі здійснено побудову алгоритму методу, який вирішує проблему маршрутизації з часовими вікнами. Під поняттям часового вікна розуміють обідню перерву для водіїв. Ці дослідження проведені на основі даних датської компанії по переробці відходів.

Робота [33] містить алгоритм вивозу сміття, який працює з покращенням тільки одного з факторів: або відстані, або кількості транспортних засобів. Підхід, який містить покращення обох з факторів можна знайти у роботі [34].

Гібридний метод, який утворений шляхом поєднання методів рою хаотичних частинок та ArcGIS запропоновано у роботі [35] і був перевірений на реальних даних Дананга. Його результатом стало покращений об'єм збору відходів. Однак, він значно програє іншим методам у зв'язку із збільшенням робочого часу та значенням пройденої відстані.

Метод ArcGIS для оптимізації вивезення сміття також було згадано у дослідженні [36] з пропозицією розширення для аналізу мережі ArcGIS. Така схема була застосована в керівному апараті місцевої влади в Гані. Завдяки їй було зменшилася відстань за тиждень на 81,27 км. Кількість транспортних засобів впала на 4,79 %, а час у дорозі скоротився на 853,59 хвилини.

Робота [37] було застосовано генетичний алгоритм та алгоритм найближчого сусіда. Результати показали значне скорочення загальної відстані подорожі в порівнянні з попередньою ситуацією. Відстань вантажівок зменшилася в середньому на 66,42 %.

У зв'язку з інтенсивним зростанням відходів і збільшенням проблем, пов'язаних з їх утилізацією, та їх ускладненнями зростає потреба в покращенні існуючих підходів оптимізації збору відходів (waste collection routing problem (WCRP)) та потреба в розробці нових підходів та алгоритмів.

Іншим важливим напрямком розвитку територіальних громад є туризм, який вважається одним з основних доповнень діяльності доходу для багатьох країн. Зокрема для ряду країн туризм становить виключно основну ланку доходу.

В останні роки розвиток туризму як виду діяльності досягнув значного стрибка і продовжує рости. Це пояснюється тим, що завдяки туризму зростає розвиток національної культури та економіки, забезпечується значна кількість робочих місць, зростає дохід мікро- так макроекономіки. Серед вагомих переваг туризму також можна назвати такі, як зростання ВВП, можливість його побудови на існуючій інфраструктурі з подальшим її розвитком для стимулювання місцевої торгівлі та розвитку інших великих галузей тощо.

Розгляд туризму як об'єкта наукових досліджень активно розвивався протягом останніх десятиліть. Незважаючи на це, бачимо все ще зростаючу тенденцію до розгляду питань туризму, таких як поєднання бізнес ідей та технічно-економічних можливих реалізацій цих ідей.

Сьогодення українського туризму представляє значний інтерес до його розвитку як однієї з провідних ланок економічної діяльності. На прикладі України бачимо, що відсоток розвитку цієї перспективної економічної гілки не перевищує 2% ВВП України. Це значно нижче за аналогічні показники світової економіки, де цей показник в середньому становить 10% ВВП [38]. Оскільки Україна володіє значними історичними, географічними, природними,

економічними, соціально-демографічними передумовами розвитку туризму, низька статистика ВВП від туризму вказує на існування ряду проблем реалізації його покращення. Серед таких проблем варто назвати відсутність реклами внутрішнього туризму, відсутність коштів для розбудови існуючих великих туристичних комплексів або для створення нових, відносно низька якість різноманіття туристичних послуг, розвиток інфраструктури біля туристичних комплексів. Все це потребує певних фінансових вкладень. Ці вкладення можуть формуватися об'єднаними територіальними громадами, які мають можливість самі, за рахунок власних ресурсів, забезпечувати життєдіяльність та спроможність своїх територій.

Серед провідних світових концепцій розвитку туристичної галузі особливе місце займає концепція сталого розвитку. Зокрема, в [39] надано концептуальні роз'яснення щодо сталого розвитку туризму та обґрунтовано важливість співпраці для його зростання. Разом з тим, у [40] досліджується зв'язок між регіональним економічним розвитком та практикою сталого туризму. У [41] запропоновано новий підхід до аналізу туризму та навколишнього середовища шляхом розробки теоретичної моделі загальної рівноваги, яка розглядає інтеграцію навколишнього середовища в економічну систему з точки зору туризму. Як бачимо, теоретичні аспекти концепції сталого розвитку туризму досить докладно проаналізовано у наукових працях, але наявний дефіцит серйозних досліджень, присвячених питанням математичного моделювання туристичної системи, що враховують вплив сфер суспільства (економічної, екологічної, соціальної) на її розвиток.

У [42] розглянуто проблеми внутрішнього туризму та запропоновано модель багаторівневого структурного рівняння для дослідження факторів, що впливають на структури доходу, домогосподарства та регіональні характеристики споживання.

Вплив електронної комерції на конкурентноспроможність індустрії туризму на основі оптимізованої моделі нейронної мережі для аналізу та

прогнозування туристичних даних досліджено у [43]. Для покращення моделі пропонують провести аналіз впливу домогосподарства на подорожі з використанням глибинного навчання.

Комплексне дослідження прибуття туристів до Албанії було проведено у [44], де було використано логістичну модель і модель Гомперца, які в основному використовуються для оцінювання зростання за обмежених ресурсів.

У [45] досліджено роль туризму у формуванні фундаментальних основи розвитку в економіці, що розвиваються, орієнтуючись на приклад Пакистану. Основним обмеженням цього дослідження є малий розмір вибірки.

Багато досліджень були зосереджені на моделюванні розвитку туризму на основі інноваційного підходу. Зокрема, у [46] обґрунтовано модель інноваційних туристичних кластерів як фактора підвищення конкурентоспроможності регіонів та країни загалом. А у [47] та [48] розглянуто проблеми управління конкурентоспроможними організаціями на основі використання інноваційних методів, формування механізмів забезпечення та оцінювання інноваційного розвитку підприємств. Проте, незважаючи на свою актуальність та на значну кількість наукових розробок щодо впровадження інноваційних підходів у розвиток туристичної сфери, ще недостатньо вивчені.

Через потреби інвестування в туристичній сфері зростає потреба в проведенні досліджень інвестиційного процесу і туризму, а також зростає і потреба в теоретичному обґрунтуванні вибору інвестиційної діяльності [49-52]. Невирішеними залишаються розробка практично реалізованих моделей розвитку систем управління туристичним бізнесом.

Фахівцями, які внесли свій вклад в процеси розвитку територіальних громад є: Л. Л. Ламб, М. Розенхальд, Г. Васильченко, І. Парасюк, Н. Єременко та інші. Серед більшості досліджень, які були проведені, основним розглянутим питанням були дослідження економіки та державного управління. Тому актуальним завданням є технічні дослідження процесів розвитку

територіальних громад, а саме: розроблення математичної моделі таких задач та методів їх розв'язку. Маючи таку математичну модель в сукупності з розробленими методами, її дослідження забезпечує можливість розвитку територіальних громад, використовуючи науково обґрунтований підхід.

Темою досліджень таких українських і зарубіжних вчених, як Г. В. Атаманчук, В. Д. Бакуменко, В. Б. Авер'янов, В. М. Мартиненко, Н. Р. Нижник, П. І. Надолішній стало питання державного управління та місцевого самоврядування. Ними було розглянуто та досліджено питання державно-управлінської діяльності в сукупності з роботою місцевого інституту самоврядування. В додаток було також розглянуто та досліджено сфери регіональної політики та управління місцевою економікою. Питанням прямого формування різних сторін діяльності територіальних громад займалися такі науковці як Н. В. Воротіна [53], І. Б. Заверуха [54], А. Ю. Нашимець-Наумова [55], Н. Ю. Пришва [56], І. З. Сторонянська [57], С. Л. Шульц [58], Л. Я. Беновська [57], А. О. Пелехатий [59], А. Ткачук, Г. Зубко, Ю. Третяк, В. Сороковський, Г. Ванзуряк та інші. Їх представлені роботи містять опис побудови адміністративно-територіального формування об'єднаної громади разом з алгоритмами нормативно-правового керування, фінансового забезпечення та ведення економічної політики.

Українська стратегія розвитку активно передбачає інтенсивного збільшення місцевого рівня управління для регіонів та окремих територіальних громад. Такий підхід є наслідком децентралізації та демократизації і дає змогу значно зменшити об'єм праці на органи центральної влади завдяки тому, що суттєвий шмат управлінської діяльності переноситься на локальний рівень правління. Ще одним з позитивних моментів такого підходу є те, що прийняття рішень відбувається з максимальним розумінням потреб місцевого населення. Володіння апаратом керування при такому підході накладає вимоги керівному складу, до яких належать здатність формування відповідності і єдності між поставленими цілями, та пріоритизація завдань та заходів. Останнє відіграє

важливу роль для реалізації довгострокових стратегічних цілей і для пошуку розв'язків ключових проблем розвитку.

Ще один ряд викликів присутній на етапі утворення нових територіальних громад, серед яких є відсутність чіткого прийняття керівним апаратом новоствореної громади загальних пріоритетів щодо надання послуг її мешканцям, відсутність навичок управління об'єднаними новими ресурсами (земельними, територіальними, бюджетними), а також складність прийняття рішень в умовах присутності великої кількості нових обличь у керівному апараті. Зважаючи на такі моменти, питання про правильне планування розвитку територіальних громад стрімко набирає критичного рівня важливості. Створена та прийнята стратегія повинна мати можливість залучати всі доступні ресурси об'єднаної територіальної громади (природні, матеріальні, територіальні та ін.). Тоді, при правильній організації праці органів правління, можна досягти максимально ефективного рівня місцевого розвитку.

Отже, на основі огляду літератури, можна виокремити наступні нерозв'язані задачі розвитку територіальних громад:

- ускладнене прийняття органами нових громад загальних пріоритетів щодо представлення ключових послуг її представникам;
- невміння правильно та економічно-обґрунтовано використовувати нові, доступні після об'єднання, ресурси (земельні, територіальні, бюджетні, тощо);
- виникнення питання узгодження різних управлінських питань з багатьма представниками керуючого апарату;
- ігнорування прогресивних змін в управлінні розвитком територіальних громад, а також нехтуванням громадською думкою та проблем власників земель, виникають такі проблеми, як бідність, безробіття, вимушена трудова міграція, занепад соціальної інфраструктури та інші;
- у зв'язку з інтенсивним зростанням відходів і збільшенням проблем, пов'язаних з їх утилізацією, та їх ускладненнями зростає потреба в

покращенні існуючих підходів оптимізації збору відходів (waste collection routing problem (WCRP)) та потреба в розробці нових підходів та алгоритмів;

- відсутність реклами внутрішнього туризму, відсутність коштів для розбудови існуючих великих туристичних комплексів або для створення нових, відносно низька якість різноманіття туристичних послуг, розвиток інфраструктури біля туристичних комплексів. Все це потребує певних фінансових вкладень, які можуть формуватися об'єднаними територіальними громадами.

У даній роботі ці проблеми досліджуються. У наступних розділах розроблені наступні методи:

- аналізу та підтримки прийняття рішень щодо розвитку сільськогосподарських територій;
- аналізу та підтримки прийняття рішень щодо розвитку туризму;
- вибору напрямку розвитку;
- оптимізації вивезення сміття.

Висновки до розділу 1

У розділі виконано аналіз існуючих математичних методів та систем підтримки прийняття рішень для можливого їх застосування у дослідженні розвитку територіальних громад. Також розглянуто існуючі проблеми розвитку територіальних громад.

РОЗДІЛ 2

ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ РОЗВИТКУ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД

У розділі розглянуто методи та принципи розв'язання таких проблем розвитку об'єднаних територіальних громад, як безробіття та економічні проблеми. Побудовано математична модель системи підтримки прийняття рішень розвитку територіальних громад, використовуючи агропромисловий сектор. Для побудови математичної моделі та дослідження того факту, що розвиток агропромисловості покращить загальний економічний стан територіальної громади, використано кореляційно-регресійний аналіз, який виражає залежність результуючого показника від декількох ключових факторів і дає змогу оцінити щільність зв'язку між цими факторами. В ході аналізу здійснено збір даних, побудова моделі й проведено аналіз та оцінювання моделі. Для того, щоб виявити залежність між обраними факторами в регресійній моделі скористалися алгоритмом Фаррара-Глобера. Після того, як дослідили мультиколінеарність та отримали рівняння множинної регресії, застосували метод найменших квадратів для визначення вектору оцінок коефіцієнтів регресії.

Також у розділі використано математичний апарат, який дає змогу проводити аналіз основних факторів впливу на розвиток туристичної галузі територіальних громад. Розглянуто PLS-PM моделювання з використанням таких критеріїв внутрішньої узгодженості, як: коефіцієнт Альфа Кронбаха, коефіцієнт ρ Діллона-Гольдштейна, надійність моделі, середня дисперсія. Метою PLS-PM моделі є отримання оцінок латентних змінних для подальших процедур прогнозування розвитку системи.

Важливим компонентом даного розділу є алгоритм оптимізації маршруту збору сміття в об'єднаній територіальній громаді, який побудований на основі

покращеного алгоритму k -середніх та методу «гілок та границь».

У даному розділі також використано метод аналізу ієрархій для визначення напряму розвитку територіальних громад, оскільки цей метод дає змогу кількісно визначити порівняльну важливість критеріїв напряму розвитку. Метод аналізу ієрархій припускає проведення попарних порівнянь об'єктів з використанням суб'єктивних суджень, які оцінюються кількісно за визначеною шкалою. Важливим моментом при порівнянні є неупереджені погляди експертів для правильного використання методу аналізу ієрархій.

2.1. Математична модель розвитку територіальних громад

Агропромисловий комплекс.

Досвід розвинутих країн демонструє, що основою успішного розвитку громад є об'єднання територій та ресурсів, при якому держава створює необхідні умови для розвитку громад, а вже вони самі повинні обирати пріоритети, які їм необхідні. Тому для кожної громади постає питання «Який сектор промисловості з доступних ресурсів може принести найбільше користі для громади?». Розглянемо це питання на прикладі розвитку територіальних громад України, оскільки в Україні також спостерігається тенденція до децентралізації влади і об'єднання декількох населених пунктів, формуючи таким чином спроможну територіальну громаду. Такий підхід формування територіальних громад шляхом об'єднання територій та ресурсів підтримується законом України «Про добровільне об'єднання територіальних громад», який передбачає суттєве реформування місцевого самоврядування [14]. Метою реформи є забезпечити громадам можливість забезпечувати життєдіяльність та спроможність своїх територій, а також якісні послуги своїм жителям за рахунок власних ресурсів.

За умовою ефективного розвитку, агропромислове виробництво є однією з ключових ланок для забезпечення економічної безпеки та стабільності країни. Тому припускається, що агропромисловість може бути також ключовою

ланкою розвитку територіальних громад, оскільки сучасність української економіки визнає аграрний сектор як важливий структурний елемент розвитку.

Україна займає територію з унікальним поєднанням природньо-кліматичних умов та геостратегічним положенням. Саме це забезпечує аграрному сектору держави можливість займати вагоме місце на міжнародному продовольчому ринку та вносити вагомий внесок у соціально-економічне життя країни. Та сьогодні агропромисловості України чітко визначає ряд невіршених питань та завдань породжених існуючими негативними явищами. Загальний процес вирішення таких проблем вимагає розглядати агропромисловий комплекс як складну багатоструктурну композицію. Саме таке представлення аграрного сектору показує, що структурні елементи самого комплексу потрібно раціоналізувати. Не менш важливим є зміни додаткових елементів комплексу, такі як: впровадження нових технологій, оптимізація використання фінансових, матеріальних та трудових потоків.

При розгляді моделювання як одного з способів вирішення ряду агропромислових проблем, особлива увага має приділятися особливостям функціонування сільського господарства, адже саме вони описують специфіку модельного вирішення поставленого питання. Будь-яка побудова математичної моделі обов'язково містить такі ключові кроки, як характеристика зовнішніх умов, що змінюються, опис певної множини внутрішніх параметрів, які беруться до уваги та можуть у відповідності до мети моделювання охарактеризувати той чи інший економічний процес, визначення параметрів або характеристик процесу, які необхідно отримати. Підходи до побудови моделей та варіації наборів визначальних параметрів варіюються між фахівцями. Як приклад, сільське господарство при моделюванні керується системним підходом, беручи до уваги не тільки окремі складові та їх взаємозв'язки, а й систему в цілому, оскільки воно є відкритою системою. Система, як об'єкт цілісного утворення, передбачає визначення мети та умов її функціонування. Це є основою при розгляді фахівців моделювання діяльності

підприємства агропромислового комплексу як моделювання бізнес-процесів в умовах конкурентного середовища, які швидко змінюються під впливом великої кількості як внутрішніх, так і зовнішніх факторів. Застосування сучасних технологій, рушійним елементом яких є методи системного аналізу та інформації, пропонується здійснювати при розробці, економічному обґрунтуванні та реалізації гнучких та адаптивних систем управління процесом. Основним здобутком системи вважається збільшення вигоди, яка буде використана для ведення простого та/чи розширеного відтворення продуктів харчування та сільськогосподарської сировини, а також для інших типів розвитку територіальних громад.

Для початку необхідно виділити ключові фактори, які впливають на розвиток сільського господарства. Не слід забувати, що дані фактори повинні перебувати в причинно-наслідкових зв'язках з досліджуваним показником. Дані фактори мають демонструвати вплив на досліджуваний показник та володіти кількісною оцінкою. Бажаною умовою є той факт, що дані фактори не мають перетинатись при певних факторах, тобто не мати взаємозв'язків між собою [60].

Класичними факторами виробництва є праця (цілеспрямована діяльність людей), земля (природні ресурси) та капітал. Також, в ході дослідження залучено додатковий показник – інфраструктуру, яка визначає рівень транспортного сполучення для доставки продукції до кінцевого користувача.

В якості результуючого показника було вирішено обрати продукцію сільського господарства у постійних цінах. Власне, продукція сільського господарства являє собою результат діяльності, який включає продукцію рослинництва та тваринництва, призначених для продажу, переробки або внутрішньогосподарського споживання. Даний показник є доволі об'єктивним, оскільки з матеріальної точки зору дає змогу підсумувати результат врожайності впродовж календарного року.

Наступним кроком кореляційно-регресійного аналізу є побудова системи досліджуваних показників, які показано в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Показники факторів сільського господарства для кореляційно-регресійного аналізу (2010–2019 рр.)

| Звітний період | Результуючий показник | Фактор виробництва | | | | | | | |
|----------------|-----------------------------------|----------------------------|----------------------|--------------------------|----------------|---------------|------------------------|-------------------------|-----------------|
| | Продукція сільського господарства | праця | | земля | | капітал | | інфраструктура | |
| | | Кількість зайнятих | Продуктивність праці | Посівні площі | Врожайність | Інвестиції | Віддача від інвестицій | Перевезення вантажів | Витрати на збут |
| млн., дол. США | тис., осіб | млн., дол. США / тис. осіб | тис., га | млн., дол. США / тис. га | млн., дол. США | млн. дол. США | тис., т | млн. дол. США / тис., т | |
| 2010 | 599,91 | 176,30 | 3,40 | 540,90 | 1,11 | 319,82 | 0,53 | 23283 | 0,03 |
| 2011 | 682,89 | 204,30 | 3,34 | 563,40 | 1,21 | 438,75 | 0,64 | 25697,2 | 0,03 |
| 2012 | 712,98 | 205,10 | 3,48 | 596,90 | 1,19 | 404,68 | 0,57 | 26507,1 | 0,03 |
| 2013 | 715,80 | 219,40 | 3,26 | 621,00 | 1,15 | 355,55 | 0,50 | 24585,8 | 0,03 |
| 2014 | 755,84 | 189,20 | 3,99 | 628,70 | 1,20 | 346,07 | 0,46 | 24456,5 | 0,03 |
| 2015 | 732,97 | 184,00 | 3,98 | 638,30 | 1,15 | 484,84 | 0,66 | 24422,2 | 0,03 |
| 2016 | 751,21 | 191,50 | 3,92 | 662,00 | 1,13 | 673,86 | 0,90 | 25152,5 | 0,03 |
| 2017 | 797,87 | 191,50 | 4,17 | 679,80 | 1,17 | 873,09 | 1,09 | 27223,1 | 0,03 |
| 2018 | 826,47 | 194,80 | 4,24 | 674,90 | 1,22 | 1050,18 | 1,27 | 29599,3 | 0,03 |
| 2019 | 833,19 | 191,80 | 4,34 | 698,40 | 1,19 | 1125,01 | 1,35 | 27761,7 | 0,03 |

Таблиця 2.1 містить в собі статистичні дані розвитку сільського господарства Львівської області в період з 2010–2019 років, які демонструють результуючі та факторні показники. Інформаційною базою поточного аналізу послужили статистичні дані, опубліковані на веб-ресурсах Державної Служби Статистики України [61] та Головного управління статистики у Львівській області [62]. В ході дослідження Львівського регіону залучалась інформація в діапазоні 2010-го та 2019-го років. По даним таблиці 2.1 можна побачити ріст показників сільського виробництва Львівської області. Щорічний приріст результуючого фактору доводить той факт, що розвиток сільського господарства досліджуваного регіону має великі перспективи.

Здійснимо побудову кореляційної матриці та визначимо ступінь впливу факторів на результуючий фактор. Для цього використовуємо кореляційну матрицю R_y :

$$R_y = \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & 1 & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & 1 \end{pmatrix}, \quad (2.1)$$

де r_{jk} – коефіцієнт кореляції, який обчислюється за допомогою формули:

$$r_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)(x_{ik} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \sum_{i=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_k)^2}}, \quad (j, k = 1, 2, \dots, m) \quad (2.2)$$

де m – кількість факторів; \bar{x}_k, \bar{y}_k – вибіркові середні, які визначаються наступним чином:

$$\bar{x}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ki}, \quad (2.3)$$

$$\bar{y}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{ki}, \quad (2.4)$$

де $k = 1, 2, \dots, m$.

Використовуючи статистичні дані з таблиці 2.1, побудуємо кореляційну матрицю R_y , яка подана в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Кореляційна матриця R_y

| Результуючий показник /фактор виробництва | Продукція сільськогосподарства | Кількість зайнятих | Продуктивність праці | Посівні площі | Врожайність | Інвестиції | Віддача від інвестицій | Перевезення вантажів | Витрати на збут |
|---|--------------------------------|--------------------|----------------------|---------------|-------------|------------|------------------------|----------------------|-----------------|
| Продукція сільськогосподарства | 1 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Кількість зайнятих | 0,086 | 1 | – | – | – | – | – | – | – |
| Продуктивність праці | 0,851 | –0,450 | 1 | – | – | – | – | – | – |
| Посівні площі | 0,950 | –0,019 | 0,865 | 1 | – | – | – | – | – |
| Врожайність | 0,563 | 0,355 | 0,308 | 0,279 | 1 | – | – | – | – |
| Інвестиції | 0,836 | –0,133 | 0,812 | 0,820 | 0,380 | 1 | – | – | – |
| Віддача від інвестицій | 0,789 | –0,164 | 0,785 | 0,782 | 0,335 | 0,996 | 1 | – | – |
| Перевезення вантажів | 0,785 | 0,178 | 0,596 | 0,639 | 0,707 | 0,851 | 0,834 | 1 | – |
| Витрати на збут | 0,640 | –0,056 | 0,619 | 0,733 | 0,055 | 0,272 | 0,215 | 0,028 | 1 |

На основі таблиці 2.2 можна зробити висновок про включення змінних в регресійну модель. Якщо значення коефіцієнта незначне – це означає, що зв'язок між даним фактором і результативною змінною або дуже слабкий, або взагалі відсутній, в такому випадку фактор виключають з моделі.

З таблиці бачимо, що між результуючим фактором та посівними площами є дуже сильний зв'язок (0,950), оскільки $|r| > 0,9$. Між продуктивністю праці

(0,851), інвестиціями (0,836), віддачою від інвестицій (0,789), перевезеннями вантажів (0,785) та ключовим фактором є сильний зв'язок, оскільки $0,7 < |r| \leq 0,9$.

В той же час, між продукцією сільського господарства та врожайністю (0,563), витратами на збут (0,640) ми бачимо середній зв'язок, оскільки $0,3 \leq |r| \leq 0,7$. Між результуючим показником та кількістю зайнятих (0,086) зв'язок практично відсутній. Отже, можемо прийняти рішення про виключення факторів, між якими є слабкий або середній зв'язок в подальшому аналізі.

Остаточний вигляд частинних коефіцієнтів кореляцій наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Частинні коефіцієнти кореляції

| Фактори виробництва | | | | | | |
|---------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 1 | 3 | 4 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | 1 | 0,851 | 0,950 | 0,836 | 0,789 | 0,785 |
| 3 | – | 1 | 0,865 | 0,812 | 0,785 | 0,596 |
| 4 | – | – | 1 | 0,820 | 0,782 | 0,639 |
| 6 | – | – | – | 1 | 0,996 | 0,851 |
| 7 | – | – | – | – | 1 | 0,834 |
| 8 | – | – | – | – | – | 1 |

Для того, щоб виявити залежність між обраними факторами в регресійній моделі використаємо алгоритм Фаррара-Глобера. Перевірка колінеарності за допомогою даного тесту включає декілька етапів. Здійснимо перевірку всього масиву факторів, використовуючи наступну формулу [63]:

$$X_p^2 = - \left(n - 1 - \frac{2m+5}{6} \right) \ln(\det R), \quad (2.5)$$

де n – обсяг вибірки; m – кількість факторів виробництва; $\det R$ – детермінант кореляційної матриці R вигляду:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & 1 & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & 1 \end{bmatrix}. \quad (2.6)$$

Визначимо значення X_p^2 для даного дослідження за формулою (2.5). Підставивши дані в формулу отримаємо:

$$X_p^2 = - \left(10 - 1 - \frac{2 \cdot 5 + 5}{6} \right) \ln(1,0e - 6) = 89,8.$$

Порівнюючи розраховане значення з табличним, що становить 18,3, робимо висновок що у векторі факторів присутня мультиколінеарність, оскільки $X_p^2 > X_m^2$.

Складемо рівняння множинної регресії у вигляді:

$$Y = f(\beta, X) + \varepsilon, \quad (2.7)$$

де $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$ – вектор параметрів; $X = X(X_1, X_2, \dots, X_m)$ – матриця незалежних змінних, де

$$X_1 = \{x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n}\},$$

$$X_2 = \{x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2n}\},$$

...

$$X_m = \{x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mn}\};$$

$\varepsilon = \{\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_m\}$; – вектор відхилень; $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ – вектор результуючих змінних. Теоретичне лінійне рівняння множинної регресії має вигляд:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_m X_m + \varepsilon. \quad (2.8)$$

В емпіричному рівнянні β_0 – вільний член, що визначає Y у випадку, коли решта змінних дорівнює нулю.

Наступним кроком визначаємо вектор оцінок коефіцієнтів регресії. Для цього можемо скористатися методом найменших квадратів (МНК), який вважається найпоширенішим і теоретично обґрунтованим. Оцінки коефіцієнтів регресії, знайдені цим методом при визначених передумовах, мають ряд оптимальних властивостей (незміщеність, ефективність, обґрунтованість) [64, 65]. Вектор параметрів утворюється з формули:

$$\beta = (X^T X)^{-1} X^T Y. \quad (2.9)$$

Після перемноження матриць і знаходження оберненої матриці до результуючої, отримаємо вектор оцінок коефіцієнтів регресії, що дорівнює:

$$\beta_0 = -75,9;$$

$$\beta_1 = 16,58;$$

$$\beta_2 = 0,81;$$

$$\beta_3 = 0,49;$$

$$\beta_4 = -455,37;$$

$$\beta_5 = 0,01.$$

Математична модель з використанням коефіцієнтів регресії:

$$Y = -75,9 + 16,58X_1 + 0,81X_2 + 0,49X_3 - 455,37X_4 + 0,01X_5.$$

З даної моделі можемо зробити економічний висновок, що прямопропорційна залежність наявна між факторами X_1, X_2, X_3, X_5 , тому:

- збільшення показника X_1 (продуктивність праці) на одиницю впливає на збільшення Y в середньому на 16,58;
- збільшення показника X_2 (посівні площі) на одиницю впливає на збільшення Y в середньому на 0,81;
- збільшення X_3 (інвестицій) на одиницю призводить до збільшення Y в середньому на 0,49 одиниць;
- збільшення фактору X_5 (перевезення вантажів) на одиницю не призводить до значного приросту Y .

Обернено-пропорційна залежність наявна для показника X_4 (віддача від інвестицій). Тому, збільшення даного показника X_4 на одиницю призводить до зменшення ключового фактору Y в середньому на 455,37 одиниць.

Для об'єктивного оцінювання тісноти зв'язків між факторами та показниками, обчислимо коефіцієнт детермінації за формулою:

$$R^2 = 1 - \frac{\varepsilon^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (2.10)$$

Для даного випадку коефіцієнт детермінації дорівнює:

$$R^2 = 1 - \frac{590,217}{44130,509} = 0,987.$$

Відповідно робимо висновок, що наявний тісний зв'язок між результуючим показником та факторами, які безпосередньо впливають на його формування. Це пояснюється тим, що R^2 максимально наближений до одиниці.

При оцінці адекватності моделі використаємо критерій Фішера:

$$F_p = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{n-m-1}{m}, \quad (2.11)$$

де m – кількість факторів, від яких залежить y ; n – кількість спостережень.

Розрахунок значення F_p :

$$F_p = \frac{0,987}{1 - 0,987} \cdot \frac{10 - 5 - 1}{5} = 60,74.$$

Знайдемо табличне значення F , попередньо обчисливши числа ступені вільності, що становлять $k_1 = m = 5$ і $k_2 = n - m - 1 = 10 - 5 - 1 = 4$. Тоді, $F_{кр}(5; 4) = 6,26$. Оскільки $F_p > F_{кр}$, то можна стверджувати, що коефіцієнт детермінації статистично значущий та рівняння регресії є надійним.

Наступним кроком проведемо аналіз параметрів рівняння регресії. Перейдемо до перевірки значимості рівняння та його коефіцієнтів, дослідження абсолютної та відносної похибки апроксимації. Проміжні дані для виявлення адекватності моделі подано в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Значення проміжних показників для визначення адекватності моделі

| Значення результуючого показника | Значення проміжних показників для визначення адекватності моделі | | | | |
|----------------------------------|--|--------------------------|-----------------|-------------------|--|
| | $Y(x)$ | $\varepsilon = Y - Y(x)$ | ε^2 | $(Y - \bar{Y})^2$ | $\left \frac{\varepsilon}{Y} \right $ |
| 599,91 | 610,785 | -10,875 | 118,257 | 19881,846 | 0,0181 |
| 682,89 | 665,227 | 17,663 | 311,976 | 3366,669 | 0,0259 |
| 712,98 | 719,327 | -6,347 | 40,28 | 780,252 | 0,0089 |
| 715,8 | 720,009 | -4,209 | 17,712 | 630,663 | 0,00588 |

| | | | | | |
|--------|---------|--------|----------------|------------------|---------------|
| 755,84 | 750,341 | 5,499 | 30,237 | 222,815 | 0,00728 |
| 732,97 | 734,921 | -1,951 | 3,808 | 63,091 | 0,00266 |
| 751,21 | 745,729 | 5,481 | 30,04 | 106,028 | 0,0073 |
| 797,87 | 800,616 | -2,746 | 7,542 | 3244,1 | 0,00344 |
| 826,47 | 831,416 | -4,946 | 24,459 | 7320 | 0,00598 |
| 833,19 | 830,76 | 2,43 | 5,907 | 8515,045 | 0,00292 |
| | | | 590,217 | 44130,509 | 0,0883 |

На рис. 2.1 показано наскільки близькі значення результуючого фактору Y та знайденого $Y(x)$.

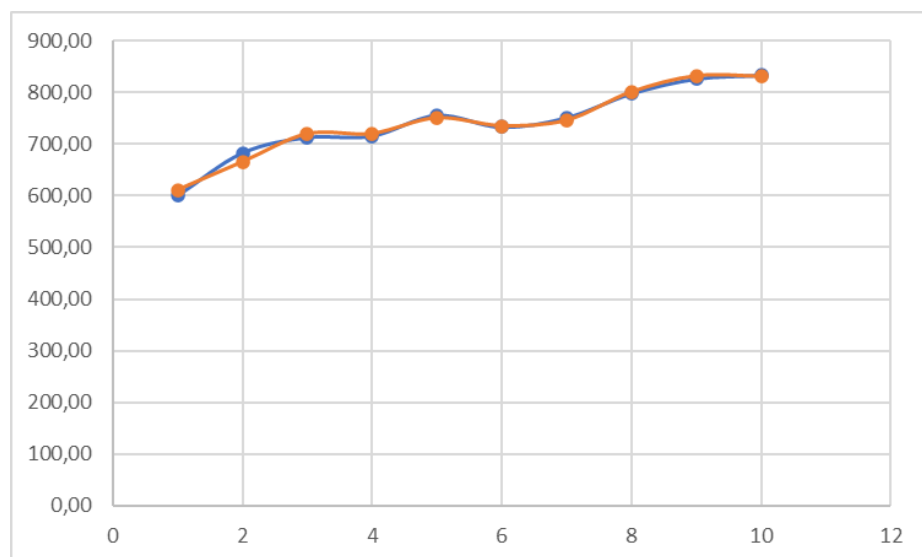


Рис. 2.1. Діаграма значень Y та $Y(x)$

Середня похибка апроксимації визначається за формулою:

$$A = \frac{\sum \left| \frac{\varepsilon}{Y} \right|}{n} \cdot 100 \% \quad (2.12)$$

Для даного випадку, $A = \frac{0,0883}{10} \cdot 100 \% = 0,88 \%$. Оскільки значення середньої похибки апроксимації – менше 15%, то можна констатувати факт, що дана математична модель вдало підібрана та є цілком адекватною.

Сильні сторони даного аналізу полягають в тому, що на основі репрезентативних економічних показників аграрного сектору було визначено

ключові фактори, регулювання яких може позитивно вплинути на зростання економічної складової територіальних громад.

Слабкі сторони даного аналізу пов'язані з тим, що розроблена математична модель відображає поточний ресурсний потенціал в цілому та не передбачає конкретних кроків щодо реалізації якісного та кількісного зростання соціально-економічних аспектів життя населення. Також варто відзначити, що з появою нових факторів виробництва буде доцільно переосмислити математичну модель з відповідним внесенням змін на етапі представлення кореляційно-регресійної моделі.

Додаткові можливості при використанні наведених результатів можуть вплинути та формування економічно-вигідної стратегії на ринку, ефективнішого використання наявних ресурсних балансів та прогнозування тенденцій розвитку територіальних громад на основі економічних показників в секторі сільського господарства.

Розроблена математична модель побудована на основі аналізу існуючих показників досліджуваної галузі та не приділяє достатню увагу факторам, які без належної уваги будуть з часом погіршуватись: недостатнє фінансове забезпечення галузі, використання застарілих засобів обладнання та технологій, відсутність чітких цілей та стратегій, тощо.

Туристичний комплекс.

Регіональна туристична індустрія є прикладом комплексної економічної системи, для якої доречно застосовувати методи PLS-PM [66]. Концепція сталого розвитку – сучасна тенденція розвитку туристичної промисловості. Стійкий туризм – це туризм, який задовольняє потреби сьогodнішніх туристів без шкоди для задоволення потреб наступних поколінь місцевого населення. Процеси, що протікають у туристичній галузі, характеризуються складною взаємодією економічних, екологічних і соціальних факторів, вплив яких необхідно враховувати для реалізації стратегії сталого розвитку туризму.

Для наглядності PLS-PM моделювання будемо проводити на прикладі територіальних громад Закарпатського регіону.

В таблиці 2.5 представлені індикатори сталого розвитку туризму, які впливають на Закарпатський регіон.

Таблиця 2.5

Індикатори сталого розвитку туризму в Закарпатському регіоні

| Фактор | Індикатор |
|--------------------|--|
| Туризм | Кількість туристів |
| | Заклади охорони здоров'я |
| | Санаторно-курортні та оздоровчі заклади |
| | Кількість перевезених пасажирів |
| Соціальний комфорт | Кількість закладів вищої освіти |
| | Кількість лікарів |
| | Тривалість пошуку роботи, міс |
| | Житловий фонд, млн.м ² |
| Екологія | Викиди забруднюючих речовин у повітря, тис. т |
| | Площа загибелі лісових насаджень |
| | Утилізовано відходів, тис. т |
| | Використані запаси палива, тис. т |
| Економіка | Наявний дохід на одну особу, дол. |
| | Товарообіг підприємств, млн. дол. |
| | Інвестиції в промисловість, тис. дол. |
| | Диференціація життєвого рівня населення, тис. осіб |

Вхідні дані для моделювання представлені за допомогою ресурсів Головного управління статистики у Закарпатській області [67], де подано конкретні дані для заданого регіону впродовж 2007-2017 років, що представлені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6

Вхідні дані для визначених індикаторів моделі

| Туризм | Рік | Кількість туристів | Заклади охорони здоров'я | Санаторно-курортні та оздоровчі заклади | Кількість перевезених пасажирів |
|--------------------|------|---------------------------------|--------------------------|---|---------------------------------|
| | 2007 | 72970 | 72 | 66 | 62,7 |
| | 2008 | 76965 | 71 | 58 | 66 |
| | 2009 | 56320 | 71 | 56 | 57 |
| | 2010 | 52080 | 70 | 56 | 49,8 |
| | 2011 | 21773 | 60 | 55 | 46,4 |
| | 2012 | 20180 | 58 | 57 | 45,2 |
| | 2013 | 19892 | 54 | 56 | 43 |
| | 2014 | 11625 | 54 | 58 | 41 |
| | 2015 | 10656 | 53 | 55 | 42,8 |
| | 2016 | 11601 | 52 | 45 | 37,3 |
| | 2017 | 14652 | 47 | 42 | 34,1 |
| Соціальний комфорт | Рік | Кількість закладів вищої освіти | Кількість лікарів | Тривалість пошуку роботи, міс. | Житловий фонд, млн.м2 |
| | 2007 | 14 | 5100 | 6 | 27,2 |
| | 2008 | 14 | 5100 | 6 | 27,8 |
| | 2009 | 14 | 5100 | 5 | 28 |
| | 2010 | 11 | 5200 | 5 | 28,3 |
| | 2011 | 11 | 5300 | 1 | 29 |
| | 2012 | 11 | 5200 | 4 | 29,4 |
| | 2013 | 10 | 5200 | 4 | 29,6 |
| | 2014 | 10 | 5100 | 3 | 30,1 |

| | | | | | |
|-----------|------|---|-----------------------------------|---------------------------------------|--|
| | 2015 | 8 | 5000 | 3 | 30,4 |
| | 2016 | 8 | 4900 | 3 | 30,6 |
| | 2017 | 9 | 4900 | 2 | 31 |
| Екологія | Рік | Викиди забруднюючих речовин у повітря, тис. т | Площа загибелі лісових насаджень | Утилізовано відходів, тис. т | Використані запаси палива, тис. т |
| | 2007 | 88,2 | 1283 | 1600 | 90,2 |
| | 2008 | 91,3 | 1476 | 1100 | 92,4 |
| | 2009 | 87,6 | 1567 | 700 | 97,7 |
| | 2010 | 87,3 | 1744 | 1300 | 100,3 |
| | 2011 | 89,4 | 1882 | 11800 | 104,8 |
| | 2012 | 72,1 | 2138 | 7100 | 107,5 |
| | 2013 | 69,1 | 1424 | 5700 | 115,8 |
| | 2014 | 60,5 | 2019 | 56600 | 97,3 |
| | 2015 | 54,2 | 2288 | 900 | 81,5 |
| | 2016 | 4,9 | 2156 | 300 | 70,3 |
| | 2017 | 3,2 | 987 | 200 | 67,3 |
| Економіка | Рік | Наявний дохід на одну особу, дол. | Товарообіг підприємств, млн. дол. | Інвестиції в промисловість, тис. дол. | Диференціація життєвого рівня населення, тис. осіб |
| | 2007 | 244,13 | 1486,02 | 1356,76 | 401,6 |
| | 2008 | 322,15 | 1841,79 | 467,33 | 210,1 |
| | 2009 | 325,48 | 1587,1 | 1310,58 | 273,9 |
| | 2010 | 423,32 | 2256,78 | 2420,51 | 488,5 |
| | 2011 | 500,08 | 337,99 | 1044,55 | 142,4 |

| | | | | | |
|--|------|--------|---------|--------|-------|
| | 2012 | 573,03 | 2903,31 | 1092,3 | 161,6 |
| | 2013 | 597,64 | 371,72 | 834,22 | 122,8 |
| | 2014 | 776,92 | 426,91 | 552,54 | 78 |
| | 2015 | 739,05 | 466,67 | 751,02 | 96,8 |
| | 2016 | 685,48 | 2232,79 | 819,94 | 54,1 |
| | 2017 | 767,74 | 2151,57 | 874,99 | 2,5 |

Формально, умови завдання моделювання за допомогою PLS-PM можна записати у такому вигляді: нехай X – блок, що складається з p змінних та n спостережень. Його можна подати у вигляді матриці

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{np} \end{pmatrix}.$$

Масив X можна розділити на s блоків: X_1, X_2, \dots, X_s . Кожен блок змінних X_j ($j=1, 2, \dots, s$) пов'язаний із узагальненою змінною LV_j ($j=1, 2, \dots, s$), яка являє собою якесь абстрактне поняття (нематеріальне і безрозмірне). Оцінка цієї латентної змінної позначається за формулою:

$$\widehat{LV}_j = Y_j, (j = 1, 2, \dots, s).$$

У розглянутій моделі зв'язку, що виникають між змінними, можуть бути розділені на два типи:

1. Зв'язки, що виникають між узагальненими змінними за відповідними блоками показників X_j ($j=1, 2, \dots, s$), утворюють так звану «зовнішню модель».
2. Взаємозв'язки, що виникають між узагальненими змінними (ці зв'язки утворюють внутрішню модель).

Вхідна модель дослідження («Блоки-Індикатори») продемонстрована на рис. 2.2. Латентні змінні подані у вигляді кругів, а явні змінні, що являють собою індикатори з таблиці 2.5, містяться у прямокутних фігурах. Взаємозв'язок латентних змінних являє собою внутрішню частину моделі

системи, відповідно взаємозв'язок латентних змінних з явними – зовнішню частину моделі.

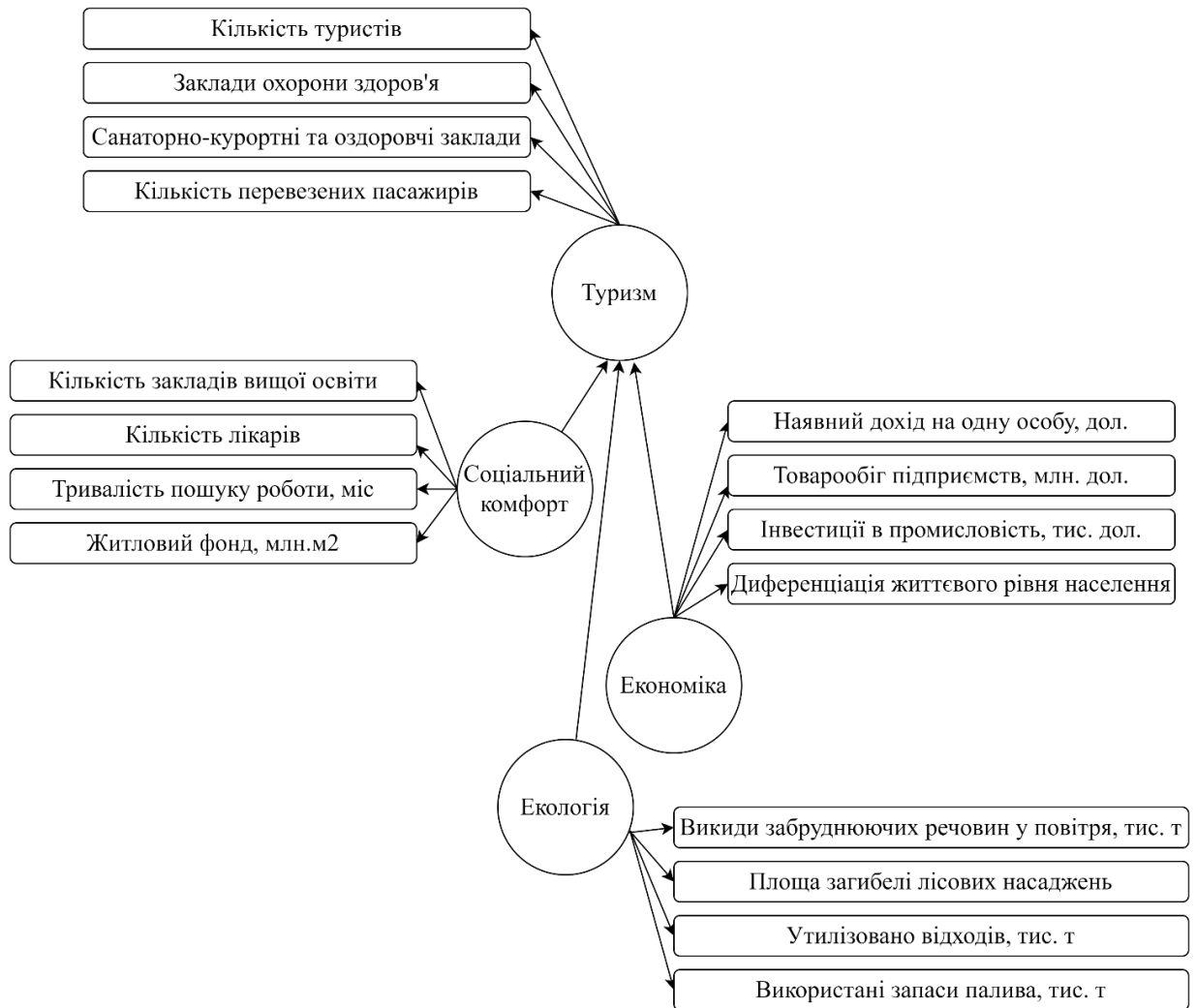


Рис. 2.2. Графічна модель сталого розвитку туризму територіальних громад Закарпатського регіону

Наступним кроком представимо внутрішню і зовнішню моделі системи в аналітичному вигляді. Внутрішня модель може бути записана у вигляді рівняння:

$$LV_{\text{туризм}} = \beta_0 + \beta_1 LV_{\text{соц.комф.}} + \beta_2 LV_{\text{екологія}} + \beta_3 LV_{\text{економіка}} + error_{\text{туризм}},$$

де $LV_{\text{туризм}}$, $LV_{\text{соц.комф.}}$, $LV_{\text{екологія}}$, $LV_{\text{економіка}}$ – латентні змінні, β_1 , β_2 , β_3 – вагові коефіцієнти, тобто коефіцієнти сили і напрямку зв'язків між латентними змінними, β_0 – вільний член, $error_{\text{туризм}}$ – випадкове відхилення моделі.

Зовнішня модель має наступний вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_{\text{закл.ох.здор.}} = \lambda_0 \text{ закл.ох.здор.} + \lambda_1 \text{ закл.ох.здор.} LV_{\text{туризм}} + error_{\text{закл.ох.здор.}} \\ X_{\text{к-сть туристів}} = \lambda_0 \text{ к-сть туристів} + \lambda_1 \text{ к-сть туристів} LV_{\text{туризм}} + error_{\text{к-сть туристів}} \\ \dots \\ X_{\text{жит.фонд}} = \lambda_0 \text{ жит.фонд} + \lambda_1 \text{ жит.фонд} LV_{\text{соц.комфорт}} + error_{\text{жит.фонд}} \\ X_{\text{к-сть лікарів}} = \lambda_0 \text{ к-сть лікарів} + \lambda_1 \text{ к-сть лікарів} LV_{\text{соц.комфорт}} + error_{\text{к-сть лікарів}} \\ \dots \\ X_{\text{викиди}} = \lambda_0 \text{ викиди} + \lambda_1 \text{ викиди} LV_{\text{екологія}} + error_{\text{викиди}} \\ X_{\text{зап.палива}} = \lambda_0 \text{ зап.палива} + \lambda_1 \text{ зап.палива} LV_{\text{екологія}} + error_{\text{зап.палива}} \\ \dots \\ X_{\text{інвест.}} = \lambda_0 \text{ інвест.} + \lambda_1 \text{ інвест.} LV_{\text{економіка}} + error_{\text{інвест.}} \\ X_{\text{диф.жит.рівня}} = \lambda_0 \text{ диф.жит.рівня} + \lambda_1 \text{ диф.жит.рівня} LV_{\text{економіка}} + error_{\text{диф.жит.рівня}} \end{array} \right.$$

де $X_{\text{закл.ох.здор.}}$, $X_{\text{к-сть туристів}}$, \dots , $X_{\text{диф.жит.рівня}}$ – явні змінні, λ_0 – вільні члени, λ_1 – коефіцієнти навантаження, $error_{\text{закл.ох.здор.}}$, $error_{\text{к-сть туристів}}$, \dots , $error_{\text{диф.жит.рівня}}$ – залишкові члени.

У методі моделювання вагових коефіцієнтів за допомогою методу найменших квадратів вводиться таке поняття, як оцінка латентної змінної, яка являє собою лінійну комбінацію відповідних явних змінних і позначається як Y_j :

$$\widehat{LV}_j = Y_j = \sum_k w_{jk} X_{jk}.$$

У нашій моделі оцінки латентних змінних можуть бути представлені у вигляді наступної системи рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} \widehat{LV}_{\text{туризм}} = Y_{\text{туризм}} = w_{\text{з.о.з.}} X_{\text{з.о.з.}} + w_{\text{к.т.}} X_{\text{к.т.}} + w_{\text{к.п.п.}} X_{\text{к.п.п.}} + w_{\text{с.к.о.з.}} X_{\text{с.к.о.з.}} \\ \widehat{LV}_{\text{соц.комф.}} = Y_{\text{соц.комф.}} = w_{\text{з.в.о.}} X_{\text{з.в.о.}} + w_{\text{к.л.}} X_{\text{к.л.}} + w_{\text{т.п.р.}} X_{\text{т.п.р.}} + w_{\text{ж.ф.}} X_{\text{ж.ф.}} \\ \widehat{LV}_{\text{екол.}} = Y_{\text{екол.}} = w_{\text{в.з.р.п.}} X_{\text{в.з.р.п.}} + w_{\text{в.з.р.п.}} X_{\text{в.з.р.п.}} + w_{\text{в.з.р.п.}} X_{\text{в.з.р.п.}} + w_{\text{в.з.р.п.}} X_{\text{в.з.р.п.}} \\ \widehat{LV}_{\text{екон.}} = Y_{\text{екон.}} = w_{\text{і.п.}} X_{\text{і.п.}} + w_{\text{д.ж.р.н.}} X_{\text{д.ж.р.н.}} + w_{\text{н.д.о.о.}} X_{\text{н.д.о.о.}} + w_{\text{т.п.}} X_{\text{т.п.}} \end{array} \right.$$

де $w_{\text{з.о.з.}}$, $w_{\text{к.т.}}$, \dots , $w_{\text{т.п.}}$ – зовнішні ваги моделі.

Перший етап моделювання полягає у підрахунку ваг для отримання значень оцінок латентних змінних. Цей етап являє собою ітераційний процес. На першому кроці ми задаємо початкове значення ваг w_{jk} . Нехай, початкове значення дорівнює одиниці, тоді отримаємо систему вигляду:

$$\begin{cases} \tilde{w}_1 = (\tilde{w}_{11} = 1, \tilde{w}_{12} = 1, \tilde{w}_{13} = 1, \tilde{w}_{14} = 1) \\ \tilde{w}_2 = (\tilde{w}_{21} = 1, \tilde{w}_{22} = 1, \tilde{w}_{23} = 1, \tilde{w}_{24} = 1) \\ \tilde{w}_3 = (\tilde{w}_{31} = 1, \tilde{w}_{32} = 1, \tilde{w}_{33} = 1, \tilde{w}_{34} = 1) \\ \tilde{w}_4 = (\tilde{w}_{41} = 1, \tilde{w}_{42} = 1, \tilde{w}_{43} = 1, \tilde{w}_{44} = 1) \end{cases}$$

Знак тильди (\sim) вказує на те, що значення ваг являються умовними. На основі заданих значень вираховуємо значення латентних змінних по формулі:

$$Y_k \propto X_k \tilde{w}_k,$$

де $k = 1, 2, 3, 4$ (кількість індикаторів).

Для розроблюваної моделі отримаємо систему:

$$\begin{cases} Y_1 \propto 1X_{11} + 1X_{12} + 1X_{13} + 1X_{14} \\ Y_2 \propto 1X_{21} + 1X_{22} + 1X_{23} + 1X_{24} \\ Y_3 \propto 1X_{31} + 1X_{32} + 1X_{33} + 1X_{34} \\ Y_4 \propto 1X_{41} + 1X_{42} + 1X_{43} + 1X_{44} \end{cases}$$

Знак пропорційності \propto використовується замість знаку рівності, так як в даному випадку наявна залежність змінних Y від змінних X , але відсутня рівність між лівими і правими частинами виразів через приблизні умовні значення зовнішніх ваг.

На другому кроці перейдемо до дослідження внутрішньої моделі. Головна мета на даному етапі – перерахувати значення оцінок латентних змінних з використанням внутрішньої моделі. Тобто, на відміну від попереднього кроку, де ми вираховували значення оцінок Y_j на основі лінійних комбінацій з явних змінних, тепер необхідно вираховувати значення латентних змінних Z_j на основі лінійних комбінацій із оцінок інших змінних, які пов'язані з LV_j , як вказано у формулі:

$$Z_j = \sum_{i \leftrightarrow j} e_{ij} Y_i,$$

де e_{ij} – внутрішні ваги і можуть бути обчислені за формулою:

$$e_{ij} = \begin{cases} \text{cor}(Y_j, Y_i), i \leftrightarrow j \\ 0, i \nleftrightarrow j \end{cases}.$$

де $\text{cor}(Y_j, Y_i)$ – коефіцієнт кореляція між Y_i та Y_j .

Подвійна стрілка вказує на те, що сумуються оцінки Y_i тільки тих латентних змінних LV_i , які пов'язані з j -ою латентною змінною.

Таким чином, внутрішні ваги характеризують силу зв'язків між латентними змінними.

Третій крок – перерахунок зовнішніх ваг. Для перерахунку значень зовнішніх ваг для рефлексивного типу блоку зовнішньої моделі використаємо формулу:

$$\tilde{w}_{jk} = (Y_j' Y_j)^{-1} Y_j' X_{jk}.$$

Перерахунок значень зовнішніх ваг для формативного типу блоку зовнішньої моделі здійснюється за формулою:

$$\tilde{w}_{jk} = (X_j' X_j)^{-1} X_j' Y_j.$$

На кожному етапі ітераційного процесу вираховуємо степінь конвергенції зовнішніх ваг. Тобто зовнішні ваги на етапі S порівнюються з вагами на попередньому етапі $(S-1)$. В будь-якому випадку, ступінь конвергенції рахується достатнім, коли виконується наступна умова:

$$|w_{jk}^{S-1} - w_{jk}^S| < 10^{-5}.$$

Отже, перейдемо до PLS-PM аналізу, який складається з наступних кроків:

1. Перевірка внутрішньої і зовнішньої узгодженості в блоках;
2. Перевірка перехресних кореляцій змінних блока з латентними змінними інших блоків;
3. Перевірка внутрішньої моделі;
4. Перевірка якості моделі.

Перший крок – перевірка внутрішньої узгодженості. Для даної перевірки використовуємо наступні критерії [68]:

- Коефіцієнт Альфа Кронбаха – коефіцієнт надійності, який використовується для перевірки надійності результатів обчислень. Значенням X_i позначають оцінку елемента i , а також $X = (X_1 + X_2 + \dots + X_k)$ позначають суму всіх індикаторів, що складається з k факторів. Коваріацію між X_i та X_j позначають як δ_{ij} , $\delta_i^2 (= \delta_{ii})$ позначає дисперсію X_i , δ_X^2 позначають дисперсію X , δ_X^2 складається з суми дисперсій по елементах та коваріацій по елементах:

$$\delta_X^2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \delta_{ij} = \sum_{i=1}^k \delta_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j \neq i}^k \delta_{ij}.$$

Формула для визначення коефіцієнту Альфа Кронбаха:

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^k \delta_i^2}{\delta_X^2} \right).$$

- Коефіцієнт ρ Діллона-Гольдштейна – індикатор надійності, який базується на навантаженнях моделі, а не на кореляціях, що спостерігаються між явними змінними в наборі даних:

$$\rho = \frac{\left(\sum_{p=1}^{P_q} \lambda_{pq} \right)^2}{\left(\sum_{p=1}^{P_q} \lambda_{pq} \right)^2 + \sum_{p=1}^{P_q} (1 - \lambda_{pq}^2)}$$

де p – спостереження, P_q – індикатори, які належать латентній змінній блоку, λ – навантаження, що розраховується як коефіцієнт кореляції між латентними (Y_p) і явними (X_{pq}) змінними по формулі:

$$\lambda_{pq} = \text{cor}(X_{pq}, Y_p).$$

- Надійність моделі. Дає змогу побачити повну інформацію про характеристики надійності та параметри моделі. Вираховується за формулою:

$$CR = \frac{\left(\sum_{i=1}^n \lambda_i \right)^2}{\left(\sum_{i=1}^n \lambda_i \right)^2 + \sum_{i=1}^n \delta_i^2}$$

де λ – фактор навантаження для кожного елементу i , n – кількість індикаторів для латентної змінної, δ_i – відхилення моделі для кожного елементу i .

- Середня дисперсія. Дає змогу виміряти наскільки далеко випадкові значення розподілені від їх середнього, підраховується за формулою:

$$\overline{\delta_y^2} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n \left(y_i - \frac{\sum_{j=1}^n y_j}{n} \right) \right)^2}{n},$$

де y_i – значення ваг для кожного індикатора i .

У таблиці 2.7 подано результати обчислень внутрішньої узгодженості в блоках для першої ітерації.

Таблиця 2.7

Перевірка внутрішньої узгодженості в блоках (ітерація 1)

| Фактор | Коефіцієнт Альфа Кронбаха, α | Коефіцієнт ρ | Надійність моделі (CR) | Середня дисперсія ($\overline{\delta_y^2}$) |
|--------------------|-------------------------------------|-------------------|------------------------|---|
| Туризм | 0,720 | 0,906 | 0,837 | 0,620 |
| Соціальний комфорт | 0,552 | 0,780 | 0,738 | 0,471 |
| Економіка | -0,314 | 0,955 | 0,281 | 0,573 |
| Екологія | 0,549 | 0,810 | 0,479 | 0,410 |

З таблиці 2.7 видно, що блок «Туризм» має задовільне значення коефіцієнтів на відмінно решти: «Соціальний комфорт», «Економіка» та «Екологія», які володіють поганою внутрішньою узгодженістю, адже для них не виконується умова, що $\alpha > 0,7$.

На рис. 2.3 представлені коефіцієнти кореляції явних і латентних змінних.

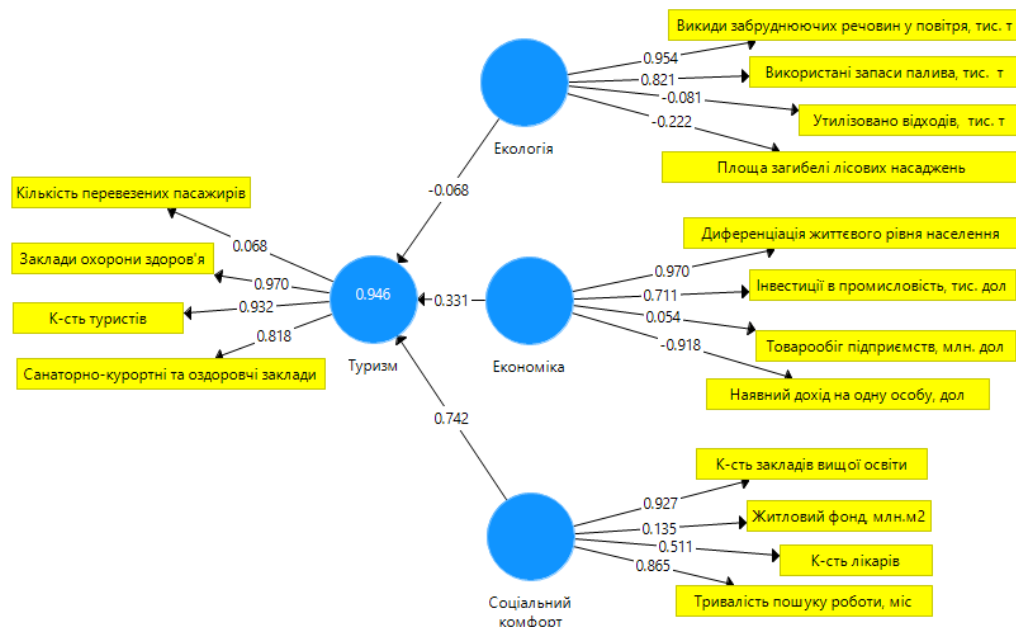


Рис. 2.3. Коефіцієнти навантажень у зовнішній моделі

У блоці «Екологія» дві змінні («Площа загибелі лісових насаджень», «Утилізовано відходів») мають від'ємний показник кореляції відповідно до

латентної змінної. У блоці «Економіка» також присутній показник з від’ємною кореляцією («Наявний дохід на одну особу»). Слід зазначити, що негативний показник кореляції призводить до невідповідності в блоках.

Отже, позбавимося від від’ємних показників та перерахуємо коефіцієнти. Результат перерахунку наведено в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8

Перевірка внутрішньої узгодженості в блоках (ітерація 2)

| Фактор | Коефіцієнт Альфа Кронбаха, α | Коефіцієнт ρ | Надійність моделі (CR) | Середня дисперсія ($\overline{\delta_y^2}$) |
|--------------------|-------------------------------------|-------------------|------------------------|---|
| Туризм | 0,720 | 0,901 | 0,837 | 0,620 |
| Соціальний комфорт | 0,552 | 0,775 | 0,738 | 0,472 |
| Економіка | 0,552 | 1,246 | 0,741 | 0,572 |
| Екологія | 0,866 | 1,221 | 0,930 | 0,870 |

Кореляційна схема після видалення від’ємних показників подана на рис. 2.4.

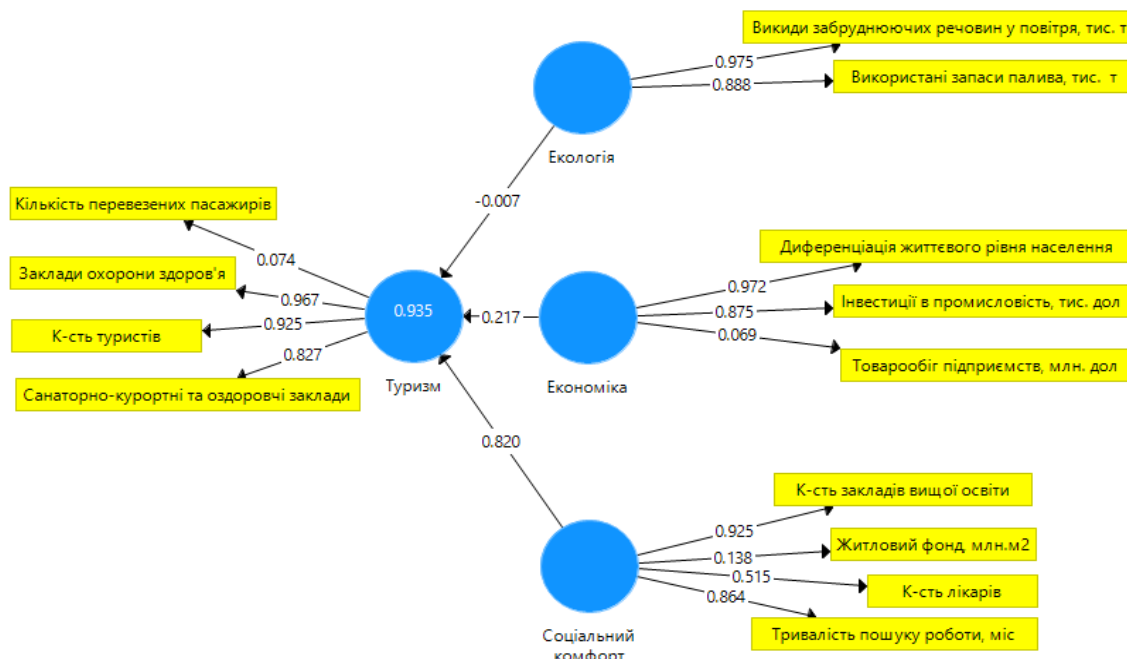


Рис. 2.4. Коефіцієнти навантажень у зовнішній моделі після ітерації 2

Після модифікації бачимо, що коефіцієнт Альфа Кронбаха не задовольняє критерій узгодженості для «Соціального комфорту» та «Економіка», адже не виконується умова для всіх латентних змінних, де $\alpha > 0,7$.

Тому для латентних змінних «Соціальний комфорт», «Економіка» видалимо такі індикатори, ваги яких менші за 0,6 (можна ітераційно збільшувати це число, наприклад, спочатку взяти 0,1, потім 0,2, і т. д.). Після перерахунку коефіцієнтів отримаємо результат, що наведено в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9

Перевірка внутрішньої узгодженості в блоках (ітерація 3)

| Фактор | Коефіцієнт Альфа Кронбаха, α | Коефіцієнт ρ | Надійність моделі (CR) | Середня дисперсія ($\overline{\delta_y^2}$) |
|--------------------|-------------------------------------|-------------------|------------------------|---|
| Туризм | 0,720 | 0,906 | 0,837 | 0,621 |
| Соціальний комфорт | 0,834 | 0,840 | 0,923 | 0,857 |
| Економіка | 0,851 | 1,278 | 0,921 | 0,855 |
| Екологія | 0,866 | 1,236 | 0,930 | 0,869 |

Отже, бачимо, що всі критерії узгодженості задовольняють необхідні умови ($\alpha > 0,7$, $\rho > 0,7$, $CR > 0,6$, $\overline{\delta_y^2} > 0,5$). На рис. 2.5 представлені кореляційні схеми.

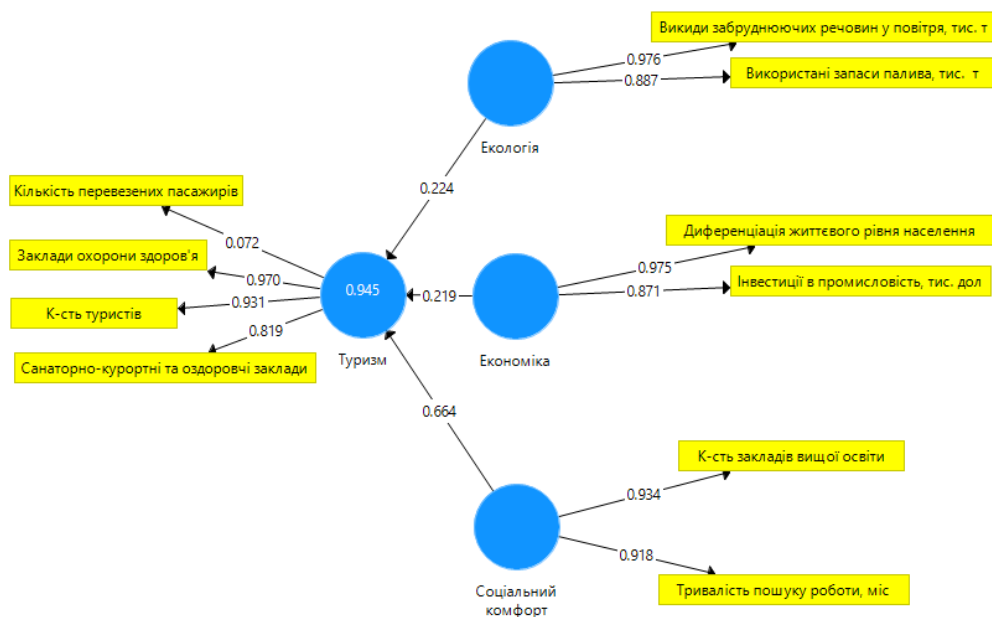


Рис. 2.5. Коефіцієнти навантажень у зовнішній моделі після ітерації 3

Переходимо до наступного етапу – перехресних кореляцій. В таблиці 2.10 подано коефіцієнти зовнішньої моделі.

Таблиця 2.10

Значення коефіцієнтів перехресного навантаження

| Індикатор | Туризм | Соціальний комфорт | Екологія | Економіка |
|---|--------|--------------------|----------|-----------|
| Кількість туристів | 0,931 | X | X | X |
| Заклади охорони здоров'я | 0,970 | X | X | X |
| Санаторно-курортні та оздоровчі заклади | 0,819 | X | X | X |
| Кількість перевезених пасажирів | 0,072 | X | X | X |
| Кількість закладів вищої освіти | X | 0,934 | X | X |
| Тривалість пошуку роботи, міс | X | 0,918 | X | X |
| Викиди забруднюючих | X | X | 0,976 | X |

| | | | | |
|--|---|---|-------|-------|
| речовин у повітря, тис. т | | | | |
| Використані запаси палива, тис. т | X | X | 0,887 | X |
| Інвестиції в промисловість, тис. дол. | X | X | X | 0,871 |
| Диференціація життєвого рівня населення | X | X | X | 0,975 |

Пригадаємо, що змінні вважаються значущими, якщо коефіцієнт навантаження задовольняє умову $w_j > 0,7$. За результатами перевірки з моделі слід виключити змінну «Кількість перевезених пасажирів». Після виключення даного показника отримаємо наступний вигляд коефіцієнтів перехресного навантаження, що показано в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11

Значення коефіцієнтів перехресного навантаження після модифікації

| Індикатор | Туризм | Соціальний комфорт | Екологія | Економіка |
|--|--------|-----------------------|----------|-----------|
| Кількість туристів | 0,932 | X | X | X |
| Заклади охорони здоров'я | 0,969 | X | X | X |
| Санаторно-курортні та оздоровчі заклади | 0,819 | X | X | X |
| Кількість закладів вищої освіти | X | 0,934 | X | X |
| Тривалість пошуку роботи, міс | X | 0,918 | X | X |
| Викиди забруднюючих речовин у повітря, тис. т | X | X | 0,975 | X |
| Використані запаси палива, тис. т | X | X | 0,888 | X |

| | | | | |
|--|---|---|---|-------|
| Інвестиції в промисловість, тис. дол. | X | X | X | 0,870 |
| Диференціація життєвого рівня населення | X | X | X | 0,976 |

У таблиці 2.11 представлена сумарна статистика структурної моделі. Видно, що сила зв'язків всіх явних змінних з латентними змінними знаходиться на достатньому рівні щоб вважати, що всі змінні «лояльні» до своїх блоків (латентних змінних).

Перерахуємо коефіцієнти внутрішньої узгодженості в блоках після видалення показника «Кількість перевезених пасажирів». Результат наведено в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12

**Перевірка внутрішньої узгодженості в блоках видалення показника
«Кількість перевезених пасажирів»**

| Фактор | Коефіцієнт Альфа Кронбаха, α | Коефіцієнт ρ | Надійність моделі (CR) | Середня дисперсія ($\overline{\delta_y^2}$) |
|-----------------------|--|----------------------|---------------------------|--|
| Туризм | 0,892 | 0,906 | 0,934 | 0,826 |
| Соціальний комфорт | 0,834 | 0,840 | 0,923 | 0,857 |
| Економіка | 0,851 | 1,287 | 0,921 | 0,854 |
| Екологія | 0,866 | 1,225 | 0,930 | 0,870 |

Перейдемо до наступного етапу – перевірки якості внутрішньої моделі. На рис. 2.6 зображено графічне представлення внутрішньої моделі з вказаними значеннями вагових коефіцієнтів.

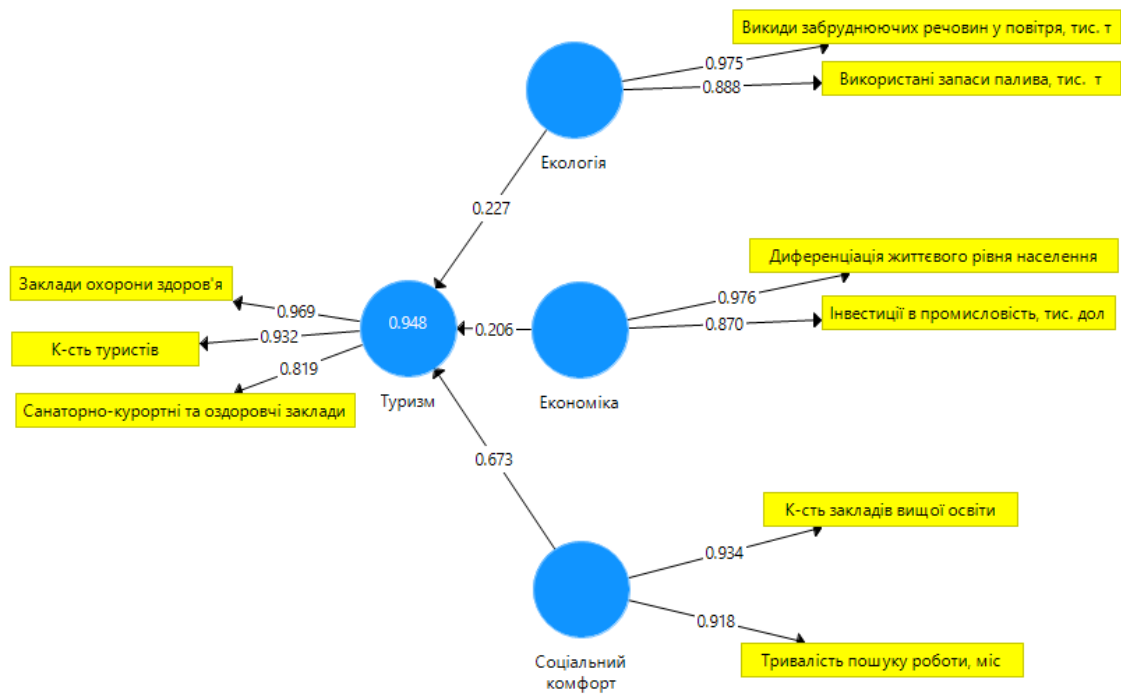


Рис. 2.6. Остаточна модель сталого розвитку туризму територіальних громад
Закарпатського регіону

Визначимо коефіцієнт детермінації R^2 , який вказує, наскільки отримані спостереження підтверджують модель.

Формула для обчислення коефіцієнту детермінації:

$$R^2 = 1 - \frac{\overline{\delta^2}}{\delta_y^2},$$

де $\overline{\delta^2}$ – середня дисперсія залишків, а δ_y^2 – середня дисперсія набору значень y_i ($i = 1, 2, \dots, n$).

Для даної моделі коефіцієнт детермінації дорівнює 0,948 для цільового блоку «Туризм» ($R^2 > 80\%$). Табличний параметр надійність моделі для всіх блоків більший за 50%, що позитивно характеризує досліджувану модель. В останньому стовпці представлений показник, що характеризує значення середньої дисперсії індикаторів блоку. Показник $\overline{\delta_y^2}$ для всіх блоків перевищує 50%, тому згідно з даним критерієм внутрішня модель також вважається задовільною.

Четвертий етап – обчислення єдиного коефіцієнта якості відповідності моделі даних – *GoF* (Goodness-of-Fit). Коефіцієнт характеризує якість внутрішньої та зовнішньої моделі системи. Надійність моделі вважається високою, якщо коефіцієнт *GoF* перевищує значення 70%. Формула для обчислення *GoF*:

$$GoF = \sqrt{AVE * R^2},$$

$$\text{де } AVE = \frac{\overline{\delta^2}_{\text{туризм}} + \overline{\delta^2}_{\text{соц.комф.}} + \overline{\delta^2}_{\text{екологія}} + \overline{\delta^2}_{\text{економіка}}}{4}.$$

Для досліджуваної у цій роботі моделі коефіцієнт *GoF* дорівнює 90%. Таким чином усі необхідні умови якості для досліджуваної моделі виконуються.

Для подальшого аналізу подамо внутрішнього модель у вигляді наступного рівняння:

$$LV_{\text{туризм}} = 0,673LV_{\text{соц.комф.}} + 0,227LV_{\text{екологія}} + 0,206LV_{\text{економіка}} + error_{\text{туризм}}.$$

Оцінювання латентних змінних у вигляді системи рівнянь:

$$\begin{cases} \widehat{LV}_{\text{туризм}} = 0,969X_{\text{з.о.з.}} + 0,932X_{\text{к.т.}} + 0,819X_{\text{с.к.о.з.}} \\ \widehat{LV}_{\text{соц.комфорт}} = 0,918X_{\text{т.п.р.}} + 0,934X_{\text{к.з.в.о.}} \\ \widehat{LV}_{\text{екологія}} = 0,975X_{\text{в.з.р.п.}} + 0,888X_{\text{в.з.п.}} \\ \widehat{LV}_{\text{економіка}} = 0,870X_{\text{і.п.}} + 0,976X_{\text{д.ж.р.н.}} \end{cases}$$

Можемо зробити висновок, що усі характеристики, обрані для дослідження, мають вплив на рівень розвитку туризму в територіальних громадах Закарпатського регіону. Однак слід відзначити, що рівень соціального комфорту має найбільший вплив серед досліджуваних латентних змінних (рівень впливу 0,673). Також вагомими факторами, що впливають на розвиток екологія регіону та його економічна складова з рівнями впливу 0,227 та 0,206 відповідно. Оскільки економічний рівень має найменший показник, то можемо припускати, що сталий рівень розвитку туризму можливий як в економічно розвиненому регіоні, так і в такому, що розвивається.

На основі фінальної моделі можна зробити висновки про ключові фактори, які характеризують рівень розвитку туризму в регіоні:

1. Диференціація життєвого рівня населення (вказує на соціально-економічні відмінності членів суспільства);
2. Викиди забруднюючих речовин у повітря;
3. Заклади охорони здоров'я;
4. Кількість закладів освіти;
5. Кількість туристів.

Можемо вважати, що покращення факторів даної моделі призведе до позитивних змін в туристичній галузі територіальних громад Закарпатського регіону. Цінність розробленої моделі полягає в тому, на її основі можна розраховувати латентні індекси для кожного року і створювати симулятор для прогнозу майбутніх значень на основі статистичних тенденцій ключових факторів впливу. Сталість розвитку можна констатувати шляхом покращення вагових коефіцієнтів блоків для різних періодів.

Сильні сторони даного дослідження полягають в тому, що на основі економічних показників туристичної галузі було визначено фактори, які характеризують рівень розвитку туризму. Покращення цих факторів може позитивно вплинути на зростання економічної складової територіальних громад.

Слабкі сторони пов'язані з тим, що розроблена математична модель відображає теперішній ресурсний потенціал в цілому та не передбачає конкретних кроків щодо реалізації якісного та кількісного зростання соціально-економічних аспектів життя населення. Також можна відзначити, що з появою нових індикаторів розвитку туризму буде доцільно переосмислити математичну модель з відповідним внесенням змін на етапі представлення PLS-PM моделі.

Додаткові можливості при використанні наведених результатів можуть вплинути та формування економічно-вигідної стратегії на ринку та ефективнішого використання наявних ресурсних балансів. Не менш важливим є

те, що результати дослідження можуть мати вплив на прогнозування тенденцій розвитку територіальних громад на основі економічних показників в галузі туризму.

Розроблена математична модель побудована на основі аналізу існуючих показників туристичного сектору та не приділяє достатню увагу факторам, які без належної уваги будуть з часом погіршуватись. До цих факторів належать: недостатнє фінансове забезпечення галузі, використання застарілих засобів обладнання, тощо.

Система вибору напрямку розвитку.

Для моделювання системи вибору напрямку розвитку територіальних громад скористаємося методом аналізу ієрархій, головними завданнями якого є побудова ієрархічної моделі та визначення власних векторів і чисел. Найбільшими перевагами даного методу є його безрозмірність та отримання «жорстких» оцінок. Експерт порівнює елементи попарно щодо їх впливу на загальну характеристику.

Першим кроком є побудова ієрархічної моделі. Вершиною повинна бути мета. У нашому випадку метою є вибір напрямку розвитку територіальної громади. Другий рівень утворюють критерії, у нашому випадку це – ресурси, наявні в територіальній громаді. У таблиці 2.13 подані ресурси, виокремлені при дослідженні територіальних громад [69-100].

Таблиця 2.13

Ресурси територіальних громад

| Ідентифікатор | Критерії (ресурси) |
|---------------|---|
| к1 | Корисні копалини, нафт, газ |
| к2 | Культурна спадщина |
| к3 | «Браунфілди» та «грінфілди» (інвестиційно привабливі ділянки регіону) |
| к4 | Природно-рекреаційні ресурси |

| | |
|-----|---|
| к5 | Залізничні сполучення |
| к6 | Ліси |
| к7 | Озера, ставки, річки |
| к8 | Туристичний потенціал |
| к9 | Землі сільськогосподарського призначення |
| к10 | Промислові підприємства |
| к11 | Земельні ділянки під індивідуальну забудову |
| к12 | Трудові ресурси |
| к13 | Зони відпочинку |
| к14 | Навчальні заклади |
| к15 | Заклади культури |
| к16 | Заклади охорони здоров'я |
| к17 | Рівень надання медичної допомоги |
| к18 | Мережі забезпечення дозвілля населення |
| к19 | Креативна культурна індустрія |
| к20 | Централізоване водопостачання та водовідведення |
| к21 | Спортивна інфраструктура |
| к22 | Рівень громадської активності |
| к23 | Освітлення вулиць |
| к24 | Громадський транспорт |
| к25 | Розвиток логістики |
| к26 | Ефективність поводження з побутовими відходами |
| к27 | Стан доріг |
| к28 | Стан інженерних мереж |
| к29 | Якість покриття мобільного та інтернет зв'язку |

У процесі дослідження використано додаткові чотири критерії, які впливають з попередніх: централізоване водопостачання та водовідведення

(обернений критерій, ідентифікатор – к30), рівень громадської активності (обернений, к31), стан доріг (обернений, к32), якість покриття мобільного та інтернет зв'язку (обернений, к33). Основною метою додавання додаткових критеріїв є те, що якщо, наприклад, стан доріг поганий, то нам потрібна висока оцінка, щоб взяти операційну ціль «ремонт доріг». Ці критерії, які будуть обчислюватися на основі їхнім аналогам за формулою:

$$x' = 9 - x + 1,$$

де x – основний критерій, а x' – обернений.

Третім рівнем є альтернативи, якими, у нашому випадку, виступають операційні цілі, які може прийняти ОТГ для свого розвитку. У таблиці 2.14 подані операційні цілі, а також, до якої категорії (стратегічної цілі) вони належать.

Таблиця 2.14

Операційні і стратегічні цілі розвитку територіальних громад

| Ідентифікатор | Операційна ціль | Стратегічна ціль |
|---------------|--|----------------------------|
| a1 | Формування сприятливого інвестиційного клімату | Розвиток економіки громади |
| a2 | Формування позитивного іміджу громади та маркетинг | Розвиток економіки громади |
| a3 | Розвиток туристичного потенціалу громади | Розвиток економіки громади |
| a4 | Розвиток агропромислового виробництва та сільгосппереробки | Розвиток економіки громади |
| a5 | Вдосконалення управління земельними ресурсами та їх ефективне використання | Розвиток економіки громади |

| | | |
|-----|---|--|
| a6 | Перехід на інноваційно орієнтоване та високотехнологічне виробництво, розвиток кластерів та індустріаль-них парків, створення коворкінг центру, молодіжного бізнес інкубатора, технопарку | Розвиток економіки громади |
| a7 | Розвиток культури та спорту | Підвищення якості життя |
| a8 | Всебічний розвиток дітей та молоді | Створення умов для розвитку жителів громади |
| a9 | Створення умов для інвестування житла | Будівництво та земельні відносини |
| a10 | Збереження історичної самобутності та культурних традицій | Створення умов для розвитку жителів громади |
| a11 | Модернізація вугільної та нафтової галузі, будівництво сучасних шахт | Розвиток економіки громади |
| a12 | Будівництво та реконструкція мереж водопостачання та водовідведення | Забезпечення комфортних та безпечних умов для проживання |
| a13 | Підвищення рівня громадської активності та соціальної згуртованості в громаді | Створення умов для розвитку жителів громади |
| a14 | Ремонт доріг та придорожньої інфраструктури | Забезпечення комфортних та безпечних умов для проживання |
| a15 | Вдосконалення, розширення, покращення якості зв'язку та інтернету | Забезпечення комфортних та безпечних умов для проживання |

Ієрархічна модель вибору напрямку розвитку територіальної громади наведено на рис. 2.7.

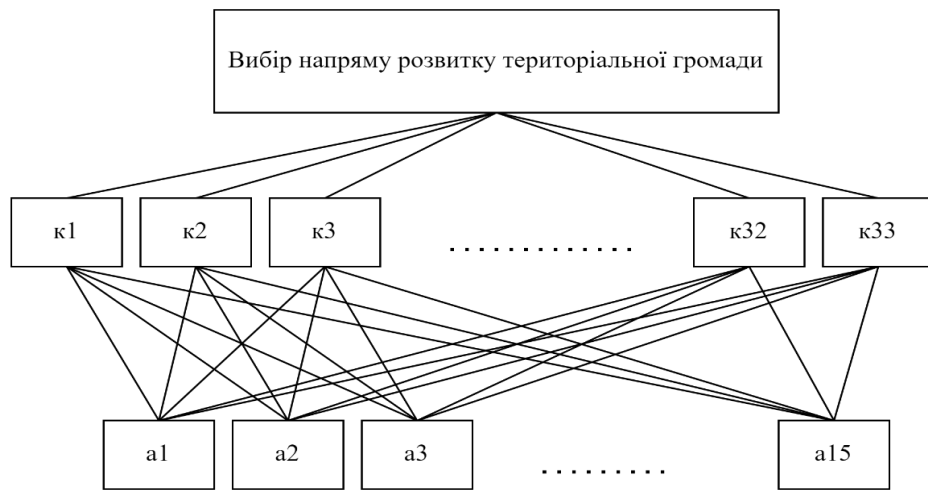


Рис. 2.7. Ієрархічна модель вибору напрямку розвитку територіальної громади

Щоб покращити знання про предметну область, використаємо онтологічне подання знань, застосувавши редактор онтологій Protégé [101]. На рис. 2.8 показано створену онтологію територіальної громади напрямку розвитку. Сутностями виступають ресурси територіальної громади та операційні цілі, які можна прийняти як план розвитку ТГ.

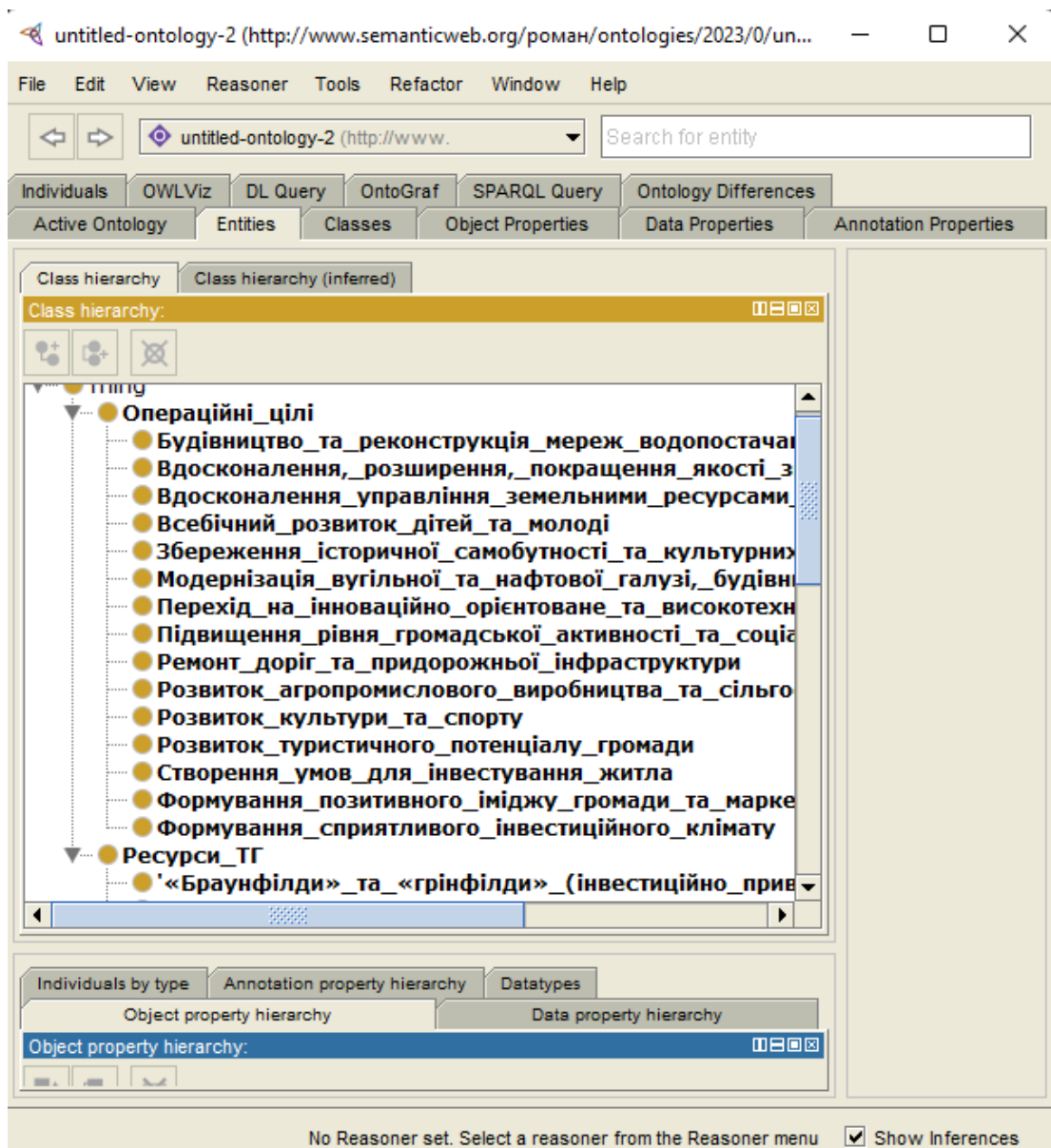


Рис. 2.8. Створена онтологія предметної області

У таблиці 2.15 подано відношення між класами. Наприклад, ресурс «Заклади культури» пов'язане з такими операційними цілями, як «Розвиток культури та спорту», «Всебічний розвиток дітей та молоді», «Розвиток туристичного потенціалу громади» та «Перехід на інноваційно орієнтоване та високотехнологічне виробництво, розвиток кластерів та індустріальних парків, створення коворкінг центру, молодіжного бізнес інкубатора, технопарку» відношенням «впливає на».

Відношення створеної онтології

| Ідентифікатор операційної цілі | Ідентифікатори ресурсів, які впливають на вибір операційної цілі |
|--------------------------------|--|
| a1 | к1, к3, к4, к5, к8, к9, к10, к12, к27, к28, к29 |
| a2 | к2, к8, к17, к18, к19, к22, к23, к24, к27, к29 |
| a3 | к2, к4, к6, к7, к8, к13, к15, к18, к27 |
| a4 | к5, к7, к9, к12, к25, к27 |
| a5 | к9, к12, к25, к27 |
| a6 | к2, к12, к14, к15, к19, к26, к29 |
| a7 | к15, к16, к21 |
| a8 | к14, к15 |
| a9 | к11, к20 |
| a10 | к2 |
| a11 | к1 |
| a12 | к30 |
| a13 | к31 |
| a15 | к32 |
| a15 | к33 |

Тепер перейдемо до визначення пріоритетів за методом аналізу ієрархії. Ці пріоритети мають характеризувати відносну важливість або перевагу елементів на кожному рівні ієрархічної моделі. Чим більший пріоритет, тим більш значущим є відповідний елемент.

Т. Сааті [102] обрав 9 значень для порівняння важливості пріоритетів, які подані у таблиці 2.16. Це пояснюється тим, людина здатна розрізнити одночасно 7 ± 2 різні властивості елементів.

Шкала відносної важливості пріоритетів

| Значення | Якісна характеристика |
|----------|------------------------|
| 1 | Рівноцінні елементи |
| 2 | Несуттєвий пріоритет |
| 3 | Слабкий пріоритет |
| 4 | Помірний пріоритет |
| 5 | Значний пріоритет |
| 6 | Істотний пріоритет |
| 7 | Сильний пріоритет |
| 8 | Дуже сильний пріоритет |
| 9 | Безумовний пріоритет |

Яким буде вибір напрямку розвитку залежить від того, які саме ресурси належать територіальній громаді. А оскільки вони різні для кожної громади, то для простоти вхідними параметрами буде масив даних ресурсів по шкалі 1-9, де 1 – дуже мало (якщо про кількість) або дуже незадовільно (якщо про стан), 9 – дуже багато (якщо про кількість) або дуже задовільно (якщо про стан), 2-8 – проміжні результати. Відповідно, ці значення будемо переводити у шкалу відносної важливості за допомогою псевдокоду:

$$IF(x > y) THEN x - y + 1; ELSE 1/(y - x + 1)).$$

Далі будемо таблиці попарних порівнянь [103, 104]. Перший рівень ієрархії в нашій моделі має одну мету: вибір напрямку розвитку і значення його пріоритету береться рівним 1. Другий рівень ієрархії має 33 критерії. Пріоритети цих критеріїв можна отримати за допомогою матриці порівнянь відносно цілі першого рівня. Для прикладу було вибрано Бродівську територіальну громаду. У таблиці 2.17 подані дані про ресурси, наявні у даній громаді. Оцінки ставили експерти від громадської організації «Аналітичний центр “Експерт-група”».

Таблиця 2.17

Наявні ресурси і їхні шкали у Бродівській територіальній громаді

| № | Ресурси | Шкала: 1 – дуже мало або дуже незадовільно, 9 – дуже багато або дуже задовільно, 2-8 – проміжні результати |
|----|---|--|
| 1 | Корисні копалини, нафт, газ | 2 |
| 2 | Культурна спадщина | 5 |
| 3 | «Браунфілди» та «грінфілди» (інвестиційно привабливі ділянки регіону) | 4 |
| 4 | Природно-рекреаційні ресурси | 6 |
| 5 | Залізничні сполучення | 4 |
| 6 | Ліси | 8 |
| 7 | Озера, ставки, річки | 5 |
| 8 | Туристичний потенціал | 8 |
| 9 | Землі сільськогосподарського призначення | 9 |
| 10 | Промислові підприємства | 5 |
| 11 | Земельні ділянки під індивідуальну забудову | 6 |
| 12 | Трудові ресурси | 6 |
| 13 | Зони відпочинку | 5 |
| 14 | Навчальні заклади | 8 |
| 15 | Заклади культури | 6 |
| 16 | Заклади охорони здоров'я | 9 |
| 17 | Рівень надання медичної допомоги | 5 |
| 18 | Мережі забезпечення дозвілля населення | 4 |
| 19 | Креативна культурна індустрія | 5 |

| | | |
|----|---|-----------|
| 20 | Централізоване водопостачання та водовідведення | 9 |
| 21 | Спортивна інфраструктура | 7 |
| 22 | Рівень громадської активності | 6 |
| 23 | Освітлення вулиць | 4 |
| 24 | Громадський транспорт | 4 |
| 25 | Розвиток логістики | 6 |
| 26 | Ефективність поводження з побутовими відходами | 4 |
| 27 | Стан доріг | 5 |
| 28 | Стан інженерних мереж | 5 |
| 29 | Якість покриття мобільного та інтернет зв'язку | 7 |
| 30 | Централізоване водопостачання та водовідведення (обернений) | $9-9+1=1$ |
| 31 | Рівень громадської активності (обернений) | $9-4+1=4$ |
| 32 | Стан доріг (обернений) | $9-5+1=5$ |
| 33 | Якість покриття мобільного та інтернет зв'язку (обернений) | $9-7+1=3$ |

Нагадаємо, що ресурси у таблиці 2.17, які виділені сірим (рядки 30-33), обраховуються автоматично. У таблиці 2.18 подано множину локальних пріоритетів для рівня 2.

Таблиця 2.18

Власний вектор локальних пріоритетів для рівня 2

| № | Критерії (ресурси) | Значення |
|---|-----------------------------|----------|
| 1 | Корисні копалини, нафт, газ | 0,006 |
| 2 | Культурна спадщина | 0,018 |

| | | |
|----|---|-------|
| 3 | «Браунфілди» та «Грінфілди» (інвестиційно привабливі ділянки регіону) | 0,011 |
| 4 | Природно-рекреаційні ресурси | 0,030 |
| 5 | Залізничні сполучення | 0,011 |
| 6 | Ліси | 0,065 |
| 7 | Озера, ставки, річки | 0,018 |
| 8 | Туристичний потенціал | 0,065 |
| 9 | Землі сільськогосподарського призначення | 0,090 |
| 10 | Промислові підприємства | 0,018 |
| 11 | Земельні ділянки під індивідуальну забудову | 0,030 |
| 12 | Трудові ресурси | 0,030 |
| 13 | Зони відпочинку | 0,018 |
| 14 | Навчальні заклади | 0,065 |
| 15 | Заклади культури | 0,030 |
| 16 | Заклади охорони здоров'я | 0,090 |
| 17 | Рівень надання медичної допомоги | 0,019 |
| 18 | Мережі забезпечення дозвілля населення | 0,011 |
| 19 | Креативна культурна індустрія | 0,018 |
| 20 | Централізоване водопостачання та водовідведення | 0,090 |
| 21 | Спортивна інфраструктура | 0,046 |
| 22 | Рівень громадської активності | 0,030 |
| 23 | Освітлення вулиць | 0,011 |
| 24 | Громадський транспорт | 0,011 |
| 25 | Розвиток логістики | 0,030 |
| 26 | Ефективність поводження з побутовими відходами | 0,011 |
| 27 | Стан доріг | 0,018 |
| 28 | Стан інженерних мереж | 0,018 |
| 29 | Якість покриття мобільного та інтернет зв'язку | 0,046 |

| | | |
|----|---|-------|
| 30 | Централізоване водопостачання та водовідведення (обернений) | 0,004 |
| 31 | Рівень громадської активності (обернений) | 0,012 |
| 32 | Стан доріг (обернений) | 0,017 |
| 33 | Якість покриття мобільного та інтернет зв'язку (обернений) | 0,008 |

Третім рівнем є альтернативи. Нашим завданням є визначення пріоритетів напрямів розвитку територіальної громади, використовуючи ресурси даної громади, як проміжний другий рівень. Тому пріоритети альтернатив відносно кожного ресурсу (критерію) верхнього рівня отримуємо з матриці попарних порівнянь відносно цих ресурсів. Матриця власних векторів локальних пріоритетів для рівня 3 для критеріїв 1-5 наведено у таблиці 2.19.

Таблиця 2.19

Матриця власних векторів локальних пріоритетів для рівня 3 (критерії 1-5)

| Критерії Альтернативи | к1 | к2 | к3 | к4 | к5 |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| a1 | 0,006 | 0,018 | 0,011 | 0,030 | 0,011 |
| a2 | 0,117 | 0,051 | 0,060 | 0,113 | 0,148 |
| a3 | 0,058 | 0,102 | 0,060 | 0,056 | 0,056 |
| a4 | 0,058 | 0,118 | 0,162 | 0,157 | 0,056 |
| a5 | 0,058 | 0,051 | 0,060 | 0,056 | 0,123 |
| a6 | 0,058 | 0,051 | 0,060 | 0,056 | 0,056 |
| a7 | 0,058 | 0,079 | 0,060 | 0,056 | 0,056 |
| a8 | 0,058 | 0,051 | 0,060 | 0,056 | 0,056 |

| | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| a9 | 0,058 | 0,051 | 0,060 | 0,056 | 0,056 |
| a10 | 0,058 | 0,051 | 0,060 | 0,056 | 0,056 |
| a11 | 0,058 | 0,141 | 0,060 | 0,056 | 0,056 |
| a12 | 0,134 | 0,051 | 0,060 | 0,056 | 0,056 |
| a13 | 0,058 | 0,051 | 0,060 | 0,056 | 0,056 |
| a14 | 0,058 | 0,051 | 0,060 | 0,056 | 0,056 |
| a15 | 0,058 | 0,051 | 0,060 | 0,056 | 0,056 |

У таблиці показані тільки перші 5 критеріїв через те, що таблиця розміром 15×33 дуже громізка.

Отже, за допомогою матриць попарних порівнянь ми формуємо множину локальних пріоритетів. Локальні пріоритети показують відносну силу та величину бажаність кожного окремого елемента напряму розвитку територіальної громади.

Для перевірки узгодженості матриць порівнянь було використано індекс узгодженості та відношення узгодженості. Результат попарних порівнянь альтернатив для туристичного потенціалу (к8) подані у таблиці 2.20.

Таблиця 2.20

**Матриця попарних порівнянь альтернатив для туристичного потенціалу
(к8)**

| Аль-тернативи | a1 | a2 | a3 | a4 | a5 | a6 | a7 | a8 | a9 | a10 | a11 | a12 | a13 | a14 | a15 |
|---------------|-------|-------|-------|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| a1 | 1 | 0,333 | 0,200 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| a2 | 3 | 1 | 0,250 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| a3 | 5 | 4 | 1 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| a4 | 0,333 | 0,200 | 0,143 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| a5 | 0,333 | 0,200 | 0,143 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| a6 | 0,333 | 0,200 | 0,143 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| a7 | 0,333 | 0,200 | 0,143 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|-------|-------|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a8 | 0,333 | 0,200 | 0,143 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| a9 | 0,333 | 0,200 | 0,143 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| a10 | 0,333 | 0,200 | 0,143 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 11 | 0,333 | 0,200 | 0,143 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 12 | 0,333 | 0,200 | 0,143 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 13 | 0,333 | 0,200 | 0,143 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 14 | 0,333 | 0,200 | 0,143 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 15 | 0,250 | 0,200 | 0,143 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Індекс узгодженості рахується за формулою:

$$C_I = \frac{|\lambda_{max} - n|}{n - 1},$$

де n – розмір матриці; λ_{max} – максимальне власне значення, яке обчислюється як середнє арифметичне значення компонентів власного вектора. І отримали, що $\lambda_{max} = 17,133$. Відповідно,

$$C_I = \frac{|\lambda_{max} - n|}{n - 1} = \frac{17,133 - 15}{14} = 0,152.$$

Формулою для відношення узгодженості (B_y) є відношення обчисленого індексу узгодженості до табличного індексу [102]. Табличний індекс у нашому випадку дорівнює 1,59. Отже,

$$C_R = \frac{0,152}{1,59} = 0,096.$$

Матриця попарних порівнянь вважається узгодженою, якщо $C_R \leq 0,1$. Аналогічно обчислено індекс і відношення узгодженості для інших матриць попарних порівнянь. Важливим моментом у матриці попарних порівнянь для рівня 2 є те, що табличне значення індексу узгодженості для матриці розміром 33 є 1,68, яке було пораховано у [104], оскільки у [102] обраховано тільки до матриці з розміром 15.

Тепер розглянемо визначення вектору глобальних пріоритетів. Починаючи з другого рівня, вони об'єднуються, рухаючись вниз [103]. Ті з пріоритетів, які є локальними, множаться на пріоритет відповідного критерію, який знаходить

рівнем вище. Далі обчислюється сума з кожним представником відповідно до критеріїв, на які цей представник має вплив. У результаті отримуємо глобальний пріоритет того з представників, який надалі використовується для визначення ваги глобальних пріоритетів представників, що порівнюються по тому самому принципу, як і з критеріями, які розташовані рівнем нижче.

Зважаючи на те, що пріоритет першого рівня ієрархії дорівнює 1, маємо що вектор локальних пріоритетів другого рівня мають помножитися на 1. Таким чином, отримуємо цей самий вектор але який вже є вектором глобальних пріоритетів. У таблиці 2.21 наведено глобальні пріоритети для рівня 3.

Таблиця 2.21

Глобальні пріоритети альтернатив (рівень 3)

| Ідентифікатор альтернатив | Альтернативи (напрями розвитку) | Значення глобальних пріоритетів |
|---------------------------|--|---------------------------------|
| a1 | Формування сприятливого інвестиційного клімату | 0,075 |
| a2 | Формування позитивного іміджу громади та маркетинг | 0,073 |
| a3 | Розвиток туристичного потенціалу громади | 0,082 |
| a4 | Розвиток агропромислового виробництва та сільгосппереробки | 0,074 |
| a5 | Вдосконалення управління земельними ресурсами та їх ефективне використання | 0,062 |
| a6 | Перехід на інноваційно орієнтоване та високотехнологічне виробництво, розвиток кластерів та індустріальних парків, створення коворкінг центру, молодіжного бізнес інкубатора, технопарку | 0,071 |

| | | |
|-----|---|-------|
| a7 | Розвиток культури та спорту | 0,073 |
| a8 | Всебічний розвиток дітей та молоді | 0,066 |
| a9 | Створення умов для інвестування житла | 0,069 |
| a10 | Збереження історичної самобутності та культурних традицій | 0,060 |
| a11 | Модернізація вугільної та нафтової галузі. будівництво сучасних шахт | 0,059 |
| a12 | Будівництво та реконструкція мереж водопостачання та водовідведення | 0,059 |
| a13 | Підвищення рівня громадської активності та соціальної згуртованості в громаді | 0,059 |
| a14 | Ремонт доріг та придорожньої інфраструктури | 0,060 |
| a15 | Вдосконалення, розширення, покращення якості зв'язку та інтернету | 0,059 |

Методом аналізу ієрархій отримано найбільше значення компоненти вектора глобальних пріоритетів – 0,082 для альтернативи а3 – розвиток туристичного потенціалу громади. Базисом для впровадження даної стратегії є географічне положення, історико-культурний потенціал, наявність закладів охорони здоров'я та рекреаційних закладів. З пріоритетом 0,075, на другому місці, є альтернатива а1 – формування сприятливого інвестиційного клімату. Третім результатом вибору напряму розвитку є альтернатива а4 – розвиток агропромислового виробництва та сільгосппереробки.

Кількість напрямів розвитку для кожної громади може варіювати, оскільки кожна з них володіє різними ресурсами та має різні глобальні пріоритети розвитку. Вибраний пріоритет очікує від органів правління низки необхідних важливих кроків. Зокрема, до них відносять такі пункти, як: розробка карти проектів, що описують, які заходи мають бути здійснені, опис кінцевого

результату, визначення відповідальних осіб, визначення виконавців реалізації поставлених цілей, узгодження термінів виконання та погодження кошторису.

2.2. Оптимізація ресурсів для розвитку територіальних громад

Оптимізація вивозу сміття.

Зважаючи на актуальність досліджень, пов'язаних з вирішень проблем збору та утилізації сміття, існує величезна кількість підходів для пошуку відповідей на пов'язані питання. Через низку причин, таких як, наприклад, географічне положення, підходи до вирішення збору та утилізації мають різні аспекти виконання у різних країнах. Але для того, щоб зручно було працювати з класифікацією підходів до проблеми збору та утилізації сміття, було вирішено узагальнити їх двох типів. До першого типу належать всі підходи, які працюють за узагальнено-локальним принципом, тобто пункти збору сміття розташовані в певних фіксованих місцях. Другий метод об'єднує підходи локального збору, тобто такого збору, при якому сміття забирається від будинку до будинку.

Забезпечення стійкого функціонального апарату керування збором та утилізацією сміття є неможливим без розгляду процесів його виробництва, обробки та транспортування. Також одним з ключових елементів є дослідження процесу розробки маршрутів вивозу та власне самого транспортування сміття. Нехтування важливістю цих питань гарантує значний приріст фінансових витрат урядом держави.

Зростання інтересу дослідників та представників політичного рівня до проблем збору та утилізації сміття зростає прямопропорційно до інтенсивного зростання кількості населення землі. Проблема управління відходами створює широке дерево запитань різнопланового характеру, а саме: питання виникнення відходів на виробництвах, способу їхнього вивезення та ліквідації, підходів для зменшення шкідливого впливу утилізації на екологічний стан середовища та повторного використання. Саме широка варіація питань цієї тематики

забезпечує значний інтерес дослідників. У цілому цей інтерес поділяється на два типи: одні з науковців цікавлять екологічними аспектами, а інші – фінансовими. Для прикладу, одним з питань фінансового характеру є питання маршрутизації транспортування, що вимагає величезні витрати для утримання робочої сили, закупівлі необхідних експлуатаційних елементів тощо, які інтенсивно зростають з кожним роком.

Шляхи подолання озвучених проблем та питань вирішуються шляхом побудов моделей, які називаються задачами збору та утилізації сміття. Вони розширюють коло вже побудованих маршрутизаційних задач транспортних засобів. Збір та утилізація сміття може бути розглянутою як задача маршрутизації транспортного засобу для збору відходів у певних групах вузлів (кластерів). Збут відходів у такому випадку відбувається у певних визначених пунктах. Приклад кластеризації зображено на рис. 2.9.



Рис. 2.9. Приклад кластеризації пунктів збору сміття

Задачі транспортувальних машин та задачі маршрутизації характеризуються рядом подібних ознак. Обидві з них включають розгляд фіксованої навантаженості та переслідують цілі мінімізації загального шляху маршруту та/або його тривалості та наповненості контейнера транспортного засобу, який використовується для перевезення сміття. Умова задачі збору та

утилізації відходів, яка допускає багаторазове відвідування пункту збору матеріалів для всіх задіяних транспортних засобів є ключовою різницею між цими задачами. До ще однієї відмінної ознаки відносимо те, що транспортні засоби мають бути обов'язково звільнені від зібраних відходів перед поверненням до пункту відправлення. Пунктами збуту у постановці такої задачі прийнято вважати сміттєзвалища.

Оскільки темпи заселення земної кулі людьми та ускладнення екологічної безпеки зростають ритмічно та невпинно, активно зростають і видатки на всі фінансові питання щодо утилізації сміття, що в свою чергу штовхає керівний апарат територіальних громад чи населених пунктів все глибше занурюватися в питання оптимізації вивозу твердих побутових відходів.

Введемо декілька умов та з їх урахуванням розглянемо питання оптимізованої маршрутизації збору сміття в об'єднаній територіальній громаді. Однією з умов є розгляд задачі для одного транспортного засобу (сміттєвоза). Наступною умовою визначається, що місця розташування сміттєзвалищ можуть бути на шляху між запропонованими кластерами пунктів збору сміття. Остання умова вказує на те, що кожний транспортний сміттєвоз має певну фіксовану навантаженість. Збір сміття виконується у фіксованих місцях території громад.

В процесі дослідження було використано покращений алгоритм методу k -середніх для задачі об'ємної кластеризації [105]. Бажаним результатом цього методу є присвоєння кожної точки даної множини до певного відповідного (найближчого) кластера, використовуючи центри кластерів, які названо центроїдами («середня» точка в кластері).

Структура алгоритму k -середніх складається з таких пунктів:

- 1) вибір певного числа кластерів k ;
- 2) генерація k -кластерів рандомним способом з визначенням їх відповідних центроїдів або випадковою величиною вказується k точок, які представляють відповідні центроїди кластерів;

3) віднесення точок множини до найбільш підходящого кластера (тобто найближчого);

4) вибір та переобчислення нових центроїдів класів;

5) повтор кроків 3, 4 допоки критерій збіжності не буде досягнуто або переприсвоєння втратить сенс.

З урахуванням того, що різні пункти збору сміття (ПЗС) мають різну місткість, то кращим способом формування кластерів є такий, що формує центроїди так, що ці ПЗС мають бути розташовані враховуючи пріоритетність: чим більша ПЗС (тобто чим більша ємність баку), тим ближче до центроїда вони мають знаходитися. Якщо уникати виконання цього припущення, то можна отримати проблему у вигляді утворення більшої кількості кластерів, що в свою чергу знизить рівень можливої користі. Тобто, ідея полягає в тому, що якщо спочатку прив'язаними виявляться ПЗС з меншою кількістю, а з більшою ємністю залишаться, то прийдеться створювати ще один окремий кластер. Для того, щоб оминати цей крок було використано покращений алгоритм k -середніх.

Для проведення необхідних досліджень також впроваджено задачу комівояжера. Способи її розв'язання діляться на дві категорії: точні та евристичні методи. У випадку точних методів часове обмеження не враховується і користуються таким поняттям, як «необмежений в часі». Але при цьому знаходяться гарантовано оптимальні розв'язки. Другий спосіб отримує доволі непогані приблизні розв'язки, але працюють вони в умовах накладання ліміту на час, виділений для пошуку. Для дослідження розв'язку оптимального шляху для представників одного кластеру та між самими кластерами використовуємо метод дискретної оптимізації, який називається методом «гілок та границь» [106]. Підхід, який використовує методи дискретної оптимізації, забезпечує хороші результати під час роботи з об'ємними задачами або задачами з оптимальними чи наближеними розв'язками.

Перший крок алгоритму оптимізації вивозу сміття розглядає побудову кластерів, використовуючи покращений алгоритм k -середніх.

Нехай задача розглядає територіальну громаду, яка має n , $n \in N$ пунктів збору сміття (ПЗС), координати яких відомі $((x, y) \in R^2)$.

Припустимо, що n ПЗС можна утворити k кластерів:

$$\sum_{j=1}^k n_j = n,$$

де k – кількість кластерів, n – загальна кількість ПЗС, n_j – кількість ПЗС в одному кластері j .

Нехай для вивозу сміття доступний тільки один сміттєвоз і відома його тоннажність C та відомі d_1, \dots, d_n – місткість конкретного ПЗС.

Нехай X – бінарна матриця така, що

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо ПЗС } i \text{ належить кластеру } j, \\ 0 & \text{– якщо ні.} \end{cases}$$

Метою задачі є знаходження такої величини X , щоб мінімізувати

$$\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \text{cost}_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad (2.13)$$

де cost_{ij} – Евклідова відстань, формула якої:

$$\text{cost}_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}, \quad (2.14)$$

де (x_i, y_i) , (x_j, y_j) – координати i -го та j -го ПЗС, з наступними умовами

$$\sum_{j=1}^k x_{i,j} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n, n \in N \quad (2.15)$$

та

$$\sum_{i=1}^n d_i x_{i,j} < C, \quad j = 1, 2, \dots, k; k \in N, \quad (2.16)$$

Формула (2.15) накладає умову на те, що кожен пункт може бути прив'язаний до одного кластеру. Умова (2.16) накладає обмеження на те, що з одного кластеру можна зібрати не більше C тон сміття.

Покращений алгоритм k -середніх для задачі об'ємної кластеризації [105] має наступні етапи:

1) обчислюємо кількість кластерів на основі ємності пункту збору сміття d_i ($i=1, \dots, n$; n – кількість пунктів збору) і тоннажу машини (ємність кластера, C):

$$k = \left\lceil \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{C} \right\rceil \quad (2.17)$$

2) вибираємо початкові k центроїдів шляхом розташування ПЗС (d_i) так, щоб вони були розташовані в порядку спадання, тобто $d_1 > d_2 > \dots > d_{n-1} > d_n$. Нехай це буде список D . Тоді перші k пункти стають центроїдами;

3) прив'язуємо ПЗС до кластера. Визначаємо Евклідові відстані між кожним пунктом до всіх k центроїдів. Групуємо всі пункти до найближчого центроїду j . Щоб знайти відповідний центроїд j для пункту вивозу, обчислюємо значення пріоритету як

$$Priority P_i = \frac{cost_{ij}}{d_i}. \quad (2.18)$$

Цей пріоритет вказує пункт збору, що має найбільші шанси стати центроїдом j . Вибраний пункт прив'язується на основі обмеження (2.15). Якщо обмеження не виконується, то ПЗС буде призначено до наступного найближчого центроїда на основі (2.18) і (2.16);

4) обчислення центроїдів. Центроїд (X_j, Y_j) обчислюється на основі членів кластеру для кожного кластера. Нехай $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_j, y_j)$ – координати членів кластера j .

$$\begin{aligned} x_j &= \sum_{m=1}^j x_m / n_j, \\ y_j &= \sum_{m=1}^j y_m / n_j, \\ c_j &= (x_j, y_j), \end{aligned} \quad (2.19)$$

де c_j представляє j -ий центроїд; n_j – кількість ПЗС в кластері j ; m – ітератор циклу;

5) конвергентний критерій. Повторюємо процедуру поки є зміни в утвореному кластері.

Позначимо ПЗС через r_i ($i=1, 2, \dots, n$), $r_i \in R$.

Знайдені кластери позначимо як $K_i, i=1, \dots, k; k \in N$ – кількість кластерів.

Наступним етапом є пошук найкоротшого шляху між кластерами. Це потрібно для того, щоб упорядкувати кластери для вивезення сміття з кожної множини точок, які сформувалися, тобто якою має бути послідовність кластерів. Для цього використаємо задачу комівояжера та метод «гілок та границь» [106]. Наступні лема та твердження допоможуть зрозуміти суть методу.

Лема 2.1. Нехай довжина оптимального гамільтонового циклу з матрицею відстаней A знайдені. Якщо від елементів деякого рядка або стовпця матриці відняти деяке число і знову розв'язати задачу з новою матрицею, то гамільтонів цикл комівояжера не зміниться. Більше того, його довжина зменшиться на це число.

Твердження 2.1. Априорне долучення ребра (i, j) у гамільтоновий цикл скорочує розмірність матриці відстаней внаслідок викреслювання з цієї матриці i -го рядка та j -го стовпця. Потрібно врахувати, що якщо до якого-небудь початкового ребра (a, b) долучити деяке ребро (i, j) , може сформулюватися негамільтоновий шлях – тому потрібно одразу вилучити ребро (j, a) .

Твердження 2.2. Априорне вилучення ребра (i, j) з гамільтонового циклу дає змогу виконати додаткове зведення матриці і покращити нижню межу. Таке вилучення здійснюється шляхом заміни відповідного елемента матриці відстані на ∞ .

Перший етап характеризується визначенням деякої множини усіх можливих гамільтонових циклів R та певної нижньої множини граней ϕ довжини знайдених гамільтонових циклів. Подальшим кроком цього етапу є знаходження гамільтонового циклу, значення нижньої грані якого краще за значення ϕ_R .

Під час другого етапу передбачено старт розбиття множини на дві підмножини. Одна з них позначається як $(\{i, j\})$ та описує множину гамільтонових циклів з деяким спеціально вибраним ребром (i, j) . Інша, $(\{\overline{i, j}\})$,

визначає множину гамільтонових циклів без такого ребра. Для кожної з них потрібно знайти відповідні значення нижніх граней $\varphi_{(i,j)}$ та $\varphi_{(\overline{\{i,j\}})}$. Керуючись отриманими значеннями нижніх граней вибираємо підмножину з найменшим значенням φ . Надалі розбиваємо отриману підмножину таким же чином, допоки розмірність матриці відстаней A не стане 2×2 .

Третій етап характеризується побудовою дерева, яке описує взаємозв'язки отриманих під час поділу підмножин в результаті розбиття початкової матриці відстаней A . Вершинами такого дерева є відповідні обчислені нижні грані для кожної з підмножин. Отримане дерево дає можливість визначити поточний гамільтоновий шлях. Зауважимо, що якщо побудоване дерево має деякі обірвані гілки, то обов'язковою є перевірка того, чи нижні грані цих гілок не є менші за довжину поточного гамільтонового циклу. В разі позитивного результату перевірки, тобто одна чи більше нижніх меж з підмножин обірваних гілок є більшою за довжину поточного гамільтонового циклу, можна знайти інші гамільтонові цикли шляхом вже згаданого розбиття. Цикл, який матиме найменшу нижню грань довжин і буде шуканим гамільтоновим циклом.

Зв'язок між цими етапами наступний. Застосовуючи Лему 2.1 спочатку на рядках відомої матриці відстаней A знаходимо мінімальні елементи рядків

$$\alpha_i = \min_j(a_{ij}), (i, j = 1, \dots, n),$$

і відняти його від усіх елементів цього рядка (таку операцію називають зведенням матриці відстаней за рядками). У результаті зведення у кожному рядку матриці буде хоча б один нуль.

Потім у матриці, зведеній за рядками, визначаємо мінімальний елемент β_j у кожному стовпці, який обчислюється за формулою:

$$\beta_j = \min_i(a_{ij}), (i, j = 1, \dots, n)$$

і зводимо її за стовпцями. Таким чином, отримуємо цілковито зведену матрицю, яка містить хоча б один нуль в кожному рядку та стовпці. Більше того, елементи такої матриці – не від'ємні. Зауважимо, що числа α_i, β_j

називаються коефіцієнтами зведення. З Леми 2.1 також випливає, що довжина L гамільтонового циклу незведеної матриці відстаней можна подати у вигляді

$$L = L_1 + \gamma, \quad (2.20)$$

де L_1 – довжина гамільтонового шляху зведеної матриці відстаней, а γ визначається, як

$$\gamma = \sum_{i=1}^n \alpha_i + \sum_{j=1}^n \beta_j. \quad (2.21)$$

Очевидно, що $L_1 \geq 0$. Враховуючи це та (2.20) можна визначити нижню грань довжин множини гамільтонових циклів, як

$$\varphi_R = \gamma. \quad (2.22)$$

Вибір спеціального ребра (i, j) для другого етапу визначається на основі Тверджень 2.1 та 2.2: для деякого нульового елемента $a_{ij}=0$ отриманої зведеної матриці A уявно заміняємо на ∞ та визначаємо

$$\gamma_{\overline{(i,j)}} = \alpha_i + \beta_j. \quad (2.23)$$

Аналогічно обчислюються $\gamma_{\overline{(i,j)}}$ для всіх нульових елементів зведеної матриці. Найбільша зміна довжини гамільтонового циклу відбудеться тоді, коли вилучається ребро з максимальною довжиною, тому в ролі ребра (i, j) вибираємо таке ребро (r, s) , що

$$\gamma_{\overline{(r,s)}} = \max \{ \gamma_{\overline{(i,j)}} \}. \quad (2.24)$$

Таким самим підходом до вибору ребра розбиття продовжуємо розбиття матриці відстаней A доки її розмірність не зменшиться до значення 2×2 . Після зведення отриманої матриці до вказаного розміру її нульові елементи вказуватимуть на ребра, які необхідно додати до циклу, щоб отримати оптимальний гамільтоновий цикл. Третій етап дозволить перевірити наявність інших оптимальних гамільтонових шляхів та, якщо вони існують, обрати той з них, який має найменше значення довжини. На цьому алгоритм методу «гілок і меж» закінчується.

Другий крок алгоритму вивозу сміття використовує вищенаведений метод «гілок і границь», обравши за початковий кластер той, розташування якого є найближчим до водія.

Після того, як найкоротший шлях між кластерами було знайдено, переходимо до третього кроку. На цьому етапі знаходимо першу та останню точку в кожному кластері. Це будуть точки, які репрезентують найкоротший шлях між кластерами.

Припустимо, що послідовність K_1, K_2, \dots, K_k представляє порядок кластерів найкоротшого шляху. Для поняття початкової точки обираємо точку, яка є найближчою до водія. Кінцева ж точка K_1 визначається точкою, яка є найближчою до деякої точки з наступного кластеру K_2 .

Водночас, таким вибраним чином остання точка в кластері K_1 стає першою точкою в кластері K_2 . Таким же способом знаходимо потрібні точки для кожного кластеру. Отримавши першу й останню точку кожного кластеру, будуємо для кожного з них найкоротший шлях, застосувавши задачу комівояжера та метод «гілок і границь» з метою залучити всі пункти збору сміття. Враховуючи те, що маємо задані початкову та кінцеву точки та умову того, що до початкової точки повернення не вимагається, необхідно провести певні модифікації до початку методу «гілок і границь». Додаємо фіктивний вузол, аналогічно до запропонованої ідеї в роботі [107]. Цей вузол характеризується нульовою вагою та з'єднується з початковим та кінцевим вузлом з ребрами. Оскільки задача комівояжера повинна містити фіктивний вузол, у статочному результаті повинна бути наявна послідовність «початкова точка – фіктивний вузол – кінцева точка» (інший підхід утворити фіктивний вузол відсутній). Отже, таким чином, задача має $(n+1)$ пунктів. Після досягнення розв'язку задачі, фіктивна точка видаляється і тоді мінімальна довжина гамільтонового шляху буде досягнена та отримаємо найкоротший шлях без повернення в початкову точку.

Також накладається умова, що між кластерами є сміттєзвалища, де можна спорожнити сміттєвоз, щоб досягнути оптимальності та забезпечення логічності побудови кластерів. Це вимагається через те, що кластери будувалися на основі ємності сміттєвоза C .

Верифікацію даного методу буде проведено у наступних розділах.

Завдяки запропонованому алгоритму можливо досягти полегшення процесу формування фінансової складової для об'єднаних територіальних громад при постановці питання збору та утилізації сміття на визначеній території. Це стало реально завдяки включенню в процес дослідження сучасних методів, таких як методи машинного навчання. Зокрема, це стосується методів з категорії «навчання без вчителя», одним з яких є метод кластеризації, який називають k -середніх. Саме цей метод використано для пошуку оптимальної кількості кластерів.

Зауважимо, що об'єктом дослідження та застосування алгоритму збору та вивозу сміття може бути будь-яка територіальна одиниця, не обов'язково об'єднана територіальна громада.

Однак варто згадати і про ряд обмежень. Вони пов'язані з погодними умовами, станом водія, дороги тощо. На такі обставини неможливо вплинути під час розв'язування задач оптимізації вивозу відходів. Через це такі обмеження не розглядалися.

Накладання умови того, що сміттєзвалища вже побудовані або будуть побудовані вздовж траєкторії руху є недоліком, так як повинні бути дотримані певні санітарні норми, але водночас і перспективою подальшого вдосконалення алгоритму. В цьому випадку може бути розглянуто способи і методи оптимізації об'єму кількості відходів, який скидаються в одне сміттєзвалище на шляху від кластеру до кластеру.

Варто також врахувати те, що рівень наповненості контейнера може бути різним. Вдосконаленням алгоритму в такому випадку можливе завдяки

облаштування контейнерів спеціальними пристроями для визначення рівня заповнюваності.

Висновки до розділу 2

У цьому розділі розроблено та обґрунтовано математичний апарат, який дає змогу комплексно проводити аналіз впливу розвитку агропромислового сектору на загальний економічний стан території громади. Отримана багатофакторна кореляційно-регресійна модель в подальшому може бути вбудованою в систему прогнозування результатів для оцінювання функціонування сільського господарства областей України. Також виконано кореляційно-регресійний аналіз, який дозволив виявити найбільш значимі фактори, що визначають поточні можливості розвитку сільського господарства в громадах Львівської області.

Також у розділі вибрано та обґрунтовано математичний апарат, який дає змогу проводити аналіз основних факторів впливу на розвиток туристичної галузі, отриманий на основі PLS-PM моделі. Даний аналіз може бути використаний для успішного вирішення задач сталого розвитку туристичної територіальних громад.

Застосовуючи метод аналізу ієрархій, було побудовано систему вибору напряму розвитку територіальних громад, базуючись на їхніх ресурсах. Це дало змогу визначити стратегічно-оперативні цілі розвитку громади, детально аналізуючи її ресурси та функціональну взаємодію цих ресурсів та напрямів розвитку. Для прикладу було вибрано Бродівську територіальну громаду. Результат показав, що базуючись на теперішніх ресурсах громади, найкращим напрямом зараз буде розвиток туристичного потенціалу громади. Розробка напрямів розвитку, яка фундаментально базується на аналізі ресурсів місцевих рад, які є членами територіальної громади, включає дані за попередні роки. Такий підхід визначає цілі та пріоритети соціально-економічного розвитку разом із завданнями, метою яких є забезпечення необхідного рівня життя

громадян згідно з стандартами європейських шаблонів. Досягнути цього можливо шляхом використання внутрішнього та зовнішнього потенціалу із збереженням духовних та культурних традицій. Залучення експертів із достовірними економічними, соціальними та туристичними знаннями про життя громади і з подальшою об'єктивною оцінкою за шкалою 1-9, забезпечить перевірку інших територіальних громад. Використовуючи дану систему вибору напрямку розвитку, та, врахувавши наявні ресурси ОТГ, можна будувати глобальний план розвитку громади на декілька років. Підхід залучення незалежних експертів для оцінювання ресурсного потенціалу громади дозволить чітко відстежити тенденції на впровадження конкретних ініціатив і дозволить спрямувати зусилля для їх досягнення. Для використання результатів побудованої системи територіальним громадам необхідно розробити картку проектів за кожною вибраною оперативною ціллю, що включає в себе заходи, які необхідно здійснити, результат, який необхідно досягти і т. д.

Було побудовано метод вивозу твердих побутових відходів для зменшення фінансових витрат у галузі збору і утилізації відходів. Метод включає використання покращеного алгоритму k -середнім і метод «гілок та границь». Побудований метод дав змогу мінімізувати довжину пройденого маршруту одним сміттєвозом. Це в свою чергу зменшило загальний час маршруту, а також витрати на роботу сміттєвоза.

Побудований математичний апарат для аналізу впливу розвитку агропромислового сектору, математичний апарат для аналізу основних факторів впливу на розвиток туристичної галузі, систему вибору напряму розвитку, а також метод оптимізації вивозу сміття були використані як ядро СППР розвитку територіальних громад, у підсистемі оброблення запитів користувача та генерації результатів.

Результати розділу опубліковано у [1, 2, 3, 4, 5, 6].

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ФУНКЦІОНУВАННЯ СППР РОЗВИТКУ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД

У розділі виокремлено та проаналізовано окремі компоненти функціонування системи підтримки прийняття рішень (СППР) розвитку територіальних громад. Ця система належить до гібридного типу, оскільки вона базується на використанні баз даних, таблиць, а також штучного інтелекту. Класифікуючи СППР за Д. Павером [108], система належить до комбінованого типу: орієнтованих на знання та орієнтованих на дані СППР.

Архітектура побудованої СППР складається з таких частин:

- лінгвістичної системи (Microsoft Excel, PowerShell);
- системи обробки задач;
- системи обробки задач конкретних областей та системи знань (Google BigQuery);
- системи подання даних та інформації (Microsoft Excel).

Система обробки задач складається з модулів, наведених на рис. 3.1.

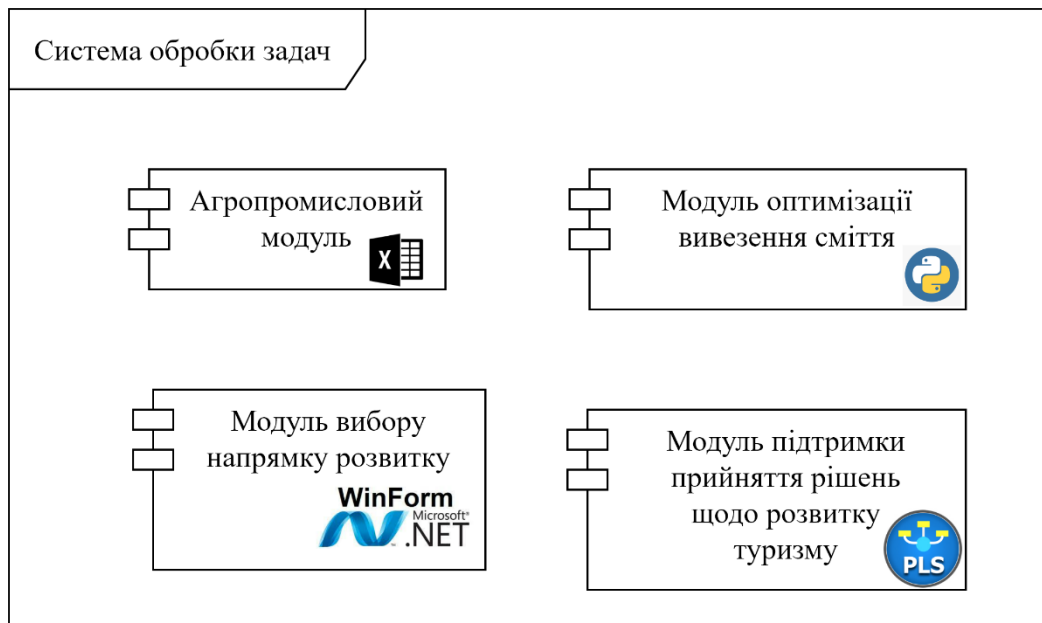


Рис. 3.1. Діаграма компонент системи обробки задач

Всі модулі можуть бути задіяні і окремо для будь-якої територіальної громади, крім агропромислового, оскільки він залежить чи є у розпорядженні ОТГ сільськогосподарські угіддя.

Діаграму діяльності [109] СППР наведено на рис. 3.2.

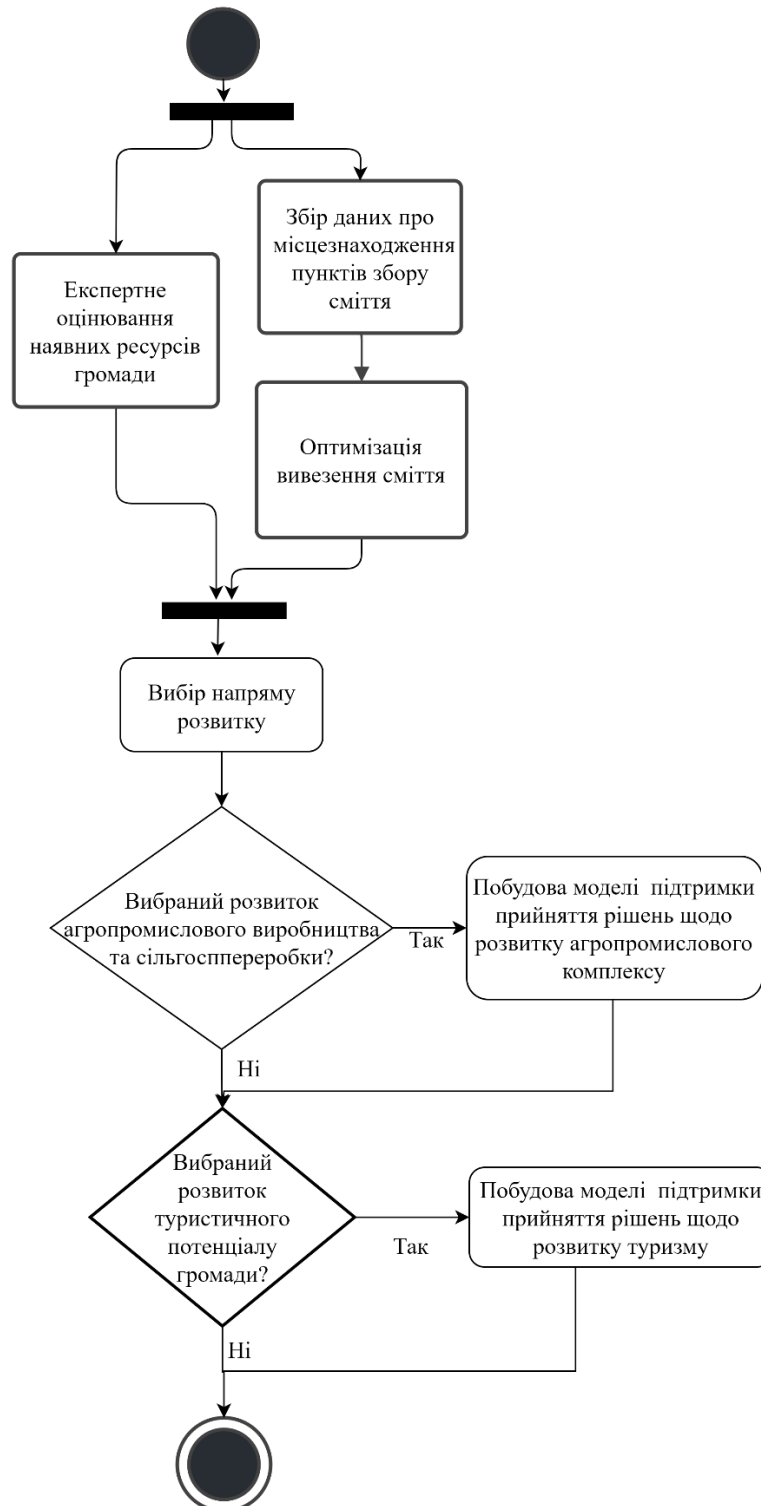


Рис. 3.2. Діаграма діяльності СППР розвитку територіальних громад

Спочатку застосовується алгоритм оптимізації вивозу сміття. Далі вибирається напрям розвитку територіальної громади. Якщо в процесі обчислення вибрано напрям «Розвиток агропромислового виробництва та сільгосппереробки», то застосовується ще агропромисловий модуль, де аналізуються фактори, які впливають на аграрний комплекс. Якщо був вибраний напрям «Розвиток туристичного потенціалу громади», то будуємо модель підтримки прийняття рішень щодо розвитку туризму. Оскільки напрямів розвитку можна вибрати декілька, то обидва модулі – підтримки прийняття рішень щодо розвитку туризму та агропромислового комплексу – можуть бути використані.

3.1. Методи функціонування окремих модулів СППР

Агропромисловий модуль.

Даний модуль використовує кореляційно-регресійну модель, яка була побудована у попередньому розділі для агропромислового комплексу України. Оскільки кореляційно-регресійний аналіз – це побудова та аналіз економіко-математичної моделі у вигляді рівнянь і таблиць, – то агропромисловий модуль складається з єдиного компоненту – Microsoft Excel – табличного процесора для роботи з електронними таблицями і аналізом даних. Використання табличного процесору Microsoft Excel дає можливість створити не лише кореляційно-регресійну модель, а й зробити прогнози про загальні показники економічного процесу та визначити розвиток підприємств у майбутньому [110].

Модуль оптимізації вивезення сміття.

Для моделювання модуля вивезення сміття скористаємося UML (Unified Modeling Language) діаграмою прецедентів [109], яка подана на рис. 3.3.

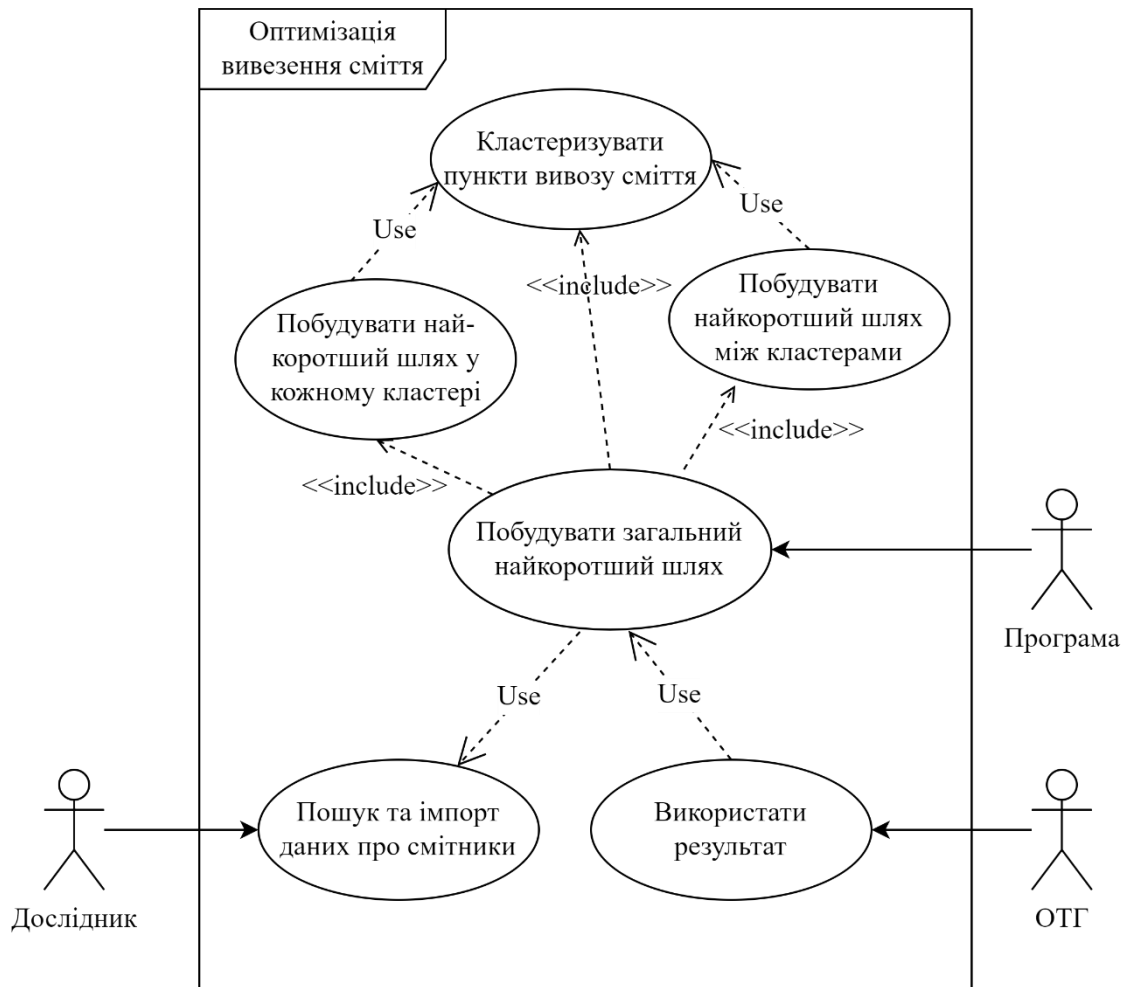


Рис. 3.3. Діаграма прецедентів модуля вивезення сміття

Спершу дослідник знаходить дані про місцезнаходження смітників та їхню ємність. Потім ці дані імпортуються в програму, яка обраховує найкоротший шлях вивозу сміття. Цей результат може використовуватися ОТГ для оптимізації вивозу сміття.

Модуль вибору напрямку розвитку.

Для моделювання модуля вибору напрямку розвитку теж скористаємося діаграмою прецедентів [109], яка подана на рис. 3.4.

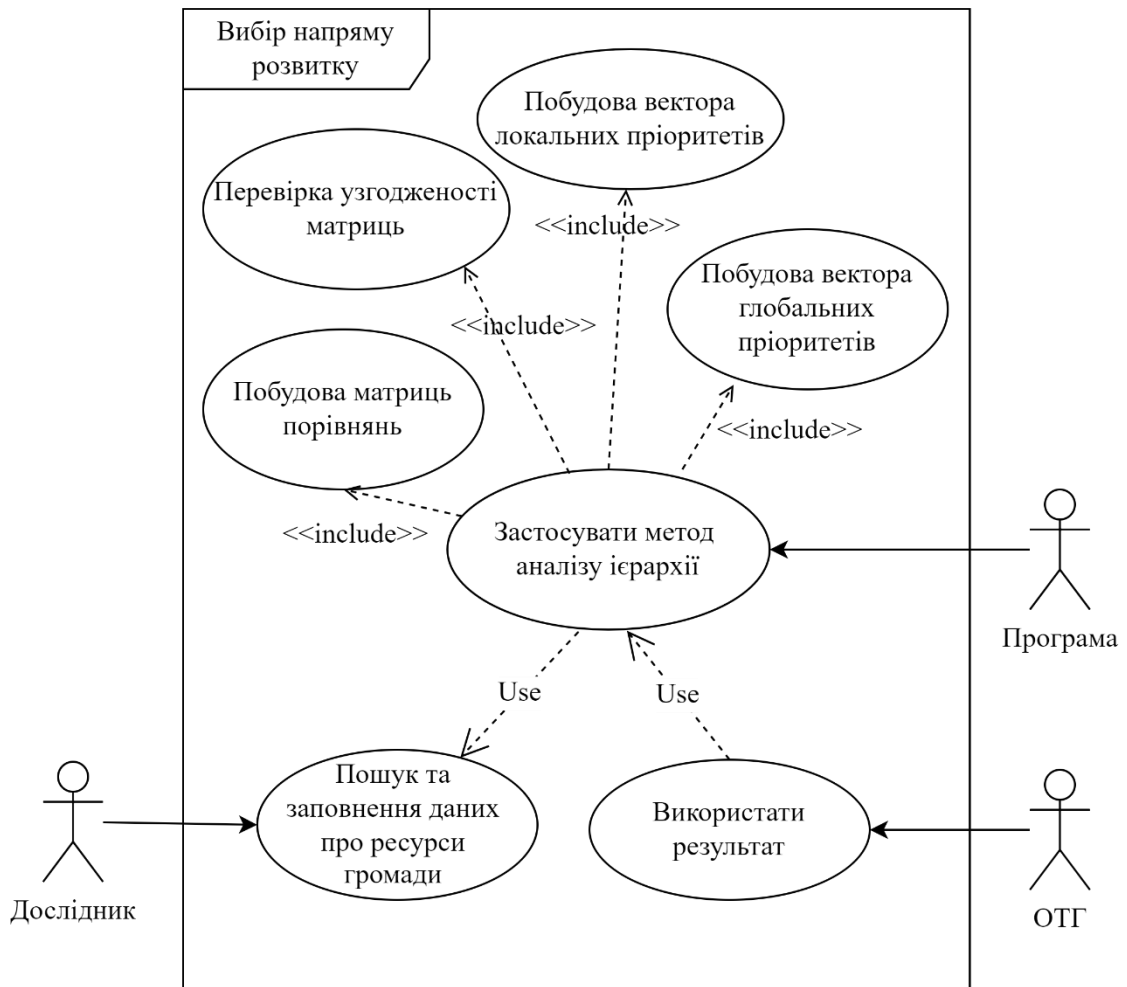


Рис. 3.4. Діаграма прецедентів модуля вибору напрямку розвитку.

Спершу дослідник знаходить та заповнює дані про наявні ресурси територіальної громади за шкалою: 1 – дуже мало (якщо про кількість) або дуже незадовільно (якщо про стан), 9 – дуже багато (якщо про кількість) або дуже задовільно (якщо про стан), 2-8 – проміжні результати. Далі дані використовуються програмою для побудови матриць попарних порівнянь та побудові локальних і глобальних векторів пріоритетів. На виході програма віддає список з пріоритетами операційних цілей. ОТГ може вибрати одну ціль (першу зі списку, яка має найвищий пріоритет) або декілька (відповідно перших зі списку з найбільшими пріоритетами) для реалізації розвитку територіальної громади.

Модуль підтримки прийняття рішень щодо розвитку туризму.

Діаграма прецедентів [109] модуля підтримки прийняття рішень щодо розвитку туризму подана на рис. 3.5.

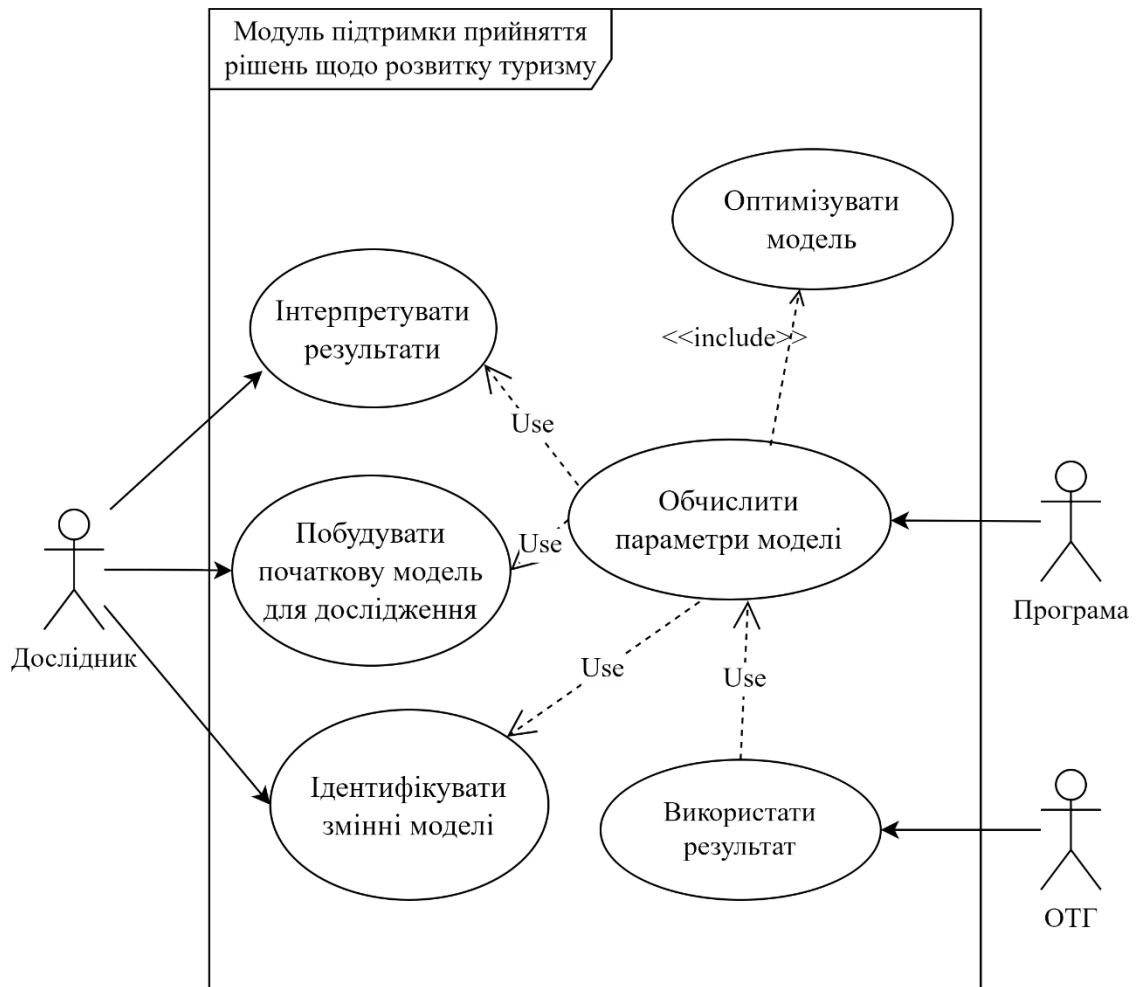


Рис. 3.5. Діаграма прецедентів модуля підтримки прийняття рішень щодо розвитку туризму.

Як бачимо, деякі кроки поки неможливо автоматизувати програмно. Ці кроки потрібно робити досліднику. Програма обчислює параметри моделі та оптимізує модель. Досліднику необхідно ідентифікувати змінні моделі, знайти потрібну статистику, після чого побудувати початкову модель. Вкінці необхідно інтерпретувати результат. Це теж робить дослідник.

3.2. Алгоритми функціонування СППР

Агропромисловий модуль.

Для моделювання алгоритму агропромислового модуля скористаємося UML діаграмою діяльності [109], яка подана на рис. 3.6.

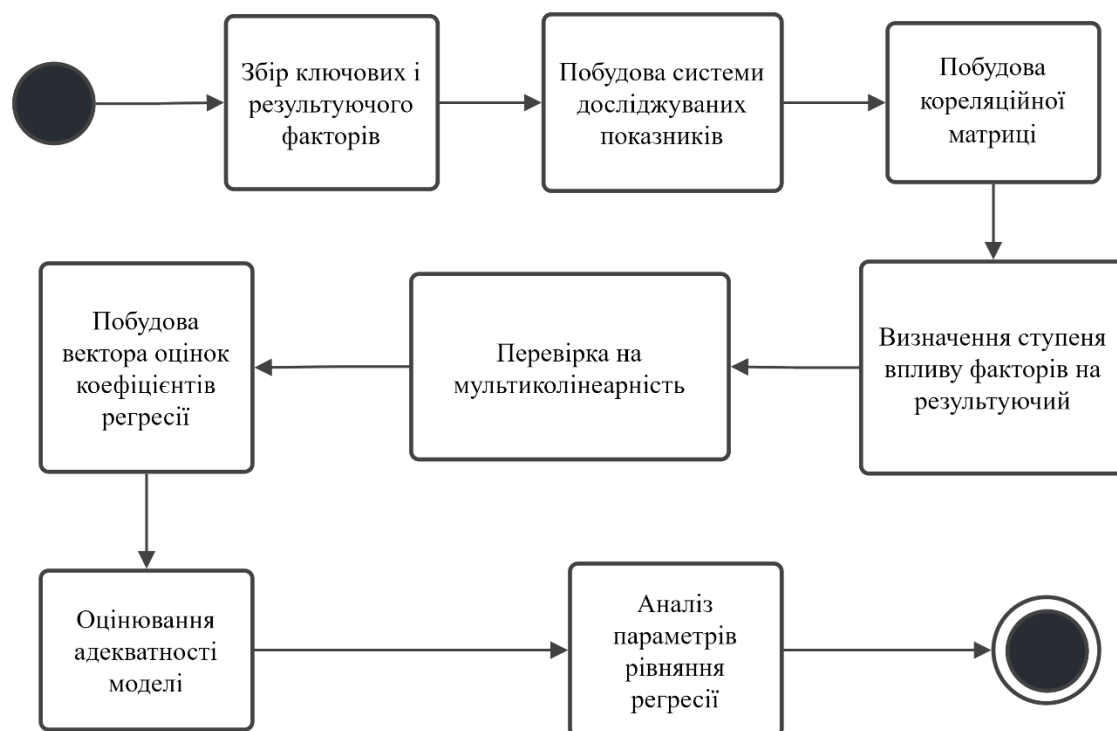


Рис. 3.6. Діаграма діяльності для кореляційно-регресійного аналізу для агропромислового комплексу

Іншими словами, це набір кроків, які необхідно пройти, щоб побудувати кореляційно-регресійну модель. Результатом буде математична модель регресії, а також оцінка адекватності моделі.

При додаванні або зміні факторів, а також при появі нових статистичних даних, необхідно заново перераховувати всі кроки алгоритму.

Модуль оптимізації вивезення сміття.

Для моделювання алгоритму модуля вивезення сміття теж скористаємося UML діаграмою діяльності [109], яка подана на рис. 3.7.

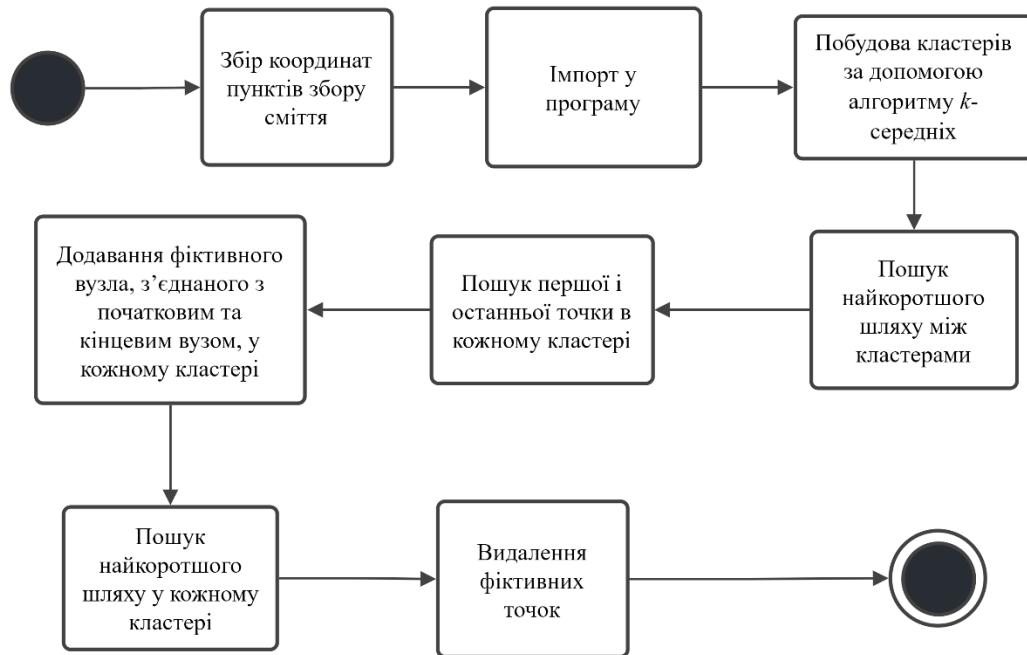


Рис. 3.7. Діаграма діяльності для модуля оптимізації вивезення сміття

Наведемо також псевдокод для кластеризації пунктів вивозу сміття покращеним алгоритмом k -середніх для задачі об'ємної кластеризації [105].

Псевдокод:

Обчислюємо $k = \left\lceil \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{C} \right\rceil$, де C – тоннажність, $D = \{d_1, \dots, d_n\}$ – місткість ПЗС.

Вибираємо перші k центроїди зі списку D і позначаємо як $r_i, i=1, \dots, k$.

Ініціалізуємо двійкову матрицю X , розмірності $n \times m$ нулями.

поки не зійшлося

для кожного центроїда $r_i \in R$

поки r_i не присвоєний

Обчислюємо Евклідову відстань $cost_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$

до кожного з k кластерів і розташовуємо її в упорядкованому порядку.

Призначаємо найближчий центроїд r_i як m .

Групуємо всі непризначені пункти як G з найближчим центроїдом m .

Обчислюємо значення пріоритету для $r_i \in R$: $Priority\ r_i = \frac{cost_{ij}}{d_i}$.

Призначаємо $r_i \in R$ найближчому центроїду на основі значення пріоритету, не порушуючи обмеження $\sum_{j=1}^k x_{i,j} = 1, i = 1, 2, \dots, n, n \in N$ та $\sum_{i=1}^n d_i x_{i,j} < C, j = 1, 2, \dots, k; k \in N$.

Оновлюємо x_{ij} .

якщо r_i не присвоєний тоді

визначаємо наступний найближчий центроїд.

кінець якщо

кінець поки

кінець для кожного

Обчислюємо новий центроїд із утворених кластерів за допомогою формул:

$$x_j = \sum_{m=1}^j x_m/n_j,$$
$$y_j = \sum_{m=1}^j y_m/n_j,$$
$$r_j = (x_j, y_j),$$

де n_j – кількість ПЗС в кластері j .

кінець поки

Для побудови найкоротшого шляху між знайденими кластерами використано задачу комівояжера (задача найвигіднішого маршруту). Нехай $K_i, i \in [1, k]$ – кластери, k – кількість кластерів. Щоб розв'язати задачу комівояжера (задача найвигіднішого маршруту) використаємо алгоритм методу «гілок та границь». Початковим вважається кластер, який є найближчим до водія. Псевдокод алгоритму подано нижче.

Псевдокод:

Визначаємо матрицю відстаней A_l для кожного кластеру $K_l, l \in [1, k]$
для кожного K_l

поки не зійшлося

поки скорочена матриця не має розмірності 2×2

Зводимо матрицю відстаней $K_l, l \in [1, k]$ за рядками і стовпцями та визначаємо нижні грані за формулою $\varphi_R = \gamma = \sum_{i=1}^n \alpha_i + \sum_{j=1}^n \beta_j$,

де i, j – відповідні рядки та стовпці даної матриці, $\alpha_i = \min_j(a_{ij}), \beta_j = \min_i(a_{ij})$.

Кожний нуль у зведеній матриці умовно замінюємо на ∞ і знаходимо значення суми коефіцієнтів зведення.

Апріорно вилучаємо з гамільтонового циклу ребро (i, j) з найбільшою сумою констант зведень та формуємо підмножину гамільтонових циклів $\{\overline{(i, j)}\}$.

Одержану матрицю відстаней зводимо і визначаємо нижню грань $\varphi_{\{\overline{(i, j)}\}}$ підмножини гамільтонових циклів $\{\overline{(i, j)}\}$.

Апріорно долучаємо дугу (i, j) в гамільтоновий цикл та замінюємо один з елементів отриманої зведеної матриці на ∞ , щоб не утворився негамільтоновий цикл.

Зводимо скорочену матрицю і визначаємо нижню грань $\varphi_{\{(i, j)\}}$ підмножини множини $\{(i, j)\}$.

кінець поки

Визначаємо поточний гамільтоновий цикл і його довжину d

якщо d не перевищує нижні грані обірваних гілок

вихід з циклу поки

кінець якщо

кінець поки

кінець для кожного

Для пошуку найкоротшого маршруту в кожному кластері теж використано метод «гілок та границь», тільки з модифікацією: додаванням фіктивного вузла. Початковою точкою в K_1 буде точка, найближча для водія. Останньою вибираємо таку точку з K_1 , яка є найближчою до якоїсь точки з наступного кластеру K_2 . Ця точка відповідно буде першою в кластері K_2 . Продовжуємо так далі, поки не буде вибрано початкову і останню точку для кожного кластеру. Тепер додаємо у кожному кластері фіктивний вузол, який з'єднується з початковим і кінцевим вузлом у даному кластері, з вагою 0, а вкінці їх видаляємо.

Модуль вибору напрямку розвитку.

Алгоритм методу аналізу ієрархій для знаходження напрямку розвитку територіальної громади включає наступні основні кроки: декомпозиція мети в ієрархію, побудова матриць порівнянь, перевірка узгодженості матриць, побудова вектора локальних пріоритетів, побудова вектора глобальних пріоритетів. На рис. 3.8 зображено UML діаграму діяльності [109] алгоритму методу аналізу ієрархій.

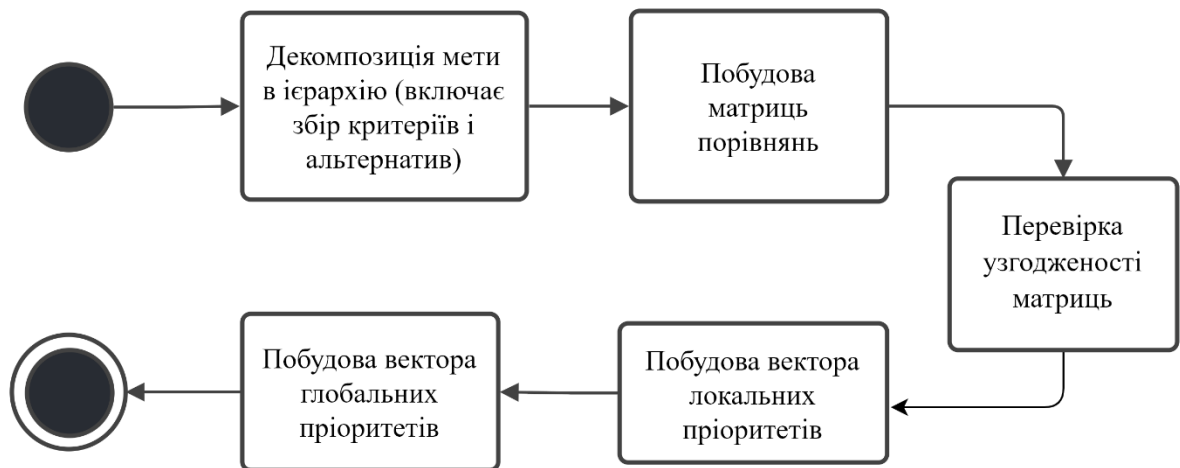


Рис. 3.8. – Діаграма діяльності алгоритму методу аналізу ієрархій.

Вихідними даними буде вектор глобальних пріоритетів і обирається той напрям або напрями, де є найбільші значення.

Модуль підтримки прийняття рішень щодо розвитку туризму.

Для моделювання алгоритму туристичного модуля теж використовуємо UML діаграму діяльності [109] алгоритму PLS-PM, яка зображена на рис. 3.9.

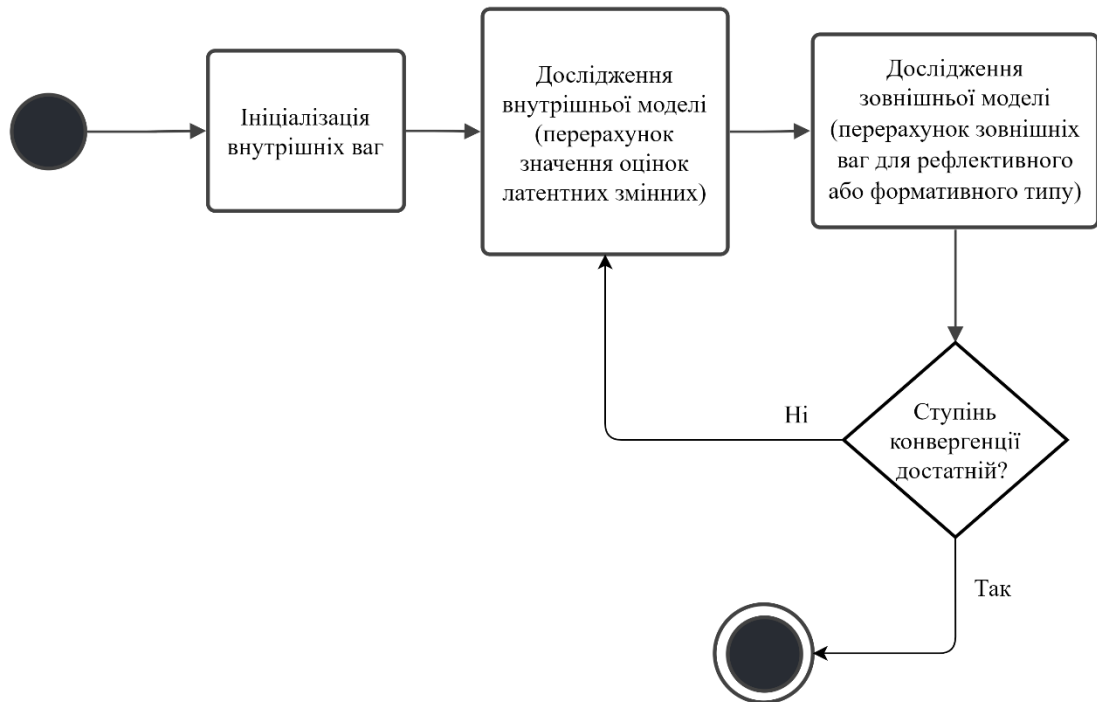


Рис. 3.9. Діаграма діяльності алгоритму PLS-PM

Для реалізації алгоритму використано програму SmartPLS [111]. Спочатку необхідно ініціалізувати внутрішні ваги. Далі циклом іде перерахунок внутрішніх та зовнішніх ваг, який здійснюватиметься доти, доки ступінь конвергенції зовнішніх ваг не стане достатнім. Тобто на етапі S зовнішні ваги порівнюються з вагами на попередньому етапі ($S-1$) і їхня різниця має бути меншою за деяке мале число, наприклад, 10^{-5} . Після чого отримуємо ключові фактори, які характеризують рівень розвитку туризму.

Висновки до розділу 3

У розділі побудовано архітектуру СППР розвитку територіальних громад та проаналізовано окремі компоненти функціонування системи підтримки прийняття рішень.

Система обробки задач побудованої СППР, складається з наступних модулів:

- агропромислового;
- аналізу та підтримки прийняття рішень щодо розвитку туризму;
- вибору напрямку розвитку;
- оптимізації вивезення сміття.

Кожен модуль можна застосовувати окремо при необхідності. Тому було описано алгоритм та метод функціонування для кожної частини за допомогою UML-діаграм або псевдокоду алгоритму чи методу.

Результати розділу опубліковано у [2, 3, 7].

РОЗДІЛ 4

РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ РОЗВИТКУ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД

У розділі реалізовано систему підтримки прийняття рішень розвитку територіальних громад за допомогою таких програм та мов програмування, як: Microsoft Excel, SmartPLS 3, Python, C#, PowerShell, Google BigQuery.

4.1. Структура програмного забезпечення

Структура програмного забезпечення для системи підтримки прийняття рішень розвитку територіальних громад складається з трьох категорій: системні програми, прикладні програми та інструментальні програми [112].

До системних програм належать ті, які виконують допоміжну роль, наприклад, операційна система. У нашому випадку операційною системою була Windows 11 Pro, версія 21H2.

Інструментальні системи, іншими словами, системи програмування, забезпечують створення нових програм для комп'ютера. У нашому випадку для модуля оптимізації вивезення сміття це була мова програмування Python, середовище програмування – PyCharm Community, оскільки Python має багато корисних бібліотек для роботи з аналізом даних, машинним навчанням та іншими [113]. Для побудови системи вибору напряму розвитку було вибрано мову програмування C# та інтерфейс програмування додатків – Windows Forms [114], оскільки він зручний для написання графічних додатків і зручний у використанні.

Прикладні програми – це такі програми, що безпосередньо забезпечують виконання необхідних робіт, таких як побудова таблиць чи баз даних, обробка інформаційних масивів тощо. У нашому випадку, таким програмами виступають Microsoft Excel, SmartPLS та PowerShell.

4.2. Вхідні дані та очікуваний результат чисельного експерименту

Першим кроком побудованої системи підтримки прийняття рішень розвитку територіальних громад є оптимізація вивозу сміття. Далі йде вибір напрямку розвитку. В залежності від обчисленого напрямку буде застосовуватися агропромисловий модуль або модуль підтримки прийняття рішень щодо розвитку туризму (або обидва, в залежності від кількості вибраних напрямів). Отже, на початку нам необхідно мати дані про смітники. Для верифікації системи підтримки прийняття рішень виберемо Солоницівську селищну територіальну громаду. Спершу необхідно імпортувати дані, які представляють місце розташування пунктів збору сміття. Тоннаж сміттєвозу – 10 тон. Ємність пунктів збору сміття та їхні координати наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Ємність і координати пунктів збору сміття

| Номер | Позиція x | Позиція y | Ємність пункту збору сміття |
|-------|-----------|-----------|-----------------------------|
| 1 | 2 | 4 | 1,5 |
| 2 | 2,2 | 5,2 | 1 |
| 3 | 3,3 | 2,3 | 1,5 |
| 4 | 1,5 | 6 | 2 |
| 5 | 5,2 | 8 | 1 |
| 6 | 8 | 12 | 2 |
| 7 | 10,1 | 16,7 | 1 |
| 8 | 15 | 21 | 1 |
| 9 | 18 | 19,7 | 1,5 |
| 10 | 19,7 | 24 | 2 |
| 11 | 22 | 22 | 2 |
| 12 | 23,1 | 27 | 1 |
| 13 | 26 | 18,4 | 1 |
| 14 | 29,2 | 23,8 | 1,5 |

| | | | |
|----|------|------|-----|
| 15 | 39 | 17,1 | 1 |
| 16 | 37,8 | 21,9 | 1 |
| 17 | 42,1 | 27,8 | 1 |
| 18 | 46,2 | 30,1 | 1,5 |
| 19 | 48 | 36,2 | 1,5 |
| 20 | 51,4 | 34,6 | 2 |
| 21 | 54,4 | 38 | 2 |

Ці дані необхідно вставити у файл GarbageCans.xlsx, щоб програма зчитала з нього відповідні дані. На рис. 4.1 зображено PowerShell вікно з командою для пошуку найкоротшого шляху.

```

Windows PowerShell ISE
File Edit View Tools Debug Add-ons Help
Untitled1.ps1 X
1
PS C:\Users\Роман> python StartDSS.py
Reading the file GarbageCans.xlsx
Clustering ...
Finding the shortest path

Result:
Cluster 1: (3.3;2.3),(4,2),(2.2;5.2),(1.5; 6),(5.2;8),(8;12),(10.1;16.7)
Cluster 2: (15;21),(18;19.7),(19.7;24),(23.1;27),(22;22),(26;18.4),(29.2;23.8)
Cluster 3: (37.8;21.9),(39;17.1),(42.1;27.8),(46.2;30.1),(51.4;34.6),(48;36.2),(54.4;38)

Path - 23 km

Now please open Direction.exe to find development direction

PS C:\Users\Роман>
Ln 1 Col 38 100%

```

Рис. 4.1. Результат пошуку найкоротшого шляху збору відходів

Тобто, пункти збору сміття було розбито на три кластери. Маршрут складається з координат, які потрібно пройти по-порядку в кожному кластері. Довжина маршруту за побудованим методом складає 23 кілометри. Вивантаження необхідно зробити три рази, відповідно до кількості кластерів. Всі ці дані записуються у результуючий файл. До застосування даного

алгоритму довжина шляху була 26 кілометрів, не враховуючи вивантаження сміттєвоза. Відповідно затрати бензину та часу стали менші.

Для вибору напряму розвитку необхідно імпортувати дані про наявні ресурси для територіальної громади. Оцінки ставили експерти від громадської організації «Аналітичний центр “Експерт-група”». Результат наведений у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Наявні ресурси і їхні шкали у Солоницівській селищній територіальній громаді

| № | Ресурси | Шкала: 1 – дуже мало або дуже незадовільно, 9 – дуже багато або дуже задовільно, 2-8 – проміжні результати |
|----|---|--|
| 1 | Корисні копалини, нафт, газ | 1 |
| 2 | Культурна спадщина | 4 |
| 3 | «Браунфілди» та «грінфілди» (інвестиційно привабливі ділянки регіону) | 3 |
| 4 | Природно-рекреаційні ресурси | 5 |
| 5 | Залізничні сполучення | 3 |
| 6 | Ліси | 7 |
| 7 | Озера, ставки, річки | 4 |
| 8 | Туристичний потенціал | 7 |
| 9 | Землі сільськогосподарського призначення | 8 |
| 10 | Промислові підприємства | 4 |
| 11 | Земельні ділянки під індивідуальну забудову | 5 |
| 12 | Трудові ресурси | 5 |

| | | |
|----|---|-----------|
| 13 | Зони відпочинку | 4 |
| 14 | Навчальні заклади | 7 |
| 15 | Заклади культури | 5 |
| 16 | Заклади охорони здоров'я | 8 |
| 17 | Рівень надання медичної допомоги | 4 |
| 18 | Мережі забезпечення дозвілля населення | 3 |
| 19 | Креативна культурна індустрія | 4 |
| 20 | Централізоване водопостачання та водовідведення | 8 |
| 21 | Спортивна інфраструктура | 6 |
| 22 | Рівень громадської активності | 5 |
| 23 | Освітлення вулиць | 3 |
| 24 | Громадський транспорт | 3 |
| 25 | Розвиток логістики | 5 |
| 26 | Ефективність поводження з побутовими відходами | 3 |
| 27 | Стан доріг | 4 |
| 28 | Стан інженерних мереж | 4 |
| 29 | Якість покриття мобільного та інтернет зв'язку | 6 |
| 30 | Централізоване водопостачання та водовідведення (обернений) | $9-8+1=2$ |
| 31 | Рівень громадської активності (обернений) | $9-5+1=5$ |
| 32 | Стан доріг (обернений) | $9-4+1=6$ |
| 33 | Якість покриття мобільного та інтернет зв'язку (обернений) | $9-6+1=4$ |

Ці дані необхідно зберегти у файл Direction.xlsx. На рис. 4.2 показано інтерфейс Windows Forms застосунка для методу аналізу ієрархії.

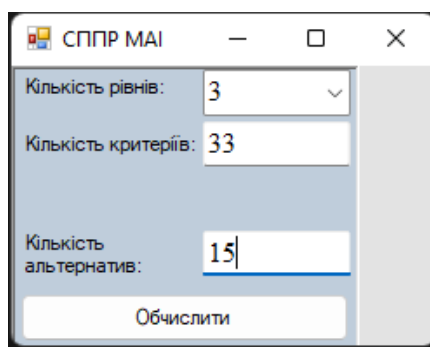


Рис. 4.2. Інтерфейс Windows Forms застосунка для методу аналізу ієрархії.

Після застосування модуля вибору напрямку розвитку отримуємо список пріоритетів у результуючий файл, який подано у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Глобальні пріоритети альтернатив (рівень 3)

| Ідентифікатор альтернатив | Альтернативи (напрями розвитку) | Значення глобальних пріоритетів |
|---------------------------|--|---------------------------------|
| a1 | Формування сприятливого інвестиційного клімату | 0,075 |
| a2 | Формування позитивного іміджу громади та маркетинг | 0,072 |
| a3 | Розвиток туристичного потенціалу громади | 0,081 |
| a4 | Розвиток агропромислового виробництва та сільгоспереробки | 0,074 |
| a5 | Вдосконалення управління земельними ресурсами та їх ефективне використання | 0,062 |
| a6 | Перехід на інноваційно орієнтоване та високотехнологічне виробництво, розвиток кластерів та індустріальних парків, створення | 0,070 |

| | | |
|-----|---|-------|
| | коворкінг центру, молодіжного бізнес інкубатора, технопарку | |
| a7 | Розвиток культури та спорту | 0,072 |
| a8 | Всебічний розвиток дітей та молоді | 0,066 |
| a9 | Створення умов для інвестування житла | 0,069 |
| a10 | Збереження історичної самобутності та культурних традицій | 0,060 |
| a11 | Модернізація вугільної та нафтової галузі. будівництво сучасних шахт | 0,059 |
| a12 | Будівництво та реконструкція мереж водопостачання та водовідведення | 0,059 |
| a13 | Підвищення рівня громадської активності та соціальної згуртованості в громаді | 0,061 |
| a14 | Ремонт доріг та придорожньої інфраструктури | 0,063 |
| a15 | Вдосконалення, розширення, покращення якості зв'язку та інтернету | 0,060 |

Отже, найвищий пріоритет має напрям а3 – Розвиток туристичного потенціалу громади. Це основний напрям розвитку. Якщо необхідно обрати декілька напрямів, наприклад, три, то наступними напрямами будуть:

- а1 – формування сприятливого інвестиційного клімату;
- а4 – розвиток агропромислового виробництва та сільгосппереробки.

Для застосування модуля підтримки прийняття рішень щодо розвитку туризму необхідно виокремити індикатори, знайти необхідні статистичні дані та імпортувати їх в програму.

Інтерфейс програми SmartPLS для застосування модуля підтримки прийняття рішень щодо розвитку туризму зображено на рис. 4.3.

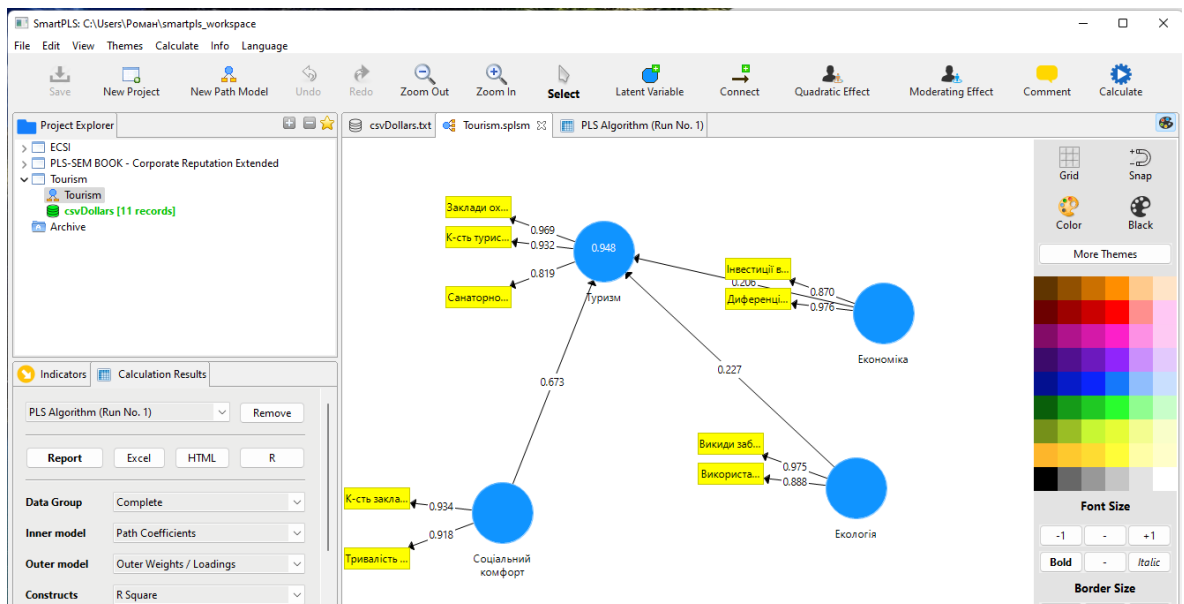


Рис. 4.3. Інтерфейс програми SmartPLS для застосування модуля підтримки прийняття рішень щодо розвитку туризму

Для застосування агропромислового модуля необхідно імпортувати в систему статистичні дані розвитку сільського господарства за попередні роки для виокремлення факторів виробництва. Всі обрахунки обчислюються у програмі Microsoft Excel. Детальний процес реалізації модуля підтримки прийняття рішень щодо розвитку туризму і агропромислового модуля на прикладах подано у попередніх розділах.

Після застосування всіх необхідних модулів результати, записані в програмі Microsoft Excel, експортуються у Google BigQuery, використовуючи BigQuery API [115].

4.3. Аналіз результатів програмного експерименту

Результатом модуля оптимізації вивозу сміття буде впорядкований список кластерів та координат пунктів збору сміття, тобто це маршрут вивозу сміття, зменшення якого показує зменшення витрат, які відводяться на забезпечення роботи відповідного транспортного засобу та зменшення загального часу, який витрачається на один маршрут.

Схематично покращення завдяки даного модуля можна зобразити за допомогою пелюсткової діаграми, яка зображена на рис. 4.4.

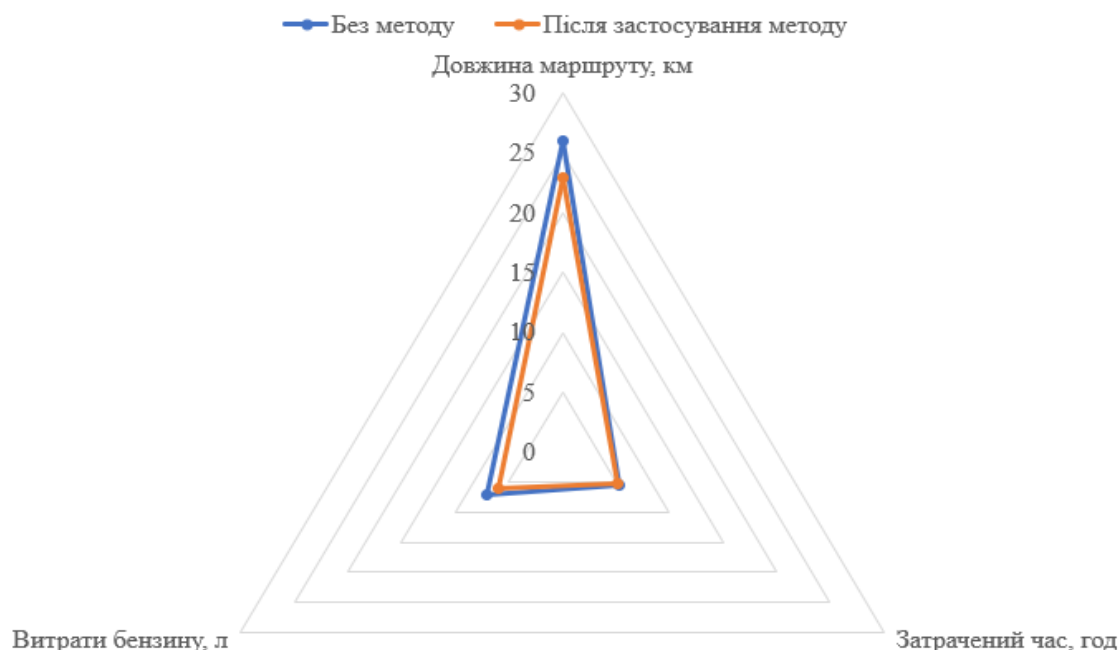


Рис. 4.4. Пелюсткова діаграма покращень завдяки методу оптимізації сміття

Тобто, завдяки заборонованому методу зменшилася довжина пройденого маршруту сміттевозом. Тим самим зменшився час на вивіз сміття, і, відповідно, фінансові витрати (бензин) знизилися теж.

Вихідним результатом модуля вибору напрямку розвитку буде операційно-стратегічна ціль (або декілька цілей при бажанні) територіальної громади, яка найкраще характеризує розвиток громади, базуючись на її наявних ресурсах. На рис. 4.5. подано гістограму значень, які були заплановані для стратегічного розвитку громад [69-100] та значень, які обраховані за допомогою методу вибору напрямку розвитку. Вибрано по три стратегічні цілі.

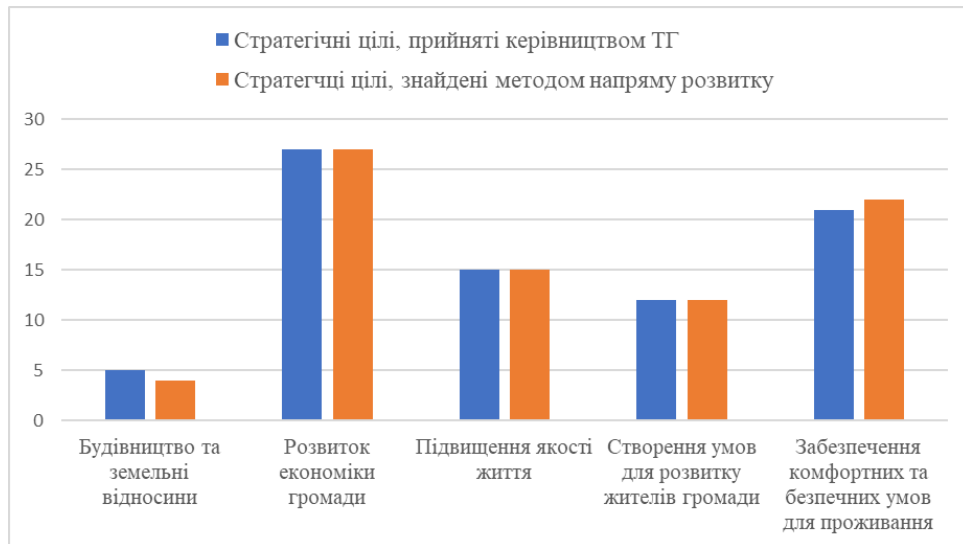


Рис. 4.5. Гістограма значень, які були заплановані для стратегічного розвитку громад та значень, які обраховані за допомогою побудованого методу

Як бачимо з гістограми, стратегічні цілі, як були прийняті керівництвом ТГ, та цілі, обраховані за допомогою побудованого методу, дуже близькі.

Для туристичного модуля результатом будуть дані ключових факторів, які характеризують рівень розвитку туризму, покращення яких призведе до позитивних змін в туристичній галузі територіальної громади. На прикладі Закарпатської області у розділі II було знайдено характеристики, від яких залежить розвиток туризму досліджуваного регіону. На рис. 4.6 подано характеристики та їхні коефіцієнти впливу.

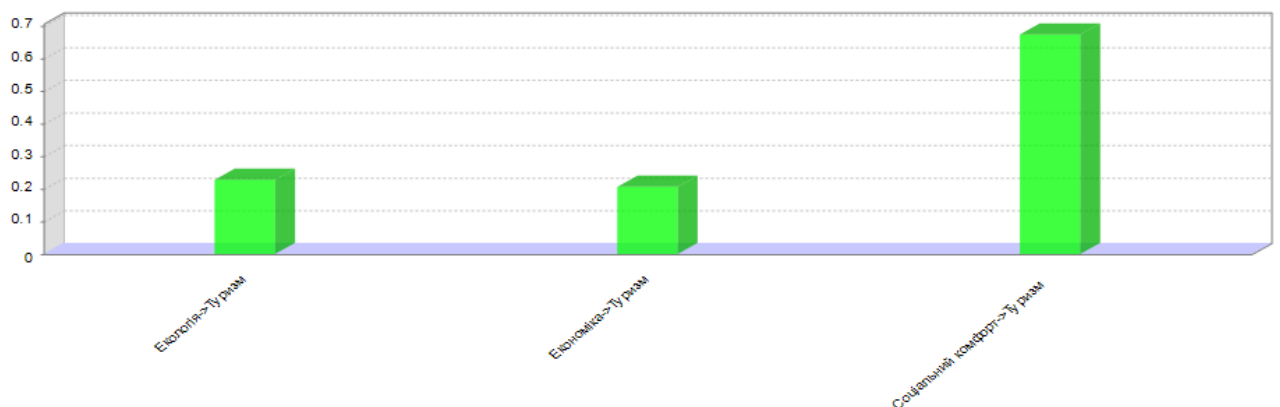


Рис. 4.6. Діаграма характеристик та їхніх коефіцієнтів впливу на розвиток туризму Закарпатської області

Тобто рівень соціального комфорту має найбільший вплив серед досліджуваних латентних змінних (рівень впливу 0,673). Також вагомими факторами, що впливають на розвиток є екологія регіону та його економічна складова з рівнями впливу 0,227 та 0,206 відповідно.

Результатом агропромислового модуля будуть дані ключових факторів, регулювання яких може позитивно вплинути на зростання економічної складової територіальної громади. На прикладі Львівської області у розділі II було показано наскільки близькі значення результуючого фактору y та знайденого $y(x)$. На рис. 4.7 ще раз наведено діаграму значень Y та $Y(x)$ для прикладу з розділу II.

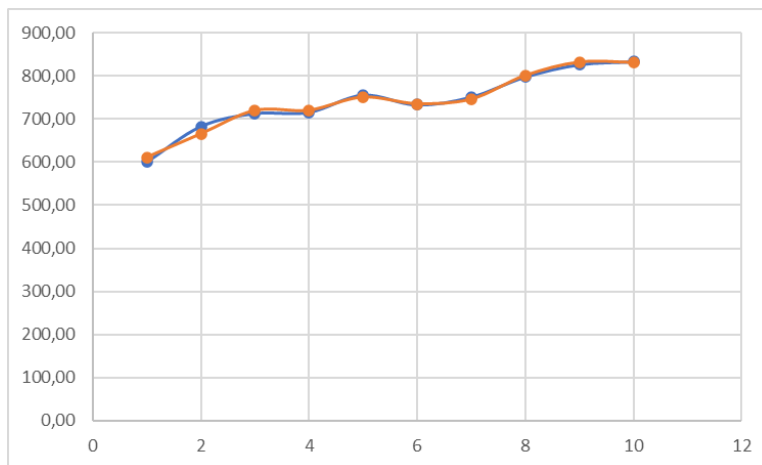


Рис. 4.7. Діаграма значень Y та $Y(x)$

Відповідно, дану модель можна використати у системі прогнозування результатів для оцінювання функціонування сільського господарства територіальних громад України.

4.4. Науково-практичне значення розробленого ПЗ

Науково-практичне значення розробленого програмного забезпечення можна розділити відповідно по модулях:

- Запропонований модуль оптимізації вивозу сміття дає змогу досягти полегшення процесу формування фінансової складової для об'єднаних територіальних громад при постановці питання збору та утилізації

сміття на визначеній території. Це стало реально завдяки включенню в процес дослідження сучасних методів, таких як методи машинного навчання. Зокрема, це стосується методів з категорії «навчання без вчителя», одним з яких є покращений метод *k*-середніх, який включає розгляд пріоритизації вивозу сміття з визначених кластерів.

- Сильні сторони агропромислового модуля полягають в тому, що на основі репрезентативних економічних показників аграрного сектору було визначено ключові фактори, регулювання яких може позитивно вплинути на зростання економічної складової територіальних громад. Специфіка діяльності сільського господарства повинна братися до уваги при побудові математичної моделі. Тому стратегічне планування є необхідним для формування і реалізації стратегії розвитку ОТГ на основі безперервного контролю й оцінювання змін.
- Модуль підтримки прийняття рішень щодо розвитку туризму дає змогу проводити аналіз основних факторів впливу на розвиток туристичної галузі, отриманий на основі PLS-PM моделі. Даний аналіз може бути використаний для успішного вирішення задач сталого розвитку туристичної галузі територіальних громад.
- Модуль вибору напрямку розвитку дає змогу пріоритизувати напрями розвитку територіальних громад, базуючись на їхніх ресурсах, що дає змогу детально проаналізувати ці ресурси, а також їхній вплив на напрям розвитку ТГ.

Висновки до розділу 4

У розділі розроблено структуру та реалізовано програмне забезпечення системи підтримки прийняття рішень розвитку територіальних громад та її окремих модулів. Було проаналізовано результати програмного експерименту та показано науково-практичне значення розробленої програми.

Результати розділу опубліковано у [2, 6, 7].

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальне науково-прикладне завдання розроблення методів та засобів підтримки прийняття рішень розвитку територіальних громад.

Під час роботи над дисертацією отримано такі результати:

1. Вибрано та обґрунтовано математичний апарат, який дає змогу комплексно проводити аналіз впливу розвитку агропромислового сектору на загальний економічний стан території громади. Отримана багатofакторна кореляційно-регресійна модель в подальшому може бути вбудованою в систему прогнозування результатів для оцінювання функціонування сільського господарства областей України.
2. Виконано кореляційно-регресійний аналіз, який дав змогу виявити найбільш значимі фактори, які впливають на поточний розвиток сільського господарства в громадах Львівської області. Цими факторами є: продукція сільського господарства, продуктивність праці, посівні площі, інвестиції, віддача від інвестицій, а також перевезення вантажів.
3. Було побудовано метод вивозу твердих побутових відходів для зменшення фінансових витрат у галузі збору і утилізації відходів. Метод включає використання покращеного алгоритму k -середнім і метод «гілок та границь». Побудований метод дав змогу мінімізувати довжину пройденого маршруту одним сміттєвозом. Це в свою чергу зменшило загальний час маршруту, а також витрати на роботу сміттєвоза.
4. Побудовано систему вибору напряму розвитку територіальних громад, використовуючи метод аналізу ієрархій, що дало змогу визначити стратегічно-оперативні цілі розвитку територіальної громади, детально

проаналізувавши її ресурси та функціональну взаємодію ресурсів і напрямів розвитку.

5. Вибрано та обґрунтовано математичний апарат, який дає змогу проводити аналіз основних факторів впливу на розвиток туристичної галузі, отриманий на основі PLS-PM моделі. Даний аналіз може бути використаний для успішного вирішення задач сталого розвитку туріндустрії територіальних громад.
6. Виконано PLS-PM аналіз, який дозволив виявити ключові фактори, що визначають поточні можливості розвитку туристичного сектору територіальних громад Закарпатської області. Ключовими виявилися такі фактори: диференціація життєвого рівня населення, викиди забруднюючих речовин у повітря, заклади охорони здоров'я, кількість закладів освіти, кількість туристів.
7. Реалізовано систему підтримки прийняття рішень розвитку територіальних громад за допомогою таких програм та мов програмування, як: Microsoft Excel, SmartPLS 3, Python, C#, PowerShell.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Bihun, R., Lytvyn, V., Oleksiv, N. (2021). *Mathematical modeling and analysis of the development of territorial communities*. Technology Audit and Production Reserves, 3 (2 (59)), 6–12. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.232788>.
2. Bihun, R., Lytvyn, V. (2022). *Optimization of garbage removal within a territorial community*. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (3 (115)), 24-30. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252001>.
3. Bihun, R., & Lytvyn, V. (2022). *Algorithm for optimizing garbage removal*, Proceedings of the 8th International scientific and practical conference «Innovations and prospects of world science», (March 29-31, 2022), Vancouver: Perfect Publishing, 33-36. Available at: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2022/04/INNOVATIONS-AND-PROSPECTS-OF-WORLD-SCIENCE-29-31.03.22.pdf>.
4. Bihun, R., Lytvyn, V., & Oleksiv, N. (2022). *Mathematical modeling of tourism development in territorial communities*. Technology Audit and Production Reserves, 2(2(64)), 21-30. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.254273>.
5. Бігун, Р., & Литвин, В. (2022). *Аналіз індикаторів сталого розвитку туризму у Закарпатській області*, Матеріали III міжнародної конференції «Технології, інструменти та стратегії реалізації наукових досліджень» (Т. 1), Вінниця: Європейська наукова платформа, 121-127. Available at: <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/mcnd/issue/view/15.04.2022/729>.
6. Бігун, Р., & Литвин, В. (2022). *Моделювання процесів розвитку територіальних громад*. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: «Інформаційні системи та мережі», Випуск 11, 173-186. doi: <https://doi.org/10.23939/sisn2022.11.173>.
7. Bihun, R., & Lytvyn, V. (2022). *Decision-making support system for territorial communities*. Scientific Papers of Silesian University of Technology – Organization and Management Series, Issue 167, 33-49. doi: <http://dx.doi.org/10.29119/1641-3466.2022.167.2>.

8. Верес, О. М. (2010). *Технології підтримання прийняття рішень: Навч. посібник / за заг. ред. В. В. Пасічника* (Серія «Консолідована інформація», вип. 3). Львів: Видавництво Львівської політехніки.
9. Тоценко, В. Г. (2007). *Методи та засоби підтримки прийняття рішень. Реєстрація, зберігання і оброб. даних*, Т. 9, № 3, 98-104.
10. Литвин, В. В., Висоцька, В. А., Досин, Д. Г. (2016). *Методи та засоби опрацювання інформаційних ресурсів на основі онтологій: Монографія..* Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка».
11. Демиденко, М. А. (2016). *Системи підтримки прийняття рішень: навч. посіб.* Нац. гірн. ун-т. – Електрон. текст. дані.
<http://kist.ntu.edu.ua/textPhD/sppr2.pdf>.
12. Братушка, С. М., Новак, С. М., & Хайлук, С. О. (2010). *Системи підтримки прийняття рішень: навчальний посібник для самостійного вивчення дисципліни.* Суми: ДВНЗ "УАБС НБУ". https://financial.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2015/12/SPPR_tema-1.pdf.
13. Ситник, В. Ф. (2009). *Системи підтримки прийняття рішень: навч. посібник.* К.: КНЕУ.
14. *Реформа децентралізації.* Урядовий портал:
<https://www.kmu.gov.ua/diyalnist/reformi/efektivne-vryaduvannya/reforma-decentralizaciyi>.
15. *Про добровільне об'єднання територіальних громад.* (2015). База даних «Законодавство України». <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/157-19>.
16. *Постанова Кабінету Міністрів України Про затвердження Методики формування спроможних територіальних громад.* База даних «Законодавство України». <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/214-2015-%D0%BF>
17. *Про спроможні громади.* (2020). Децентралізація.
<https://decentralization.gov.ua/gromadas>.

18. *Формування об'єднаних територіальних громад: стан, проблемні питання та шляхи їх вирішення. Аналітична записка.* Національний інститут стратегічних досліджень. <https://niss.gov.ua/doslidzhennya/regionalniy-rozvitok/formuvannya-obednanikh-teritorialnikh-gromad-stan-problemni>.
19. Рибчак, З. Л. (2018). *Методи та засоби моделювання плану першочерговості ремонту доріг в межах територіальної громади.* Бионика інтелекта. Харків: ХНУРЕ, №1(90), 48-53.
20. *Бюджетний кодекс України.* База даних «Законодавство України». <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-17>.
21. Feldmann, A., & Foschini, L. (2012). *Balanced Partitions of Trees and Applications.* Proceedings of the 29th International Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science, 100-111.
22. Alzate, C., & Suykens, J. (2010). *Multiway Spectral Clustering with Out-of-Sample Extensions through Weighted Kernel PCA.* IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 32, Issue 2, 335-347.
23. Бабаєв, В. (2013). *Сучасні підходи до зберігання та нарощення ресурсного потенціалу територіальної громади.* Науковий збірник «Публічне управління: теорія та практика». http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pubupr_2013_2_34.
24. Слободянюк, Н., & Конна М. (2016). *Проблеми формування дохідної частини місцевих бюджетів в умовах фінансової децентралізації.* Економка і суспільство, Випуск 2, 611-616. https://economyandsociety.in.ua/journals/2_ukr/109.pdf.
25. Крайник, О. П., (2020). *Фінансове стимулювання розвитку територіальної громади.* Ефективність державного управління: зб. наук. пр., Вип. 1 (62): Ч. 2, 203-212. <https://doi.org/10.33990/2070-4011.62.2020.205832>.
26. Vorbasova, Z. N., (2020). *Improvement of regional development using current and strategic territorial management mechanisms.* Bulletin of the Karaganda university, Economy series, 100.

27. Lonska, J. (2021). *The Application of Pluralistic Territorial Development Paradigm in Assessment of Territorial State of Development: the Case Study of Latvian Regions*. *Regional Formation and Development Studies*, 18(1), 87-99. doi:10.15181/rfds.v18i1.1249.
28. Filippetti, A., & Sacchi, A. (2013). *Varieties of decentralization, institutional complementarities, and economic growth: evidence in OECD countries*. 54 Conferenza SIE, 24-26 ottobre 2013 Università di Bologna.
29. Oates, W. E. (2006). *On the Theory and Practice of Fiscal Decentralization*. IFIR Working Paper Series, 2006, №05.
30. Gomez, J., Pacheco, J., & Gonzalo-Orden, H. (2015). *A tabu search method for a bi-objective urban waste collection problem*. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 30, 36-53. <https://doi.org/10.1111/mice.12031>.
31. Liang, Y.-C., Minanda, V., & Gunawan, A. (2021). *Waste collection routing problem: A mini-review of recent heuristic approaches and applications*. *Waste Management & Research*. <https://doi.org/10.1177/0734242X211003975>.
32. Buhrkal, K., Larsen, A., & Ropke, S. (2012). *The waste collection vehicle routing problem with time windows in a city logistics context*. *ProcediaSocial and Behaviour Science* 39, 241-254. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.03.105>.
33. Gruler, A., Juan, A., & Bolton, C. (2018). *A biased-randomized heuristic for the waste collection problem in smart cities*. *Applied Mathematics and Computational Intelligence* 730, 255-263. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-75792-6_19.
34. Campos, A., & Arroyo, J. (2017). *An ILS heuristic for the waste collection vehicle routing problem with time windows*. *Intelligent Systems Design and Applications* 557, 889-899.
35. Son, L. (2014). *Optimizing municipal solid waste collection using chaotic particle swarm optimization in GIS-based environments: A case study at Danang city, Vietnam*. *Expert Systems with Application* 41, 8062-8074. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.07.020>.

36. Sulemana, A., Donkor, E. A., & Forkuo, E. K. (2019). *Effect of optimal routing on travel distance, travel time and fuel consumption of waste collection trucks*. *Management of Environmental Quality: An International Journal* 30, 803-832. <https://doi.org/10.1108/MEQ-07-2018-0134>.
37. Assaf, R., & Saleh, Y. (2017). *Vehicle-routing optimization for municipal solid waste collection using genetic algorithm: The case of southern Nablus city*. *Civil and Engineering Reports*, 26, 43-57. <https://doi.org/10.1515/ceer-2017-0034>.
38. Воронкова, Т. Є., & Притуленко А. В. (2020). *Міжнародний туризм і його вплив на соціально-економічний розвиток України*. *Ефективна економіка*, №11. <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2020.11.83>.
39. Liburd, D.J. (2018). "Chapter 2 Understanding Collaboration and Sustainable Tourism Development" In: Liburd, D.J. & Edwards, D.D. (ed). Oxford: Goodfellow Publishers. <http://dx.doi.org/10.23912/9781911635000-3912>.
40. Tüzün, I.K., Ergül, M., & Johnson, C. (Eds.). (2019). *Sustainable Tourism Practices in the Mediterranean (1st ed.)*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315104911>.
41. Михайліченко, Г. І. (2013). *Методологічні основи оцінювання інноваційного потенціалу туристичного підприємства*. *Економічний часопис*, №1-2, 80-83.
42. Wei, C., Wang, Q. & Liu, C. (2021). *Application of an artificial neural network optimization model in e-commerce platform based on tourism management*. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 93 (2021). <https://doi.org/10.1186/s13638-021-01947-x>.
43. Zhang, P., & Cao, K. (2022). *Analysis of the Impact of Household Tourism Consumption Based on Multilevel Structural Equation Model*. *Mobile Information Systems*, vol. 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/7141837>.
44. Kosova, R., & Sİinaj, V. (2021). *Mathematical Modeling of Tourism Development. An Application to Albanian Tourism*. *Journal Of Environmental Management And Tourism*, 12(6), 1707-1715.

45. Khan, A., Bibi, S., Lorenzo, A., Lyu, J., & Babar, Z. U. (2020). *Tourism and Development in Developing Economies: A Policy Implication Perspective*. *Sustainability*, 12(4), 1618. <https://doi.org/10.3390/su12041618>.
46. Мельниченко, С. В. (2007). *Інформаційні технології в туризмі: теорія, методологія, практика*. К.: Київ. нац. торг.-екон. Ун-т.
47. Ткаченко, Т. І. (2009). *Сталий розвиток туризму: теорія, методологія, реалії бізнесу. 2-ге вид., випр. та доповн.* К. : Київ. нац. торг.-екон. Ун-т.
48. Federico, I-S. (2021). *Modelling the economics of sustainable tourism*. *Journal of Sustainable Tourism*, <https://10.1080/09669582.2021.2002344>.
49. Ворошилова, Г. О. (2010). *Розвиток інвестиційних процесів у міжнародному туризмі*. Проблеми розвитку зовнішньоекономічних зв'язків і залучення іноземних інвестицій: регіональний аспект. Донецьк: ДонНУ.
50. Дядечко, Л. П. (2007). *Економіка туристичного бізнесу*. К. : Центр навч. літератури.
51. Кальченко, О. М. (2011). *Теоретичні аспекти інноваційної діяльності підприємств туристичної галузі*. Вісник Чернігівського державного технологічного університету, Серія: Економічні науки, № 54, 147-155.
52. Свида, І. В. (2009). *Сучасний стан, актуальні проблеми та перспективи розвитку вітчизняного ринку туристичних послуг*. Науковий вісник Ужгородського університету, № 28(3), 64-69.
53. Вороніна, Н. В. (2016). *Деякі теоретичні та правові питання децентралізації бюджетної системи України*. Вороновські читання (Фінансове право: сучасний стан та перспективи): матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ, 5 жовтня 2016 р.), Київ: Асоціація фінансового права України.
54. Бориславська, О. М., Заверуха, І. Б., & Захарченко Е. (2012). *Децентралізація публічної влади: досвід європейських країн та перспективи України*. Швейцарсько-український проект «Підтримка децентралізації в Україні – DESPRO», К: Софія.

55. Нашимець-Наумова, А. Ю. (2016). *Децентралізація фінансових ресурсів*. Вороновські читання (Фінансове право: сучасний стан та перспективи): матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ, 5 жовтня 2016 р.), Київ: Асоціація фінансового права України.
56. Пришва, Н. Ю. (2016). *Питання правового регулювання бюджетної системи України*. Вороновські читання (Фінансове право: сучасний стан та перспективи): матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ, 5 жовтня 2016 р.), Київ: Асоціація фінансового права України.
57. Сторонянська, І. З., Бенювська, & Л. Я. (2015). *Фінансова спроможність регіонів у контексті бюджетноподаткової децентралізації*. Фінанси України, №6. 44-57.
58. Шульц, С. Л. (2016). *Адміністративно-територіальний устрій України: методологічні основи та практика реформування: монографія*. ДУ «Інститут регіональних досліджень імені М. І. Долишнього НАН України».
59. Пелехатий, А. О., & Лук'янська, О. В. (2015). *Громадський контроль виконання місцевих бюджетів: сучасні умови та перспективи реалізації*. Соціально-економічні проблеми сучасного періоду України, Вип. 3 (113), 55-58. http://nbuv.gov.ua/UJRN/sepspu_2015_3_13.
60. Івахненко, В. (2000). *Курс економічного аналізу*. К. : Т-во «Знання» – Прес., 207 с.
61. *Публікація документів Державної служби статистики України*. Державна статистика України. <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
62. *Сільське, лісове та рибне господарство*. Головне управління статистики у Львівській області. http://www.lv.ukrstat.gov.ua/ukr/themes/04/theme_04.php?code=04.
63. Орлова, И., Половников, В. (2011). *Экономико-математические методы и модели: компьютерное моделирование*. М.: Вузовский учебник.
64. Цегелик, Г. Г. (2011). *Основи економетрії: Текст лекцій*. Львів: ЛНУ імені Івана Франка.

65. Оскара, Д. (2018). *Економетрія: навчальний посібник*. Одеса: ОДАБА.
66. Sanchez, G. (2013). *PLS Path Modeling with R*. Trowchez Editions. Berkeley. https://www.gastonsanchez.com/PLS_Path_Modeling_with_R.pdf.
67. *Державна статистика України*. Головне управління статистики у Закарпатській області. <http://www.uz.ukrstat.gov.ua/>.
68. Vinzi V. E., Trinchera L., Amato S. (2010). *PLS Path Modeling: From Foundations to Recent Developments and Open Issues for Model Assessment and Improvement*. In: Esposito Vinzi V., Chin W., Henseler J., Wang H. (eds) *Handbook of Partial Least Squares*. Springer Handbooks of Computational Statistics. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-32827-8_3.
69. *Стратегія розвитку 2019-2025 року*. Андріївська сільська територіальна громада. <https://andriivska-gromada.gov.ua/strategiya-rozvitku-08-52-13-04-06-2019/>.
70. *Стратегія розвитку Біленьківської громади до 2027 року*. Біленьківська громада. <https://bilenke-silrada.gov.ua/strategiya-rozvitku-bilenkivskoi-gromadi-do-2027-roku-12-21-09-16-07-2019/>.
71. *Стратегія розвитку Білорівницької сільської об'єднаної територіальної громади на період до 2027 року*. Білорівницька громада. <https://bilokorovycka-gromada.gov.ua/strategiya-rozvitku-gromadi-na-period-do-2027-roku-1522225431/>.
72. *Стратегія розвитку Бродівської міської територіальної громади до 2027 року*. Бродівська міська рада. <https://mrbrody.gov.ua/strategiia-rozvytku-brodivskoi-miskoi-terytorialnoi-hromady-do-2027-roku>.
73. *Стратегія розвитку*. Великобудищанська громада. <https://velbud-gromada.gov.ua/strategiya-rozvitku-16-01-39-21-10-2021/>.
74. *Стратегія розвитку*. Великобурлуцька громада. <https://vlb-gromada.gov.ua/strategiya-rozvitku-velikoburluckoi-otg-09-00-36-12-08-2019/>.
75. *Стратегія розвитку громади*. Великогаївська громада. <https://velykogaivska-gromada.gov.ua/starategiya-rozvitku-gromadi-12-01-47-07-02-2017/>.

76. *Стратегія розвитку. Жмеринська громада.* <https://zhmerinka-adm.gov.ua/pages/strategija-rozvitku>.
77. *Стратегія розвитку громади. Заболотцівська об'єднана територіальна громада.* <https://zabolotcivska-gromada.gov.ua/strategiya-rozvitku-gromadi-11-17-21-16-03-2018/>.
78. *Стратегія розвитку Званівської сільської ОТГ на період 2020-2027 роки. Званівська сільська територіальна громада.* <https://zvanivska-gromada.gov.ua/strategiya-rozvitku-zvanivskoi-silskoi-otg-na-period-20202027-r-09-01-25-25-03-2020/>.
79. *Стратегія розвитку громади. Іршанська селищна рада.* <https://irshanska-gromada.gov.ua/strategiya-rozvitku-gromadi-16-38-55-21-07-2021/>.
80. *Стратегії розвитку Казанківської об'єднаної територіально громади. Казанківська громада.* <https://kazanka-gromada.gov.ua/plan-rozvitku-13-30-26-12-03-2018/>.
81. *Стратегічний план розвитку Калинівської міської об'єднаної територіальної громади на 2020 - 2030 роки. Калинівська міська рада.* <https://kalynivska-objednana-gromada.gov.ua/strategiya-rozvitku-14-41-19-12-06-2019/>.
82. *Стратегія розвитку громади. Козелецька селищна рада.* <https://kozsr.gov.ua/hromada-istorychna/stratehiia-rozvytku-hromady>.
83. *Стратегія розвитку Лиманської об'єднаної територіальної громади до 2025 року. Лиманська ОТГ.* <https://krliman.gov.ua/uk/page/strategiya-rozvitku-otg>.
84. *Стратегія розвитку. Малинівська селищна рада Чугуївського району.* <https://malinivska-sr.gov.ua/strategiya-rozvitku-16-06-21-21-12-2018/>.
85. *Стратегія розвитку громади. Миколаївська сільська рада.* <https://nikolaevka.rada.today/strategiya-rozvytku-gromady/>.

86. *Стратегія розвитку Набутівської ОТГ на період до 2025 року.* Набутівська громада. <https://nabutivska-gromada.gov.ua/strategiya-rozvitku-nabutivskoi-otg-na-period-do-2025-roku-08-38-31-30-01-2018/>.
87. *Стратегія розвитку Немирівської міської територіальної громади.* Немирівська міська громада. <https://nemyriv-mrada.gov.ua/strategiya-rozvitku-teritorialnoi-gromadi-15-05-03-17-10-2017/>.
88. *Стратегія розвитку міської громади.* Новобузька громада. <https://novobuzka-gromada.gov.ua/strategiya-rozvitku-13-12-30-11-11-2019/>.
89. *Стратегія розвитку громади.* Оратівська селищна рада. <http://orativska.gromada.org.ua/strategiya-rozvitku-gromadi-1531207828/>.
90. *Стратегія розвитку.* Пісківська громада. <https://piskivska-gromada.gov.ua/strategiya-08-35-48-24-09-2018/>.
91. *Стратегія розвитку реображенської сільської об'єднаної територіальної громади на 2021-2027 роки.* Преображенська об'єднана територіальна громада. <https://preobrazhenska-gromada.gov.ua/strategiya-rozvitku-preobrazhenskoj-silskoi-ob%E2%80%99ednanoi-teritorialnoi-gromadi-na-20212027-roki-13-42-11-15-07-2021/>.
92. *Стратегія розвитку громади.* Пустомитівська територіальна громада. <https://pustomyty-gromada.gov.ua/strategiya-rozvitku-gromadi-14-09-26-29-06-2021/>.
93. *Стратегія розвитку Радомишльської міської ОТГ.* Радомишльська громада. <https://radmr.gov.ua/strategiya-rozvitku-radomishlskoi-miskoi-otg-13-59-48-19-03-2018/>.
94. *Проект рішення №10 «Про затвердження Плану заходів на 2022-2024 роки з реалізації Стратегії розвитку Солоницівської селищної територіальної громади на період 2021-2027 роки».* Солоницівська громада. <https://solonytsivska-rada.gov.ua/docs/1125977/>.
95. *Стратегія розвитку громади.* Старобогородчанська громада. <https://st-bogorodchany-gromada.gov.ua/proekt-strategii-rozvitku-21-59-56-21-02-2017/>.

96. *Стратегія розвитку Тлумацької міської об'єднаної територіальної громади 2019 - 2023 рр.* Тлумацька міська рада. <https://tlumacka-gromada.gov.ua/strategiya-rozvitku-tlumackoi-miskoi-ob%E2%80%99ednanoi-teritorialnoi-gromadi-2019-2023-rr-1545303989/>.
97. *Стратегія розвитку Томашпільської ТГ до 2030 року.* Томашпільська селищна територіальна громада. <https://tomashpilska-gromada.gov.ua/strategiya-rozvitku-09-31-27-15-02-2018/>.
98. *Стратегія сталого розвитку Ходорівської об'єднаної територіальної громади до 2025 року.* Ходорівська міська територіальна громада. <https://hodorivska-gromada.gov.ua/strategiya-stalogo-rozvitku-hodorivskoi-obednanoi-teritorialnoi-gromadi-do-2025-roku-14-12-05-10-09-2019/>.
99. *Стратегія розвитку громади.* Черняхівська громада. <https://chernyahivska-gromada.gov.ua/strategiya-rozvitku-gromadi-15-09-13-17-05-2021/>.
100. *План реалізації Стратегії розвитку Білокуракинської об'єднаної територіальної громади 2020-2022 роки.* Білокуракинська громада. <https://bilokurakynska-gromada.gov.ua/strategichniy-plan-stalogo-rozvitku-bilokurakinskoi-selischnoi-teritorialnoi-gromadi-do-2026-roku-13-54-37-09-12-2016/>.
101. Niu, L., Lu, J. & Zhang, G. (2009). *Cognition-Driven Decision Support for Business Intelligence : Models, Techniques, Systems and Applications.* Springer-Verlag GmbH. 10.1007/978-3-642-03208-0_4.
102. Saati, T. (1993). *Decision-making. The method of analysis of hierarchies.* In: Radio and communications.
103. Качинський, А. Б. (2001). *Екологічна безпека країни: системний аналіз перспектив покращення.* К.: НІСД, 310 (1).
104. Hayrapetyan, L. R. (2019). *Random consistency indices for analytic hierarchy processes.* International Journal of Business, Marketing, and Decision Sciences, 12(1).

<https://link.gale.com/apps/doc/A618468444/AONE?u=anon~b3588f2&sid=google Scholar&xid=193c1734>.

105. Geetha, S., Poonthilir, G., & Vanathi, P. T. (2009). *Improved K-Means Algorithm for Capacitated Clustering Problem*. INFOCOMP Journal of Computer Science, 8(4), 52-59.
106. Бартіш, М., & Дудзяний, І. (2007). *Дослідження операцій. Частина 1. Лінійні моделі: Підручник*. Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка.
107. Lawler, E. L., Lenstra, J. K., Rinnooy Kan, A. H. G., & Shmoys, D. B. (1985). *The Traveling salesman problem: A guided tour of combinatorial optimization*. Chichester [West Sussex]: Wiley.
108. Power, D. J. (2002). *Decision Support Systems: Concepts and Resources for Managers*. Faculty Book Gallery, 67. <https://scholarworks.uni.edu/facbook/67>.
109. Fowler, M. (2004). *UML distilled: A brief guide to the standard object modeling language*. Boston: Addison-Wesley.
110. Ляшенко, О. С. (2019). *Засоби табличного процесу Microsoft Excel для прогнозування економічних процесів*. Міжнародний науковий журнал «Інтернаука», №8.
<https://www.inter-nauka.com/uploads/public/15592183808835.pdf>.
111. Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2022). *A Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM), 3rd ed.* Thousand Oaks, CA: Sage.
112. Руденко, В. Д., Макаруч, О. М., & Патланжоглу М. О. (1997). *Практичний курс інформатики*. К. : Фенікс.
113. Lutz, M. (2003). *Learning Python (2nd. ed.)*. O'Reilly & Associates, Inc., USA.
114. Sells, Ch. (2003). *Windows Forms Programming in C#*. Addison-Wesley Professional.
115. *BigQuery connector for Microsoft Excel*. BigQuery documentation. <https://cloud.google.com/bigquery/docs/bigquery-connector-for-excel>.

ДОДАТОК А

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ТА АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

1. Bihun, R., Lytvyn, V., Oleksiv, N. (2021). *Mathematical modeling and analysis of the development of territorial communities*. Technology Audit and Production Reserves, 3 (2 (59)), 6–12. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.232788>.
2. Bihun, R., Lytvyn, V. (2022). *Optimization of garbage removal within a territorial community*. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (3 (115)), 24-30. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252001>.
3. Bihun, R., & Lytvyn, V. (2022). *Algorithm for optimizing garbage removal*, Proceedings of the 8th International scientific and practical conference «Innovations and prospects of world science», (March 29-31, 2022), Vancouver: Perfect Publishing, 33-36. Available at: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2022/04/INNOVATIONS-AND-PROSPECTS-OF-WORLD-SCIENCE-29-31.03.22.pdf>.
4. Bihun, R., Lytvyn, V., & Oleksiv, N. (2022). *Mathematical modeling of tourism development in territorial communities*. Technology Audit and Production Reserves, 2(2(64)), 21-30. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.254273>.
5. Бігун, Р., & Литвин, В. (2022). *Аналіз індикаторів сталого розвитку туризму у Закарпатській області*, Матеріали III міжнародної конференції «Технології, інструменти та стратегії реалізації наукових досліджень» (Т. 1), Вінниця: Європейська наукова платформа, 121-127. Available at: <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/mcnd/issue/view/15.04.2022/729>.
6. Бігун, Р., & Литвин, В. (2022). *Моделювання процесів розвитку територіальних громад*. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: «Інформаційні системи та мережі», Випуск 11, 173-186. doi: <https://doi.org/10.23939/sisn2022.11.173>.
7. Bihun, R., & Lytvyn, V. (2022). *Decision-making support system for territorial communities*. Scientific Papers of Silesian University of Technology –

Organization and Management Series, Issue 167, 33-49. doi:
<http://dx.doi.org/10.29119/1641-3466.2022.167.2>.

Основні положення дисертаційної роботи були представлені на таких конференціях: 8th International scientific and practical conference «Innovations and prospects of world science» (March 29-31, 2022, Vancouver, Canada), III Міжнародна наукова конференція «Технології, інструменти та стратегії реалізації наукових досліджень» (м. Львів, 15 квітня, 2022 р.) та наукових семінарах кафедри «Інформаційні системи та мережі» Національного університету «Львівська політехніка».

ДОДАТОК Б
ПРОГРАМНИЙ КОД РЕАЛІЗАЦІЇ ЗАСТОСУНКА ВИБОРУ
НАПРЯМУ РОЗВИТКУ

```

using System;
using System.Collections.Generic;

namespace MAI
{
    public class MatrixList
    {
        /// <summary>
        /// list of matrix
        /// </summary>
        List<Matrix> list = new List<Matrix>();

        /// <summary>
        /// add new matrix to list
        /// </summary>
        /// <param name="nw">new matrix to list</param>
        public void AddMatrix(Matrix nw)
        {
            list.Add(new Matrix(nw));
        }

        /// <summary>
        /// create matrix from vectors
        /// </summary>
        /// <returns>matrix which contain all vectors from list</returns>
        public Matrix VectorConnection()
        {
            Matrix temp = new Matrix(list[0]);
            Matrix result = new Matrix (temp.FindVector());
            Int16 i = 0;
            foreach (Matrix current in list)
            {
                if (i != 0)
                {
                    temp = new Matrix(current.FindVector());
                    result = result + temp;
                }
                ++i;
            }
            return result;
        }
    }
}

using System;
using System.Windows.Forms;

namespace MAI
{
    public static class MatrOper
    {
        /// <summary>
        /// Multiply matrix
        /// </summary>
        /// <param name="m1">first matrix</param>
        /// <param name="m2">second matrix</param>
        /// <returns>result of multiply</returns>
        public static Matrix MatrixMultiply(Matrix m1, Matrix m2)
        {
            if (m1.GetCollumnsCount() != m2.GetRowsCout())
            {
                MessageBox.Show("Error in matrix multiply. Correct your data and reboot program!", "Error!");
            }
        }
    }
}

```

```

        return new Matrix(0,0);
    }
    Int16 c = m2.GetCollumnsCount(), r = m1.GetRowsCout(), s =
m1.GetCollumnsCount();
    //Int16 r = m2.GetCollumnsCount(), c = m1.GetRowsCout(), s =
m1.GetCollumnsCount();
    Matrix mRes = new Matrix(r, c);
    double[,] matr = new double[r, c];
    double[,] matr1 = new double[m1.GetRowsCout(), m1.GetCollumnsCount()];
    double[,] matr2 = new double[m2.GetRowsCout(), m2.GetCollumnsCount()];
    m1.GetMatrix(matr1);
    m2.GetMatrix(matr2);

    for (Int16 i = 0; i < r; i++)
    {
        double sum = 0;
        for (Int16 j = 0; j < c; j++)
        {
            for (Int16 k = 0; k < s; k++)
            {
                sum += matr1[i, k] * matr2[k, j];
            }
            matr[i, j] = sum;
            sum = 0;
        }
    }

    mRes.SetMatrix(matr, 0, c);
    return mRes;
}
}
}

using System;
using System.Windows.Forms;

namespace MAI
{
    public class Matrix
    {
        /// <summary>
        /// private data
        /// </summary>
        private Int16 r, c;
        private double[,] data;
        /// <summary>
        /// constructor of simply create
        /// </summary>
        /// <param name="n">rows</param>
        /// <param name="m">collumns</param>
        public Matrix(Int16 n, Int16 m)
        {
            r = n; c = m;
            data = new double [n,m];
        }
        /// <summary>
        /// constructor for create with read from file           || for symetric matrix
        /// </summary>
        /// <param name="n">rows</param>
        /// <param name="m">collumns</param>
        /// <param name="fileName">path to file</param>
        public Matrix(Int16 n, string fileName)

```



```

/// <param name="m">collumns</param>
/// <param name="tb">TextBox with data</param>
public Matrix(Int16 n, TextBox tb)
{
    string text = tb.Text;
    text.Insert(0, "");
    text += ' ';
    string temp = "";
    Int16 m = 0;
    r = n; c = n;
    data = new double[r, c];

    n = 0; m = 1;
    for (int i = 0; i < text.Length; ++i)
    {
        if ((text[i] == ' ' || text[i] == '\n') && temp != "")
        {
            data[n, m] = Convert.ToDouble(temp);
            ++m;
            if (m == c)
            {
                ++n;
                m = Convert.ToInt16(n + 1);
            }
            temp = "";
        }
        else
        {
            temp += text[i];
        }
    }

    for (int i = 0; i < r; ++i)
    {
        for (int j = 0; j < c; ++j)
        {
            try
            {
                if (i > j) data[i, j] = 1 / data[j, i];
            }
            catch (DivideByZeroException)
            {
                data[i, j] = 0;
            }
            //if (i == j) data[i, i] = 1;
        }
    }
}
/// <summary>
/// constructor for input data in program || for any matrix
/// </summary>
/// <param name="n">rows</param>
/// <param name="m">collumns</param>
/// <param name="tb">TextBox with data</param>
public Matrix(Int16 n, Int16 m, string fileName)
{
    string text = System.IO.File.ReadAllText(fileName);
    text.Insert(0, "");
    text += ' ';
    string temp = "";
    r = n; c = m;
    data = new double[r, c];
}

```

```

n = 0; m = 0;
for (int i = 0; i < text.Length; ++i)
{
    if ((text[i] == ' ' || text[i] == '\n') && temp != "")
    {
        data[n, m] = Convert.ToDouble(temp);
        ++m;
        if (m == c)
        {
            ++n;
            m = 0;
        }
        temp = "";
    }
    else
    {
        temp += text[i];
    }
}
}

```

```

/// <summary>
/// constructor for input data in program           || for any matrix
/// </summary>
/// <param name="n">rows</param>
/// <param name="m">columns</param>
/// <param name="tb">TextBox with data</param>
public Matrix(Int16 n, Int16 m, TextBox tb)
{
    string text = tb.Text;
    text.Insert(0, "");
    text += ' ';
    string temp = "";
    r = n; c = m;
    data = new double[r, c];

    n = 0; m = 0;
    for (int i = 0; i < text.Length; ++i)
    {
        if ((text[i] == ' ' || text[i] == '\n') && temp != "")
        {
            data[n, m] = Convert.ToDouble(temp);
            ++m;
            if (m == c)
            {
                ++n;
                m = 0;
            }
            temp = "";
        }
        else
        {
            temp += text[i];
        }
    }
}
/// <summary>
/// copying constructor
/// </summary>
/// <param name="m">matrix for copying</param>
public Matrix(Matrix m)
{
    r = m.GetRowsCout(); c = m.GetCollumnsCount();
}

```

```

    data = new double[r, c];
    m.GetMatrix(data);
}
//public static Matrix operator =(Matrix m1, Matrix m2)
//{
//}

/// <summary>
/// Find vector.
/// </summary>
/// <returns>Vector. Using only with copying constructor!!!</returns>
public Matrix FindVector()
{
    Matrix vector = new Matrix(r, 1);
    double[,] x = new double[r, 1];

    double chus = 1, znam = 0, zn = 1;
    Int16 diag = 0;
    for (Int16 d = 0; d < r; ++d)
    {
        if (data[d, d] == 1)
            diag++;
    }

    bool ok = false;
    for (Int16 j = 0; j < c; ++j)
    {
        for (Int16 k = 0; k < r; ++k)
        {
            if (data[j, k] != 0)
            {
                zn *= data[j, k];
                ok = true;
            }
        }
        if (ok)
        {
            zn = Math.Pow(zn, 1.0 / diag);
            znam += zn;
        }
        ok = false;
        zn = 1;
    } // end of znam

    for (Int16 i = 0; i < r; ++i) // x[i]
    {
        for (Int16 j = 0; j < c; ++j)
        {
            if (data[i, j] != 0)
            {
                chus *= data[i, j];
                ok = true;
            }
        }
        if (ok)
        {
            chus = Math.Pow(chus, 1.0 / diag); // end of chus
        }
        else
        {
            chus = 0;
        }
    }
}

```

```

        x[i, 0] = chus / znam;
        chus = 1;
        ok = false;
    }

    vector.SetMatrix(x, 0, 1);
    return vector; // using only with copying constructor!!!
}

/// <summary>
/// 5    6    11
/// [  ] + [  ] = [  ]
/// </summary>
/// <param name="v1">First matrix(vector)</param>
/// <param name="v2">Second matrix(vector)</param>
/// <returns>Matrix with double collumns. Using only with copying
constructor!!!</returns>
public static Matrix operator +(Matrix v1, Matrix v2)
{
    if (v1.GetRowsCout() != v2.GetRowsCout())
    {
        MessageBox.Show("Error in operator + ! Vectors have diference count of rows!
Correcting you data and reboot program.");
        return (new Matrix(1,1));
    }
    Matrix result = new Matrix(v1.GetRowsCout(),
Convert.ToInt16(v1.GetCollumnsCount() + v2.GetCollumnsCount()));
    double[,] first = new double[v1.GetRowsCout(), v1.GetCollumnsCount()];
    v1.GetMatrix(first);
    double[,] second = new double[v2.GetRowsCout(), v2.GetCollumnsCount()];
    v2.GetMatrix(second);

    result.SetMatrix(first, 0, v1.GetCollumnsCount());
    result.SetMatrix(second, v1.GetCollumnsCount(),
Convert.ToInt16(v1.GetCollumnsCount() + v2.GetCollumnsCount()));

    return result; // using only with copying constructor!!!
}

/// <summary>
/// Get matrix data
/// </summary>
/// <param name="rec">recieve matrix</param>
public void GetMatrix(double[,] rec)
{
    try
    {
        for (int i = 0; i < r; ++i)
        {
            for (int j = 0; j < c; ++j)
            {
                rec.SetValue(data[i,j], i, j);
            }
        }
    }
    catch (OutOfMemoryException)
    {
        MessageBox.Show("fail");
    }
}

/// <summary>
/// Set matrix
/// </summary>
/// <param name="nData">input data</param>

```

```

public void SetMatrix(double[,] nData, Int16 startCol, Int16 colCount)
{
    try
    {
        for (int i = 0; i < r; ++i)
        {
            for (int j = startCol, k = 0; j < colCount; ++j, ++k)
            {
                data.SetValue(nData[i,k], i, j);
            }
        }
    }
    catch (OutOfMemoryException)
    {
        MessageBox.Show("fail");
    }
}

public Int16 GetRowsCout()
{
    return r;
}
public Int16 GetCollumnsCount()
{
    return c;
}

public string MatrixToString()
{
    string res = "";
    for (Int16 i = 0; i < r; ++i)
    {
        for (Int16 j = 0; j < c; ++j)
        {
            string num = (Math.Round(data[i, j],5)).ToString();
            do
            {
                num += ' ';
            }
            while (num.Length < 13);
            res += num;
        }
        res += '\r';
    }
    return res;
}
}
}

```

ДОДАТОК В
ПРОГРАМНИЙ КОД РЕАЛІЗАЦІЇ ЗАСТОСУНКА
ОПТИМІЗАЦІЇ ВИВОЗУ СМІТТЯ

```

import numpy as np
import math
import pandas as pd

from branches_and_bounders.br_and_bo_exceptions import NotFullReductionMatrix
from branches_and_bounders.helped_methods import verify_reduction_matrix

class MatrixReductionTool:
    """
    This class implements the reduction of any received matrix A.
    """
    def __init__(self):
        self.full_reduction_matrix = None
        self.row_reduction_value = np.array([0])
        self.column_reduction_value = np.array([0])

    @staticmethod
    def get_row_reduction_value(matrix):
        """
        :return:
        """
        return matrix.min(axis=1)

    @staticmethod
    def get_column_reduction_value(matrix):
        """
        :return:
        """
        return matrix.min(axis=0)

    @staticmethod
    def lead_down_matrix_by_row(row_reduction_value, matrix):
        for row_index in range(matrix.shape[0]):
            matrix[row_index, :] -= row_reduction_value[row_index]

        if not verify_reduction_matrix(matrix):
            raise NotFullReductionMatrix("Incorrect reduction matrix value: each row
            should have at least one 0 value")

        return matrix

    @staticmethod
    def lead_down_matrix_by_column(column_reduction_value, matrix):
        for column_index in range(matrix.shape[1]):
            matrix[:, column_index] -= column_reduction_value[column_index]

        if not verify_reduction_matrix(matrix, axis=1):

```

```

        raise NotFullReductionMatrix("Incorrect reduction matrix value: each column
should have at least one 0"
        " value")

    return matrix

def get_reduction_values(self, df):
    """
    :param df: input dataframe of a given distance matrix
    :return: reduced matrix, the sum of reduction constants
    """

    matrix = df.to_numpy()
    reduced_matrix = self.get_full_reduction_matrix(matrix)
    df_reduced_matrix = pd.DataFrame(reduced_matrix, columns=df.columns,
index=df.index)
    return df_reduced_matrix, sum(self.row_reduction_value),
sum(self.column_reduction_value)

def get_full_reduction_matrix(self, received_matrix):
    # 1 step: get row_reduction value
    self.row_reduction_value = self.get_row_reduction_value(matrix=received_matrix)
    # 2 step: lead down matrix by row with relevant row_reduction_value
    leaded_down_matrix_by_row =
self.lead_down_matrix_by_row(self.row_reduction_value, received_matrix)

    # 3 step: get column_reduction value
    self.column_reduction_value =
self.get_column_reduction_value(matrix=leaded_down_matrix_by_row)

    # 4 step: lead down matrix by column with relevant column_reduction_value
    leaded_down_matrix_by_column =
self.lead_down_matrix_by_column(self.column_reduction_value,
        leaded_down_matrix_by_row)

    self.full_reduction_matrix = leaded_down_matrix_by_column

    return leaded_down_matrix_by_column

print(f"Input_matrix: \n {input_matrix}")

matrix_reduction_tool = MatrixReductionTool()

leaded_down_matrix_by_column =
matrix_reduction_tool.get_full_reduction_matrix(input_matrix)
low_bounder_value = matrix_reduction_tool.get_reduction_values()
print(f"leaded_down_matrix_by_column: \n {leaded_down_matrix_by_column}")
print(f"low_bounder_value: \n {low_bounder_value}")

```



```

import pandas as pd

def verify_reduction_matrix(matrix, axis=0):
    for position_index in range(matrix.shape[0]):
        if axis == 0:
            if 0 not in matrix[position_index, :]:
                print("Incorrect reduction matrix value: each row should have at least one
0 value")
                return False
            else:
                if 0 not in matrix[:, position_index]:
                    print("Incorrect reduction matrix: each column should have at least one 0
value")
                    return False

        return True

def get_bend_name_from_matrix_pos(matrix_ben_pos, relevant_data_frame):
    map_row_index_dict = {}
    map_column_index_dict = {}

    for matrix_row_index, data_frame_row_index in
enumerate(relevant_data_frame.index):
        map_row_index_dict[matrix_row_index] = data_frame_row_index

    for matrix_column_index, data_frame_columns_index in
enumerate(relevant_data_frame.columns):
        map_column_index_dict[matrix_column_index] = data_frame_columns_index

    data_frame_row_pos = map_row_index_dict[matrix_ben_pos[0]]
    data_frame_column_pos = map_column_index_dict[matrix_ben_pos[1]]

    return data_frame_row_pos, data_frame_column_pos

def convert_to_data_frame(matrix):
    if type(matrix) != pd.DataFrame:
        return pd.DataFrame(matrix, index=range(1, matrix.shape[0] + 1),
columns=range(1, matrix.shape[1] + 1))
    return matrix

class HamiltonianNode:
    def __init__(self, node_name, node_pos=None, parent_node=None):
        self.node_name = node_name
        self.node_pos = node_pos
        self.parent_node = parent_node
        self.node_phi = None

```

```

self.node_gamma = None
self.node_df = None

def calculate_node_phi(self):
    self.node_phi = self.parent_node.node_phi + self.node_gamma if self.parent_node
else self.node_gamma

def calculate_node_gamma(self, reduction_values):
    self.node_gamma = reduction_values[0] + reduction_values[1]

def calculate_bounder_values(self, reduction_values):
    self.calculate_node_gamma(reduction_values)
    self.calculate_node_phi()
    print(f"The value phi of the current node {self.node_name} is {self.node_phi}")
    print(f"The value node gamma of the current node {self.node_name} is
{self.node_gamma}")

class HamiltonianTree:
    def __init__(self):
        print("Initialization of Hamiltonian Tree")
        self.nodes = []

    def add_node(self, node: HamiltonianNode):
        self.nodes.append(node)

import math
import numpy as np
import pandas as pd

from branches_and_bounders.hamiltonian_cycles_subsets import HamiltonianCycleTool
from branches_and_bounders.hamiltonian_tree import HamiltonianTree, HamiltonianNode
from branches_and_bounders.helped_methods import convert_to_data_frame
from branches_and_bounders.matrix_reduction_tool import MatrixReductionTool

class BranchesAndBoundersAlgorithm:
    def __init__(self):
        print("The starting of the BranchesAndBoundersAlgorithm ...")
        self.matrix_reduction_tool = MatrixReductionTool()
        self.hamiltonian_cycles_tool = HamiltonianCycleTool()
        self.current_hamiltonian_path = []
        self.continue_divide_subsets = True

    def run(self):
        row = True
        next_node = HamiltonianNode(node_name="start_node")
        hamiltonian_tree = HamiltonianTree()
        while self.continue_divide_subsets:
            if next_node.node_df is None:
                distance_matrix_A = self.get_distance_matrix(row)

```

```

next_node.node_df = convert_to_data_frame(distance_matrix_A)

if not hamiltonian_tree.nodes:
    reduced_distance_df, row_reduction_value, column_reduction_value =
self.matrix_reduction_tool.get_reduction_values(
    next_node.node_df)
    # create first node == with all hamiltonian cycles
    first_node = HamiltonianNode(node_name="main_node", parent_node=None)
    first_node.calculate_bounder_values((row_reduction_value,
column_reduction_value))
    hamiltonian_tree.add_node(first_node)
    next_node = first_node
    next_node.node_df = reduced_distance_df

    max_hamilton_arc_position =
self.hamiltonian_cycles_tool.get_arc_with_max_reduction_constant_sum(
    next_node.node_df)

    hamilton_cycles_subset_without_arc =
self.hamiltonian_cycles_tool.priory_subtract_bend(next_node.node_df,
max_hamilton_arc_position)
    hamilton_cycles_subset_without_arc.relevant_data_frame,
hamilton_cycles_subset_without_arc.row_reduction_value,
hamilton_cycles_subset_without_arc.column_reduction_value =
self.matrix_reduction_tool.get_reduction_values(hamilton_cycles_subset_without_arc.
relevant_data_frame)
    node_1 = HamiltonianNode(node_name="without_" +
str(max_hamilton_arc_position), node_pos=max_hamilton_arc_position,
parent_node=next_node)

node_1.calculate_bounder_values((hamilton_cycles_subset_without_arc.row_reduction_v
alue, hamilton_cycles_subset_without_arc.column_reduction_value))
    node_1.node_df = hamilton_cycles_subset_without_arc.relevant_data_frame
    print("node_____", node_1.node_df)

    nodes = [node for node in hamiltonian_tree.nodes if node.node_name !=
"main_node"]
    hamilton_cycles_subset_with_arc =
self.hamiltonian_cycles_tool.priory_add_bend(next_node, max_hamilton_arc_position,
nodes)

    hamilton_cycles_subset_with_arc.relevant_data_frame,
hamilton_cycles_subset_with_arc.row_reduction_value,
hamilton_cycles_subset_with_arc.column_reduction_value =
self.matrix_reduction_tool.get_reduction_values(hamilton_cycles_subset_with_arc.rel
evant_data_frame)
    self.continue_divide_subsets =
self.hamiltonian_cycles_tool.check_next_dividing_step(
    hamilton_cycles_subset_with_arc.relevant_data_frame)

```

```

        # Is parent node defined correctly?
        node_2 = HamiltonianNode(node_name="with_" + str(max_hamilton_arc_position),
node_pos=max_hamilton_arc_position, parent_node=next_node)

node_2.calculate_bouder_values((hamilton_cycles_subset_with_arc.row_reduction_valu
e, hamilton_cycles_subset_with_arc.column_reduction_value))
        node_2.node_df = hamilton_cycles_subset_with_arc.relevant_data_frame

        hamiltonian_tree.add_node(node_1)
        hamiltonian_tree.add_node(node_2)

        if self.continue_divide_subsets:
            row = False

            if node_1.node_phi < node_2.node_phi:
                next_node = node_1
            else:
                next_node = node_2

            print("new_distance_matrix", next_node.node_df)

if __name__ == "__main__":
    alg = BranchesAndBoundersAlgorithm()
    alg.run()

class BranchesAndBoundersExceptions(Exception):
    def __init__(self, error_message: str) -> None:
        print(f"Attention! The error {error_message} was caught")

class IncorrectDataType(BranchesAndBoundersExceptions):
    def __init__(self, received_data):
        self.error_message = f"The type of input data is expected to be np.array!
Instead was received " \
            f"{type(received_data)} type"
        super().__init__(self.error_message)
        print(f"\n {self.error_message}")

class NotFullReductionMatrix(BranchesAndBoundersExceptions):
    def __init__(self, error_message):
        super().__init__(error_message)
        print(f"\n {error_message}")

```

ДОДАТОК Г
АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ



Новояворівський міський голова

В. Я. Мацелюх

2022 р.

АКТ

про впровадження результатів

дисертаційної роботи аспіранта кафедри «Інформаційні системи та мережі»

Національного університету «Львівська політехніка»

Бігуна Романа Романовича

у Новояворівській об'єднаній територіальній громаді

Цей акт підтверджує, що результати дисертаційної роботи на здобуття наукового ступеня доктора філософії Бігуна Р. Р., були використані та впроваджені в практичну діяльність при розробці системи підтримки прийняття рішень розвитку територіальних громад для Новояворівської ОТГ у м. Новояворівськ у 2021-2022 рр.

Терміни проведення досліджень: вересень 2021 р. – травень 2022 р.

Впровадження отриманих результатів дисертаційного дослідження Р. Р. Бігуна полягає у наступному:

- розробка алгоритму оптимізації вивозу сміття;
- аналіз ключових факторів агропромислового та туристичного комплексів;
- розробка системи вибору напрямку розвитку територіальних громад.

Розроблені результати дисертаційного дослідження дозволили:

- реалізувати алгоритм оптимізації вивозу сміття, який містить декілька етапів. На першому етапі використано покращений алгоритм k -середніх для кластеризації пунктів збору сміття. Другим етапом є застосування задачі комівояжера та метод «гілок та меж» задля пошуку оптимальних шляхів між самими кластерами. З третім етапом будується оптимальний шлях всередині кожного кластера, базуючись на спеціальному виборі потрібних точок.

- вибрати та обґрунтувати математичний апарат, який дозволяє комплексно проводити аналіз впливу розвитку агропромислового сектору на загальний економічний стан території громади. В результаті отримана багатофакторна кореляційно-регресивна модель в майбутньому може інтегруватись в регіональному управлінні для прогнозування результатів функціонування сільського господарства областей України.

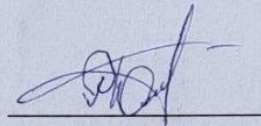
• вибрати та обґрунтувати математичний апарат, який дозволяє проводити аналіз основних факторів впливу на розвиток туристичної галузі, отриманий на основі PLS-PM моделі. Даний аналіз може бути використаний для успішного вирішення задач сталого розвитку туріндустрії територіальних громад.

• побудувати систему вибору напряму розвитку територіальних громад, використовуючи метод аналізу ієрархій, що дало змогу визначити ієрархію компонентів системи в цілому, детально проаналізувати критерії (ресурси громади) та їх функціональну взаємодію з напрямами розвитку.

Використання розроблених у дисертаційному дослідженні методів та засобів дало змогу побудувати та реалізувати систему підтримки прийняття рішень розвитку територіальних громад.

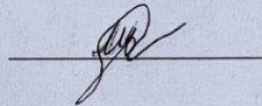
Члени комісії:

к.т.н., доцент кафедри ІСМ



Ю.В. Ришковець

к.ф.-м.н., доцент кафедри ІСМ



М.М. Лучкевич

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор з науково-педагогічної роботи
Національного університету
«Львівська політехніка»
О. Р. Давидчак
вересень 2022 р.



АКТ
про впровадження в навчальний процес результатів
дисертаційної роботи на здобуття наукового ступеня доктора філософії
Бігуна Романа Романовича

Цей акт складений про те, що результати дисертаційної роботи Бігуна Р. Р. на тему «Система підтримки прийняття рішень розвитку територіальних громад», представленої на здобуття наукового ступеня доктора філософії, використовуються у навчальному процесі кафедри «Інформаційні системи та мережі» Національного університету «Львівська політехніка». Матеріали дисертаційного дослідження використовуються під час викладання дисциплін «Методи оптимізації та дослідження операцій», «Методології системного аналізу», «Моделювання процесів аналізу даних».

Зокрема, у навчальному процесі використовуються запропоновані Р.Р.Бігуном:

- метод оптимізації вивезення сміття (дисципліна «Методи оптимізації та дослідження операцій» для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр», що навчаються за напрямом 6.124.00.00 «Системний аналіз», тема 9 «Транспортні задачі та їх застосування в інформаційних технологіях»);

- методи та моделі розвитку територіальних громад (дисципліна «Методології системного аналізу» для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр», що навчаються за напрямом 6.124.00.00 «Системний аналіз», тема 12 «Системи та моделі»);

- методи аналізу розвитку територіальних громад (дисципліна «Моделювання процесів аналізу даних» для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр», що навчаються за напрямом 8.124.00.03 «Аналіз даних (Data Science)», тема 4 «Методи моделювання процесів аналізу даних»).

Директор ІКНІ,
д.т.н., професор

М. О. Медиковський

Завідувач кафедри ІСМ,
д.т.н., професор

В. В. Литвин

Професор кафедри ІСМ,
д.т.н., с.н.с.

Д. Г. Досин

"ЗАТВЕРДЖУЮ"
Проректор з наукової роботи
Національного університету
«Львівська політехніка»
I. В. Демидов
2022 р.

використання наукових результатів дисертаційної роботи
Бігуна Романа Романовича

«Система підтримки прийняття рішень розвитку територіальних громад», представленої на
здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю
124 – системний аналіз

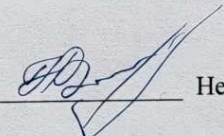
Комісія в складі: голови комісії – начальника науково-дослідної частини, д.т.н., Небесного Р. В. та членів комісії – завідувача кафедри інформаційних систем та мереж, д.т.н., професора Литвина В. В., завідувача відділу науково-організаційного супроводу наукових досліджень, к.т.н. Лазько Г. В. і заступника начальника планово-фінансового відділу Чулой Т. М., цим актом підтверджують, що результати дисертаційної роботи Бігуна Р. Р., використовувалися при виконанні науково-дослідної роботи кафедри інформаційних систем та мереж, зокрема в рамках держбюджетних НДР:

«Методи та засоби функціонування систем підтримки прийняття рішень на основі онтологій» (номер державної реєстрації U0118U000269), обґрунтовано математичний апарат, який дозволяє комплексно проводити аналіз впливу розвитку агропромислового сектору на загальний економічний стан території громади, а також виконано кореляційно-регресійний аналіз, який дозволив виявити найбільш значимі фактори, що визначають поточні можливості розвитку сільського господарства в громадах Львівської області;

«Система підтримки прийняття рішень розпізнавання мультиспектральних образів на основі технологій машинного навчання та онтологічного підходу» (номер державної реєстрації 0120U102203), в якій Р. Р. Бігуном було обґрунтовано математичний апарат, який дозволяє проводити аналіз основних факторів впливу на розвиток туристичної галузі з використанням технологій машинного навчання та онтологічного підходу.

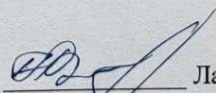
Голова комісії:

начальник науково-дослідної частини, д.т.н.

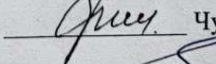

Небесний Р. В.

Члени комісії:

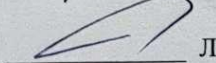
зав. відділу науково-організаційного супроводу наукових досліджень, к.т.н.


Лазько Г. В.

заст. нач. планово-фінансового відділу


Чулой Т. М.

зав. каф. інформаційних систем та мереж, д.т.н., проф.


Литвин В. В.