

Київський національний університет будівництва і архітектури
Міністерство освіти і науки України

Київський національний університет будівництва і архітектури
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Магалов Аршак Михайлович

УДК 514.18

ДИСЕРТАЦІЯ

**ГЕОМЕТРИЧНІ МОДЕЛІ МАРШРУТІВ ПОСТАЧАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ
МАТЕРІАЛІВ ПРИ НОВОМУ БУДІВНИЦТВІ**

Спеціальність 05.01.01 – Прикладна геометрія, інженерна графіка
Галузь знань – Технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

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

А. М. Магалов

Науковий керівник Панько Олексій Миколайович, канд. техн. наук, доцент

Київ – 2021

АНОТАЦІЯ

Магалов А.М. Геометричні моделі маршрутів постачання будівельних матеріалів при новому будівництві. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.01.01 «Прикладна геометрія, інженерна графіка». – Київський національний університет будівництва і архітектури, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, 2021.

Однією з характерних ознак сьогодення в Україні є інтенсивне зведення різноманітних будівель та прокладання нових автомобільних доріг. Це сприяє, зокрема, забезпеченню громадян житлом та розвитку народного господарства. У той же час доволі актуальними постають питання підвищення економічної ефективності зазначених процесів, наприклад, за рахунок зменшення витрат необхідних ресурсів. Один із напрямків успішного вирішення окресленої проблеми полягає в широкому використанні при проектуванні об'єктів будівництва комп'ютерних інформаційних технологій, які спираються на належні математичні моделі автоматизованого моделювання.

Нині методи прикладної геометрії та графічних технологій набувають усе більшого значення в розв'язанні проектних та організаційно-технологічних задач архітектурно-будівельної галузі (інтерпретаційні моделі формування організаційних кластерів, геометричне моделювання транспортних та інженерних комунікацій, проектування й конструювання енергоощадних об'єктів та засобів альтернативної енергетики тощо).

Ефективність зведення житла, будівель виробничого та соціального призначення, інженерних споруд тощо є важливим завданням для забезпечення сталого розвитку суспільства. Оскільки для даної галузі притаманне використання великої номенклатури та обсягів матеріалів і виробів, то виникає гостра необхідність оптимізації їх постачання до місць будівництва. Зазначені

процеси потребують чіткої організації та технологічної ритмічності, характеризуються потребами у значних матеріальних, людських, фінансових, енергетичних та інших ресурсах. Тому питання їх удосконалення, яке зменшує відповідні витрати, становить актуальну науково-прикладну задачу.

Отже, одним із перспективних напрямків вирішення питань підвищення ефективності доставляння матеріалів, конструкцій та інших виробів на будівельний майданчик є системне застосування засобів геометричного моделювання, які дозволяють оптимізувати маршрути постачання при новому будівництві. Це і становить тему виконаного наукового дослідження, яке конкретизовано на використанні автомобільного транспорту як найбільш поширеного в регіонах, де матеріали та вироби надходять із місць, розташованих на відносно невеликих відстанях. Перевагою запропонованого в дисертації підходу є те, що останній може бути розповсюджено, з виконанням певних уточнень, також і на залізничне, водне та, навіть, повітряне сполучення. Це додатково підкреслює важливість і практичну значущість проведених наукових розвідок.

Дисертаційне дослідження проведено на кафедрі архітектурних конструкцій Київського національного університету будівництва і архітектури згідно з науково-дослідною темою «Розробка геометричних моделей складних об'єктів і процесів». Головною метою є розробляння нових способів геометричної оптимізації процесів постачання матеріалів в умовах будівництва на основі графоаналітичного моделювання маршрутів їх транспортування.

Для цього визначено наступні завдання:

– *виконати* системний аналіз процесів постачання будівельних матеріалів та *визначити* необхідність застосування методів геометричного моделювання для їх оптимізації;

– *розробити* загальну оптимізаційну геометричну модель процесу постачання будівельних матеріалів на основі синтезу графоаналітичного представлення транспортної мережі та технології структурно-параметричного моделювання;

– *розробити* геометричний евристичний спосіб оптимізації маршрутів на основі оцінок ймовірних швидкостей переміщення між вузлами транспортної мережі та алгоритм його реалізації;

– *розробити* геометричні способи оптимізації маршрутів на основі методу потенціалів для фіксованої геометрії транспортної мережі та за необхідності її модифікації;

– *виконати* числові тестові розрахунки, що підтверджують коректність та достовірність розроблених геометричних інструментів;

– *впровадити* одержані результати у практику та *визначити* перспективи подальшого розвитку виконаної наукової праці.

Об'єкт дослідження – оптимізація процесів постачання матеріалів на будівельне виробництво.

Предмет дослідження – геометричні оптимізаційні моделі маршрутів постачання матеріалів при новому будівництві.

Під час виконання дисертаційної роботи застосовувалися методи аналітичної й обчислювальної геометрії, теорія кривих і поверхонь, інтерполяції та апроксимації, теорія множин і графів, алгоритмів, оптимізації, будівельного виробництва, комп'ютерної графіки. Теоретичну основу для проведених досліджень становлять відповідні праці вітчизняних і закордонних учених.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що *вперше*:

1. Розроблено загальну оптимізаційну геометричну модель процесу постачання будівельних матеріалів шляхом синтезу графоаналітичного представлення транспортної мережі та технології структурно-параметричного моделювання.

2. Розроблено нові геометричні способи оптимізації маршрутів постачання будівельних матеріалів:

– на основі оцінок ймовірних швидкостей переміщення транспорту між вузлами мережі;

– із забезпеченням проходження через необхідні пункти на шляху до місця призначення за фіксованої геометрії мережі;

– з можливістю дефініції раціонального розташування додаткових доріг або вузлів транспортної мережі.

Удосконалено:

– геометричні моделі маршрутів постачання матеріалів при новому будівництві за рахунок напрацьованих способів, моделей та алгоритмів.

Отримала подальший розвиток:

– загальна методологія моделювання процесів постачання матеріалів на будівельне виробництво.

Обґрунтованість і достовірність напрацьованих результатів базуються на широкому застосуванні математичних засобів геометричного моделювання, використанні теорії множин і графів, алгоритмів, методів оптимізації, здійсненому впровадженні.

Практичне значення дисертаційної роботи полягає в удосконаленні процесів геометричного моделювання постачання будівельних матеріалів, застосуванні в ТОВ "Градобуд-К" (м. Київ) при організації та проведенні технологічних робіт, у Науково-освітньому центрі проектування будівель із близьким до нульового енергоспоживання Київського національного університету будівництва і архітектури при здійсненні наукових досліджень, у навчальному процесі кафедри організації та управління будівництвом Київського національного університету будівництва і архітектури, що засвідчило практичну цінність даних дисертаційних досліджень.

Виконаною науковою працею показано, що геометричні моделі процесів постачання будівельних матеріалів і виробів на базі використання структурно-параметричного підходу до моделювання здатні виступати об'єднуючою основою для багатьох інших моделей, наприклад, організації та технології будівництва, економічних та інших, сприяти проведенню комплексної оптимізації.

При цьому головний акцент у запропонованих способах, прийомах, алгоритмах і методиках полягає у прийнятті до уваги наявних особливостей будівельної галузі. Це забезпечує отримання кращих результатів при

проектуванні, виробництві та подальшій експлуатації модельованих споруд. Так будівельна галузь здатна не тільки, як інші, адаптуватись до умов існуючих транспортних мереж, а й оперативно їх змінювати під власні потреби. Зокрема, доволі типовою є необхідність у нових дорогах для доставляння піску, гравію, щебеню тощо під час будівництва. Належні ілюстрації проаналізовано в дисертації.

Водночас, завдяки універсальності розробленого математичного апарату перевезення вантажів, останній із певними належними доповненнями придатний до застосування в залізничному, водному й, навіть, авіаційному транспорті. Запропоновані способи, прийоми, алгоритми та методики пристосовані до практичної реалізації в середовищі комп'ютерних пакетів математичного моделювання, таких як Maple, MathCAD, Matlab та ін., системах архітектурно-будівельного проектування Allplan, ArchiCAD, Revit тощо. Це засвідчує їх пристосованість до нинішніх BIM (Building Information Modeling)-технологій, які реалізують всебічне опрацювання технічних об'єктів протягом усього їх життєвого циклу.

Отримані в дисертації наукові результати апробовано під час доповідей та обговорень на:

- Восьмій міжнародній науково-практичній конференції «Інтегровані енергоефективні технології в архітектурі та будівництві «Енергоінтеграція-2018» (м. Київ, 2018 р.);
- Міжнародних науково-практичних конференціях молодих учених "Build-Master-Class-2018" (м. Київ, 2018 р.) та "Build-Master-Class-2019" (м. Київ, 2019 р.);
- 21 міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми геометричного моделювання (м. Мелітополь, 2019 р.).

При цьому запропонований підхід до геометричного моделювання постачання будівельних матеріалів і виробів отримав схвальні відгуки присутніх учасників конференцій, було рекомендовано здійснити його впровадження у практику.

Таким чином, значення даного дисертаційного дослідження для науки полягає у створених нових геометричних способах оптимізації маршрутів перевезень на основі оцінок ймовірних швидкостей переміщення, забезпечення проходження через необхідні пункти на шляху до місця призначення та дефініції раціонального розташування додаткових доріг або вузлів транспортної мережі на базі використання структурно-параметричного підходу до моделювання та з широким урахуванням наявних особливостей будівельної галузі. Значення для практики становлять нові геометричні моделі, запропоновані методики та рекомендації, що сприяють підвищенню ефективності нового будівництва за рахунок зменшення витрат трудових, фінансових, матеріальних та інших ресурсів.

Визначено перспективи подальшого розвитку обраної наукової теми, які полягають у вдосконаленні напрацьованих теоретичних положень, розроблянні нових методів, способів, прийомів, алгоритмів та методик геометричного моделювання, більш тісній їх інтеграції з пов'язаними спеціалізованими дисциплінами, такими як організація та технологія будівництва, транспортні перевезення, економіка тощо. Актуальним є впровадження розробленого математичного апарату в середовище сучасних BIM-технологій, а також розповсюдження поданого підходу на різні види транспорту.

За матеріалами дослідження опубліковано 10 робіт, із яких 1 в періодичному науковому виданні держави Європейського Союзу, 5 надруковано в наукових фахових виданнях України, 4 – у матеріалах конференцій.

Дисертаційна робота складається з анотацій українською та англійською мовами, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і трьох додатків. Загальний обсяг дисертації 151 сторінка. Основна частина містить 108 сторінок, список використаних джерел із 135 найменувань – 14 сторінок, додатки – 14 сторінок.

Ключові слова: геометричне моделювання, транспортні мережі, маршрути постачання, будівельні матеріали та виробы, нове будівництво.

.СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в періодичних наукових виданнях інших держав

1. Magalov A., Mishchenko O., Orel J., Skochko V. Methods for determining the optimal trajectories of transport routes for different types of transport and types of relief. *Budownictwo o zoptymalizowanym Potencjale energetycznym. Construction of optimized Energy potential*. Wydział Budownictwa Politechniki Częstochowskiej. 2016. № 1 (11). P. 71–79. Особистий внесок здобувача: уточнено використання методики оптимізації транспортної траєкторії для різних типів рельєфу місцевості.

Статті в наукових фахових виданнях України

2. Магалов А.М., Міщенко О.Г. Математична модель для побудови оптимальної економічної траєкторії дороги на площині та дискретно представлений поверхні. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2017. № 31. Ч. 1. С. 120–128. (Збірник входить до наукометричних баз Ulrichsweb, BASE, Index Copernicus, Google Scholar). Особистий внесок здобувача: запропоновано застосування вагових економічних коефіцієнтів для ділянок трасування дороги.

3. Магалов А.М., Міщенко О.Г., Плоский В.О., Скочко В.І. Геометричне моделювання дискретно представлених поверхонь для визначення оптимальних траєкторій транспортних сполучень. *Сучасні проблеми моделювання*. Мелітополь, 2020. Вип. 17. С. 54–65. (Збірник входить до наукометричної бази Google Scholar). Особистий внесок здобувача: для підвищення ефективності обчислювальних операцій запропоновано зберігати в моделях інформацію про висоти точок у форматі векторів із послідовною індексацією вузлів.

4. Магалов А.М. Застосування структурно-параметричного підходу для геометричного моделювання маршрутів постачання будівельних матеріалів при новому будівництві. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. Київ, 2020. Вип. 14. Р. 7–14. (Журнал входить до наукометричних баз Google Scholar, Worldcat, BASE).

5. Магалов А.М., Міщенко О.Г. Аналіз параметрів обмежень трасування доріг при територіальному проектуванні. *Сучасні проблеми архітектури*

та містобудування. Київ, 2020. Вип. 58. С. 283–290. Особистий внесок здобувача: запропоновано систематизувати обмежувальні геометричні параметри при трасуванні доріг.

6. Магалов А.М., Орел Ю.М. Визначення питомих показників вартості спорудження і експлуатації трубопроводів ефективних систем водопостачання. *Сучасні проблеми моделювання*. Мелітополь, 2020. Вип. 19. С. 130–137. (Збірник входить до наукометричної бази Google Scholar). Особистий внесок здобувача: запропоновано спеціальні цільові функції для об'єктивної оцінки економічної ефективності будівництва та експлуатації мереж водопостачання.

Апробація матеріалів дисертації

7. Магалов А.М. Моделювання транспортних маршрутів постачання будівельних матеріалів при спорудженні об'єктів будівництва. *Робоча програма та тези доповідей Восьмої міжнародної науково-практичної конференції «Інтегровані енергоефективні технології в архітектурі та будівництві «Енергоінтеграція-2018»*. Київ, 2018. С. 76–77.

8. Магалов А., Плоский В., Скочко В. Деякі аспекти геометричного моделювання оптимальних маршрутів постачання будівельних матеріалів. *International scientific-practical conference of young scientists "Build-Master-Class-2018". Conference Proceedings*. Київ, 2018. Р. 118–119. Особистий внесок здобувача: розроблено геометричну модель та алгоритм визначення оптимальних маршрутів постачання будівельних матеріалів.

9. Магалов А., Плоский В., Куліков П., Гегер А. Візуалізація алгоритму прокладання найшвидших маршрутів постачання будівельних матеріалів. *International scientific-practical conference of young scientists "Build-Master-Class-2019". Conference Proceedings*. Київ, 2019. Р. 148–149. Особистий внесок здобувача: розроблено алгоритм прокладання найшвидших маршрутів постачання будівельних матеріалів.

10. Магалов А. Алгоритм дискретного моделювання оптимальних маршрутів транспортування будівельних матеріалів. *Тези доповідей 21 міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні проблеми геометричного моделювання»*. Мелітополь, 2019. С. 19.

ANNOTATION

Magalov A.M. Geometric models of routes for the supply of building materials for new construction. – Qualifying scientific work, the manuscript.

Thesis for the degree of a Candidate of Engineering Sciences in specialty 05.01.01 «Applied geometry, engineering graphics». – Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, 2021.

One of the characteristic features of the present in Ukraine is the intensive construction of various buildings and new roads. This contributes to the provision of citizens with housing and the development of the national economy. At the same time, the issues of increasing the efficiency of these processes are quite relevant, for example, by reducing the cost of the necessary resources. One of the directions for the successful solution of the indicated problem is the wide use in the design of construction objects of computer information technologies, which are based on the corresponding mathematical models of automated modeling.

Now the methods of applied geometry and graphic technologies are gaining more and more importance in solving design and organizational-technological problems of the architectural and construction industry (interpretation models of organizational clusters, geometric modeling of transport and engineering communications, design and construction of energy-saving objects and means of alternative energy, etc.).

The efficiency of construction of housing, industrial and social buildings, engineering structures, etc. is an important task for ensuring the sustainable development of society. Since this industry is characterized by the use of a wide range and volumes of materials and products, there is an urgent need to optimize their supply to construction sites. These processes require a clear organization and technological rhythm, are characterized by the need for significant material, human, financial, energy and other resources. Therefore, the issue of their improvement, which reduces the corresponding costs, is an urgent scientific and applied problem.

So, one of the promising directions for solving the issues of increasing the efficiency of delivery of materials, structures and other products to the construction

site is the systematic use of geometric modeling tools that allow you to optimize the supply routes for new construction. This is the subject of the scientific research, concretized on the use of road transport as the most common in regions where materials and products come from places located at relatively short distances. The advantage of the approach proposed in the dissertation is that the latter can be extended, with the implementation of certain clarifications, also to rail, water and even air traffic. This further emphasizes the importance and practical significance of the performed scientific research.

The dissertation research was carried out at the Department of Architectural Structures of the Kyiv National University of Construction and Architecture in accordance with the research topic "Development of geometric models of complex objects and processes". The main goal is to develop new methods for geometric optimization of materials supply processes in construction conditions on the basis of graphic-analytical modeling of their transportation routes.

The following tasks are defined for this purpose:

- perform a systematic analysis of the supply of building materials and determine the need to apply geometric modeling methods for their optimization;
- to develop a general optimization geometric model of the process of supply of construction materials based on the synthesis of graphical-analytical representation of the transport network and the technology of structural-parametric modeling;
- to develop a geometric heuristic method of routes optimization based on estimates of the probable speeds of movement between the nodes of the transport network and an algorithm for its implementation;
- to develop geometric methods for optimization of routes on the basis of the method of potentials for the fixed geometry of the transport network and, if necessary, its modification;
- to perform numerical test calculations confirming the correctness and reliability of the developed geometric tools;
- to implement the obtained results in practice and to determine the prospects for further development of the performed scientific work.

The object of research is the optimization of the processes of supplying materials for construction production

The subject of the research is geometric optimization models of material supply routes for new construction.

Methods of analytical and computational geometry, theory of curves and surfaces, interpolation and approximation, theory of sets and graphs, algorithms, optimization, construction production, computer graphics were used in the implementation of the dissertation work. The theoretical basis for the research is the relevant works of domestic and foreign scientists.

The scientific novelty of the obtained results is that for the first time:

1. The general optimization geometrical model of the process of delivery of building materials has been developed by synthesis of the graphical-analytical representation of the transport network and technology of structural-parametric modeling.

2. New geometrical methods have been developed to optimize routes for the supply of building materials:

– based on estimates of the probable speeds of transport movement between network nodes;

– ensuring the passage through the necessary points on the way to the destination along the fixed geometry of the network;

– with the possibility of defining the rational location of additional roads or nodes of the transport network.

Improved:

– geometric models of routes for the supply of materials at new construction due to developed methods, models and algorithms.

Received further development:

– general methodology for modeling the processes of supplying materials to construction production.

The validity and reliability of the obtained results are based on the wide use of mathematical means for geometric modeling, the theory of sets and graphs, algorithms, optimization methods.

The practical significance of the dissertation work is to improve the processes of geometric modeling of the supply of building materials, use in "Gradobud-K" (Kyiv) in the organization and conduct of technological work, in the Scientific and Educational Center the design of buildings with near zero energy consumption of Kyiv National University of Construction and Architecture in the implementation of scientific research, in the educational process of the Department of Organization and Management of Construction of the Kyiv National University of Construction and Architecture.

The performed scientific work has shown that geometric models of the processes of supplying building materials and products based on the use of a structural-parametric approach to modeling can act as a unifying basis for many other models, such as organization and construction technology, economic and others, to promote complex optimization.

In this case, the main emphasis in the proposed methods, techniques and algorithms is to take into account the existing features of the construction industry. This ensures the better results in the design, manufacture and further operation of the simulated buildings. In particular, the need for new roads for the delivery of sand, gravel, rubble, etc. is quite typical during construction. Appropriate illustrations are considered and analyzed in the dissertation.

Due to the versatility of the developed mathematical apparatus, the latter, with certain additions, is suitable for use in railway, water and air transport. The proposed methods, techniques and algorithms are adapted to practical implementation in the environment of computer packages of mathematical modeling, such as Maple, MathCAD, Matlab, architectural and construction design systems Allplan, ArchiCAD, Revit, etc. This demonstrates their adaptability to current BIM (Building Information Modeling) technologies, which implement comprehensive processing of technical objects throughout their life cycle.

The results of the dissertation were tested during reports and discussions on:

- Eighth International Scientific and Practical Conference "Integrated Energy Efficient Technologies in Architecture and Construction "Energy Integration-2018" (Kyiv, 2018);
- International scientific-practical conferences of young scientists "Build-Master-Class-2018" (Kyiv, 2018) and "Build-Master-Class-2019" (Kyiv, 2019);

– 21st international scientific-practical conference "Modern problems of geometric modeling" (Melitopol, 2019).

The proposed approach to geometric modeling of the supply of building materials and products received positive feedback from the participants of the conferences, it was recommended to implement it in practice.

The value of this dissertation research for science lies in the creation of new geometric methods for optimizing transportation routes based on estimates of probable travel speeds, ensuring passage through the necessary points on the way to the destination and definition of rational location of additional roads or transport network nodes based on structural-parametric approach to modeling and taking into account the existing features of the construction industry. New geometric models, proposed methods and recommendations that contribute to increasing the efficiency of new construction by reducing the cost of labour, financial, material and other resources are important for practice.

The prospects for the further development of the selected scientific topic are determined, which consist in improving the theoretical provisions, developing new methods, techniques and algorithms for geometric modeling, their closer integration with related specialized disciplines, such as organization and technology of construction, transportation, economics, etc. It is important to implement the developed mathematical apparatus in the environment of modern BIM-technologies, as well as to extend the presented approach to various types of transport.

On the topic of the dissertation 10 works were published, 1 of which in the periodical scientific publication of the European Union, 5 were published in scientific professional editions of Ukraine, 4 – in conference proceedings.

The dissertation consists of two annotations, an introduction, four chapters, conclusions, a list of references and appendices. The total volume of the dissertation is 151 pages. The main part contains 108 pages, a list of used sources of 135 titles – 14 pages, annexes – 14 pages.

Key words: geometric modeling, transport networks, supply routes, building materials and products, new construction.

LIST OF THE APPLICANT'S PUBLICATIONS ON THE TOPIC OF THE
DISSERTATION

Articles in periodicals of other countries

1. Magalov A., Mishchenko O., Orel J., Skochko V. Methods for determining the optimal trajectories of transport routes for different types of transport and types of relief. *Budownictwo o zoptymalizowanym Potencjale energetycznym. Construction of optimized Energy potential*. Wydział Budownictwa Politechniki Częstochowskiej. 2016. № 1 (11). P. 71–79. Personal contribution of the applicant: the use of the technique for optimizing the transport trajectory for different types of terrain is proposed.

Articles in scientific professional editions of Ukraine

2. Magalov A.M., Mishchenko O.G. Mathematical model for the construction of the optimal economic trajectory of the road on the plane and the discretely represented surface. *Management of Development of Complex Systems*. Kyiv, 2017. № 31. Ch. 1. P. 120–128. (The collection is included in the scientific databases Ulrichsweb, BASE, Index Copernicus, Google Scholar). Personal contribution of the applicant: the economic weights for the sections of the road were proposed.

3. Magalov A.M., Mishchenko O.G., Ploskyi V.O., Skochko V.I. Geometric modeling of discretely represented surfaces to determine the optimal trajectories of transport communications. *Modern problems of modeling*. Melitopol, 2020. Issue. 17, pp. 54–65. (The collection is included in the scientific databases Google Scholar). Personal contribution of the applicant: proposed to store information about the heights of points in the models in the format of vectors with sequential indexing of nodes to improve the efficiency of computational operations.

4. Magalov A.M. Application of structural-parametric approach for geometric modeling of routes for the supply of building materials at new construction. *Energy-efficiency in civil engineering and architecture*. Kyiv, 2020. Issue. 14. P. 7–14. (The journal is included in the scientific databases Google Scholar, Worldcat, BASE).

5. Magalov A.M., Mishchenko O.G. Analysis of parameters of road routing constraints in territorial design. *Modern problems of architecture and urban*

planning. Kyiv, 2020. Issue. 58. S. 283–290. Personal contribution of the applicant: proposed to systematize the limiting geometric parameters when tracing roads.

6. Magalov A.M., Orel Yu. M. Determination of specific indicators of the cost of construction and operation of pipelines of efficient water supply systems. *Modern problems of modeling*. Melitopol, 2020. Issue. 19, P. 130–137. (The collection is included in the scientific databases Google Scholar). Personal contribution of the applicant: special target functions are proposed for an objective assessment of the economic efficiency of the construction and operation of water supply networks.

Approbation of the dissertation materials

7. Magalov A.M. Modeling of transport routes for the supply of building materials during the construction. *Working program and abstracts of the Eighth International Scientific and Practical Conference "Integrated energy-efficient technologies in Architecture and Construction "Energointegration-2018"*. Kyiv, 2018. P. 76–77.

8. Magalov A., Ploskyi V., Skochko V. Some aspects of geometric modeling of optimal routes for the supply of building materials. *International scientific-practical conference of young scientists "Build-Master-Class-2018". Conference Proceedings*. Kyiv, 2018. P. 118–119. Personal contribution of the applicant: the geometric model and the algorithm for determining the optimal routes for the supply of building materials have been developed.

9. Magalov A., Ploskyi V, Kulikov P., Geger A. Visualization of the algorithm for laying the fastest routes for the supply of building materials. *International scientific-practical conference of young scientists "Build-Master-Class-2019": Conference Proceedings*. Kyiv, 2019. P. 148–149. Personal contribution of the applicant: the algorithm for laying the fastest routes for the supply of construction materials has been developed.

10. Magalov A. Algorithm of discrete modeling of optimal routes of transportation of building materials. *Abstracts of the 21st International Scientific and Practical Conference "Modern Problems of Geometric Modeling"*. Melitopol, 2019, P. 19.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	19
ВСТУП	20
РОЗДІЛ 1. СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ЗАДАЧІ ПОСТАЧАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	26
1.1. Огляд літературних джерел за темою дисертації	26
1.2. Математичне моделювання вантажообігу будівельного майданчика.....	32
1.3. Методи визначення найкоротших шляхів у транспортних мережах ..	36
1.4. Мета та завдання дослідження	40
Висновки до розділу 1	41
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПОСТАЧАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	44
2.1. Загальний опис запропонованого підходу	44
2.2. Особливості будівельної галузі	46
2.3. Геометричне моделювання рельєфу місцевості	48
2.4. Використання структурно-параметричної методології	52
2.4.1. Базові теоретичні положення	52
2.4.2. Параметричне моделювання транспортних маршрутів.....	54
2.4.3. Застосування комп'ютерних інформаційних технологій як засобів керування	69
2.4.4. Структурно-параметрична модель постачання будівельних матеріалів	73
2.5. Геометричне моделювання найкоротших шляхів у транспортних мережах.....	76
2.5.1. Спосіб оцінок ймовірних швидкостей переміщення транспорту між вузлами мережі.....	78
2.5.2. Спосіб проходження через необхідні пункти на шляху до місця призначення за фіксованої структури мережі та спосіб дефініції раціонального розташування її додаткових нових доріг або вузлів	83
Висновки до розділу 2	85

РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ СПОСОБІВ ТА АЛГОРИТМІВ ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПОСТАЧАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	89
3.1. Оптимізація постачання будівельних матеріалів при фіксованій структурі транспортної мережі	89
3.2. Визначення найкоротших маршрутів шляхом розташування додаткових доріг або вузлів транспортної мережі	97
3.3. Комплексне моделювання оптимального постачання будівельних матеріалів	100
Висновки до розділу 3	102
РОЗДІЛ 4. ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ ВИКОНАНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	106
4.1. Багатоаспектне опрацювання розв'язуваних задач	106
4.2. Поширення запропонованого підходу на практиці	112
Висновки до розділу 4	117
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	121
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	124
ДОДАТОК А. ДОВІДКОВА ІНФОРМАЦІЯ	139
А.1. Будівельні матеріали та їх постачання	139
А.2. Приклади комп'ютерної реалізації	142
ДОДАТОК Б. ДОКУМЕНТИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ	145
ДОДАТОК В. СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ	149

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

САПР – система автоматизованого проектування;

СПГМ – структурно-параметрична геометрична модель;

ВІМ – (Building Information Modeling) будівельне інформаційне моделювання;

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Однією з характерних ознак сьогодення в Україні є інтенсивне зведення різноманітних будівель та прокладання нових автомобільних доріг. Це сприяє, зокрема, забезпеченню громадян житлом та розвитку народного господарства. У той же час доволі актуальними постають питання підвищення економічної ефективності зазначених процесів, наприклад, за рахунок зменшення витрат необхідних ресурсів. Один із напрямків успішного вирішення окресленої проблеми полягає в широкому використанні при проектуванні об'єктів будівництва комп'ютерних інформаційних технологій, які спираються на належні математичні моделі автоматизованого моделювання.

Нині методи прикладної геометрії та графічних технологій набувають усе більшого значення в розв'язанні проектних та організаційно-технологічних задач архітектурно-будівельної галузі (інтерпретаційні моделі формування організаційних кластерів, геометричне моделювання транспортних та інженерних комунікацій, проектування й конструювання енергоощадних об'єктів та засобів альтернативної енергетики тощо).

Ефективність зведення житла, будівель виробничого та соціального призначення, інженерних споруд тощо є важливим завданням для забезпечення сталого розвитку суспільства. Оскільки для даної галузі притаманне використання великої номенклатури та обсягів матеріалів і виробів, то виникає гостра необхідність оптимізації їх постачання до місць будівництва. Зазначені процеси потребують чіткої організації та технологічної ритмічності, характеризуються потребами у значних матеріальних, людських, фінансових, енергетичних та інших ресурсах. Тому питання їх удосконалення, яке зменшує відповідні витрати, становить актуальну науково-прикладну задачу.

Отже, одним із перспективних напрямків вирішення питань підвищення ефективності доставляння матеріалів, конструкцій та інших виробів на будівельний майданчик є системне застосування засобів геометричного моделювання, які дозволяють оптимізувати маршрути постачання при новому

будівництві. Це і становить тему виконаного наукового дослідження, яке конкретизовано на використанні автомобільного транспорту як найбільш поширеного в регіонах, де матеріали та вироби надходять із місць, розташованих на відносно невеликих відстанях. Перевагою запропонованого в дисертації підходу є те, що останній може бути розповсюджено, з виконанням певних уточнень, також і на залізничне, водне та, навіть, повітряне сполучення. Це додатково підкреслює важливість і практичну значущість проведених наукових розвідок.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження проведено на кафедрі архітектурних конструкцій Київського національного університету будівництва і архітектури згідно з науково-дослідною темою «Розробка геометричних моделей складних об'єктів і процесів».

Метою дослідження є розробляння способів геометричної оптимізації процесів постачання будівельних матеріалів в умовах нового будівництва на основі графоаналітичного моделювання маршрутів їх транспортування.

Для цього визначено наступні завдання:

1. *Виконати* системний аналіз процесів постачання будівельних матеріалів та визначити необхідність застосування методів геометричного моделювання для їх оптимізації.

2. *Розробити* загальну оптимізаційну геометричну модель процесу постачання будівельних матеріалів на основі синтезу графоаналітичного представлення транспортної мережі та технології структурно-параметричного моделювання.

3. *Розробити* геометричний евристичний спосіб оптимізації маршрутів на основі оцінок ймовірних швидкостей переміщення транспорту між вузлами мережі та алгоритм його реалізації.

4. *Розробити* геометричні способи оптимізації маршрутів на основі методу потенціалів для фіксованої геометрії транспортної мережі та за необхідності її модифікації.

5. *Виконати* числові тестові розрахунки, що підтверджують коректність та достовірність розроблених геометричних інструментів.

6. *Впровадити* одержані результати у практику та визначити перспективи подальшого розвитку виконаної наукової праці.

Об'єкт дослідження – оптимізація процесів постачання матеріалів на будівельне виробництво.

Предмет дослідження – геометричні оптимізаційні моделі маршрутів постачання матеріалів при новому будівництві.

Методи дослідження. Під час виконання дисертаційної роботи застосовувалися методи аналітичної й обчислювальної геометрії, теорія кривих і поверхонь, інтерполяції та апроксимації, теорія множин і графів, алгоритмів, оптимізації, будівельного виробництва, економіки та комп'ютерної графіки.

Методи аналітичної та обчислювальної геометрії використовувалися під час розробляння рельєфу опрацьовуваної ділянки місцевості з розташовуваною на ній транспортною мережею. При цьому застосовувались положення теорії кривих і поверхонь, а також методи апроксимації та інтерполяції. Останні вживались для поступового замінювання початкової експериментальної точкової моделі рельєфу на лінійний каркас, а потім і у вигляді складеної поверхні. Запропонований у дисертації алгоритм дозволяє, за потреби, згущувати існуючу сітку належним чином. У такий спосіб підвищується точність апроксимації модельованої поверхні місцевості.

Методи теорії множин і графів та алгоритмів лежать в основі процесів оптимізації для визначення раціональних маршрутів доставляння матеріалів і виробів при новому будівництві, особливості якого також враховувались на підставі таких дисциплін як організація та технологія зведення будівель і споруд. Економічні методи є базовими для багатьох показників цільових функцій оптимізації, а комп'ютерна графіка – середовищем для практичної реалізації запропонованого підходу до моделювання.

Інтегроване поєднання у даних наукових розвідках різних методів дозволило виконати поставлені в дисертації завдання та отримати бажані результати, правильність яких підтверджено зробленими впровадженнями.

Наукову базу проведених досліджень становлять наведені у списку використаних літературних джерел праці вітчизняних і закордонних учених з аналітичної й обчислювальної геометрії, теорії кривих і поверхонь, апроксимації та інтерполяції, множин і графів, алгоритмів, оптимізації, будівельного виробництва, економіки та комп'ютерної графіки..

Наукова новизна отриманих результатів.

Уперше:

1. Розроблено загальну оптимізаційну геометричну модель процесу постачання будівельних матеріалів на основі синтезу графоаналітичного представлення транспортної мережі та технології структурно-параметричного моделювання.

2. Розроблено нові геометричні способи оптимізації маршрутів постачання будівельних матеріалів:

– на основі оцінок ймовірних швидкостей переміщення транспорту між вузлами мережі;

– із забезпеченням проходження через необхідні пункти на шляху до місця призначення за фіксованої геометрії мережі;

– з можливістю дефініції раціонального розташування додаткових доріг або вузлів транспортної мережі.

Удосконалено:

– геометричні моделі маршрутів постачання матеріалів при новому будівництві за рахунок напрацьованих способів, моделей та алгоритмів.

Отримала подальший розвиток:

– загальна методологія моделювання процесів постачання матеріалів на будівельне виробництво.

Обґрунтованість і достовірність результатів базуються на застосуванні математичних засобів геометричного моделювання, теорії множин і графів, алгоритмів, оптимізації, виконаному впровадженні.

Практичне значення отриманих результатів полягає в удосконаленні процесів геометричного моделювання постачання будівельних матеріалів, використанні в ТОВ "Градобуд-К" (м. Київ) при організації та виконанні будівельних робіт, у Науково-освітньому центрі проектування будівель із близьким до нульового енергоспоживання Київського національного університету будівництва і архітектури при здійсненні наукових досліджень, у навчальному процесі кафедри організації та управління будівництвом Київського національного університету будівництва і архітектури, що засвідчило практичну цінність дисертаційних досліджень.

Особистий внесок здобувача. Усі положення, що становлять наукову новизну, отримано здобувачем особисто. У працях, виконаних зі співавторами, власний внесок наведено у списку опублікованих праць за темою дисертації.

Апробація матеріалів дисертації. Отримані наукові результати доповідалися й обговорювалися на:

– Восьмій міжнародній науково-практичній конференції «Інтегровані енергоефективні технології в архітектурі та будівництві «Енергоінтеграція-2018» (м. Київ, 2018 р.);

– Міжнародних науково-практичних конференціях молодих учених "Build-Master-Class-2018" (м. Київ, 2018 р.) та "Build-Master-Class-2019" (м. Київ, 2019 р.);

– 21 міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми геометричного моделювання (м. Мелітополь, 2019 р.).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 10 праць, із яких 1 в періодичному науковому виданні держави Європейського Союзу, 5 надруковано в наукових фахових виданнях України, 4 – у матеріалах конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Робота складається з анотацій українською й англійською мовами, змісту, переліку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і трьох додатків. Загальний обсяг дисертації становить 151 сторінку друкованого тексту. Основна частина містить 108 сторінок, список використаних джерел із 135 найменувань – 14 сторінок, додатки – 14 сторінок.

РОЗДІЛ 1

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ЗАДАЧІ ПОСТАЧАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Цей розділ започатковує докладний опис виконаного наукового дослідження. Завдання даної частини дисертаційної роботи полягає у проведенні системного аналізу за обраною темою, тобто стосовно формування геометричних моделей маршрутів постачання матеріалів при новому будівництві.

Як свідчить наведений вище заголовок, акцент здійснюється на багатоплановий характер опрацювання вирішуваних питань. Викладання відомостей базується на розгляді наявних літературних джерел. При цьому останні охоплюють різноманітні напрямки розвідок. Це стосується оптимізації процесів постачання продукції взагалі та врахування певних властивостей конкретних розв'язуваних задач зокрема.

Як результат даного розділу, на основі встановлених особливостей будівельної галузі, визначено мету та завдання дисертаційного дослідження щодо створення відповідних нових засобів геометричного моделювання.

1.1. Огляд літературних джерел за темою дисертації

Загальні питання організації постачання товарів та перевезень розглядаються в таких джерелах як [4, 6, 8, 16, 66, 78–80, 83, 88, 94, 99, 101–103, 106, 109, 112–114], їх математичного моделювання – в [12, 13, 15, 17, 24, 27, 29, 34, 36, 37, 52–56, 61–63, 67, 68, 85, 86, 89, 92, 93, 98, 119–127, 130, 132–135]. Задачам оптимізації присвячено роботи [11, 22, 23, 25, 26, 59], теорії множин і графів – [10, 117, 118, 128, 131], кривих та поверхонь – [5, 14, 28, 58, 81, 95, 100, 104, 106], алгоритмів – [60, 97], організації та технології будівельного виробництва – [18–21, 30–33, 38–51, 116], економіці – [35, 90, 96, 105], комп'ютерній графіці – [57, 82, 84, 91, 107, 115], будівельному

інформаційному моделюванню (BIM – Building Information Modeling) – [3, 64, 65, 87, 110], структурно-параметричному формоутворенню – [7, 9, 111], геометричному моделюванню транспортних маршрутів у будівельній галузі – [69–77, 129].

Зауважимо, що наведений поділ проаналізованих літературних джерел за обраною тематикою досить умовний, оскільки в них, як правило, подаються кілька пов'язаних поміж собою питань. Наприклад, доволі часто опис організації постачання продукції та її перевезень супроводжується викладенням застосовуваних при цьому математичних моделей; теорія множин і графів – задачами оптимізації; організація та технологія будівельного виробництва – питаннями економіки; BIM-технологій – описом засобів комп'ютерної графіки і т. д. Перераховані напрямки досліджень взаємно доповнюють один одного. У цьому полягає системність наукових розвідок, що сприяє досягненню кращих як теоретичних, так і практичних результатів.

Метою дисертації є визначення наявних особливостей будівельної галузі стосовно постачання матеріалів і виробів та оптимізація транспортних маршрутів їх доставляння. У даній праці основну увагу приділено використанню автомобільного транспорту як найбільш поширеного в регіонах, де матеріали та вироби надходять на будівельні майданчики з розташованих на відносно невеликих відстанях від них пунктів відправлення.

У літературі, зокрема [16], зазначається, що будівельні вантажі складають до 35 % від усіх вантажних перевезень автотранспортом. Розрізняють *міські* (на території міст), *приміські* (на відстані до 50 км) та *міжміські* (на відстані більш ніж 50 км) перевезення. За реалізацією в часі всі вони, зазвичай, є *тимчасовими*, а за організаційною формою можуть бути *централізованими* (здійснюються спеціалізованим підприємством) або *децентралізованими* (відправники та одержувачі відповідних вантажів забезпечують їх доставляння самостійно).

При цьому від виду вантажів суттєво залежить застосовуваний рухомий склад, вантажно-розвантажувальне обладнання, технологія виконання

перевезень і т. д. Наприклад, типовим є доставляння вантажів *великогабаритних* (будівельні конструкції), *утворюючих пил* (цемент), *гарячих* (асфальт, бітум), *із потребою захисту від оточуючого середовища* (мінеральна вата, дерев'яні вироби) тощо.

Коефіцієнт вантажопідйомності рухомого складу обчислюється за виразом [16]

$$\gamma = q_f / q_n, \quad (1.1)$$

де q_f та q_n – фактична та номінальна вантажопідйомність автомобіля.

За величиною (1.1) вантажі поділяють на чотири класи, див. табл. 1.1.

Класи вантажів

Таблиця 1.1

Клас	Коефіцієнт використання вантажопідйомності	
	Діапазон	середнє значення
1	0,91 ... 1,0	0,96
2	0,71 ... 0,9	0,8
3	0,51 ... 0,7	0,6
4	0,40 ... 0,5	0,45

Під час організації перевезень при обранні конкретних автомобілів прагнуть досягти максимальної їх ефективності. Остання може полягати в забезпеченні мінімальних витрат, тривалості доставляння продукції і т. д. При цьому мають суттєвий вплив такі фактори як властивості вантажів, вимоги до їх транспортування, наявні дорожні умови та ін.

Маршрутом називається траєкторія переміщення транспортного засобу при перевезенні вантажів. Згідно з публікацією [16] час роботи автомобіля включає його *подачу до місця завантаження, завантаження, переміщення вантажу, розвантаження*. Сукупність наведених елементів становить *цикл перевезення*, час якого дорівнює

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{рух}} + t_{\text{нав}} + t_{\text{розв}} + t_{\text{прос}} = l_{\text{ц}} / v_m + t_{\text{н-р}} = l_{\text{ц}} / v_e, \quad (1.2)$$

де $t_{\text{рух}}$ – час руху; $t_{\text{нав}}$, $t_{\text{розв}}$ – час навантаження та розвантаження, $t_{\text{прос}}$ – час простою; $l_{\text{ц}}$ – відстань переміщення; v_m – технічна швидкість; $t_{\text{н-р}}$ – тривалість навантаження-розвантаження; v_e – експлуатаційна швидкість.

Зауважимо, що технічна швидкість v_m пов'язана з переміщенням автомобіля, а експлуатаційна v_e – з усім часом його виробничого використання, тобто з урахуванням тривалості навантаження-розвантаження. Орієнтовні норми технічної швидкості вантажних автомобілів при їх застосуванні за містом наведено в табл. А.2 додатків.

Подання рухомого складу від місць його стоянки та повернення до них відноситься не до циклу перевезень (1.2), а до роботи протягом дня й називається *нульовим пробігом*.

Для підвищення ефективності експлуатації автомобіля треба прагнути збільшувати *коефіцієнт використання пробігу*

$$\beta = l_{\text{вант}} / l_{\text{без вантаж}}, \quad (1.3)$$

де $l_{\text{вант}}$ та $l_{\text{без вантаж}}$ – відповідно пробіг із вантажем та без.

За характером руху типовими є *маятникові* й *кільцеві маршрути* перевезень. У першому випадку переміщення у прямому та оберненому напрямках здійснюються по одній і тій же траєкторії, а у другому – ні, але при цьому виконується періодичне повернення в початковий пункт відправлення. Для оцінювання ефективності цих маршрутів може бути використано формулу (1.3). Її більше значення засвідчує зменшення собівартості перевезень, яка залежить від:

- витрат на паливо та інші експлуатаційні матеріали;
- заробітної плати водіїв;
- витрат на технічне обслуговування й ремонт автомобілів;
- амортизаційних та інших відрахувань;
- накладних витрат.

Як бачимо з виразів (1.1) ... (1.3), її зниженню сприяє підвищення кількості вантажу, що доставляється за один раз, скорочення часу та відстаней перевезень. Останньому питанню значною мірою присвячено дане наукове дослідження.

Крім великих обсягів і номенклатури вантажів для будівельної галузі характерним є широке використання навальних матеріалів, таких як глина, гравій, земля, пісок, щебінь та ін., що добуваються в кар'єрах.

Згідно з виданням [16] об'єм навалного вантажу, що перевозиться автомобілем, обчислюється з прийняттям до уваги «шапки», яка утворюється над верхньою частиною відкритого кузова,

$$V_{\text{вант}} = V_{\text{куз}} + (b_{\text{куз}} / 2)^2 \operatorname{tg} \alpha_{\text{вант}}, \quad (1.4)$$

де $V_{\text{куз}}$ – об'єм кузова, $b_{\text{куз}}$ – ширина кузова, $\alpha_{\text{вант}}$ – кут природного укосу вантажу в русі.

На підставі залежності (1.4) маса, що перевозиться,

$$m_{\text{вант}} = V_{\text{вант}} \cdot \rho_{\text{вант}}, \quad (1.5)$$

де $V_{\text{вант}}$ та $\rho_{\text{вант}}$ – об'єм та густина вантажу.

Якщо зі співвідношення (1.5) маємо

$$m_{\text{вант}} > q_n, \quad (1.6)$$

де q_n вантажопідйомність автомобіля,

то у транспортному засобі розміщується об'єм

$$V_{\text{вант}} = q_n / \rho_{\text{вант}}. \quad (1.7)$$

В іншому разі об'єм кузова недостатній для його повного завантаження, що спричиняє небажане зменшення коефіцієнта вантажопідйомності автомобіля.

Необхідні дані для проведення моделювання стосовно деяких навальних вантажів приведено в табл. А.1 додатків, а відповідну розроблену комп'ютерну програму в середовищі математичного пакета Maple для здійснення графоаналітичного аналізу можливостей перевезення цих вантажів наявними транспортними засобами у вигляді прикладу А.1 підрозділу А.2 додатків.

Особливостями перевезень із кар'єрів є значні обсяги вантажів, складність руху через великі уклони доріг, частий ремонт автомобілів, обумовлений важкими умовами експлуатації.

Крім навальних вантажів для будівельної галузі характерне широке постачання різноманітних залізобетонних виробів. Це пов'язано з високим

рівнем її індустріалізації, оскільки на будівельних майданчиках доволі часто здійснюється монтаж споруд із великорозмірних конструкцій, таких як фундаментні балки, колони, плити перекриття, стінові панелі, ферми, об'ємні блоки та ін.

За умовами доставляння залізобетонні вироби поділяються на:

- конструкції невеликих розмірів, транспортування яких здійснюється на бортових автомобілях або автопоїздах у складі тягачів і напівпричепів;
- габаритні ферми, балки і т. д., що перевозяться автомобілями великої вантажопідйомності;
- стінові панелі, перегородки і т. п., доставляння яких виконується автомобілями-панелевозами;
- об'ємні блоки, що переміщуються спеціалізованим транспортом.

Достатньо розповсюджена в будівництві цегла, яку перевозять безпосередньо в кузовах, у контейнерах, на піддонах і т. д. У першому випадку не потрібне додаткове оснащення, але виникає велика ймовірність пошкодження вантажу, його завантаження-розвантаження здійснюється вручну. Зазначених недоліків не має доставляння цегли в контейнерах та на піддонах.

Ще одними характерними матеріалами для будівництва є цемент і гіпс. Специфічні їх властивості полягають у схильності до розпилення; великій гігроскопічності, тобто поглинанні вологи, яке призводить до пошкодження даного вантажу; шкідливих умовах праці з ними. Окреслені фактори обумовлюють належну технологію перевезень.

Важливе також транспортування будівельних розчинів та асфальтобетонів. До найпоширеніших перших відносяться, зокрема, бетон, цементні й вапняні розчини. При їх перевезенні не допускається розшарування на складові компоненти або затвердіння.

Постачання асфальтобетонних сумішей вимагає підтримання необхідної високої температури вантажу, інакше якість його суттєво знижується. Тому потрібно забезпечувати належну швидкість доставляння цієї продукції в пункт призначення.

Таким чином, у даному підрозділі дисертації наведено сформовані за цільовими групами літературні джерела. Першу з них, яку присвячено загальним питанням організації постачання продукції та перевезень з урахуванням особливостей будівельної галузі, розглянуто доволі докладно. При цьому використано також відомості з організації та технології будівельного виробництва й економіки.

Друга, найбільш чисельна група літературних джерел, у якій викладається математичне моделювання доставляння товарів і транспортних перевезень, аналізується в наступному підрозділі роботи. Метою є виокремлення з об'єкта наукових досліджень, тобто оптимізації процесів постачання матеріалів на будівельне виробництво, його предмета у вигляді геометричних оптимізаційних моделей маршрутів доставляння матеріалів при новому будівництві. Це питання подається окремо в підрозділі 1.3. Як підсумок, у завершальній частині першого розділу на основі проведеного системного аналізу визначаються мета та завдання дисертаційного дослідження, перспективи застосування методів геометричного моделювання в даній сфері.

Зауважимо, що відомості літературних джерел із теорії оптимізації, множин і графів, алгоритмів, кривих та поверхонь, ВІМ-технологій, систем автоматизованого проектування (САПР) та структурно-параметричного формоутворення широко використовуються під час опрацювання питань математичного моделювання постачання товарів і їх транспортних перевезень.

1.2. Математичне моделювання вантажообігу будівельного майданчика

Важливість транспорту для будівельної галузі обумовлена великою матеріалоемністю даного виробництва, широкою його кооперацією і, як наслідок, значними обсягами різноманітних вантажів, що доставляються до місць зведення споруд, а також у напрямках від них.

Як уже зазначалось, до будівельних вантажів відносяться сипучі матеріали, розчини, цегла, будівельні конструкції і т. д. Їх автомобільне

перевезення реалізується як відкритим, так і закритим способом. При цьому вантаж може знаходитися у кузові навалом, у спеціальній тарі тощо. З економічної точки зору прагнуть максимально використовувати їх вантажопідйомність. Провідна роль автотранспорту обумовлена тим, що з метою індустріалізації будівництва виготовлення напівфабрикатів і конструкцій здійснюється на спеціалізованих підприємствах, а доставляння їх на будівельні майданчики найбільш зручне саме цими засобами.

Для визначення конкретного складу рухомого складу суттєвий вплив мають обсяг наявного вантажообігу, дальність і вартість перевезень, характеристики існуючої транспортної мережі. Для будівельного майданчика вантажообіг обчислюють як суму вантажів у тонах, які прибувають та відправляються за певну одиницю часу. Річний вантажообіг $Q_{річ}$ розраховують у тонах за планами матеріально-технічного забезпечення. На підставі цього середній добовий вантажообіг

$$Q_{сер.доб} = Q_{річ} / N_{річ}, \quad (1.8)$$

де $N_{річ}$ – число робочих днів у році.

Величину (1.8) надалі уточнюють згідно з необхідною номенклатурою та обсягами вантажних потоків у потрібних напрямках. Далі визначають відповідні транспортні засоби та їх кількість. Обраний вантажообіг відтворюється у вигляді таблиць і графіків. Важливим для забезпечення економічної ефективності постачання будівельних матеріалів є раціональний вибір типів автотранспорту залежно від таких властивостей вантажів як їх вага, габарити, терміни доставляння тощо. Число одиниць транспорту $N_{тр.доб,i,j}$ для перевезення протягом доби певної i -ї групи вантажів за деяким j -м маршрутом обчислюється за формулою

$$N_{тр.доб,i,j} = Q_{доб,i,j} / P_{тр.доб,i,j}, \quad (1.9)$$

де $Q_{доб,i,j}$, $P_{тр.доб,i,j}$ – добова кількість (т) вантажу i -ї групи за j -м маршрутом та добова продуктивність (т) транспортної одиниці при його перевезенні;

$$P_{\text{тр.добр.}i,j} = q \cdot \gamma \cdot T_{\text{добр.}i,j} / (L_{i,j} / V_{i,j} / \beta + t_{z.p.i,j}), \quad (1.10)$$

де q, γ – вантажопідйомність автомобіля (т) і коефіцієнт її використання;

$T_{\text{добр.}i,j}, L_{i,j}, t_{z.p.i,j}, V_{i,j}$ – відповідно тривалість (год) роботи, подолана відстань (км), час (год) завантаження-розвантаження та середня швидкість руху автомобіля за добу при перевезенні i -ї групи вантажів за j -м маршрутом;

β – коефіцієнт використання пробігу, тобто відношення поїздки з вантажем до загального пробігу, що обумовлено подачею автомобілів під завантаження, поверненням до місця стоянки, заправленням паливом, технічним обслуговуванням і т. д. У зв'язку цим розрахунковий час $t_{z.p.i,j}$ збільшується належним чином.

Подана інформація свідчить, що значні обсяги матеріалів і виробів при новому будівництві, велика кількість підприємств-постачальників, а також одержувачів певних вантажів суттєво ускладнюють оптимізацію даних перевезень. Окреслені задачі стосовно дефініції раціонального числа та типів автомобілів, розкладу їх застосування, закріплення за існуючими дорогами тощо розв'язуються засобами математичного програмування.

У залежності від конкретних обставин із великої множини варіантів обирають найкращий із них відповідно до необхідного критерію. Для прикладу, такими показниками можуть бути мінімальний пробіг автотранспорту, собівартість перевезень, час доставляння вантажів, максимальний прибуток і т. д. З математичних позицій формується належна функція оптимізації від багатьох змінних та певних обмежень для них у вигляді деяких рівнянь і нерівностей.

Так, зокрема, задача оптимального розподілу вантажів між різними типами обмеженого числа автомобілів може визначатись як потреба їх закріплення за певними пунктами призначення за умови реалізації необхідних обсягів перевезень при мінімальній їх загальній вартості.

Тоді в математичні форми отримуємо

$$f = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{i,j} x_{i,j} \rightarrow \min, \quad (1.11)$$

де $c_{i,j}$ – вартість перевезення одиниці продукції j -м автомобілем з i -го пункту призначення;

$x_{i,j}$ – шукані обсяги перевезень j -м автомобілем з i -го пункту призначення;

$$\sum_{i=1}^n x_{i,j} = A_j \leq R_j, \quad (1.12)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{i,j} = P_i, \quad (1.13)$$

$$x_{i,j} \geq 0, \quad (1.14)$$

де A_j – обсяг перевезень j -м автомобілем;

R_j – максимально можливі перевезення j -м автомобілем;

P_i – потрібні перевезення з i -го пункту призначення.

Обмеження (1.12) ... (1.14) доповнюють цільову функцію оптимізації (1.11). Сутність виразу (1.12) полягає в тому, що отриманий розрахунковий обсяг перевезень j -м автомобілем не повинен перевищувати його реальні можливості. Рівняння (1.13) забезпечують необхідні перевезення з i -го пункту призначення. Нерівності (1.14) виключають застосування від'ємних величин шуканих обсягів перевезень j -м автомобілем з i -го пункту призначення.

Отже, математична модель (1.11) ... (1.14) вантажообігу будівельного майданчика зводиться до задачі лінійного програмування.

У загальному випадку постачання матеріалів та виробів має більш складний характер, що обумовлено прийняттям до уваги в математичній моделі багатьох реальних факторів. У залежності від цього методи оптимального планування перевезень можна класифікувати за:

- характером цільової функції та її обмежень (лінійне та нелінійне програмування);
- змінювання опрацьовуваних параметрів у часі (статичні й динамічні моделі);
- врахування ймовірного характеру досліджуваних величин (детерміновані та стохастичні моделі).

Аналіз наведених вище методів виходить за рамки даного наукового дослідження, призначення якого полягає в доповненні наявного математичного апарату оптимізації маршрутів постачання продукції геометричними засобами, що враховують особливості будівельної галузі. Головним при цьому, з позицій системного підходу, є забезпечення інтеграції різних методологій для отримання комплексного оптимального результату. На цій підставі в наступному підрозділі розглядаються більш наближені до тематики дисертації питання дефініції шляхів мінімальної довжини у транспортних мережах.

1.3. Методи визначення найкоротших шляхів у транспортних мережах

Як видно зі співвідношень (1.9) і (1.10), істотний вплив на економічну ефективність постачання матеріалів та виробів мають відстані переміщення вантажів, обрані шляхи та швидкості руху і т. д., іншими словами, властивості наявної транспортної мережі та визначені на ній маршрути. Під першою розумітимемо сукупність автомобільних доріг району будівництва, а під другими – послідовність відвідування пунктів на них.

Базовими типовими видами маршрутів є маятникові, коли транспортні засоби переміщуються у прямому та оберненому напрямках однаковим шляхом, та кільцеві, коли траєкторія їх руху становить замкнений контур. Зазначені аналітичні залежності показують, що на деяких ділянках маршруту автомобілі переміщуються без вантажу.

Часто при геометричному моделюванні транспортні мережі подаються у вигляді графів, тобто фігур із вершин і з'єднуючих їх ребер. При цьому вершини відтворюють вузли, а ребра – дороги та такі властивості руху по них як відстані, час, швидкість, вартість тощо. Методи визначення найкоротших шляхів між вершинами графів поділяються на дві групи. Перші, *точні*, реалізують отримання істинних оптимумів, але вимагають, у загальному

випадку, доволі великої кількості обчислень, а другі, *наближені*, характеризуються відносно малою тривалістю розрахунків, але забезпечують приблизні результати. Прикладами перших слугують метод потенціалів, гілок та меж, мітли і т. д., а других – методи випадкового пошуку з наступною локальною оптимізацією, евристичні (метод мурашиних колоній, нейронних мереж тощо) та ін.

Коротко опишемо наведені засоби, але спочатку зробимо зауваження, яке полягає в тому, що задача комбінаторної оптимізації на скінченній множині варіантів із теоретичної точки зору може бути розв’язана методом перебирання всіх існуючих альтернатив. Однак, із практичних позицій, для складної транспортної мережі це нереально навіть із застосуванням сучасної обчислювальної техніки.

Метод потенціалів для визначення найкоротшого шляху у зв’язному графі зводиться до виконання наступних дій. Довільній вершині присвоюється нульове значення потенціалу. Далі, на підставі довжин належних дуг, обчислюються потенціали сусідніх вершин присвоюванням їм мінімальних величин із відповідних можливих. Описана процедура повторюється для решти вершин графа.

Головна ідея *методу гілок і меж* при виконанні дискретної оптимізації полягає в поступовому поділі початкової складної задачі на кілька меншої вимірності, які утворюють гілки вихідної задачі. Введення належних меж дозволяє робити висновки про доцільність подальшого поділу одержаних нових простіших задач. Останні вирішуються або знову поділяються. Остаточний розв’язок формується на основі попередньо отриманих.

Метод мітли використовується так. Вершини транспортної мережі поділяються на три множини:

- вершини з визначеними до них найкоротшими відстанями;
- вершини сусідні з першою множиною;
- інші вершини.

Алгоритм дій наступний.

1. Обирається вершина, від якої треба визначити мінімальні відстані до інших вершин. Їй присвоюється нульова відстань, а решті – дуже великі величини.

2. Знаходиться вершина, до якої відстань мінімальна. Ця вершина переводиться до першої множини. Далі обчислюються відстані до сусідніх із нею вершин. Якщо при цьому отримують меншу, ніж у вершині величину, то виконують належну заміну.

3. Описана процедура здійснюється доки всі вершини не будуть переведені до першої множини.

Методи випадкового пошуку можуть бути ефективними при необхідності покращення отриманого локального оптимального розв'язку. Їх продуктивність поліпшується за рахунок застосування певних прийомів адаптації.

Евристичні методи – це новий напрямок розвитку пошукової оптимізації. Дана назва використовуються для узагальнення алгоритмів, які в літературних джерелах іменують поведінковими, популяційними, мурашиних колоній, ройовими, нейронних мереж, натхненних природою і т. д.

Зазначені методи, на відміну від класичних, одночасно оброблюють кілька альтернативних розв'язків опрацьовуваної задачі оптимізації. Особливістю цих алгоритмів є відсутність теоретичного обґрунтування можливості досягнення ними глобального екстремуму, але з іншого боку, характерне отримання в більшості практичних випадків доволі гарних результатів.

Загальна схема евристичних популяційних методів містить наступні етапи.

1. Ініціалізація членів популяції, тобто визначення кількох початкових наближень до розв'язків опрацьовуваної задачі.

2. Міграція членів популяції, що полягає в застосуванні певних обчислювальних процедур, характерних для кожного методу, з метою наближення членів популяції до оптимуму.

3. Завершення пошуку, яке зводиться до перевірки умов закінчення ітерацій.

Оскільки відомості про глобальний екстремум на початку проведення розрахунків доволі обмежені, то на етапі ініціалізації прагнуть розмістити членів популяції з найбільшим охопленням досліджуваної області.

У якості умов завершення обчислень можуть застосовуватися максимальне число ітерацій або поколінь членів популяції, час розрахунків тощо.

Отриманий досвід окремих індивідів слугує основою для формування так званого ройового інтелекту популяції, який проявляється в її самоорганізації та цільній спрямованій поведінці. Евристичні алгоритми найбільш ефективні при великій розмірності розв'язуваних задач. Для незначного числа вершин та ребер графів вони, зазвичай, поступаються класичним підходам.

На завершення цього підрозділу зауважимо, що значне число існуючих методів дефініції найкоротших шляхів у транспортних мережах обумовлено суттєвою складністю, в загальному випадку, даної задачі. І, як наслідок, відсутністю одного універсального алгоритму для її розв'язання. Кожен із проаналізованих вище підходів має переваги та недоліки, найбільш доречну сферу свого використання.

Не виключенням із цього правила є й напрацювання даної дисертаційної роботи, результати якої спрямовані на ефективне застосування геометричних засобів для оптимізації маршрутів постачання матеріалів і виробів при новому будівництві, тобто ретельне врахування наведених особливостей.

На основі виконаного вище системного аналізу предмета наукових досліджень в наступному підрозділі визначено деякі перспективні напрямки впровадження методів геометричного моделювання у процеси оптимізації постачання матеріалів на будівельне виробництво.

1.4. Мета та завдання дослідження

Подані вище відомості дозволяють сформулювати мету й основні завдання даних наукових розвідок.

Метою дисертаційного дослідження є розроблення способів геометричної оптимізації процесів постачання будівельних матеріалів в умовах нового будівництва на основі графоаналітичного моделювання маршрутів їх транспортування.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

1. *Виконати системний аналіз процесів постачання будівельних матеріалів та визначити необхідність застосування методів геометричного моделювання для їх оптимізації.*

2. *Розробити загальну оптимізаційну геометричну модель процесу постачання будівельних матеріалів на основі синтезу графоаналітичного представлення транспортної мережі та технології структурно-параметричного моделювання.*

3. *Розробити геометричний евристичний спосіб оптимізації маршрутів на основі оцінок ймовірних швидкостей переміщення транспорту між вузлами мережі та алгоритм його реалізації.*

4. *Розробити геометричні способи оптимізації маршрутів на основі методу потенціалів для фіксованої геометрії транспортної мережі та за необхідності її модифікації.*

5. *Виконати числові тестові розрахунки, що підтверджують коректність та достовірність розроблених геометричних інструментів.*

6. *Впровадити одержані результати у практику та визначити перспективи подальшого розвитку виконаної наукової праці.*

Акцентуємо деякі важливі моменти стосовно наведених вище завдань.

Головним акцентом при їх виконанні є доповнення існуючих засобів моделювання новими способами, прийомами, алгоритмами та методиками, які враховують наявні особливості будівельної галузі.

Так для неї характерна можливість не тільки адаптуватись до транспортної мережі, а й за потреби та належного фінансового обґрунтування змінювати її прокладанням нових доріг для оптимізації маршрутів постачання матеріалів при новому будівництві.

Важливим із точки зору доповнення існуючих математичних описів транспортних мереж є включення до їх складу геометричних моделей рельєфу місцевості будівництва. Останні дозволяють суттєво підвищити наочність та точність оптимізаційних процесів проектування і становлять елемент наукової новизни даного дослідження.

Це також стосується широкого використання структурно-параметричного підходу як засобу інтеграції багатьох проектних моделей, наприклад, математичного відтворення вантажообігу, визначення найкоротших транспортних шляхів, формування геометричних моделей рельєфу місцевості тощо при опрацюванні питань оптимізації процесів доставляння продукції споживачам.

Таким чином, у першому розділі дисертації виконано системний аналіз задачі постачання будівельних матеріалів та виробів, окреслено деякі перспективи застосування методів геометричного моделювання з метою вдосконалення наявного математичного апарату для успішного вирішення зазначених питань.

Висновки до розділу 1

1. *Встановлено* проведеним докладним аналізом літературних джерел за обраною темою дисертаційного дослідження, що постачання матеріалів на будівельне виробництво з точки зору оптимізації цих процесів становить складну багатопланову задачу. До її складу входять питання визначення раціонального вантажообігу, дефініції найкращих транспортних маршрутів, забезпечення належної технологічної ритмічності зведення споруд і т. д.

2. *Обґрунтовано* на основі виконаної систематизації отриманої інформації необхідність упровадження комплексного підходу до опрацювання

наведених питань, запропоновано широко використовувати для цього структурно-параметричну методологію проектування.

3. *З'ясовано*, що будівельна галузь має свої певні особливості, які варто ретельно брати до уваги при оптимізації процесів постачання матеріалів на відповідне виробництво.

4. *Показано*, що існуючий математичний апарат визначення найкоротших шляхів на транспортних мережах доцільно доповнити геометричними моделями рельєфу місцевості зведення споруд для підвищення його реалістичності та точності розрахунків.

5. *Сформульовано* мету та завдання даних наукових розвідок на засадах проведеного системного аналізу об'єкта і предмета досліджень, визначених перспектив застосування для цього нових геометричних засобів.

Публікації автора з розглянутих питань: [69, 70, 73, 77].

Список публікацій здобувача за матеріалами розділу 1

1. Магалов А.М. Моделювання транспортних маршрутів постачання будівельних матеріалів при спорудженні об'єктів будівництва. *Робоча програма та тези доповідей Восьмої міжнародної науково-практичної конференції «Інтегровані енергоефективні технології в архітектурі та будівництві «Енергоінтеграція-2018»*. Київ, 2018. С. 76–77.

2. Магалов А., Плоский В., Скочко В. Деякі аспекти геометричного моделювання оптимальних маршрутів постачання будівельних матеріалів. *International scientific-practical conference of young scientists "Build-Master-Class-2018". Conference Proceedings*. Київ, 2018. С. 118–119.

Особистий внесок здобувача: розроблено геометричну модель та алгоритм визначення оптимальних маршрутів постачання будівельних матеріалів.

3. Магалов А. Алгоритм дискретного моделювання оптимальних маршрутів транспортування будівельних матеріалів. *Тези доповідей 21 міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні проблеми геометричного моделювання»*. Мелітополь, 2019. С. 19.

4. Магалов А.М., Міщенко О.Г. Аналіз параметрів обмежень трасування доріг при територіальному проектуванні. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. Київ, 2020. Вип. 58. С. 283–290.

Особистий внесок здобувача: запропоновано систематизувати обмежувальні геометричні параметри при трасуванні доріг.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПОСТАЧАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

У цьому розділі дисертації з теоретичних позицій геометричного моделювання викладено загальний опис запропонованого підходу, акцентовано наявні особливості будівельної галузі стосовно постачання матеріалів на виробництво, розглянуто питання математичного відтворення поверхонь місцевості зведення споруд, застосування структурно-параметричної методології, геометричного моделювання найкоротших шляхів у транспортних мережах запропонованими новими способами, прийомами, алгоритмами та методиками, зроблено рекомендації щодо їх належного використання.

Зазначені положення спираються на виконаний у першій частині праці системний аналіз існуючої ситуації з постачання матеріалів на будівельні майданчики та слугують відповідною основою для практичної реалізації, приклади якої подано у третьому розділі дисертації.

2.1. Загальний опис запропонованого підходу

Цю частину дослідження присвячено загальним положенням розробленої концепції геометричного моделювання для оптимізації маршрутів постачання будівельних матеріалів.

Наведені далі відомості сприяють кращому цілісному сприйняттю запропонованого підходу, який спирається на наступні принципи структурно-параметричної методології геометричного моделювання [7, 9]:

– *системності*, що вимагає розгляду досліджуваного об'єкта або процесу одночасно як множини певних взаємопов'язаних елементів та потенційного компонента систем вищого ієрархічного рівня;

– *варіантності*, який полягає в забезпеченні створюваною геометричною моделлю гнучкого, продуктивного, прогнозованого і зручного формування досліджуваних структурних та параметричних різновидів;

– *універсальності й уніфікації*, що пропонує розв’язувати велику кількість задач уніфікованими способами;

– *оптимальності*, тобто наявності в розроблюваній моделі засобів для дефініції раціональної структури та величин параметрів відтворюваного об’єкта або процесу;

– *відкритості та розвитку*, що дозволяє легко оновлювати й розширювати складові елементи моделі;

– *комплексності*, який полягає у пристосованості створюваної геометричної моделі до потреб інших математичних описів досліджуваного об’єкта або процесу.

У нашому конкретному випадку, тобто стосовно геометричного моделювання маршрутів постачання матеріалів і виробів, наведені вище принципи послуговували теоретичною основою для виконання адаптації методології структурно-параметричного формоутворення до умов будівельної галузі, подальшого розвитку існуючого математичного апарату щодо розроблення нових способів для оптимізації відповідних транспортних перевезень.

На підставі цього, наприклад, сформовано структурно-параметричну геометричну модель (СПГМ) для варіантів належних маршрутів, яку подано в підрозділі 2.4 дисертаційної роботи.

Спираючись на принцип системності в опрацьовуваному питанні виділено три взаємопов’язані складові, які в літературних джерелах розглядаються окремо. Це оптимізація вантажообігу засобами математичного програмування, дефініція найкоротших шляхів у транспортних мережах та геометричне моделювання рельєфу місцевості. На базі структурно-параметричних принципів універсальності й уніфікації, комплексності, відкритості та розвитку в даному дисертаційному дослідженні запропоновано інтегрувати зазначені напрямки завдяки використанню СПГМ. Їх опис приведено далі в цьому розділі роботи.

2.2. Особливості будівельної галузі

Необхідною умовою успішного розв'язування поставлених задач є вимога відповідності застосовуваного математичного апарату наявним реальним властивостям модельованого об'єкта або процесу, в даному разі постачанню матеріалів на будівельне виробництво.

У першому розділі дисертації було показано, що цій галузі промисловості притаманні великі обсяги різноманітних вантажів, що надходять із багатьох місць, вимагають при доставлянні дотримання певних правил, термінів і т. д.

Як свідчить проведений аналіз літературних джерел, окреслені завдання у спрощеній постановці доволі добре опрацьовуються засобами математичного програмування. У той же час останні досить часто не беруть до уваги, наприклад у динамічному та стохастичному аспектах, такі важливі реальні властивості транспортних мереж як тривалість, вартість, безпечність і взагалі можливість переміщення певними дорогами та вузлами. Скажімо, тривалість руху по одному й тому ж шляху здатна суттєво залежати від часу доби, пори року і т. д. Це ж стосується й безпеки перевезень. Неможливість переміщення деякими дорогами буває пов'язаною з аварійними ситуаціями на них, заторами, поганими погодними умовами, суспільними подіями тощо.

Також розрахований оптимальний вантажообіг, зокрема згідно з формулами (1.11) ... (1.14), може бути достатньо легко порушений на практиці виходом з ладу деякого автомобіля. Чи знайдеться йому оперативно належна заміна? У розглянутій постановці математичної задачі це питання залишається відкритим. Зрозуміло, що такі випадки погіршують розроблений оптимальний план матеріально-технічного забезпечення будівництва. Реально застосовувана модель повинна бути готовою до опрацювання наведених та інших нештатних ситуацій. Однак, зазначені аспекти виходять за рамки даного наукового дослідження. Нагадаємо, що його предмет становлять лише оптимізаційні геометричні моделі маршрутів постачання матеріалів при здійсненні нового будівництва.

Отже, розроблювані геометричні транспортні моделі повинні бути адаптовані до перерахованих вище динамічних факторів реального середовища. Бажане виконання проаналізованих модифікацій у терміни, прийнятні для прийняття правильних раціональних рішень. Це потребує створення математичних моделей, зручних для реалізації сучасними програмними засобами обчислювальної техніки.

Конкретним практичним прикладом обмежень на терміни придатності таких будівельних матеріалів як цементні, вапняні та інші розчини слугує аналітична залежність із нормативного документа [40] для часу t_{mp} їх транспортування, який повинен задовольняти умові

$$t_{mp} < t_{прод} - t_{вик}, \quad (2.1)$$

де $t_{прод}$ – термін придатності, год;

$t_{вик}$ – технологічна тривалість використання, год.

У виразі (2.1) для цементного розчину без добавок при температурі не вище 24 °С термін придатності приймається 3 години, а вапняного – 10 годин. Тривалість їх використання визначається споживачем.

Ще одним типовим випадком для нового будівництва є необхідність у нових дорогах для доставляння піску, гравію, щебеню і т. д. Відповідну методику, характерну для будівельної галузі, яка здатна не тільки адаптуватись до умов існуючої транспортної мережі, а також оперативно й потрібним чином її змінювати під свої власні потреби, подано в наступних двох підрозділах дисертації. У першому розглянуто формування геометричної моделі рельєфу місцевості, де розташоване будівництво, що достатньо важливо для транспортної, особливо нової, мережі, а у другому – описано належне застосування структурно-параметричної методології для проаналізованої ситуації.

Більш докладне викладення відомостей із даних питань обмежується рекомендованими обсягами дисертаційної роботи.

2.3. Геометричне моделювання рельєфу місцевості

Для ілюстрації запропонованої методики формування геометричної моделі поверхні місцевості, де розташоване нове будівництво, останню, з метою узагальнення, обрано зі складним рельєфом, див. рис. 2.1.

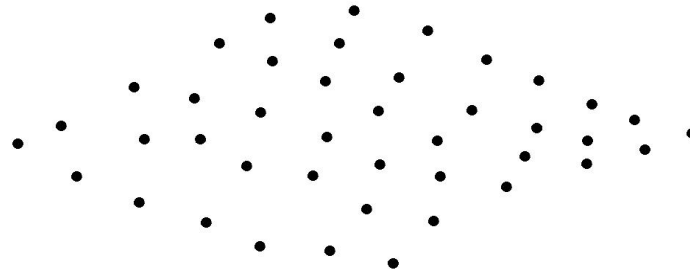


Рис. 2.1. Точковий каркас поверхні рельєфу

Це зображення відтворює рельєф місцевості упорядкованою множиною характерних точок

$$P = (P_{i,j})_{i=1, j=1}^{N_i, N_j}, \quad (2.2)$$

де $i, j, N_i, N_j \in \mathbb{N}$; $N_i, N_j > 1$.

Точки (2.2) з'єднуються певними лініями, в даному разі відрізками прямих

$$\begin{aligned} l_{i,j}(u) &= (1-u)P_{i,j} + uP_{i,j+1}, i=1..N_i, j=1..N_{j-1}; \\ l_{j,i}(v) &= (1-v)P_{i,j} + vP_{i+1,j}, i=1..N_{i-1}, j=1..N_j, \end{aligned} \quad (2.3)$$

де $u \in [0, 1]$, $v \in [0, 1]$ – параметри.

Отриманий результат показано на рис. 2.2.

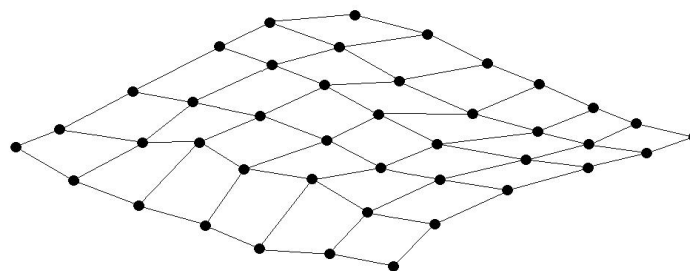


Рис. 2.2. Лінійний каркас поверхні рельєфу

На підставі виразів (2.2) і (2.3) кожен чотирикутний шарунку визначено поверхнею Кунса

$$\begin{aligned} P_{i,j}(u,v) = & (1-v)l_{i,j}(u) + vl_{i+1,j}(u) + (1-u)l_{j,i}(v) + ul_{j+1,i}(v) - \\ & - (1-v)(1-u)P_{i,j} - (1-v)uP_{i,j+1} - v(1-u)P_{i+1,j} - vuP_{i+1,j+1}, \end{aligned} \quad (2.4)$$

де $i=1 \dots N_i, j=1 \dots N_j$.

Залежність (2.4) дозволяє проводити аналітичні розрахунки та здійснювати, за потреби, згущення сітки шляхом уточнення модельованої поверхні. Останнє може реалізовуватися за схемою, наведеною на рис. 2.3.

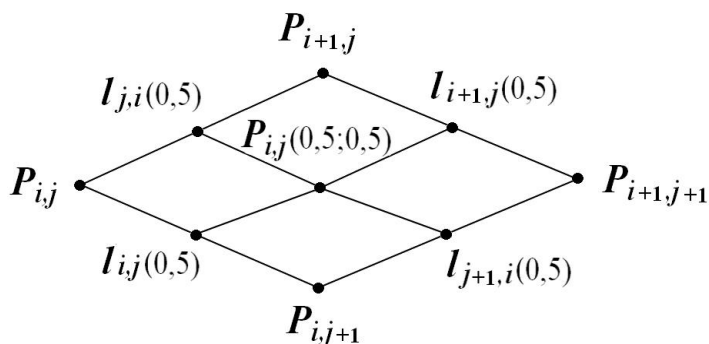


Рис. 2.3. Схема згущення сітки поверхні

Її сутність полягає в тому, що для поточної шарунки спочатку за формулою (2.4) обчислюється радіус-вектор внутрішньої точки з величинами параметрів $u=0,5$ та $v=0,5$, тобто

$$P_{i,j}(u,v) = P_{i,j}(0,5;0,5). \quad (2.5)$$

Далі, з використанням рівнянь (2.3) розраховуються чотири граничні точки для тих же значень параметрів

$$\begin{aligned} l_{i,j}(u) = l_{i,j}(0,5), \quad l_{j,i}(v) = l_{j,i}(0,5), \quad l_{i+1,j}(u) = l_{i+1,j}(0,5), \\ l_{j+1,i}(v) = l_{j+1,i}(0,5). \end{aligned} \quad (2.6)$$

З'єднання точок (2.6) лініями, в розглянутому випадку прямими, з точкою (2.5), див. рис. 2.3, визначає чотири нових поверхні Кунса, що описуються рівняннями вигляду (2.4).

За необхідності проаналізована процедура виконується потрібне число раз. На рис. 2.4 подано приклад однократного її застосування до всіх чарунок зображеної на рис. 2.2 поверхні рельєфу місцевості будівництва. Для забезпечення наочності нові вузлові токи при цьому не показані.

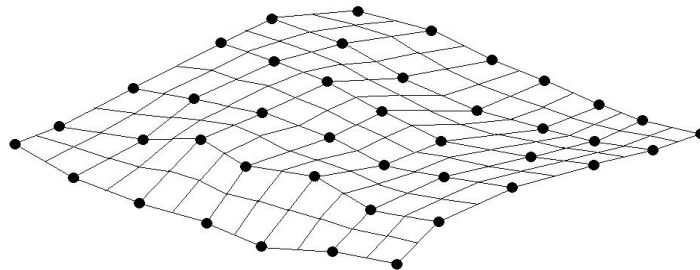


Рис. 2.4. Згущена поверхня рельєфу

Зауважимо, що доцільним є згущення не всіх чарунок, а лише тих, що найбільш відхиляються від площини.

Нехай під час спорудження нового об'єкта розглядаються питання доставляння на будівельний майданчик (*Б*) піску з кар'єру (*К*) та вивезення виробничих відходів на звалище (*З*). Варіант транспортної мережі на рис. 2.5 має невисоку продуктивність, що засвідчує, зокрема, відносно мала величина в цьому випадку коефіцієнта використання пробігу у формулі (1.10).

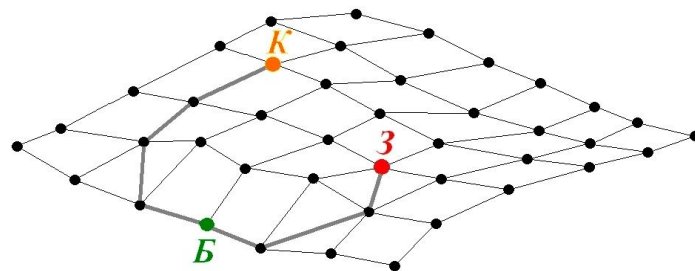


Рис. 2.5. Маятникові маршрути до піщаного кар'єру та звалища

У зазначеному аспекті кращою є організація маршруту, наведена на рис. 2.6, однак вона потребує додаткових витрат на спорудження дороги між пунктами *З* і *К*. У такому разі автомобілі вивозять відходи на звалище, а потім завантажуються в кар'єрі піском. Якщо зроблені витрати виправдані, то даний маршрут доцільний.

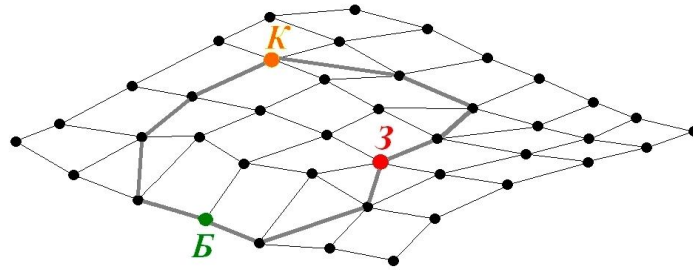


Рис. 2.6. Кільцевий маршрут

Коротко акцентуємо ще одну перевагу, доволі важливу на практиці, розглянутого кільцевого маршруту порівняно з попередніми маятниковими. У підрозділі 2.2 дисертації із загальних теоретичних позицій вказувалось, що застосовувані моделі повинні бути готовими до належного опрацювання ймовірних нештатних ситуацій. У нашому випадку це можуть бути затори, аварії тощо. У такому разі наявність двох альтернативних шляхів, див. рис. 2.6, до кожного пункту призначення, тобто піщаного кар'єру *К* і звалища *З*, забезпечує значно більшу надійність постачання будівельних матеріалів на виробництво та вивезення відходів із нього. Зрозуміло, що питання економічної ефективності в екстрених обставинах відходять на другий план.

Аналогічні міркування відносяться й до зображеної на рис. 2.7 можливості спорудження від будівельного майданчика коротшої дороги до піщаного кар'єру.

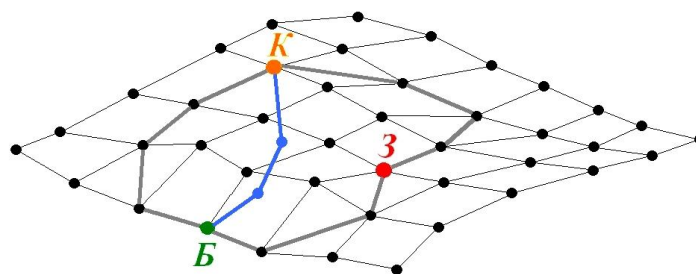


Рис. 2.7. Прокладання скороченого шляху

Цей варіант потребує суттєвих ресурсів, які пов'язані з великими об'ємами земляних робіт, тобто виїмок та насипів ґрунту (див. рельєф району будівництва), зумовлених горбистою місцевістю. Але при цьому маємо меншу довжину шляху.

На завершення зауважимо, що описана геометрична модель дозволяє також визначати поздовжні похили автомобільних доріг.

2.4. Використання структурно-параметричної методології

У даному підрозділі проілюстровано деякі аспекти використання структурно-параметричного підходу на прикладі проведення оптимізаційного аналізу поданих у попередній частині дослідження варіантів транспортної мережі при новому будівництві.

Наведені відомості складаються з трьох пунктів, які включають відповідно опис базових теоретичних положень структурно-параметричної методології формоутворення, математичне опрацювання визначених транспортних маршрутів та розроблення належної структурно-параметричної моделі постачання будівельних матеріалів. Ці питання в комплексі дозволяють доволі багатогранно розв'язувати поставлені в дисертації задачі.

2.4.1. Базові теоретичні положення

Теоретичні основи структурно-параметричної методології викладено в роботах [7, 9]. Згідно з ними склад довільного модельованого об'єкта O (або відтворюваного процесу чи явища) визначається упорядкованою множиною

$$O = (o_i)_1^N, \quad (2.7)$$

де o_i – його елементи,

N – їх кількість.

Можливі проектні варіанти елементів o_i описуються кортежами

$$o_i = (o_{ij})_1^{N_{o_i}}, \quad (2.8)$$

де N_{o_i} – число варіантів,

та векторами параметрів

$$P_{ij} = (p_{ijk})_1^{N_{p_{ij}}}, \quad (2.9)$$

де $N_{p_{ij}}$ – кількість параметрів j -го варіанта i -го елемента.

Структурний взаємозв'язок між різновидами (2.8) n -го та m -го елемента об'єкта O відтворюють матриці суміжності

$$C_{nm} = \|c_{nr} c_{ms}\|, \quad (2.10)$$

де $r \in N, s \in N$;

$r \in (1, \dots, N_n), s \in (1, \dots, N_m)$;

N_n, N_m – число варіантів n -го та m -го елемента;

$c_{nr} c_{ms} \neq 0$ при взаємодії різновидів o_{nr} і o_{ms} , $c_{nr} c_{ms} = 0$ – у протилежному випадку.

Співвідношення (2.7) ... (2.10) із позицій теорії множин і графів у загальній формі подають виконання таких стадій структурно-параметричного моделювання довільного об'єкта (процесу чи явища) як аналіз складу його елементів, варіантних взаємозв'язків між ними, дефініція аналітичних чи інших описів цих компонентів. Останнє значить, що для множин (2.9) у якості параметрів можуть бути не тільки числа, а і складні математичні залежності. Конкретне наповнення виразів (2.7) ... (2.10), способи, прийоми, алгоритми та методики їх ефективного опрацювання визначаються наявними умовами певних розв'язуваних задач. З цього випливає, що викладений вище загальний підхід потребує своєї належної адаптації для кожних окремих обставин.

Подальші кроки структурно-параметричної методології полягають у проведенні варіантного синтезу проєктованого об'єкта (процесу чи явища), розрахунків інтегральних його параметрів і характеристик, забезпеченні зручного включення побудованих СПГМ до складу математичних та інших описів вищого ієрархічного рівня. Це може потребувати застосування не тільки відомих способів, прийомів, алгоритмів, моделей тощо, а й розроблення відповідних нових. Зазначений висновок цілком підтверджується даним науковим дослідженням.

Як результат об'єкт (процес, явище) O подається множиною варіантів

$$O = (O_j)_1^{N_o}. \quad (2.11)$$

Завершальна стадія структурно-параметричного моделювання полягає в дефініції серед можливих різновидів (2.11) оптимальних. Для цього теж не

існує універсальних на всі випадки життя належних методів, про що свідчить, зокрема, здійснений аналіз літературних джерел у підрозділі 1.3 дисертації.

Далі, на підставі викладених вище загальних теоретичних положень, виконано опрацювання, шляхом дефініції необхідної СПГМ, розглянутих у попередній частині роботи варіантів постачання піску на будівельний майданчик та вивезення відходів із нього. Але спочатку доволі докладно висвітлено питання формування параметричних залежностей для визначених транспортних маршрутів, оскільки від цього, як показано в наступному пункті дослідження, суттєво залежить адекватність запропонованої математичної моделі реаліям відтворюваної нею практики.

2.4.2. Параметричне моделювання транспортних маршрутів

На цьому прикладі з простою структурою транспортної мережі зроблено акцент на багатогранному параметричному характері її елементів. Маються на увазі не тільки такі моменти як відстані певних шляхів, а й інтенсивність їх використання, швидкості руху автомобілів, вартість, пора року та час доби перевезень, наявні погодні умови, ймовірність виникнення заторів чи інших нештатних ситуацій тощо, їх динамічне змінювання, комплексне врахування цих факторів.

У наступному підрозділі 2.5 навпаки, при викладенні запропонованих способів визначення найкоротших шляхів у складних транспортних мережах, зазначені вище нюанси особливо не підкреслюються. Але там теж під найкоротшим шляхом, у загальному випадку, мається на увазі не обов'язково мінімальна сума довжин, а й інших наведених величин, таких як швидкість і вартість доставляння матеріалів, ймовірність появи проблемних обставин, належні інтегровані критерії і т. д.

Для ілюстрації сформульованої задачі обрано електронні таблиці Microsoft Excel [115]. Їх перевагами, крім наочності, є широкі можливості щодо ефективного застосування різноманітних формул, розв'язання задач матема-

тичного програмування, забезпечення таких функцій роботи з комп'ютерними базами даних як пошук, упорядкування та фільтрація інформації, а також відтворення наявних даних у графічному вигляді.

Рис. 2.8 містить приклад, що є аналітичним компонентом проаналізованих у попередньому підрозділі дисертації геометричних маршрутів постачання на будівельний майданчик піску та вивезення з нього відходів виробництва на звалище з урахуванням наявних особливостей рельєфу місцевості. Розглянуті далі математичні залежності являють собою конкретизацію для даного випадку загальних виразів (2.9).

На рис. 2.8 показано виконану в Microsoft Excel комп'ютерну базу даних, тобто структуровану потрібним чином інформацію, яка описує параметри транспортної мережі доставляння та вивезення будівельних матеріалів, розглянутої в попередньому розділі.

Параметри постачання та вивезення будівельних матеріалів

№ марш	Відстань, км	k дор	k п-в	Пит. вартість, грн/км		k вар	Швидкість, км/год		k швд	k чп	k пу	k нс
				min	max		min	max				
1	9,5	1,10	5,0	15	20	0,1	25	29	15,0	1,0	1,0	1,0
2	14	0,90	5,0	12	14	0,1	34	40	15,0	1,0	1,0	1,0
3	12,5	0,85	5,0	10	12	0,1	37	42	15,0	1,0	1,0	1,0
4	8	1,00	5,0	14	16	0,1	26	30	15,0	1,0	1,0	1,0

Трв. руху, год		Заг. вартість, грн		Інтегр. крит.	
min	max	min	max	min	max
0,36	0,42	157	209	21,1	27,2
0,32	0,37	151	176	19,8	23,2
0,25	0,29	106	128	14,4	17,1
0,27	0,31	112	128	15,2	17,4

Рис. 2.8. Деякі параметри маршрутів постачання будівельних матеріалів та вивезення виробничих відходів

Відомо, що електронні таблиці містять не тільки числові дані, а й математичні залежності, які їх пов'язують та модифікують. Така форма оброблення інформації доволі продуктивна. Остання особливість посилюється простим, зручним, гнучким інтерактивним внесенням необхідних користувачеві

змін. Усе це сприяє впровадженню на практиці розроблених у дисертації підходів до моделювання транспортних мереж.

У таблиці рис. 2.8 номери маршрутів присвоєні так, див. рис. 2.7:

- № 1 – маятниковий від будівельного майданчика *B* старою довгою дорогою до піщаного кар'єру *K* та на звалище *З*;
- № 2 – кільцевий від будівельного майданчика *B* через звалище *З* до піщаного кар'єру *K* і далі з поверненням у точку відправлення довгим старим шляхом;
- № 3 – кільцевий від будівельного майданчика *B* через звалище *З* до піщаного кар'єру *K* з переміщенням у точку відправлення коротшою новою дорогою;
- № 4 – маятниковий від будівельного майданчика *B* коротким шляхом до піщаного кар'єру *K* та на звалище *З*.

Фізичні відстані цих маршрутів характеризує друга колонка таблиці. На рис. 2.7 найкоротші довжини ділянок: *BK* – 6 км старою та 4,5 км новою дорогою; *BЗ* – 3,5 км; *ЗK* – 4,5 км.

Як зауважувалось у поданих вище загальних теоретичних положеннях, ці величини стосовно оцінювання якості та витрат переміщення по дорогах не достатньо об'єктивні. Для виправлення даної вади в розробленій моделі використовується розрахунковий поправочний дорожній коефіцієнт $k_{дор}$, що бере до уваги такі особливості пройденого шляху як характеристики дорожнього полотна, траєкторії та похили доріг тощо. Значення одиниця цього коефіцієнта відповідає прямолінійному горизонтальному переміщенню по дорозі з двома смугами руху та покриттям з оброблених в'язучим методом таких матеріалів як щебінь, гравій, шлак тощо. У випадку покращення наведених показників, наприклад застосування для дорожнього покриття якісного асфальто-чи цементобетону, цей коефіцієнт знижується, тобто розрахункова довжина шляху відповідно зменшується, а у разі погіршення, зокрема наявної складної траєкторії, небажаних спусків та підйомів і т. д., підвищується. Належну інформацію надано у третьому стовпчику таблиці рис. 2.8.

Далі слідує колонка з коефіцієнтом

$$k_{n-\epsilon} = \frac{V_n}{V_\epsilon}, \quad (2.12)$$

де V_n та V_ϵ – обсяги перевезень піску та відходів будівництва.

Величина (2.12) характеризує пропорцію між обсягами постачання піску та вивезенням відходів із будівельного майданчика. Дана залежність впливає на результуючий коефіцієнт γ використання вантажопідйомності рухомого складу, тривалість транспортного циклу $t_{\text{ц}}$, див. відповідно формули (1.1) і (1.2).

Нехай зменшенню $k_{n-\epsilon}$ відповідає зниження коефіцієнта γ та збільшення $t_{\text{ц}}$. Це може бути пов'язане з непристосованістю підручного автотранспорту для перевезення відходів, зростанням часу його навантаження-розвантаження, простою тощо. Як наслідок, зростає собівартість перевезень.

У таблиці рис. 2.8 розрахунки виконано для $k_{n-\epsilon}=5$. Для прикладу приймаємо, що поправочний коефіцієнт k для обчислення собівартості перевезень та тривалості руху протягом технологічного циклу, який включає одне вивезення відходів та належне число доставляння піску (вважаємо, що останнього завозиться більше, ніж відходів), становить

$$k = \frac{5}{0,625 \cdot k_{n-\epsilon} + 1,875}. \quad (2.13)$$

Залежність (2.13) показує, що величині $k_{n-\epsilon}=5$ відповідає $k=1$, а $k_{n-\epsilon}=1$ – $k=2$. Тобто у випадку спадання співвідношення $k_{n-\epsilon}$ до одиниці в порівнянні з прогнозованим значенням $k_{n-\epsilon}=5$ розглянутий поправочний коефіцієнт k для обчислення собівартості перевезень зростає вдвічі. Це свідчить про небажаність такої ситуації. З іншого боку, збільшення $k_{n-\epsilon}$ до 10 навпаки покращує економічні обставини, бо отримуємо $k=0,62$. Це йде в запас забезпечення фінансової стабільності будівельного підприємства.

Комп'ютерну графоаналітичну модель для проведення аналізу собівартості транспортних маршрутів із використанням поправочного коефіцієнта k наведено далі.

Відомості стосовно питомої вартості (грн/км) та технічної швидкості (км/год) для кожного з маршрутів подаються у вигляді проміжків, визначених

мінімальним та максимальним значенням. Таким чином береться до уваги можливе ймовірне їх змінювання. Наведені величини питомої вартості обґрунтовуються необхідними докладними економічними розрахунками (зазначені питання виходять за рамки даної дисертаційної роботи), а технічної швидкості – спираються на характеристики автомобілів, властивості та стан доріг і т.д. (теж є предметом досліджень інших наукових дисциплін). Тому питому вартість перевезень обрано згідно з наявною нині інформацією в мережі Інтернет, а швидкість – на підставі даних табл. А.2 додатків. Але це не зменшує загальності підходу у запропонованій методиці моделювання транспортних маршрутів.

Призначення коефіцієнтів $k_{вар}$ та $k_{швид}$, пов'язаних із вартістю та швидкістю перевезень, пояснено при викладенні питання формування інтегрованих критеріїв для оптимізації останніх.

Вище з теоретичних позицій указувалось, що створювані моделі повинні брати до уваги такі реальні фактори як час здійснення перевезень, погодні умови, виникнення нештатних ситуацій тощо. Ці обставини враховано відповідно коефіцієнтами $k_{чп}$, $k_{пн}$, $k_{нс}$, див. праву частину верхнього зображення на рис. 2.8.

Їх одиничні значення свідчать про нормальні умови, збільшені – про появу ускладнень (розрахункова довжина шляху зростає), а зменшені – про покращення існуючих обставин.

Отже, на теперішній момент розглянуто елементи верхнього (рис. 2.8) інформаційного блоку електронних таблиць, які описують параметричну модель маршрутів постачання та вивезення будівельних матеріалів. Нижнє зображення містить виконувані автоматично обчислення за введеними наступними математичними залежностями.

Тривалість руху по маршруту визначається як

$$t_{пyx\ min} = \frac{l \cdot k_{дор} \cdot k_{чп} \cdot k_{пн} \cdot k_{нс} \cdot k}{v_{max}}, \quad (2.14)$$

$$t_{\text{рух}_{\max}} = \frac{l \cdot k_{\text{дор}} \cdot k_{\text{чп}} \cdot k_{\text{ну}} \cdot k_{\text{нс}} \cdot k}{v_{\min}}, \quad (2.15)$$

де $t_{\text{рух}_{\min}}$ – мінімальна тривалість руху, год.;

$t_{\text{рух}_{\max}}$ – максимальна тривалість руху, год.;

l – фізична довжина маршруту, км;

v_{\max} – максимальна швидкість перевезень, км/год.;

v_{\min} – мінімальна швидкість перевезень, км/год.;

$k_{\text{дор}}$ – коефіцієнт характеру переміщення по дорогам маршруту;

$k_{\text{чп}}$ – коефіцієнт часу (пора року, час доби) здійснення перевезень;

$k_{\text{ну}}$ – коефіцієнт погодних умов;

$k_{\text{нс}}$ – коефіцієнт нештатних ситуацій;

k – коефіцієнт згідно з виразом (2.13), що враховує співвідношення обсягів постачання на будівельний майданчик піску та вивезення відходів із нього.

На перший погляд співвідношення (2.14) і (2.15) здаються нескладними (належне обґрунтування такої постановки задачі зроблено вище). У реальності всі коефіцієнти зазначених формул залежать від багатьох інших факторів, таких як час, ймовірність виникнення певних подій і т. д. Про що свідчить, зокрема, вираз (2.13). Але ці питання не становить предмет досліджень даної дисертації.

За подібними до формул (2.14) і (2.15) залежностями обчислюється й загальна вартість, тобто собівартість, маршрутів

$$S_{\min} = l \cdot k_{\text{дор}} \cdot S_{\text{нум}_{\min}} \cdot k_{\text{чп}} \cdot k_{\text{ну}} \cdot k_{\text{нс}} \cdot k, \quad (2.16)$$

$$S_{\max} = l \cdot k_{\text{дор}} \cdot S_{\text{нум}_{\max}} \cdot k_{\text{чп}} \cdot k_{\text{ну}} \cdot k_{\text{нс}} \cdot k, \quad (2.17)$$

де S_{\min} – мінімальна собівартість маршруту, грн.;

S_{\max} – максимальна собівартість маршруту, грн.;

l – фізична довжина маршруту, км;

$k_{\text{дор}}$ – коефіцієнт характеру переміщення по дорогам маршруту;

$S_{num_{min}}$ – мінімальна питома собівартість маршруту, грн.;

$S_{num_{max}}$ – максимальна питома собівартість маршруту, грн.;

k_{un} – коефіцієнт часу (пора року, час доби) здійснення перевезень;

k_{ny} – коефіцієнт погодних умов;

k_{nc} – коефіцієнт нештатних ситуацій;

k – коефіцієнт згідно з виразом (2.13).

Рис. 2.9 ілюструє досліджений вплив величини співвідношення $k_{n-\epsilon}$ обсягів постачання піску на будівельний майданчик та вивезення відходів із нього на мінімальну собівартість S_{min} опрацьовуваних транспортних маршрутів. Цю графоаналітичну модель отримано наступним чином.

Проведеним комп'ютерним експериментом варіюванням в описаній вище параметричній моделі (електронних таблицях Microsoft Excel) наступних значень

$$k_{n-\epsilon} = (k_{n-\epsilon i})_1^5 = (1, 2, 3, 4, 5) \quad (2.18)$$

одержано для транспортних маршрутів

$$N = (j)_1^4 = (1, 2, 3, 4) \quad (2.19)$$

дані у вигляді $(k_{n-\epsilon i}, S_{j_{min i}})$

$$S_{1_{min}} : (1; 314), (2; 251), (3; 209), (4; 179), (5; 157);$$

$$S_{2_{min}} : (1; 302), (2; 242), (3; 202), (4; 173), (5; 151);$$

$$S_{3_{min}} : (1; 213), (2; 170), (3; 142), (4; 121), (5; 106);$$

$$S_{4_{min}} : (1; 224), (2; 179), (3; 149), (4; 128), (5; 112). \quad (2.20)$$

Апроксимація величин (2.18) ... (2.20) дозволила отримати поліноми для обчислення мінімальної собівартості чотирьох досліджуваних маршрутів

$$S_{1_{min}} = -1,0833 \cdot k_{n-\epsilon}^3 + 16,464 \cdot k_{n-\epsilon}^2 - 104,45 \cdot k_{n-\epsilon} + 403;$$

$$S_{2_{min}} = -1,0833 \cdot k_{n-\epsilon}^3 + 15,964 \cdot k_{n-\epsilon}^2 - 99,952 \cdot k_{n-\epsilon} + 387;$$

$$S_{3\min} = -0,75 \cdot k_{n-e}^3 + 11,25 \cdot k_{n-e}^2 - 71 \cdot k_{n-e} + 273,4;$$

$$S_{4\min} = -0,8333 \cdot k_{n-e}^3 + 12,286 \cdot k_{n-e}^2 - 75,881 \cdot k_{n-e} + 288,4. \quad (2.21)$$

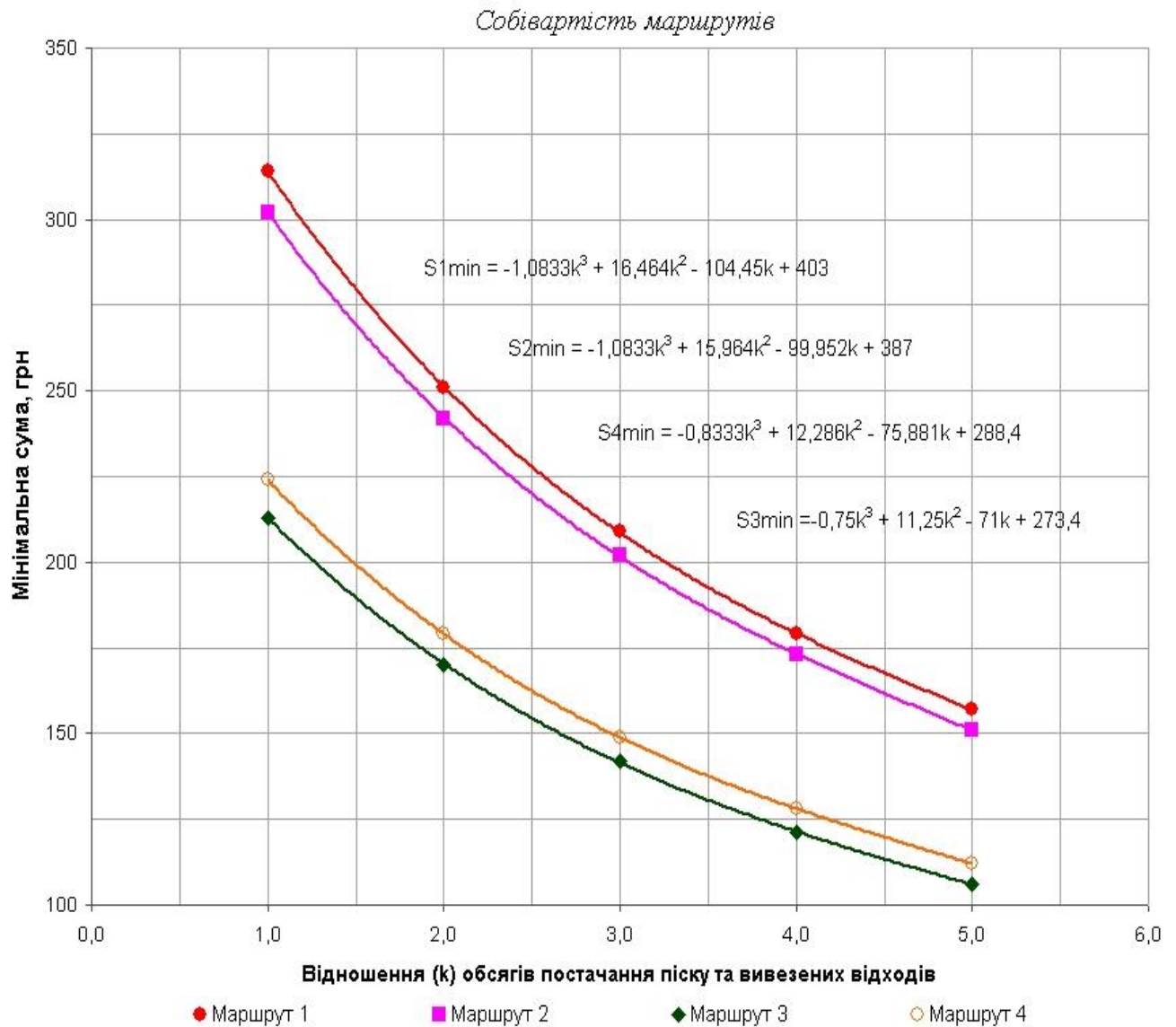


Рис. 2.9. Вплив на собівартість маршрутів співвідношення обсягів постачання піску та вивезення відходів

Аналогічно залежностям (2.21) виконується аналітична дефініція й максимальної собівартості варіантів перевезень.

Розраховані вище тривалість руху та собівартість, що визначаються співвідношеннями (2.14) ... (2.17), потребують з економічної точки зору своєї мінімізації. Вказані задачі, навіть у більш загальній постановці, розв'язуються засобами математичного програмування, розглянутими в підрозділі 1.2

дисертації. Для структурно-параметричного підходу це є лише окремим етапом на шляху вирішення складнішого багатокрокового оптимізаційного завдання, оскільки подана транспортна мережа і схема постачання матеріалів та вивезення відходів становить тільки невелику частину всього опрацьовуваного процесу виробництва (згадаймо, що на будівельний майданчик доставляється велике розмаїття продукції з доволі різних місць відправлення).

Далі зупинимося на забезпеченні комплексного оцінювання варіантів маршрутів при їх оптимізації. З цією метою в електронних таблицях, тобто застосовуваній комп'ютерній параметричній моделі, використано вже згадувані коефіцієнти $k_{вар}$ та $k_{швид}$, див. рис. 2.8. Як зауважувалось, вони пов'язані відповідно з вартістю та швидкістю (тривалістю) перевезень.

Наше бажання одночасно мати мінімальні значення вартості та часу транспортування вантажів не завжди збігається з практичними можливостями реалізації цього. У зв'язку з чим, при формуванні комплексних критеріїв оптимізації, треба йти на певні компроміси. Один із шляхів для цього полягає у призначенні, на базі наявних експертних оцінок, належної важливості кожному аспекту у вигляді відповідного вагового коефіцієнта.

У такий спосіб сформовано цільові функції оптимізації

$$I_{кр\min} = t_{рух\min} \cdot k_{швид} + S_{\min} \cdot k_{вар}, \quad (2.22)$$

$$I_{кр\max} = t_{рух\max} \cdot k_{швид} + S_{\max} \cdot k_{вар}, \quad (2.23)$$

де $I_{кр\min}$ – найменше значення інтегрального критерію;

$I_{кр\max}$ – найбільше значення інтегрального критерію;

$t_{рух\min}$ – мінімальна тривалість руху, год.;

$t_{рух\max}$ – максимальна тривалість руху, год.;

S_{\min} – мінімальна собівартість маршруту, грн.;

S_{\max} – максимальна собівартість маршруту, грн.;

$k_{швид}$ – ваговий коефіцієнт швидкості, год.⁻¹ ;

$k_{вар}$ – ваговий коефіцієнт вартості, грн.⁻¹ .

Для виразів (2.22) і (2.23) в моделі на рис. 2.8 прийнято

$$k_{ув} = 15 \text{ год.}^{-1} \text{ та } k_{вар} = 0,1 \text{ грн.}^{-1} \quad (2.24)$$

Величини (2.24) в наведених функціях означають, що в інтегральному критерії оптимізації вага одиниці виміру тривалості руху, тобто 1 год., підвищується у 15 разів, а вага одиниці виміру собівартості, тобто 1 грн., зменшується в 10 раз. Іншими словами, із точки зору оптимізації 1 година перевезень еквівалентна 150 грн. Ці дані збігаються з наявними нині середніми цінами в мережі Інтернет.

Отже, можна було використати

$$k_{ув} = 150 \text{ год.}^{-1} \text{ та } k_{вар} = 1 \text{ грн.}^{-1} \quad (2.25)$$

Коефіцієнти (2.25) ілюструють підхід, коли аспектам оптимізації, що вимірюються у фінансових одиницях, присвоюються одиничні вагові коефіцієнти, а іншим критеріям надаються вагові коефіцієнти, еквівалентні грошовим оцінкам їх одиниць виміру. У такий спосіб інтегральні критерії, в тому числі й (2.22) та (2.23), набувають більш зрозумілого змісту для порівняння існуючих варіантів, лив. рис. 2.10. Тепер на ньому інтегральний критерій оптимізації подається у гривнях.

Параметри постачання та вивезення будівельних матеріалів

№ марш	Відстань, км	k дор	k п-е	Пит. вартість, грн/км		k вар	Швидкість, км/год		k швд	k чп	k пу	k нс
				min	max		min	max				
1	9,5	1,10	5,0	15	20	1	25	29	150	1,0	1,0	1,0
2	14	0,90	5,0	12	14	1	34	40	150	1,0	1,0	1,0
3	12,5	0,85	5,0	10	12	1	37	42	150	1,0	1,0	1,0
4	8	1,00	5,0	14	16	1	26	30	150	1,0	1,0	1,0

Трв. руху, год		Заг. вартість, грн		Інтегр. крит.	
min	max	min	max	min	max
0,36	0,42	157	209	211	272
0,32	0,37	151	176	198	232
0,25	0,29	106	128	144	171
0,27	0,31	112	128	152	174

Рис. 2.10. Параметри маршрутів постачання матеріалів та вивезення відходів із гривневими ваговими коефіцієнтами інтегрального критерію

Порівняння даних рис. 2.10 та рис. 2.8 свідчить, що найбільш економічним із точки зору тривалості руху, собівартості перевезень та інтегрального критерію оптимальним залишився маршрут № 3. Але тепер можемо кількісно оцінити вклад кожної складової інтегрального критерію. Згідно з обчисленими даними

$$\%S_{\min} = \frac{106}{144} \approx 74\%, \quad \%S_{\max} = \frac{128}{171} \approx 75\%; \quad (2.26)$$

$$\%t_{\min} = \frac{144 - 106}{144} \approx 26\%, \quad \%t_{\max} = \frac{171 - 128}{171} \approx 25\%, \quad (2.27)$$

де $\%S_{\min}$, $\%S_{\max}$, $\%t_{\min}$, $\%t_{\max}$ – процент в інтегральному критерії оптимізації відповідно мінімальних та максимальних величин собівартості та тривалості руху.

Зазначимо, що в електронних таблицях при виведенні на екран виконується округлення чисел.

Таким чином, результати (2.26) і (2.27) свідчать, що приблизно 25 відсотків проаналізованих транспортних витрат пов'язані зі швидкістю, тобто тривалістю руху. Чи є тут резерви можна сказати, порівнявши наявні швидкості переміщень із відповідними нормативними, наприклад, у табл. А.2. додатків. Для вартості доречно діяти аналогічно, використовуючи реальну та документально рекомендовану питому собівартість перевезень.

Зауважимо, що прагнучи до оптимальності розроблюваної транспортної системи не потрібно забувати і про надійність її функціонування. Мається на увазі, зокрема, що розрахункова висока швидкість перевезень на практиці може бути легко втрачена через аварії та затори на дорогах, погані погодні умови і т. д., а прогнозована питома вартість перевезень збільшиться унаслідок зростання цін на паливо, підвищення заробітної плати водіям тощо. Тому в наведеній математичній параметричній моделі вказані величини подаються належними діапазонами у вигляді мінімальних та максимальних значень.

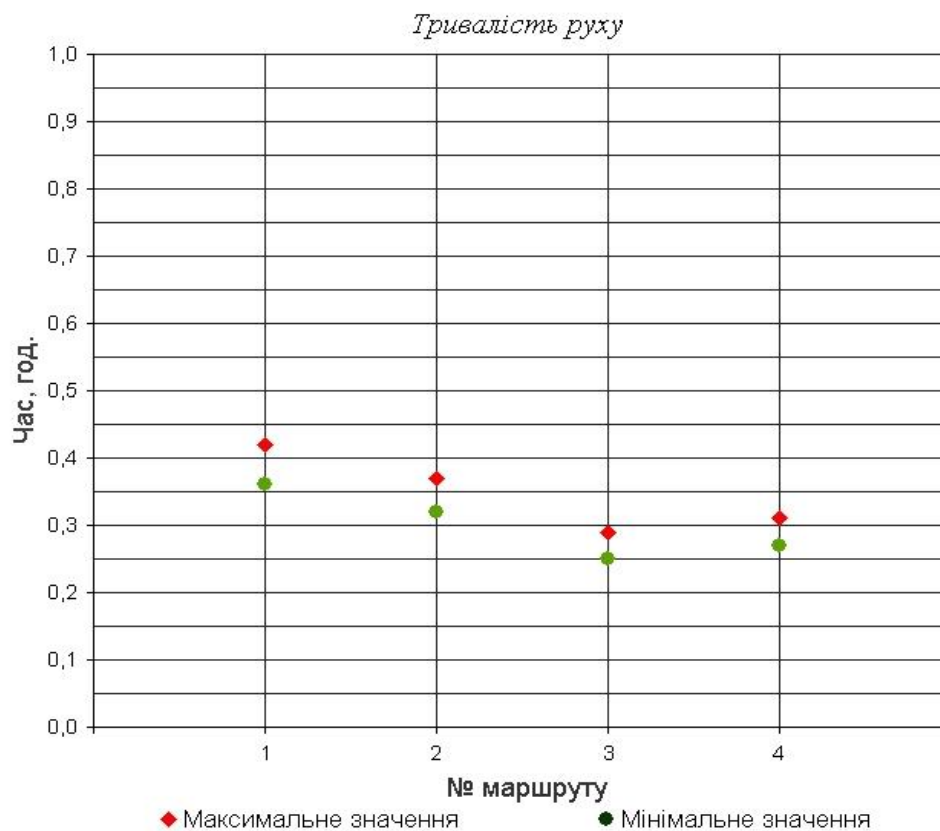
Певна надійність забезпечена також й обраною мережею з чотирьох маршрутів, див. рис. 2.7. У цьому випадку від будівельного майданчика *B* до піщаного кар'єру *K* та в оберненому напрямі можна дістатись трьома незалежними дорогами, а до звалища *З* – двома. Докладне вивчення розглянутих питань здатне бути предметом окремих досліджень.

Оскільки дійсні наукові розвідки присвячено прикладній геометрії, то наведемо ще один графік, який унаочнює опрацьовувану інформацію та сприяє підвищенню ефективності її аналізу. Такі засоби особливо необхідні при великій кількості оброблюваних даних. Зазначимо, що табличний прийом систематизації проектних відомостей уже достатньо широко застосовується в даному підрозділі дисертації.

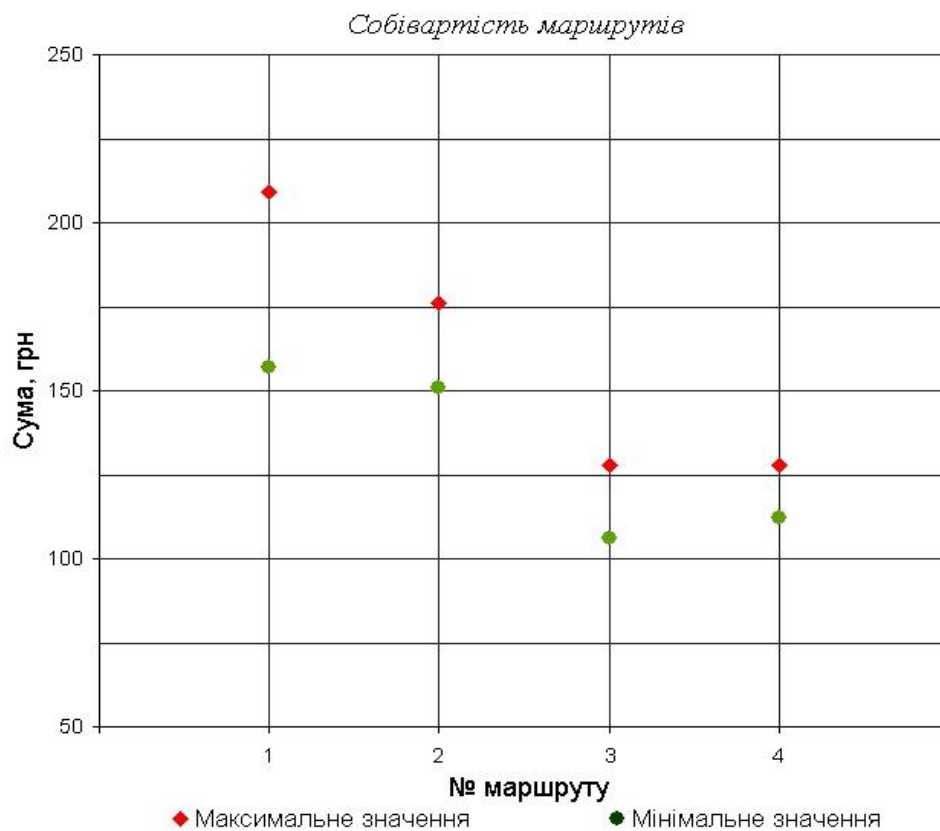
Для практики важливе порівняння варіантів транспортних маршрутів за їх тривалістю та собівартістю. На рис. 2.11 показано комп'ютерні графічні моделі, отримані за відповідними розрахованими величинами зображеної на рис. 2.10 електронної таблиці. Як видно, характер змінювання цих параметрів схожий. Тобто, найкращим є маршрут № 3, а найгіршим – маршрут № 1. У додатку А.1 наведено варіювання розглянутих параметрів для коефіцієнта $k_{n-г}=3$, тобто іншого співвідношення обсягів постачання на будівельний майданчик піску та вивезення відходів із нього.

Далі, див. рис. 2.12, подано кілька прикладів використання розробленої параметричної моделі маршрутів постачання матеріалів та вивезення відходів. Ці зображення відтворюють її придатність до оперативного врахування таких величин як час доби (або пори року) перевезень, наявні погодні умови та ймовірність виникнення нештатних ситуацій на дорогах оперативним корегуванням величин коефіцієнтів ($k_{чп}$, $k_{пу}$, $k_{нс}$). У реальних умовах зазначені дані можуть надходити відповідними швидкісними комп'ютерними інформаційними каналами, що засвідчує пристосованість проаналізованої моделі до потреб практики.

Зробимо деякі коментарі до рис. 2.12, які пояснюють функціонування описаної моделі.



a



б

Рис. 2.11. Графічні моделі візуалізації деяких розрахованих параметрів маршрутів транспортної мережі:

a – тривалість руху; *б* – собівартість перевезень

Параметри постачання та вивезення будівельних матеріалів

№ маршру	Відстань, км	k дор	k п-в	Пит. вартість, грн/км		k вар	Швидкість, км/год		k швд	k чп	k пу	k нс
				min	max		min	max				
1	9,5	1,10	5,0	15	20	1	25	29	150	1,1	1,0	1,0
2	14	0,90	5,0	12	14	1	34	40	150	1,1	1,0	1,0
3	12,5	0,85	5,0	10	12	1	37	42	150	1,1	1,0	1,0
4	8	1,00	5,0	14	16	1	26	30	150	1,1	1,0	1,0

Трв. руху, год		Заг. вартість, грн		Інтегр. крит.	
min	max	min	max	min	max
0,40	0,46	172	230	232	299
0,35	0,41	166	194	218	255
0,28	0,32	117	140	159	188
0,29	0,34	123	141	167	192

а

Параметри постачання та вивезення будівельних матеріалів

№ маршру	Відстань, км	k дор	k п-в	Пит. вартість, грн/км		k вар	Швидкість, км/год		k швд	k чп	k пу	k нс
				min	max		min	max				
1	9,5	1,10	5,0	15	20	1	25	29	150	1,0	1,2	1,0
2	14	0,90	5,0	12	14	1	34	40	150	1,0	1,2	1,0
3	12,5	0,85	5,0	10	12	1	37	42	150	1,0	1,0	1,0
4	8	1,00	5,0	14	16	1	26	30	150	1,0	1,1	1,0

Трв. руху, год		Заг. вартість, грн		Інтегр. крит.	
min	max	min	max	min	max
0,43	0,50	188	251	253	326
0,38	0,44	181	212	238	278
0,25	0,29	106	128	144	171
0,29	0,34	123	141	167	192

б

Параметри постачання та вивезення будівельних матеріалів

№ маршру	Відстань, км	k дор	k п-в	Пит. вартість, грн/км		k вар	Швидкість, км/год		k швд	k чп	k пу	k нс
				min	max		min	max				
1	9,5	1,10	5,0	15	20	1	25	29	150	1,0	1,0	1,0
2	14	0,90	5,0	12	14	1	34	40	150	1,0	1,0	1,2
3	12,5	0,85	5,0	10	12	1	37	42	150	1,0	1,0	1,2
4	8	1,00	5,0	14	16	1	26	30	150	1,0	1,0	1,0

Трв. руху, год		Заг. вартість, грн		Інтегр. крит.	
min	max	min	max	min	max
0,36	0,42	157	209	211	272
0,38	0,44	181	212	238	278
0,30	0,34	128	153	173	205
0,27	0,31	112	128	152	174

в

Рис. 2.12. Варіантні розрахунки в табличній параметричній моделі

транспортних маршрутів та впливу на них:

а – часу перевезень; б – погодних умов; в – ймовірності нештатних ситуацій

Загальним моментом є те, що опрацювання питань транспортної

маршрутизації відбувається, з математичної точки зору, в багато-параметричному просторі. Вплив наведених факторів може бути різно-плановим, зокрема, як збільшувати, так і зменшувати величину розглянутої вище цільової функції оптимізації.

Рис. 12, *а* ілюструє випадок реагування моделі на час здійснення перевезень. Це є певна пора року або частина доби. У даному разі коефіцієнт $k_{ch}=1,1$, що свідчить про несприятливі, порівняно з прийнятими за нормальні, обставини. Пов'язано може бути, наприклад, із зимовими вранішніми або вечірніми перевезеннями, у час пік тощо. Бачимо, що відповідним чином збільшується, у співставленні з даними рис. 2.10, тривалість руху, собівартість транспортування та належний інтегральний критерій оптимізації.

Для рис. 12, *б* характерним є не тільки те, що опрацьовується вплив погодних умов, який береться до уваги величиною коефіцієнта k_{ny} , а й те, що значення останнього не співпадають для всіх маршрутів. Пояснення полягають у тому, що неоднакові існуючі покриття доріг по різному змінюють свої транспортні властивості внаслідок дії тих самих погодних умов.

Рис. 12, *в* показує оброблення створеною параметричною моделлю нештатних ситуацій за допомогою коефіцієнта k_{nc} . У даному разі застосовано його значення 1, 2 для другого та третього маршрутів. Це може бути пов'язано з виникненням заторів на ділянці найкоротшого шляху між звалищем *З* та піщаним кар'єром *К*, див. рис. 2.7. Бо саме маршрути № 2 і № 3 пролягають через вказану частину транспортної мережі, що розглядається.

У додатку А.1 приведено приклади одночасного врахування кількох таких факторів як час здійснення перевезень, наявні погодні умови та ймовірні нештатні ситуації.

Таким чином, у даному пункті дисертаційного дослідження доволі ґрунтовно викладено питання параметричного моделювання транспортних маршрутів. Зазначені відомості суттєвим чином доповнюють цілісне сприйняття розробленої в пункті 2.4.4 СПГМ постачання будівельних

матеріалів. Це обумовлено тим, що, як видно з формул (2.9) і (2.10), параметричні описи є лише окремими компонентами для СПГМ вищого ієрархічного рівня.

Але попередньо коротко зупинимось на таких важливих для сучасних САПР моментах як використання комп'ютерних інформаційних технологій оброблення структурованої табличної інформації.

2.4.3. Застосування комп'ютерних інформаційних технологій як засобів керування

Поданий вище приклад параметричної транспортної моделі, реалізований у середовищі Microsoft Excel, може продемонструвати прийоми пошуку, відбору та впорядкування належної проектної інформації для ефективного керування транспортною мережею.

Так на рис. 2.13 показано застосування швидкого знаходження необхідного за номером транспортного маршруту. Для нашого випадку з чотирьох записів це тривіальна дія, але при наявності десятків, а то й сотень маршрутів зазначений засіб доволі корисний для оперативного знаходження потрібної інформації з метою оптимального управління транспортними процесами.

Рис. 2.14 ілюструє можливість упорядкування проектних даних. На першому зображенні приведено інтерактивне меню, в якому користувачем обрано належний для проведення сортування стовпець розробленої параметричної моделі у вигляді електронної таблиці Microsoft Excel. При цьому вказано упорядкування за зростанням. Отриманий результат містить рис. 2.14, б. Бачимо, що маршрути транспортної мережі відсортовані за зростанням їх фізичної довжини. Це теж доволі зручно для прийняття певних управлінських рішень.

Як видно з рис. 2.14, а можливе й більш складне упорядкування одночасно за кількома стовпцями таблиці як за збільшенням, так і зменшенням їх величин. Також є додаткові параметри даної процедури, що розширюють її функціональні властивості.

Параметри постачання та вивезення будівельних матеріалів													
№	Відстань	к дор	к п-в	Пит. вартість, грн/км		к	Швидкість, км/год		к	к чп	к пу	к нс	
(Все) (Первые 10...) (Условие...)	км			min	max	вар	min	max	швд				
1	9,5	1,10	5,0	15	20	1	25	29	150	1,1	1,2	1,0	
2	14	0,90	5,0	12	14	1	34	40	150	1,1	1,2	1,2	
3	12,5	0,85	5,0	10	12	1	37	42	150	1,1	1,0	1,2	
4 (Пустые) (Непустые)	8	1,00	5,0	14	16	1	26	30	150	1,1	1,1	1,0	

Трв. руху, год		Заг. вартість, грн		Інтегр. крит.	
min	max	min	max	min	max
0,48	0,55	207	276	278	359
0,50	0,59	240	279	314	367
0,33	0,38	140	168	190	225
0,32	0,37	136	155	184	211

а

Параметри постачання та вивезення будівельних матеріалів													
№	Відстань	к дор	к п-в	Пит. вартість, грн/км		к	Швидкість, км/год		к	к чп	к пу	к нс	
марі	км			min	max	вар	min	max	швд				
3	12,5	0,85	5,0	10	12	1	37	42	150	1,1	1,0	1,2	

Трв. руху, год		Заг. вартість, грн		Інтегр. крит.	
min	max	min	max	min	max
0,33	0,38	140	168	190	225

б

Рис. 2.13. Виконання пошуку маршруту за його номером:

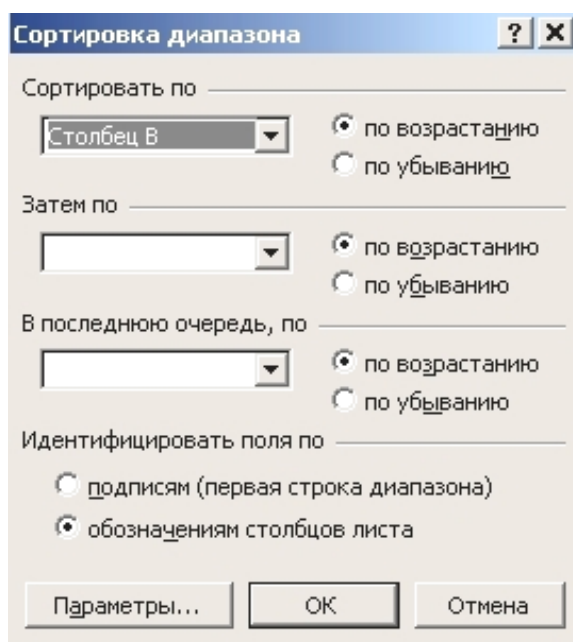
а – формування запиту; б – отриманий результат

Подібно до проаналізованого випадку сортування вихідних даних здійснюється й упорядкування обчислених величин, таких як тривалість руху по маршруту, його собівартість та інтегральний критерій оптимізації транспортної мережі.

Важлива також операція відбору, тобто фільтрації, наявної інформації згідно з певними умовами.

Так на рис. 2.15, а показано інтерактивне меню, де користувач визначає свій запит із використанням таких логічних операторів як дорівнює, не дорівнює, більше, менше і т. д.

Звернемо увагу на те, що операції упорядкування та відбору можуть поєднуватися для належного структурування табличних даних.



а

Параметри постачання та вивезення будівельних матеріалів

№	марі	Відстань, км	к дор	к п-е	Пит. вартість, грн/км		к	Швидкість, км/год		к шед	к чп	к пу	к нс
					min	max		вар	min				
4		8	1,00	5,0	14	16	1	26	30	150	1,1	1,1	1,0
5		9,5	1,10	5,0	15	20	1	25	29	150	1,1	1,2	1,0
6		12,5	0,85	5,0	10	12	1	37	42	150	1,1	1,0	1,2
7		14	0,90	5,0	12	14	1	34	40	150	1,1	1,2	1,2

Трв. руху, год		Заг. вартість, грн		Інтегр. крит.	
min	max	min	max	min	max
0,32	0,37	136	155	184	211
0,48	0,55	207	276	278	359
0,33	0,38	140	168	190	225
0,50	0,59	240	279	314	367

б

Рис. 2.14. Приклад упорядкування проектних даних:

а – запит; б – результат

Коли до вихідного стану моделі, наведеного на рис. 2.13, а, застосувати запит рис. 2.15, а, то отриманий результат відрізнявся б від зображеного на рис. 2.15, б. Це тому, що в даному разі спочатку здійснено упорядкування транспортних маршрутів за зростанням мінімальної тривалості руху, а потім накладено логічну умову стосовно не перевищення цих значень величини 0,5 год. Інакше одержані два рядки маршрутів розташовувалися б не в поданому порядку.

Пользовательский автофильтр ? X

Показать только те строки, значения которых:

max _____

меньше или равно 0,5

И ИЛИ

Символ "?" обозначает любой единичный символ
Символ "*" обозначает последовательность любых знаков

ОК Отмена

а

1 *Параметри постачання та вивезення будівельних матеріалів*

№ маршруту	Відстань, км	k дор	k п-в	Пит. вартість, грн/км		k вар	Швидкість, км/год		k швд	k чп	k пу	k нс
				min	max		min	max				
4	8	1,00	5,0	14	16	1	26	30	150	1,1	1,1	1,0
3	12,5	0,85	5,0	10	12	1	37	42	150	1,1	1,0	1,2

Трв. руху, год		Заг. вартість, грн		Інтегр. крит.	
min	max	min	max	min	max
0,32	0,37	136	155	184	211
0,33	0,38	140	168	190	225

б

Рис. 2.15. Фільтрація обчисленої інформації:

а – запит; б – результат

Можливе використання й інших засобів для оброблення створеної параметричної моделі, зокрема, за допомогою мови програмування Visual Basic for Application.

Таким чином, у цьому пункті дисертації на прикладі електронних таблиць Microsoft Excel, як достатньо наочних для ілюстрацій, розглянуто питання придатності розробленої математичної параметричної моделі опрацьовуваної транспортної мережі для ефективного керування нею та до взаємодії з іншими комп'ютерними системами шляхом отримання та передавання їм необхідної інформації для формування потрібних управлінських дій. Викладені вище прийоми моделювання доволі типові, зокрема, для реляційних баз даних.

2.4.4. Структурно-параметрична модель постачання будівельних матеріалів

Даний пункт дисертації завершальний у підрозділі 2.4, який присвячений використанню структурно-параметричної методології для опрацювання процесів постачання будівельних матеріалів. Його метою є інтеграція в одне ціле таких поданих вище моделей як геометрія рельєфу місцевості проведення будівництва та параметричний аналітичний опис наявної на ній транспортної мережі

На засадах загальних співвідношень (2.7) ... (2.11) структурно-параметричного підходу визначено множину досліджуваних маршрутів, див. рис. 2.7,

$$M = (M_i)_1^4, \quad (2.28)$$

де M_1 – № 1, маятниковий від будівельного майданчика B старою довгою дорогою до піщаного кар'єру K та на звалище Z ;

M_2 – № 2, кільцевий від будівельного майданчика B через звалище Z до піщаного кар'єру K і далі з поверненням у точку відправлення довгим старим шляхом;

M_3 – № 3, кільцевий від будівельного майданчика B через звалище Z до піщаного кар'єру K з переміщенням у точку відправлення коротшою новою дорогою;

M_4 – № 4, маятниковий від будівельного майданчика B коротким шляхом до піщаного кар'єру K та на звалище Z .

Подання СПГМ (2.28) у вигляді графа показано на рис. 2.16. Порівнюючи її із вказаною вище загальною дефініцією, відмітимо наступні особливості.

Модель містить один структурний компонент (частину, етап, стадію тощо), який представлений чотирма параметричними варіантами транспортних маршрутів постачання на будівельний майданчик піску та вивезення з нього відходів. У попередніх пунктах цього підрозділу основну увагу приділено доволі докладним аналітичним описам маршрутів, що дозволяє краще

зрозуміти запропоновані далі геометричні методи визначення найкоротших шляхів у складних транспортних мережах. Зазначений математичний апарат базується, зокрема, на присвоюванні вершинам графових моделей певних упорядкованих множин індексів, які характеризують довжини дуг, що виходять із цих вершин. Тому в даному пункті дисертації зроблено акцент на вказаних індексах.

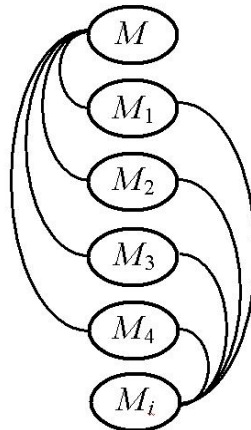


Рис. 2.16. СПГМ постачання матеріалів на будівельний майданчик та вивезення відходів із нього

СПГМ, зображена на рис. 2.16, є мультиграфом. Про це свідчать не тільки чотири дуги варіантів транспортних маршрутів, а й те, що кожна з них в якості розрахункової довжини може мати не тільки фізичну відстань на місцевості, а й такі показники як (див. пункт 2.4.2) тривалість руху, собівартість перевезень, деякі інтегровані критерії оптимізації тощо.

На основі поданих на рис. 2.10 розрахунків, наприклад, для мінімальних величин $t_{пyx_{\min}}$ тривалості руху, S_{\min} собівартості маршруту. $I_{kp_{\min}}$ інтегрального критерію формуються належні кортежі індексів

$$I_{t_{пyx_{\min}}} = (0,25; 0,27; 0,32; 0,36), \quad (2.29)$$

$$I_{S_{\min}} = (106; 112; 151; 157), \quad (2.30)$$

$$I_{I_{kp_{\min}}} = (144; 152; 198; 211). \quad (2.31)$$

Для максимальних цих же величин

$$I_{t_{\text{пух}}_{\text{max}}} = (0,29; 0,31; 0,37; 0,42), \quad (2.32)$$

$$I_{S_{\text{max}}} = (128; 128; 176; 209), \quad (2.33)$$

$$I_{I_{\text{кр}}_{\text{max}}} = (171; 174; 232; 272). \quad (2.34)$$

За аналогією з виразами (2.29) ... (2.34) визначаються множини індексів й у випадках, див. рис. 2.12, взяття до уваги таких динамічних факторів модельованої транспортної мережі як час перевезень, наявні погодні умови, ймовірність нештатних ситуацій тощо.

Зокрема, для випадку максимальних значень $t_{\text{пух}}_{\text{max}}$ тривалості руху, S_{max} собівартості маршруту та $I_{\text{кр}}_{\text{max}}$ інтегрального критерію (рис. 2.12, в) маємо кортежі індексів

$$I_{t_{\text{пух}}_{\text{max}}} = (0,31; 0,34; 0,42; 0,44), \quad (2.35)$$

$$I_{S_{\text{max}}} = (128; 153; 209; 212), \quad (2.36)$$

$$I_{I_{\text{кр}}_{\text{max}}} = (174; 205; 272; 278). \quad (2.37)$$

Порівняння відповідних величин (2.32) ... (2.34) та (2.35) ... (2.37) свідчить про їх динамічне змінювання, тобто про належний характер розробленої моделі.

Також бачимо, що одна й та ж сама графова модель здатна одночасно відтворювати властивості відображуваної транспортної мережі в багатопланових аспектах, таких як тривалість руху по ній різними маршрутами, їх собівартість, відстані тощо. Ці фактори розраховуються завдяки напрацьованим параметричним моделям.

До речі, кортеж індексів для фізичних відстаней маршрутів проаналізованої мережі визначається множиною

$$I_I = (8; 9,5; 12,5; 14). \quad (2.38)$$

Маючи індекси (2.29) ... (2.38), СПГМ рис. 2.16 та відповідні її складові параметричні описи, доволі легко знайти найкоротші шляхи з початкової

вершини M до кінцевої M_i . Для цього треба обрати найменше значення належного індексу та дугу, яка має однакову з ним довжину.

Так згідно з виразом (2.38) мінімальний індекс фізичної відстані дорівнює 8, тобто 8 км. Даній величині відповідає, див. рис. 2.10 або інші, маршрут № 4. Це й буде найкоротша фізична довжина маршрутів між вершиною M та M_i .

Для кортежу (2.33), тобто максимальної собівартості у випадку, наведеному на рис. 2.10, маємо два однакових мінімальних індекси, які дорівнюють 128, тобто 128 грн. Це значить, що маршрути № 3 та № 4 обидва забезпечують найменшу належну величину.

Виконаний аналіз індексів (2.29) ... (2.38) ще раз підтвердив простоту, зручність, наочність та продуктивність табличних електронних розрахунків, що й обумовлює таку широку популярність, зокрема, прикладного програмного пакета Microsoft Excel.

Далі, спираючись на поданий вище математичний апарат, перейдемо до геометричного моделювання шляхів мінімальної довжини у складних транспортних мережах.

2.5. Геометричне моделювання найкоротших шляхів у транспортних мережах

У цьому підрозділі дисертаційних досліджень викладено теоретичні положення трьох запропонованих геометричних способів оптимізації маршрутів постачання будівельних матеріалів. Перший відноситься до класу евристичних методів, зокрема, мурашиних колоній, а два інші спираються на засади методу потенціалів.

Існуюча транспортна мережа описується графами з вершинами

$$P_{\text{мереж}} = (P_{\text{мереж}_i})_1^{N_{\text{мереж}}}, \quad (2.39)$$

де $P_{\text{мереж}_i}$ – пункти (точки, вузли) мережі,

$N_{\text{мереж}}$ – загальне їх число.

Обраний маршрут відтворюється множиною

$$P_{\text{марш}} = (P_{\text{марш}_i})_1^{N_{P_{\text{марш}}}}, \quad (2.40)$$

де $P_{\text{марш}_i}$ – відвідувані пункти,

$N_{P_{\text{марш}}}$ – їх кількість.

Кортеж точок призначення має вигляд

$$P_{\text{призн}} = (P_{\text{призн}_i})_1^{N_{P_{\text{призн}}}}, \quad (2.41)$$

де $P_{\text{призн}_i}$ – пункти призначення,

$N_{P_{\text{призн}}}$ – їх число.

Довжини ланок між точками (2.39) ... (2.41) визначаються матрицею суміжності

$$L = \|l_{i,j}\|, \quad (2.42)$$

де i, j – номери виразу (2.39),

$l_{i,j}$ – відстані між зазначеними вершинами.

У формулі (2.42), як вже зазначалось, довжини $l_{i,j}$ трактуються більш широко ніж просто геометрична довжина шляху. Ці величини здатні додатково враховувати ухили доріг, якість їх покриття, інтенсивність руху тощо або, навіть, відтворювати зовсім інші значення, зокрема, тривалість переміщення, вартість перевезень і т. д. Зауважимо, що матриця (2.42) у загальному випадку несиметрична, оскільки, наприклад, час руху у протилежних напрямках може буди неоднаковим, ухили доріг теж та інші фактори.

Як вже було показано вище, визначення раціональних маршрутів перевезення будівельних матеріалів і виробів є важливою задачею, оскільки її успішне розв'язання сприяє підвищенню економічної ефективності зведення багатьох об'єктів. Організація транспортування зазвичай здійснюється згідно з потребами у відповідних матеріалах та темпами їх технологічного використання.

Далі, в наступному пункті дисертації, розглянуто запропонований геометричний спосіб оптимізації маршрутів на базі оцінок ймовірних швидкостей переміщення автомобільного транспорту між вузлами мережі. Цей підхід спирається на застосування евристичних алгоритмів.

2.5.1. Спосіб оцінок ймовірних швидкостей переміщення транспорту між вузлами мережі

Будемо виходити з того, що умовно досліджуваний процес транспортування поділяється на три наступні основні складові: *завантаження, перевезення, розвантаження*. При цьому мета оптимального планування полягає в мінімізації перебування вантажів на складах і забезпеченні безперервності виробничих процесів будівництва. Пошук раціональних маршрутів базується на наступних умовах моделювання:

- географічному положенні пунктів відправлення та призначення;
- кількості й технічних характеристиках автомобілів;
- властивостях транспортної мережі, тобто особливостях переміщення по її ділянках (допустима швидкість руху, якість дорожнього полотна та ін.);
- обсягах і термінах перевезень.

Завдяки використанню належних поправочних коефіцієнтів вважається, що властивості всіх частин мережі однакові. Тому пошук потрібного маршруту зводиться до визначення найкоротшого шляху, який пролягає через необхідні пункти призначення з подальшим поверненням у точку відправлення. Запропонований підхід відноситься до класу мурашиних алгоритмів, оскільки спирається на попередній досвід проходження ділянок мережі іншими суб'єктами, в нашому випадку водіями автотранспорту. Зауважимо, що при дефініції раціонального маршруту не враховується час простою при завантаженні й розвантаженні, оскільки останній не є об'єктом оптимізації в наведеній постановці задачі.

У якості цільової функції прийнято час $t_{P_{призн1}, P_{признN} P_{призн}}$ транспортування матеріалів та виробів від точки подачі автомобіля, тобто першого елемента

множини (2.41), до її останнього компонента

$$t_{P_{\text{призн}_1}, P_{\text{призн}_2}, \dots, P_{\text{призн}_N}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{призн}}-1} t_{i,i+1}, \quad (2.43)$$

де $t_{i,i+1}$ – час руху від i -го до $(i+1)$ -го пункту призначення.

Геометрична модель маршруту формується виділенням із представленої у вигляді графа транспортної мережі потрібних сполучень і вершин. Оскільки початкова точка руху задана умовами моделювання, то напрям кожного наступного переміщення визначається на основі ймовірних швидкостей транспорту з поточної вершини графа до суміжних. Пунктам призначення надається максимальний пріоритет, а інші сортуються за часом сполучення з поточною вершиною. Середню тривалість переміщення від довільного i -го вузла до всіх суміжних пропонується обчислювати за виразом

$$\bar{t}_i = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^p t_{i,j}, \quad (2.44)$$

де

$$t_{i,j} = s_{i,j} / v_{i,j}, \quad (2.45)$$

p – число вершин, суміжних з i -м вузлом;

$s_{i,j}$ та $v_{i,j}$ – відстань і середня швидкість переміщення від i -ї вершини до j -ї.

Визначивши для всіх вузлів мережі показники середнього часу сполучення \bar{t}_i із суміжними вершинами, застосовуємо алгоритм пошуку такої траєкторії руху транспорту, яка передбачає, що на кожному кроці переміщення до наступного вузла пріоритет віддається тому, в якого показник \bar{t}_i мінімальний. Це не тільки забезпечує найменший час на даному етапі руху, але й із певною ймовірністю гарантує, що наступна вершина також має максимальну швидкість сполучення з суміжними вже з нею вузлами і т. д.

Запропонований підхід далі проілюстровано графічним алгоритмом визначення дій для довільного фрагменту мережі транспортних сполучень. Це

додає наочності і спрощує розуміння його математичної природи при різних обставинах виконуваного моделювання. Зокрема, до крайових умов належать межі досліджуваної ділянки мережі та інформація про її топологічні особливості. До початкових умов відносяться положення стартової, проміжних (при наявності), фінішної точки шуканого маршруту, а також поточні значення швидкостей переміщення автотранспорту між вузлами сполучення. Модель обраного фрагменту транспортної мережі розглядається як граф із двостороннім рухом.

У якості прикладу наведено фрагмент транспортної мережі з десяти вузлів, представлений на рис. 2.17.

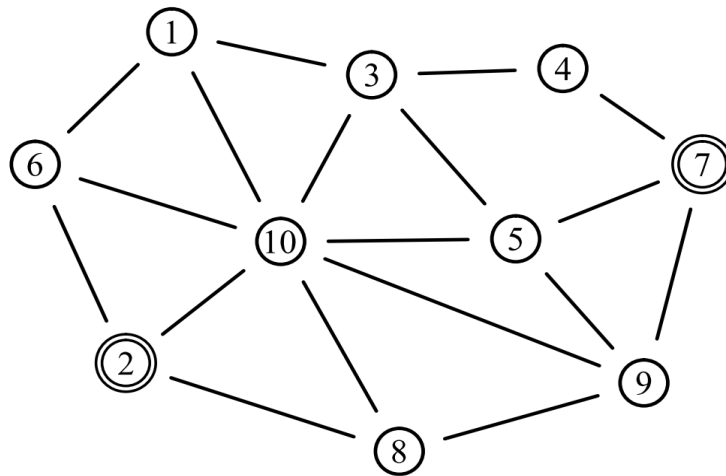


Рис. 2.17. Фрагмент транспортної мережі з десяти вузлів

Вважаємо, що в даній моделі сортування за швидкістю сполучення кожного вузла з суміжними вже здійснено, а номери вузлів відповідають порядковим позиціям, прийнятим за результатами розміщення після відповідного впорядкування. Тоді перший вузол характеризується найвищою середньою швидкістю переміщення від нього до сусідніх вузлів, а десятий – найнижчою. Для більшої наочності зазначені результати представлені у вигляді гістограми на рис. 2.18.

Нехай точкою відправлення буде вузол 7, а пунктом призначення – вузол 2. Вважатимемо, що в даному прикладі відсутні проміжні пункти призначення.

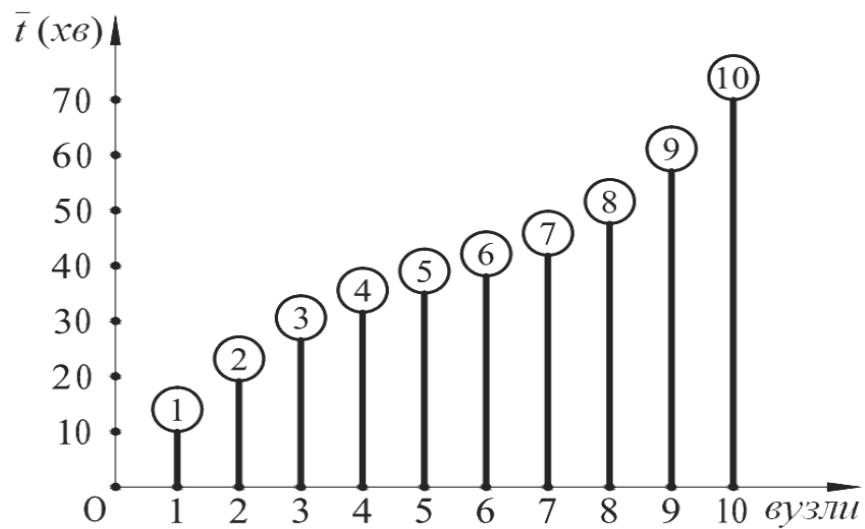


Рис. 2.18. Упорядкування вузлів мережі за часом сполучення між ними

На основі рис. 2.17 та рис. 2.18 створюємо спеціальну діаграму можливих шляхів руху автотранспорту з урахуванням пріоритетності переміщення до кожного окремого вузла, див. рис. 2.19.

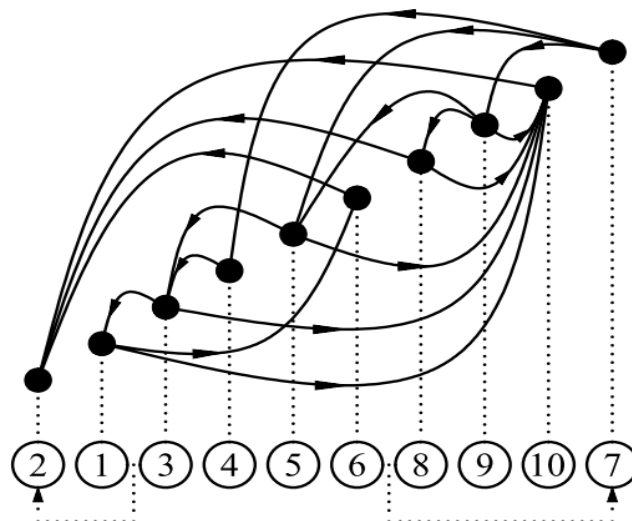


Рис. 2.19. Діаграма алгоритму визначення шляхів найшвидшого транспортування будівельних матеріалів

Ця діаграма будується у вигляді належного орієнтованого графу за наступними правилами.

1. В одержаному після сортування ряді переміщуємо вузол призначення на перше місце, а той, що відповідає пункту відправлення, на останнє місце, умовно надаючи першому найвищого пріоритету, а останньому – найнижчого.

2. Розміщуємо всі вузли під кутом, щоб продемонструвати напрямок зниження середніх швидкостей сполучення.

3. Починаючи з пункту відправлення, будуємо дуги, орієнтовані в напрямку спадання, що ведуть до вузлів із нижчим пріоритетом, якщо наявні відповідні сполучення транспортної мережі. Належні дуги розміщуємо вище показаного ряду вузлів.

4. Аналогічним чином діємо з вузлами, до яких було проведено дуги від пункту відправлення.

5. Проводимо зворотні дуги, орієнтовані в напрямку зростання, розміщуючи їх нижче ряду вузлів.

Одержану діаграму використовуємо для пошуку траєкторій найшвидшого спуску до пункту призначення, намагаючись на кожному кроці переміщуватися до найнижчих на діаграмі вузлів, а у разі, якщо необхідно рухатися у зворотному напрямку, обирати вузли, що мають найнижчу позицію в порівнянні із іншими. При цьому слід переміщуватися виключно по дугах.

Для проаналізованого прикладу маршрутом найшвидшого спуску згідно з показаною на рис. 2.19 діаграмою є траєкторія $7 \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow 1 \rightarrow 6 \rightarrow 2$.

Після визначення найшвидшого спуску за діаграмою, необхідно обрати ще кілька ймовірних переміщень, змінивши, наприклад, початкову дугу на іншу. Одержані траєкторії слід прорахувати, додавши тривалості руху вздовж ланок транспортної мережі, для їх подальшого порівняння.

Таким чином, поданий формулами (2.43) ... (2.45), рис. 2.17 ... 2.19 та викладеним вище алгоритмом запропонований геометричний спосіб оптимізації маршрутів на основі оцінок ймовірних швидкостей переміщення між вузлами мережі дозволяє вирішувати важливу задачу логістики транспортування будівельних матеріалів і виробів. Це обумовлено тим, що на їх перевезення витрачається значна частка трудових, фінансових та матеріальних ресурсів. Окрім того, процес постачання характеризується високою злагожденістю та безперебійністю, оскільки в більшості випадків будівельне виробництво вимагає чіткого дотримання графіків, технологій і послідовності виконання робіт, а їх невиконання призводить до значних збитків.

2.5.2. Спосіб проходження через необхідні пункти на шляху до місця призначення за фіксованої структури мережі та спосіб дефініції раціонального розташування її додаткових нових доріг або вузлів

У дисертаційному дослідженні напрацьовано ще два нові геометричні способи оптимізації маршрутів для автомобілів на складних транспортних мережах на основі застосування методу потенціалів: із забезпеченням проходженням через необхідні пункти призначення та дефініції раціонального розташування додаткових доріг або вузлів транспортної мережі. Їх сутність полягає в наступному.

Опрацьований фрагмент мережі подається множиною вигляду (2.39) та матрицею суміжності типу (2.42). Після цього визначаються пункти призначення (2.41), що реалізуються маршрутом кортежу (2.40). Основна мета полягає у знаходженні шляху найкоротшої довжини, яка є сумою належних величин зазначеної матриці суміжності.

Математичний апарат, що це реалізує, працює наступним чином.

Починаючи з останнього елемента пунктів призначення, для всіх вузлів досліджуваної транспортної мережі формуються впорядковані множини індексів, які характеризують довжини шляхів із попередніх вершин. Для виключення нераціональних переміщень завідомо недоцільні послідовності вузлів моделі відкидаються.

Зауважимо, що зупинятися на докладному описі змісту кортежів індексів, їх можливих варіантах стосовно критеріїв оптимізації тощо тут не будемо, оскільки зазначену інформацію детально викладено в попередньому підрозділі дисертації. Це ж стосується й аналітичної дефініції довжин шляхів транспортної мережі, яка розглядається, а також геометрії рельєфу місцевості будівництва, див. підрозділ 2.3.

Потрібні маршрути в опрацьованій мережі створюються рухом по тим ребрам графу, довжини яких відповідають різниці мінімальних значень індексів суміжних вершин. Для забезпечення відвідування необхідних пунктів

призначення описана процедура послідовно здійснюється для даних вузлів. Це становить головну ідею розробленого способу проходженням через потрібні пункти призначення.

Поданий вербальний опис запропонованого підходу є найбільш простим і зрозумілим. Алгоритм виконуваних при цьому дій добре ілюструється на конкретних наочних прикладах, які наведено та розгорнуто проаналізовано в наступному розділі дисертації, стосовно знаходження шляхів мінімальної довжини у транспортних мережах.

Ще один розроблений у дисертації засіб оптимізації, при наявності таких можливостей на практиці, полягає в модифікації існуючої моделі мережі введенням додаткових ребер або вершин, яким у реальності відповідає прокладання нових доріг та побудова транспортних вузлів. Критерієм доцільності таких змін є поява у множинах індексів пунктів призначення нових мінімальних величин. На цьому базується запропонований спосіб дефініції розташування додаткових доріг або вузлів транспортної мережі.

Головною відмінністю описаних способів оптимізації є те, що перший працює зі сталою структурою транспортної мережі, коли число її вузлів і доріг та зв'язки між ними є сталими, тобто топологія застосовуваної графової моделі незмінна. Однак, її параметри мають динамічний характер. Наприклад, одна й таж сама дорога може змінювати свою розрахункову максимальну швидкість руху по ній у залежності від часу доби, пори року, наявних погодних умов, ймовірності виникнення заторів, проведеного ремонту полотна і т. д. Тому головним завданням розробленого способу проходження через необхідні пункти на шляху до місця призначення за фіксованої структури транспортної мережі є ефективна адаптація до наявних її властивостей із забезпеченням при цьому дефініції оптимального шляху. Другий же запропонований спосіб враховує особливості будівельної галузі стосовно її здатності ефективно модифікувати структуру існуючої транспортної мережі за своїми потребами. Належним ілюстраціям у наступній частині дисертації присвячено цілий підрозділ.

Отже, описані два способи взаємно доповнюють один одного. Доцільність їх практичного застосування визначається наявними обставинами виконання певного будівництва. При цьому можуть братися до уваги найрізноманітніші фактори, такі як собівартість перевезень, їх терміни, надійність доставляння будівельних матеріалів і т. д.

На основі викладених у даному розділі дисертаційного дослідження теоретичних положень, розроблених моделей, способів, прийомів та алгоритмів далі подано приклади їх конкретного використання.

Висновки до розділу 2

1. *Встановлено* на рівні загальних теоретичні положень особливості будівельної галузі стосовно опрацювання маршрутів постачання будівельних матеріалів, що полягають у її придатності не тільки адаптуватись до динамічних змін наявних транспортних мереж, а здійснювати їх потрібні модифікації. Це забезпечило розробляння нових способів геометричного моделювання, які сприяють підвищенню економічної ефективності будівництва.

2. *Запропоновано* з метою більш реалістичного відтворення процесів доставляння продукції додати до відповідних математичних описів геометричні моделі рельєфу місцевості, що також підвищує точність належних розрахунків.

3. *Розроблено* нові аналітичні параметричні моделі транспортування вантажів, які беруть до уваги різноманітні цільові критерії оптимізації, такі як мінімізація вартості перевезень, термінів їх виконання тощо, враховують динамічні фактори у вигляді наявних природних умов, ймовірностей виникнення на дорогах заторів і т. д. Це розширює сферу можливого практичного використання запропонованого підходу.

4. *Напрацьовано* прийоми застосування створених параметричних моделей транспортних маршрутів як компонентів комп'ютерних ВІМ-технологій

для оптимального керування доставлянням продукції, що сприяє подальшому розвитку сучасних САПР.

5. *Виконано* формування СПГМ постачання будівельних матеріалів, яка об'єднує в одне ціле такі моделі як геометрія належного рельєфу місцевості та параметричні аналітичні транспортних маршрутів на ній з метою отримання інтегрального оптимального комплексного результату. Під останнім мається на увазі можливість компромісного врахування різноманітних суперечливих вимог, наприклад, швидкості та собівартості доставляння матеріалів тощо. Це теж сприяє вдосконаленню нинішніх ВІМ-технологій та будівельних САПР.

6. *Розроблено* спосіб оцінок ймовірних швидкостей переміщення транспорту між вузлами мережі, який спирається на запропонований евристичний алгоритм, що має переваги в певних умовах свого практичного використання. Це розширює можливості розробленого математичного апарату стосовно продуктивного знаходження відповідних оптимальних рішень.

7. *Розроблено* спосіб проходження через необхідні пункти на шляху до місця призначення за фіксованої структури мережі та спосіб дефініції раціонального розташування її додаткових нових доріг або вузлів, які доповнюють один одного та враховують наявні особливості будівельної галузі. Це сприяє багатогранному опрацюванню розв'язуваних задач.

Публікації автора з розглянутих питань: [70, 71, 72, 74, 75, 76, 129].

Список публікацій здобувача за матеріалами розділу 2

1. Магалов А. Алгоритм дискретного моделювання оптимальних маршрутів транспортування будівельних матеріалів. *Тези доповідей 21 міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні проблеми геометричного моделювання»*. Мелітополь, 2019. С. 19.

2. Магалов А.М. Застосування структурно-параметричного підходу для геометричного моделювання маршрутів постачання будівельних матеріалів при новому будівництві. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. Київ,

2020. Вип. 14. Р. 7–14. (Журнал входить до наукометричних баз Google Scholar, Worldcat, BASE).

3. Магалов А.М., Міщенко О.Г. Математична модель для побудови оптимальної економічної траєкторії дороги на площині та дискретно представлений поверхні. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2017. № 31. Ч. 1. С. 120–128. (Збірник входить до наукометричних баз Ulrichsweb, BASE, Index Copernicus, Google Scholar).

Особистий внесок здобувача: запропоновано застосування вагових економічних коефіцієнтів для ділянок трасування дороги.

4. Магалов А.М., Міщенко О.Г., Плоский В.О., Скочко В.І. Геометричне моделювання дискретно представлених поверхонь для визначення оптимальних траєкторій транспортних сполучень. *Сучасні проблеми моделювання*. Мелітополь, 2020. Вип. 17. С. 54–65. (Збірник входить до наукометричної бази Google Scholar).

Особистий внесок здобувача: для підвищення ефективності обчислювальних операцій запропоновано зберігати в моделях інформацію про висоти точок у форматі векторів із послідовною індексацією вузлів.

5. Магалов А.М., Орел Ю.М. Визначення питомих показників вартості спорудження і експлуатації трубопроводів ефективних систем водопостачання. *Сучасні проблеми моделювання*. Мелітополь, 2020. Вип. 19. С. 130–137. (Збірник входить до наукометричної бази Google Scholar).

Особистий внесок здобувача: запропоновано спеціальні цільові функції для об'єктивної оцінки економічної ефективності будівництва та експлуатації мереж водопостачання.

6. Магалов А., Плоский В., Куліков П., Гегер А. Візуалізація алгоритму прокладання найшвидших маршрутів постачання будівельних матеріалів. *International scientific-practical conference of young scientists "Build-Master-Class-2019": Conference Proceedings*. Київ, 2019. Р. 148–149.

Особистий внесок здобувача: розроблено алгоритм прокладання найшвидших маршрутів постачання будівельних матеріалів.

7. Magalov A., Mishchenko O., Orel J., Skochko V. Methods for determining the optimal trajectories of transport routes for different types of transport and types of relief. *Budownictwo o zoptymalizowanym Potencjale energetycznym. Construction of optimized Energy potential*. Wydział Budownictwa Politechniki Częstochowskiej. 2016. № 1 (11). P. 71–79.

Особистий внесок здобувача: *уточнено використання методики оптимізації транспортної траєкторії для різних типів рельєфу місцевості.*

РОЗДІЛ 3

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ СПОСОБІВ ТА АЛГОРИТМІВ ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПОСТАЧАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Як свідчить назва, в даному розділі дисертації висвітлюються питання практичної реалізації розроблених способів, алгоритмів, прийомів, моделей та методик, викладених у попередній частині проведеного наукового дослідження. Це дозволяє ще раз перевірити отримані результати, сформулювати рекомендації для їх використання безпосередньо у виробничих умовах, при впровадженні в навчальний процес університетів, інтеграції в середовище сучасних BIM-технологій, розширенні можливостей нинішніх будівельних САПР і т. д.

До свого складу ця частина роботи включає три підрозділи, в яких відповідно наведено:

- застосування запропонованого способу оптимізації постачання будівельних матеріалів при проходженні через необхідні пункти на шляху до місця призначення в умовах фіксованої структури транспортної мережі;

- визначення найкоротших маршрутів раціональним розташуванням додаткових нових доріг або вузлів транспортної мережі;

- рекомендації щодо комплексного моделювання постачання будівельних матеріалів.

Зазначений підхід забезпечує поглиблене реалістичне опрацювання процесів постачання матеріалів на будівельне виробництво та отримання, як наслідок, належних результатів.

3.1. Оптимізація постачання будівельних матеріалів при фіксованій структурі транспортної мережі

Даний підрозділ спирається на описаний у пункті 2.5.2 спосіб оптимізації проходження через необхідні пункти на шляху до місця

призначення при фіксованій структурі транспортної мережі, тобто коли кількість її вузлів і доріг та зв'язки між ними є сталим. Проте, наявні елементи здатні динамічно змінювати різноманітні свої властивості. Ці питання докладно проаналізовано в попередній частині дисертаційного дослідження при розроблянні аналітичних параметричних геометричних моделей транспортних маршрутів.

Незважаючи на те, що далі довжини доріг є числовими константами, для забезпечення загальності міркувань під ними розумітимемо певні параметри, які становлять результат обчислень відповідних аналітичних моделей.

Подібний факт стосується й фізичної природи опрацьовуваних величин, що для спрощення викладення відомостей подаються у вигляді геометричних відстаней, але, як обґрунтовано вище, можуть відтворювати також тривалість руху, собівартість перевезень, інтегральні критерії оптимізації і т. д.

Таким чином, для полегшення опису запропонованого алгоритму транспортна мережа розглядається статичною, проте, для кожної її ланки замість константи в реальних умовах потрібно застосовувати належну параметричну модель, здатну математично описувати найрізноманітніші необхідні властивості.

Також звернемо увагу на достатньо інваріантному характері запропонованих алгоритмів по відношенню до конкретних обставин модельованих процесів постачання будівельних матеріалів, що засвідчує наведена далі методика.

Для дефініції компонентів транспортної мережі вживатимемо позначення виразів (2.39) ... (2.42).

Нехай досліджуваний фрагмент мережі визначається наступною множиною

$$P_{мереж} = (P_{мереж_i})_1^{N_{мереж}} = (P_{мереж_i})_1^9 = (i)_1^9. \quad (3.1)$$

Відносно невелике обране число елементів кортежу (3.1) пояснюється бажанням здійснити перевірку розробленого алгоритму виконанням простих розрахунків. Цей приклад може бути застосовано як тестовий для створюваного відповідного комп'ютерного програмного забезпечення, що здатне за приведеною нижче схемою продуктивно обчислювати значно складніші ділянки транспортних мереж, тобто з більшою кількістю вершин і ребер опрацьовуваної графової моделі.

На підставі загальної формули (2.42) визначимо зв'язки між вузлами досліджуваного фрагмента мережі у вигляді наступної матриці суміжності для множини (3.1)

$$L = \left\| l_{i,j} \right\| = \begin{pmatrix} \mathbf{0} & 10 & 12 & 0 & 15 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 10 & \mathbf{0} & 0 & 5 & 8 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 9 & 0 & \mathbf{0} & 0 & 5 & 10 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 5 & 0 & \mathbf{0} & 0 & 0 & 0 & 0 & 15 \\ 15 & 8 & 5 & 0 & \mathbf{0} & 0 & 4 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 10 & 0 & 0 & \mathbf{0} & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & \mathbf{0} & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & 3 & 0 & \mathbf{0} & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 15 & 0 & 0 & 2 & 3 & \mathbf{0} \end{pmatrix}, \quad (3.2)$$

де i, j – номери виразу (3.1),

$l_{i,j}$ – відстані між зазначеними вершинами.

Матриця (3.2) є квадратною $N_{p_{\text{мереж}}}$ -го порядку, в нашому випадку 9-го. Головні її діагональні елементи дорівнюють нулю, що обумовлено довжинами $l_{i,i}$, де $i \in \mathbb{N}, i \leq 9$.

Дана матриця для реалізації більшого ступеня узагальнення подається як несиметрична. Це підтверджує, що при моделюванні беруться до уваги не просто геометричні відстані перевезення будівельних матеріалів та виробів, а й характер певних ділянок маршруту, зокрема, швидкість руху в різних напрямках, ймовірність виникнення заторів і т. д., що враховується належними поправочними коефіцієнтами в аналітичних параметричних моделях (зазначенні приклади докладно проаналізовано у другому розділі дисертації).

На рис. 3.1 показано геометричну модель транспортної мережі, яка відповідає виразам (3.1) і (3.2). Зауважимо, що дані для неї беруться не тільки з параметричних моделей відповідних маршрутів, а й з урахуванням особливостей рельєфу місцевості будівництва, який визначається математичними описами вигляду (2.2) ... (2.6). Це сприяє комплексному опрацюванню питання постачання будівельних матеріалів.

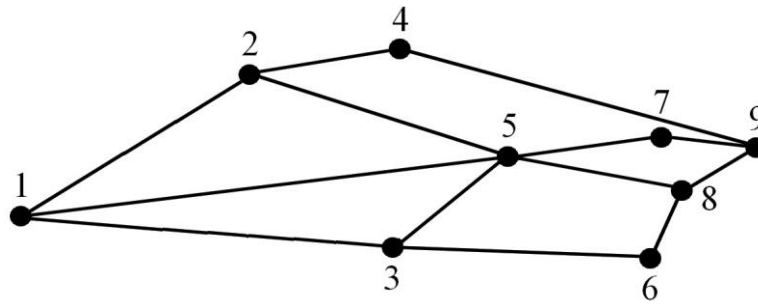


Рис. 3.1. Досліджуваний фрагмент транспортної мережі

Величини в матриці суміжності подано в кілометрах, але з поправочними коефіцієнтами, які враховують, завдяки вказаній геометричній моделі рельєфу місцевості будівництва, такі наявні особливості реальних доріг як їх ухили, траєкторії і т. д. Тому застосовані значення можуть відрізнятися від фізичних відстаней у більшу та меншу сторони. Це підвищує точність дефініції раціональних транспортних маршрутів.

Нехай відповідно до загальної формули (2.41) в нашому випадку кортеж пунктів призначення має вигляд

$$P_{\text{призн}} = (P_{\text{призн}_i})_1^{N_{P_{\text{призн}}}} = (P_{\text{призн}_i})_1^2 = (1, 9). \quad (3.3)$$

Вираз (3.3) означає, що відправлення автомобіля відбувається з вузла 1 мережі, а прибуття – до 9-го (див. рис. 3.1).

Тоді, за наведеною в пункті 2.5.2 дисертації процедурою, обчислюємо на підставі матриці суміжності (3.2) множини індексів вузлів транспортної мережі, починаючи з вершини 9, яка має нульовий індекс

$$I_9 = (0). \quad (3.4)$$

Далі формуємо кортежі

$$I_4=(15), I_7=(2), I_8=(3). \quad (3.5)$$

Як бачимо, значення (3.5) отримано додаванням до величини (3.4) належних відстаней із матриці суміжності (3.2).

За розглянутою процедурою одержуємо множини індексів наступних опрацьовуваних вершин

$$I_5=(6; 9), I_6=(6). \quad (3.6)$$

Потім

$$I_2=(14; 17; 20), I_3=(11; 14; 16). \quad (3.7)$$

Завершальним є кортеж індексів вершини 1, тобто пункту відправлення транспортної мережі,

$$I_1=(21; 23; 24; 24; 26; 27; 28; 30). \quad (3.8)$$

Об'єднуємо та упорядковуємо множини (3.4) ... (3.8) за зростанням номерів їх вузлів

$$\begin{aligned} I_1=(21; 23; 24; 24; 26; 27; 28; 30), I_2=(14; 17; 20), \\ I_3=(11; 14; 16), I_4=(15), I_5=(6; 9), \\ I_6=(6), I_7=(2), I_8=(3), I_9=(0). \end{aligned} \quad (3.9)$$

Аналіз кортежів (3.9) показує, що опрацьовувані довжини шляху між пунктами 1 та 9 належать проміжку від 21 до 30 км. Це свідчить, що для зменшення витрат різноманітних ресурсів при організації перевезень будівельних матеріалів необхідно обов'язково обирати раціональний маршрут.

За описаним у попередньому розділі дисертації алгоритмом на підставі кортежів (3.9) та матриці суміжності (3.2) одержуємо оптимальний маршрут між вершинами 1 та 9

$$1 \rightarrow 5 \rightarrow 7 \rightarrow 9. \quad (3.10)$$

Нагадаємо, див. пункт 2.5.2 дисертації, що після дефініції множин індексів оптимальні маршрути у транспортній мережі формуються рухом по тим ребрам графу, довжини яких відповідають різниці мінімальних значень індексів суміжних вершин.

Так для нашого випадку в початковій вершині 1 мінімальний індекс дорівнює 21, див. вираз (3.9). Суміжними з нею є вершини 2, 3 та 5, див. матрицю (3.2), з відповідними відстанями

$$l_{1,2} = 10 \text{ км}, l_{1,3} = 12 \text{ км}, l_{1,5} = 15 \text{ км}. \quad (3.11)$$

Оптимальним буде напрямок до вершини 5, оскільки

$$I_{1\min} - I_{5\min} = 21 \text{ км} - 6 \text{ км} = 15 \text{ км} = l_{1,5}. \quad (3.12)$$

Співвідношення (3.9) і (3.11) показують, що для вершин 2 і 3 умова типу (3.12) не виконується. А це значить, що напрямок руху до них із вершини 1 не є оптимальним. Отже, нами обґрунтовано раціональність переміщення 1→5 у маршруті (3.10).

Як видно з матриці суміжності (3.2), від вершини 5 можливими є шляхи до вершини 7 або 8 з довжинами

$$l_{5,7} = 4 \text{ км}, l_{5,8} = 6 \text{ км}. \quad (3.13)$$

Обрати правильний напрям й у цьому разі нам допомагають індекси (3.9). Оптимальним буде рух до вершини 7, оскільки

$$I_{5\min} - I_{7\min} = 6 \text{ км} - 2 \text{ км} = 4 \text{ км} = l_{5,7}. \quad (3.14)$$

Співвідношення (3.9) і (3.13) показують, що для вершини 8 умова типу (3.14) не виконується. Це значить, що напрям переміщення до неї з вершини 5 не оптимальний. Отже, нами обґрунтовано також раціональність ділянки 5→7 у маршруті (3.10).

Рух від вершини 7 до кінцевої 9 очевидний. Індекси цих вершин, див. множини (3.9), та довжина $l_{7,9} = 2 \text{ км}$ підтверджують проаналізований алгоритм переміщення.

Наочне зображення рис. 3.2 показує правильність застосованої обчислювальної процедури для визначення найкоротшого шляху (3.10) у досліджуваній транспортній мережі. На цьому рисунку в дужках наведено довжину шляху між вершиною 3 та 1.

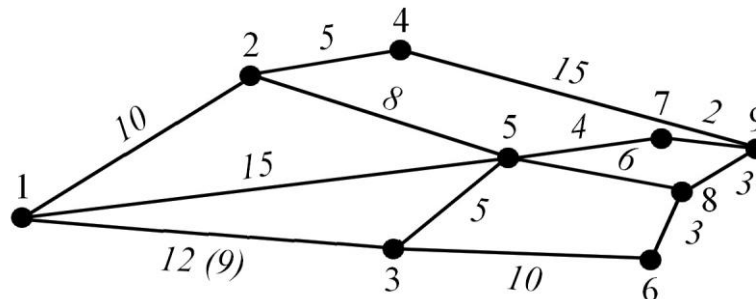


Рис. 3.2. Фрагмент транспортної мережі з відстанями між вузлами у км

Через те, що автомобіль повинен повернутися в початковий пункт призначення, то необхідно також знайти належну оптимальну траєкторію. Для симетричної матриці (3.2) мали б маршрут

$$9 \rightarrow 7 \rightarrow 5 \rightarrow 1. \quad (3.15)$$

У нашому випадку це не так, бо

$$l_{1,3} = 12 \text{ км}, \quad l_{3,1} = 9 \text{ км}. \quad (3.16)$$

Співвідношення (3.16) свідчать, що як уже вказувалось, під час моделювання беруться до уваги не просто геометричні відстані перевезення будівельних матеріалів та виробів, а й характер певних ділянок маршруту, зокрема, ухили доріг, їх траєкторії, інтенсивність руху транспорту в певному напрямі тощо.

Більш загальний випадок, що аналізується, обумовлює потребу розрахунку кортежів індексів, подібних до (3.9), але тепер в оберненому порядку. Для цього спочатку присвоюємо нульовий індекс вершині 1

$$I_1 = (0).$$

Далі, за розглянутою вище схемою, отримуємо кортежі індексів вершин транспортної мережі, що визначають найкоротший шлях від вузла 9 до пункту 1

$$\begin{aligned}
 I_1 &= (0), \quad I_2 = (10), \quad I_3 = (9), \quad I_4 = (15), \\
 I_5 &= (14; 15; 18), \quad I_6 = (19), \quad I_7 = (18; 19; 22), \\
 I_8 &= (20; 21; 22; 24), \quad I_9 = (20; 21; 23; 24; 24; 25; 27; 30). \quad (3.17)
 \end{aligned}$$

На основі множин (3.17) та матриці суміжності (3.2) за описаним вище алгоритмом обчислюємо оптимальний маршрут між вершинами 9 і 1

$$9 \rightarrow 7 \rightarrow 5 \rightarrow 3 \rightarrow 1. \quad (3.18)$$

Рис. 3.2 підтверджує правильність результату (3.18). Як бачимо, цей шлях коротший за відстань (3.15) на 1 км і становить 20 км.

На підставі виразів (3.3) ... (3.18) робимо висновок, що в заданих умовах для постачання будівельних матеріалів між вузлами 1 та 9 наявної транспортної мережі оптимальним кільцевим маршрутом буде наступна послідовність її вершин

$$1 \rightarrow 5 \rightarrow 7 \rightarrow 9 \rightarrow 7 \rightarrow 5 \rightarrow 3 \rightarrow 1. \quad (3.19)$$

Довжина шляху (3.19) становить

$$\begin{aligned}
 l_{1,5,7,9,7,5,3,1} &= l_{1,5} + l_{5,7} + l_{7,9} + l_{9,7} + l_{7,5} + l_{5,3} + l_{3,1} = \\
 &= 15 \text{ км} + 4 \text{ км} + 2 \text{ км} + 2 \text{ км} + 4 \text{ км} + 5 \text{ км} + 9 \text{ км} = 41 \text{ км}. \quad (3.20)
 \end{aligned}$$

З поданого вище алгоритму видно, що останній, за потреби, зручно адаптується до можливих змін наявної транспортної мережі, в тому числі й динамічних, тобто в часі. Наприклад, це може стосуватися виникнення заторів на дорогах, поганих погодних умов тощо. Тоді введенням належних поправочних коефіцієнтів для довжин ребер матриці (3.2) отримуємо новий оптимальний маршрут.

Для забезпечення відвідування необхідних пунктів призначення розглянуті процедури послідовно виконуються для цих вузлів. Так, якщо належить при русі з вершини 1 до 9 заїжджати до пункту 3, то найкращим буде маятниковий маршрут

$$1 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 7 \rightarrow 9 \rightarrow 7 \rightarrow 5 \rightarrow 3 \rightarrow 1. \quad (3.21)$$

Відстань (3.21)

$$l_{1,3,5,7,9,7,5,3,1} = l_{1,3} + l_{3,5} + l_{5,7} + l_{7,9} + l_{9,7} + l_{7,5} + l_{5,3} + l_{3,1} =$$

$$= 12 \text{ км} + 5 \text{ км} + 4 \text{ км} + 2 \text{ км} + 2 \text{ км} + 4 \text{ км} + 5 \text{ км} + 9 \text{ км} = 43 \text{ км}.$$

Таким чином, у даному підрозділі дисертації виконано практичну перевірку запропонованого способу оптимізації постачання будівельних матеріалів при фіксованій структурі транспортної мережі. Розроблено належний тестовий приклад, сформульовано рекомендації стосовно використання створених геометричних моделей у реальних умовах.

У будівельній галузі доцільним є застосування також й іншого напрацьованого способу пошуку найкоротших маршрутів завдяки прокладанню доріг або формуванню нових вузлів для існуючої транспортної системи. Це питання висвітлено більш докладно в наступній частині виконаного дослідження.

3.2. Визначення найкоротших маршрутів шляхом розташування додаткових доріг або вузлів транспортної мережі

У цьому підрозділі дисертації проаналізовано можливе поліпшення наявного транспортного сполучення спорудженням нових доріг та вузлів. Для забезпечення наочності запропонованого алгоритму ілюстрації до нього приведено на рис. 3.3, де, порівняно з двома попередніми зображеннями, показано додавання ребра 5–9 і вершин 10 та 11

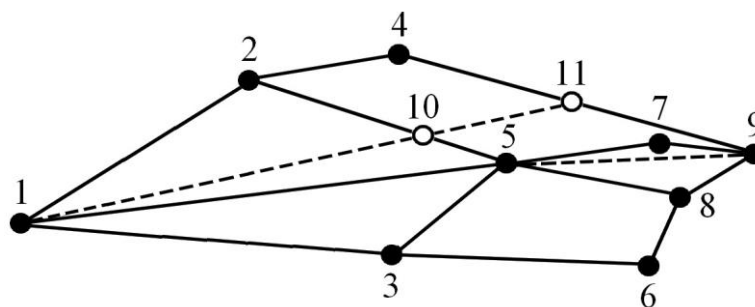


Рис. 3.3. Варіант модифікації транспортної мережі

Нехай маємо довжини

$$l_{5,9} = l_{9,5} = 5 \text{ км.} \quad (3.22)$$

Випадок (3.22) є очевидним для вдосконалення існуючого маршруту (3.19) на наступний

$$1 \rightarrow 5 \rightarrow 9 \rightarrow 5 \rightarrow 3 \rightarrow 1, \quad (3.23)$$

бо

$$l_{5,9} = 5 \text{ км} < l_{5,7} + l_{7,9} = 4 \text{ км} + 2 \text{ км} = 6 \text{ км.}$$

Це засвідчує також поява в кортежі індексів I_1 виразу (3.9) нового мінімального значення 20, а у множині I_9 формули (3.17) – величини 19.

Отже довжина шляху (3.23) становить 39 км. Викладена ситуація доволі наочна, підтверджує розроблений попередньо наведений алгоритм. У більш складних випадках транспортної мережі застосовуються відповідні комп'ютерні розрахунки.

Додавання нових вузлів 10 та 11, див. рис. 3.3, для яких, зокрема,

$$l_{1,10} = l_{10,1} = 10 \text{ км, } l_{10,11} = l_{11,10} = 2 \text{ км,}$$

$$l_{11,9} = l_{9,11} = 5 \text{ км,}$$

реалізує маршрут

$$1 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 9 \rightarrow 11 \rightarrow 10 \rightarrow 1 \quad (3.24)$$

довжиною

$$\begin{aligned} l_{1,10,11,9,11,10,1} &= l_{1,10} + l_{10,11} + l_{11,9} + l_{9,11} + l_{11,10} + l_{10,1} = \\ &= 10 \text{ км} + 2 \text{ км} + 5 \text{ км} + 5 \text{ км} + 2 \text{ км} + 10 \text{ км} = 34 \text{ км.} \end{aligned} \quad (3.25)$$

Рис. 3.2 та рис. 3.3, формули (3.19), (3.20) та (3.24), (3.25) показують, що введення до існуючої транспортної мережі нових якісних доріг та вузлів, за умов належного фінансового обґрунтування доцільності їх будівництва, дозволяє скорочувати витрати на перевезення вантажів.

Останнє зображення, порівняно з попереднім, складніше з точки зору проведення оптимізації транспортних маршрутів. Це обумовлено зростанням числа вершин та ребер графової моделі, що розглядається, й відповідно кількості можливих варіантів перевезень у ній. Без застосування ефективних математичних обчислювальних алгоритмів, їх якісної комп'ютерної реалізації розв'язувати подібні та більш громіздкі такі задачі достатньо важко.

Належним прикладом слугує шлях

$$1 \rightarrow 10 \rightarrow 5 \rightarrow 9 \rightarrow 5 \rightarrow 10 \rightarrow 1 \quad (3.26)$$

довжиною

$$\begin{aligned} l_{1,10,5,9,5,10,1} &= l_{1,10} + l_{10,5} + l_{5,9} + l_{9,5} + l_{5,10} + l_{10,1} = \\ &= 10 \text{ км} + 1 \text{ км} + 5 \text{ км} + 5 \text{ км} + 1 \text{ км} + 10 \text{ км} = 32 \text{ км}. \end{aligned} \quad (3.27)$$

Зменшення величин $l_{10,5}$ і $l_{5,10}$ до 1 км у залежностях (3.26) та (3.27) може бути пов'язане з виконаними ремонтними роботами на зазначеній ділянці транспортної мережі, що покращило, наприклад, якість дорожнього полотна, збільшило число смуг руху або їх ширину тощо і, як наслідок, підвищило дозволена максимальну швидкість перевезень.

У другому розділі дисертації при розгляді формування аналітичних параметричних моделей маршрутів було показано, що такі поліпшення транспортної системи з обчислювальних позицій еквівалентні відповідному зменшенню розрахункових довжин ланок даної графової моделі. Ці зміни кількісно беруться до уваги використанням належних поправочних коефіцієнтів.

Отже, в даному підрозділі дисертаційного дослідження проаналізовано застосування розробленого способу дефініції маршрутів мінімальної довжини завдяки прокладанню доріг або додаванню нових вузлів для наявної транспортної мережі, тобто шляхом модифікації її структури. Наведено необхідні практичні рекомендації.

Таким чином, подані вище два запропоновані способи оптимізації постачання будівельних матеріалів взаємно доповнюють один одного. Їх проектні варіанти маршрутів і мереж можуть бути комплексно оцінені за допомогою структурно-параметричної моделі вигляду рис.2.16, але це вже одне з питань наступної частини дисертації.

3.3. Комплексне моделювання оптимального постачання будівельних матеріалів

Дана частина роботи є певним підсумком результатів, отриманих у проведеному дослідженні, оскільки четвертий розділ дисертації присвячено перспективам їх подальшого розвитку.

Об'єктивно оцінити одержані здобутки можна порівнянням сформульованих на початку праці задач та запропонованих далі їх розв'язків. Для забезпечення цілісного сприйняття такої інформації доречно коротко нагадати, що засвідчив аналіз літературних джерел за обраною темою наукових розвідок.

Було показано, що постачання на будівельний майданчик матеріалів і виробів із точки зору оптимізації даного процесу становить складну прикладну організаційно-технічну проблему. Це обумовлено великими обсягами та номенклатурою вантажів, які перевозяться, територіально розгалуженими місцями розташування складів для їх зберігання, певними вимогами стосовно термінів доставляння і т. д.

На практиці окреслені питання вирішуються комплексно, тобто одночасно опрацьовуються необхідні обсяги, номенклатура вантажів і місць їх постачання або вивезення, формується належний для цього склад транспорту, визначаються маршрути та графіки його руху і т. д. Зрозуміло, що без застосування відповідних математичних моделей оптимально та продуктивно розв'язувати такі задачі в загальному випадку доволі важко, а то й зовсім неможливо.

На жаль, у літературних джерелах до цього, як правило, підходять не з діалектичних, тобто взаємопов'язаних, а метафізичних, іншими словами відокремлених, позицій. На думку автора останнє пов'язано із суттєвим спрощенням, унаслідок ідеалізації існуючих обставин, постановки вирішуваних питань. Але тоді розроблені моделі не зовсім адекватні реальним відтворюваним процесам, що значно обмежує ефективність їх практичного використання.

Мається на увазі, наприклад, що при розв'язанні існуючими засобами математичного програмування задач дефініції оптимального складу автомобілів для постачання належних обсягів вантажів за певними необхідними напрямками, див. підрозділ 1.2, не враховується ймовірність виходу з ладу деякого автомобіля і вплив цього факту на отриманий оптимальний розв'язок тощо. Також не береться до уваги транспортна мережа, яка забезпечує зазначені перевезення. Пошук найкоротших шляхів на ній здійснюється математичною постановкою зовсім іншої, відокремленої від попередньо описаної, задачі. Останнє питання, доволі часто, теж вирішується ідеалізовано, без опрацювання таких реальних важливих змінюваних у часі та ймовірних факторів як погодні умови, виникнення на дорогах заторів і т. д. Не береться до уваги при цьому також характер рельєфу місцевості пролягання транспортної мережі.

Як свідчить викладений матеріал другого та третього розділів дисертації, наведені проблемні питання певним чином вирішені в даному науковому дослідженні шляхом розроблення нових належних геометричних засобів, які на засадах застосування структурно-параметричного підходу здатні бути об'єднуючою основою для багатьох інших математичних моделей.

При цьому було виконано такі поставлені завдання як:

– проведення системного аналізу процесів постачання будівельних матеріалів та визначення необхідності застосування методів геометричного моделювання для їх оптимізації;

– розроблення загальної оптимізаційної геометричної моделі процесу постачання будівельних матеріалів на основі синтезу графоаналітичного представлення транспортної мережі та технології структурно-параметричного моделювання;

– розроблення геометричного евристичного способу оптимізації маршрутів на базі оцінок ймовірних швидкостей переміщення між вузлами транспортної мережі та алгоритму його реалізації;

– розроблення геометричних способів оптимізації маршрутів на основі методу потенціалів для фіксованої структури транспортної мережі та за необхідності її модифікації;

– виконання числових тестових розрахунків, які підтверджують коректність та достовірність розроблених геометричних інструментів;

– впровадження одержаних результатів у практику та визначення перспектив подальшого розвитку виконаної наукової праці.

Таким чином, у даному підрозділі дисертації обґрунтовано, що процеси постачання будівельних матеріалів і виробів потребують застосування комплексного підходу при розроблянні відповідних математичних моделей для успішного їх використання на практиці та проведення належної оптимізації.

Висновки до розділу 3

1. *Виконано* числові тестові розрахунки для запропонованих способів та алгоритмів геометричного моделювання постачання будівельних матеріалів, зокрема, при проходженні через необхідні пункти при русі до місця призначення в умовах фіксованої структури транспортної мережі та визначення найкоротших маршрутів раціональним розташуванням додаткових її нових доріг або вузлів. Дані обчислення підтвердили коректність та достовірність розроблених геометричних засобів моделювання.

2. *Сформульовано* рекомендації щодо застосування на практиці напрацьованих способів, алгоритмів, прийомів, моделей та методик, які

полягають у ретельному врахуванні при математичному відтворенні транспортних мереж постачання будівельних матеріалів і виробів таких реальних змінюваних у часі та ймовірних факторів як характер рельєфу місцевості, наявні погодні умови, виникнення на дорогах нештатних ситуацій і т. д. Це підвищує точність моделювання, покращує отримані практичні результати..

3. *Показано* необхідність широкого використання комплексного підходу при опрацюванні питань постачання будівельних матеріалів та виробів для забезпечення належної його якості. Зазначено про пристосованість розроблених у дисертації геометричних моделей для оптимізації не тільки відстаней відтворюваних маршрутів, а й інших характеристик існуючої транспортної мережі, наприклад, тривалості, вартості, надійності перевезень тощо. Вказані факти сприяють упровадженню на практиці запропонованих засобів.

4. *Обґрунтовано* потребу інтеграції різноманітних математичних моделей, які описують процеси постачання будівельних матеріалів та виробів, зокрема, математичного програмування щодо розрахунку оптимального складу автомобілів для перевезень належних обсягів вантажів за певними напрямками, дефініції відповідного раціонального розкладу їх руху, визначення найкоротших маршрутів у транспортних мережах і т. д. Це забезпечує отримання комплексного оптимального розв'язку складної опрацьовуваної задачі.

5. *Впроваджено* отримані наукові результати при вдосконаленні процесів геометричного моделювання постачання будівельних матеріалів, використанні в ТОВ "Градобуд-К" (м. Київ) при організації та виконанні будівельних робіт, у Науково-освітньому центрі проектування будівель із близьким до нульового енергоспоживання Київського національного університету будівництва і архітектури при здійсненні наукових досліджень, у навчальному процесі кафедри організації та управління будівництвом Київського національного університету будівництва і архітектури, що засвідчило практичну цінність дисертаційних досліджень.

Публікації автора з розглянутих питань: [69, 70, 71, 73, 74, 77].

Список публікацій здобувача за матеріалами розділу 3

1. Магалов А.М. Моделювання транспортних маршрутів постачання будівельних матеріалів при спорудженні об'єктів будівництва. *Робоча програма та тези доповідей Восьмої міжнародної науково-практичної конференції «Інтегровані енергоефективні технології в архітектурі та будівництві «Енергоінтеграція-2018»*. Київ, 2018. С. 76–77.

2. Магалов А., Плоский В., Скочко В. Деякі аспекти геометричного моделювання оптимальних маршрутів постачання будівельних матеріалів. *International scientific-practical conference of young scientists "Build-Master-Class-2018". Conference Proceedings*. Київ, 2018. С. 118–119.

Особистий внесок здобувача: розроблено геометричну модель та алгоритм визначення оптимальних маршрутів постачання будівельних матеріалів.

3. Магалов А.М. Застосування структурно-параметричного підходу для геометричного моделювання маршрутів постачання будівельних матеріалів при новому будівництві. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. Київ, 2020. Вип. 14. Р. 7–14. (Журнал входить до наукометричних баз Google Scholar, Worldcat, BASE).

4. Магалов А. Алгоритм дискретного моделювання оптимальних маршрутів транспортування будівельних матеріалів. *Тези доповідей 21 міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні проблеми геометричного моделювання»*. Мелітополь, 2019. С. 19.

5. Магалов А.М., Міщенко О.Г., Плоский В.О., Скочко В.І. Геометричне моделювання дискретно представлених поверхонь для визначення оптимальних траєкторій транспортних сполучень. *Сучасні проблеми моделювання*. Мелітополь, 2020. Вип. 17. С. 54–65. (Збірник входить до наукометричної бази Google Scholar).

Особистий внесок здобувача: для підвищення ефективності обчислювальних операцій запропоновано зберігати в моделях інформацію про висоти точок у форматі векторів із послідовною індексацією вузлів.

6. Магалов А.М., Міщенко О.Г. Аналіз параметрів обмежень трасування доріг при територіальному проектуванні. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. Київ, 2020. Вип. 58. С. 283–290.

Особистий внесок здобувача: запропоновано систематизувати обмежувальні геометричні параметри при трасуванні доріг.

РОЗДІЛ 4

ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ ВИКОНАНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Даний розділ є завершальним у проведеному науковому дослідженні. Подані далі відомості спираються на попередньо викладений матеріал. Це стосується інформації, починаючи від здійсненого системного аналізу нинішніх процесів постачання будівельних матеріалів та виробів й аж до зроблених рекомендацій стосовно практичного використання напрацьованих теоретичних положень, запропонованих способів, алгоритмів, прийомів, моделей та методик оптимізації зазначених процесів.

При цьому акцентовано існуючі проблемні питання, їх можливі шляхи вирішення, отримані в окресленому плані результати автора, нерозв'язані задачі, загальні перспективи подальших наукових розвідок у сфері, що аналізується. Такий підхід забезпечує цілісне та об'єктивне сприйняття інформації, яка подається далі..

До свого складу ця частина дисертації включає два підрозділи. Перший присвячено багатоаспектному опрацюванню вирішуваних питань оптимізації постачання будівельних матеріалів, а другий висвітлює деякі напрямки поширення на практиці запропонованого математичного апарату. Тобто в першому підрозділі наведено основні перспективи подальшого вдосконалення відповідних геометричних засобів, а у другому – їх безпосереднього впровадження, зокрема, на виробництві, в середовище сучасних ВІМ-технологій, архітектурно-будівельні САПР, навчальний процес університетів і т. д.

4.1. Багатоаспектне опрацювання розв'язуваних задач

Виконаний аналіз літератури, на який спирається все проведене наукове дослідження, показав, що процеси постачання будівельних матеріалів і виробів доволі складні та відповідальні. Це пов'язано з великими обсягами та

номенклатурою вантажів, які перевозяться, широкою розгалуженістю використовуваних транспортних мереж, специфічними вимогами доставляння продукції стосовно термінів її придатності, безпеки перевезень, відповідності організації та технології будівельного виробництва і т. д.

Вагома також економічна сторона даного питання, бо досліджувані процеси характеризуються достатньо суттєвими витратами багатьох ресурсів, фінансових, матеріальних, людських, часу тощо. Питання потреби їх зменшення доволі очевидні та актуальні. Окреслені задачі в загальній своїй постановці успішно можуть бути розв'язані лише на основі застосування належних математичних моделей та відповідних комп'ютерних засобів.

Слід зауважити, що вирішення зазначених питань становить предмет досліджень багатьох науко-прикладних дисциплін. Це стосується будівельних матеріалів та виробів, конструкцій і споруд; технології, організації та управління будівництвом; геодезії, землеустрою та територіального планування; економіки архітектурно-будівельної галузі; виконання перевезень; логістики; автомобільного, залізничного, водного та, навіть, авіаційного транспорту; матеріально-технічного забезпечення; системного аналізу; теорії оптимального управління; обчислювальної математики; комп'ютерних інформаційних технологій, топології і т. д.

Не осторонь наведених дисциплін стоїть і така універсальна наукова спеціальність як прикладна геометрія. Про її провідну роль в окреслених питаннях оптимізації процесів постачання будівельних матеріалів і виробів з точки зору поєднання та узгодження досить часто достатньо суперечливих вимог інших дисциплін слугують подані в попередній частині дисертації розлогі відомості.

Наприклад, із позицій економіки завжди треба прагнути зменшувати всілякі витрати. Але, на заваді цьому можуть стати вимоги технології будівельного виробництва стосовно належної швидкості та якості доставляння певних матеріалів, зокрема, таких як різноманітні будівельні розчини,

асфальтобетони тощо. У першому випадку під час перевезень необхідно застосовувати перемішування цементних і вапняних розчинів, а у другому – підтримувати потрібний температурний режим вантажу. Зрозуміло, що це потребує спеціального автомобільного транспорту та додаткових витрат енергетичних ресурсів. Правильне обрання маршрутів за допомогою належних геометричних способів оптимізації переміщень рухомого складу забезпечує поліпшення описаної ситуації за рахунок зменшення тривалості перевезень або їх відстаней.

Оскільки предметом даного наукового дослідження є геометричні оптимізаційні моделі маршрутів постачання матеріалів при новому будівництві, то цю задачу в дисертації було опрацьовано, принаймні в постановочному плані з позицій узагальнення, на детальному рівні. Про це свідчить підрозділ 3.3, де наведено підсумки отриманих результатів.

Останні полягають у тому, що на засадах структурно-параметричної методології виконано інтеграцію аналітичних описів маршрутів і транспортних мережевих графових моделей за допомогою розроблених способів й алгоритмів дефініції шляхів мінімальної довжини.

Так, зокрема, на підставі формул (3.1) та (3.2) в підрозділі 3.1 отримано кортежі індексів

$$I = (I_i)_1^{N_{P_{мереж}}}. \quad (4.1)$$

Загальному вигляду (4.1) відповідає конкретний випадок (3.9).

Далі, з використанням вказаних алгоритмів, визначено оптимальний маршрут як множину

$$P_{марш_{онт}} = (P_{марш_{онтi}})_1^{N_{P_{марш_{онт}}}}, \quad (4.2)$$

де $P_{марш_{онтi}}$ – пункти транспортної мережі.

Практичною ілюстрацією для кортежу (4.2) є вираз (3.10), в якому

$$\begin{aligned} N_{P_{марш_{онт}}} &= 4, \quad P_{марш_{онт1}} = 1, \quad P_{марш_{онт2}} = 5, \\ P_{марш_{онт3}} &= 7, \quad P_{марш_{онт4}} = 9. \end{aligned}$$

Довжина оптимального маршруту обчислюється як сума

$$l_{\text{маршопт}} = \sum_{i=1}^{N_{P_{\text{маршопт}}}} l_{P_{\text{маршопт}_i}, P_{\text{маршопт}_{i+1}}}, \quad (4.3)$$

де $l_{P_{\text{маршопт}_i}, P_{\text{маршопт}_{i+1}}}$ – значення належного елемента матриці суміжності вигляду (2.42).

Прикладом розрахунку за формулою (4.3) у випадку, що розглядається, слугує

$$\begin{aligned} l_{1,5,7,9} &= l_{1,5} + l_{5,7} + l_{7,9} = \\ &= 15 \text{ км} + 4 \text{ км} + 2 \text{ км} = 21 \text{ км}, \end{aligned} \quad (4.4)$$

де матриця суміжності визначається співвідношенням (3.2).

Як бачимо величина (4.4) відповідає мінімальному індексу в кортежі I_1 виразу (3.9).

Стосовно того, що елементи матриць (2.42) і (3.2) становлять результат обчислень параметричних моделей, створенню та аналізу яких для транспортних маршрутів присвячено пункт 2.4.2 дисертації, акценти вже здійснювались.

Важливість даного моменту полягає в тому, що таким чином в аспекті бажаної багатогранності опрацювання забезпечується реалістичність, тобто адекватність математичного опису транспортної мережі наявним її фізичним, економічним та іншим властивостям. Це стосується різноманітних ймовірнісних і динамічних факторів, таких як можливість виникнення заторів на дорогах, наявні погодні умови, час доби та пора року перевезень, максимальні швидкості руху тощо.

З метою реалізації ще більшої точності розрахунків параметричні моделі взаємодіють із геометричним представленням рельєфу місцевості у вигляді аналітичних описів типу (2.2) ... (2.6), що дозволяє для ділянок проєктованих маршрутів брати до уваги такі чинники як ухили доріг, їх реальні траєкторії і т. д.

Отже, за допомогою наведеної вище інтегрованої методики розроблено узагальнену оптимізаційну геометричну модель процесів постачання будівельних матеріалів на основі синтезу графоаналітичного представлення транспортної мережі та технології структурно-параметричного моделювання.

Але це стосується, як зазначалось, предмета дисертаційних досліджень, який становлять геометричні оптимізаційні моделі транспортних маршрутів доставляння матеріалів при новому будівництві. Об'єктом же даних наукових розвідок є більш широка тематика у вигляді оптимізації процесів постачання матеріалів на будівельне виробництво. Зокрема, остання до свого складу включає задачі раціонального розподілу вантажів між різними типами обмеженого числа автомобілів з їх закріпленням за певними пунктами призначення за умови реалізації необхідних обсягів перевезень при мінімальній їх загальній вартості, див. підрозділ 1.2, і тому подібні. Для їх розв'язування застосовуються методи лінійного, нелінійного та динамічного математичного програмування. В останньому випадку це стосується питань багатоетапного пошуку найкращих рішень, оптимального управління тощо.

Тому одним із перспективних напрямків подальших досліджень для отриманих у дисертаційній праці результатів слугує поєднання розроблених комплексних оптимізаційних геометричних моделей транспортних мереж із методами математичного програмування щодо розв'язування задач удосконалення процесів постачання продукції на будівельне виробництво.

Наведена стратегія буде неповною без взяття до уваги здобутків таких дисциплін як технологія, організація та управління будівництвом; землеустрій і територіальне планування; економіка будівельної галузі; логістика; транспортні перевезення; матеріально-технічне забезпечення; системний аналіз; оптимальне управління; комп'ютерні інформаційні технології т. д. При цьому відбувається взаємозбагачення зазначених дисциплін, удосконалення їх математичного апарату у вигляді використовуваних методів, способів, прийомів, моделей та методик проектування.

Методологічною основою для цього слугує теорія структурно-параметричного формоутворення технічних об'єктів, яку певним чином, завдяки проведеному науковому дослідженню, адаптовано до потреб будівельної галузі, зокрема, щодо оптимізації транспортних маршрутів постачання матеріалів і виробів. Цьому сприяє її універсальний характер, пристосованість до застосування в сучасних САПР і середовищі BIM-технологій.

За своєю суттю зазначений підхід дуже схожий до ідеології світової мережі Інтернет, що здатна ефективно поєднувати в одне органічне ціле різноманітні комп'ютерні засоби та ресурси. Так і методологія структурно-параметричного моделювання спроможна продуктивно інтегрувати математичні описи багатьох дисциплін щодо опрацьовуваних ними об'єктів і процесів, у даному випадку постачання матеріалів на будівельне виробництво.

Проаналізовані вище питання варто розглядати з урахуванням усього життєвого циклу модельованих споруд. Мається на увазі, що прокладання доріг при будівництві повинно брати до уваги не лише наявну ситуацію, а й перспективи її розвитку в майбутньому. Так доцільно нові дороги створювати не тільки як тимчасові для технологічних потреб, а як постійні з метою подальшого використання. Це суттєво підвищує економічну ефективність проектів, бо тимчасовий шлях необхідно демонтувати, що пов'язано з немалими витратами.

Звернемо увагу на ще один важливий момент із точки зору всебічного опрацювання транспортних мереж при постачанні матеріалів і виробів для нового будівництва. Із викладених вище відомостей може скластися хибне уявлення про те, що в нашому житті провідними є лише економічні питання, оскільки в якості цільових функцій оптимізації в дисертації були наведені саме такі приклади. Але це не так. При прокладанні доріг обов'язково треба брати до уваги питання екології, культурної спадщини держави, соціальні аспекти і т. д.

Так у гонитві за фінансовою ефективністю ймовірно назавжди втратити унікальні природні середовища, історичні пам'ятки, нанести шкоду місцям проживання людей і т. д., що є доволі важливими факторами. Проте, вказані нюанси виходять за рамки обраної наукової теми та можуть становити предмет інших досліджень.

Таким чином, у даному підрозділі висвітлено багатоаспектний характер опрацювання транспортного постачання матеріалів на будівельне виробництво. Було акцентовано отримані в цьому плані нові науково-прикладні результати та окреслено основні перспективи їх теоретичного вдосконалення.

4.2. Поширення запропонованого підходу на практиці

Створення певних теорій, методів, способів, алгоритмів та моделей не є самоціллю. Важливий критерій їх цінності полягає в ефективності подальшого застосування на практиці. Тому впровадження отриманих результатів у виробництво, навчальний процес університетів тощо становить актуальне прикладне завдання.

Цьому сприяє універсальний характер структурно-параметричного підходу до моделювання, який використано в якості об'єднуючої основи для багатьох дисциплін, дотичних до опрацювання оптимізації процесів постачання будівельних матеріалів, а також описані рекомендації стосовно практичного застосування розроблених способів, прийомів та алгоритмів проектування.

Мета цих рекомендацій полягає в забезпеченні потрібної відповідності між розроблюваними математичними моделями перевезень вантажів і належними реальними обставинами. Це стосується оперативного врахування різноманітних факторів, наприклад, часу доби постачання матеріалів, наявної погоди, ймовірності виникнення на дорогах заторів та інших нештатних ситуацій тощо. Зазначені аспекти сприяють підвищенню точності виконуваних обчислень.

Цінна з точки зору практики можливість продуктивного врахування багатьох критеріїв оптимізації, таких як відстані перевезень, їх тривалість, собівартість, надійність і т. д., оскільки в реальних умовах виробництва конкретна мета здатна динамічно змінюватися. Так для доставляння вантажів, які швидко втрачають свої технологічні властивості, важливою буде тривалість перевезень, а для інших – вартість, надійність тощо. Створені в дисертаційному дослідженні СПГМ транспортних маршрутів дозволяють доволі зручно це виконувати.

Останнє стосується й формування комплексних або інтегральних критеріїв оптимізації, які є збалансованим поєднанням кількох більш простих. Зокрема, збільшення швидкості доставляння матеріалів здатне призводити, в загальному випадку, як до зменшення, так і зростання вартості їх транспортування. У першому разі це може бути пов'язано зі скороченням часу перебування автомобілів у заторах, якісним дорожнім покриттям, гарними погодними умовами і т. д., а у другому – з підвищеними витратами палива, ресурсу рухомого складу тощо.

Гнучкість запропонованих математичних моделей дозволяє компромісно опрацьовувати такі та інші подібні ситуації застосування належних поправочних коефіцієнтів важливості, див. пункт 2.4.2 дисертації, вкладу кожної складової, у проаналізованому прикладі швидкості перевезень і вартості постачання матеріалів, до інтегрального критерію оптимізації.

Перспективним ефективним напрямком щодо практичного впровадження є надання розглянутим математичним моделям інформаційної підтримки у вигляді передачі необхідних оперативних даних про наявні погодні умови, обставини на дорогах стосовно заторів, поточну вартість пального і т. д. із мережі Інтернет. Це зробить зазначені моделі продуктивним засобом оптимального керування транспортною системою в режимі реального часу.

Проаналізовані вище аспекти суттєвим чином сприяють розширенню сфери практичного впровадження запропонованих теоретичних положень, розроблених способів, прийомів, алгоритмів, методик та геометричних моделей для проведення оптимізації транспортних процесів постачання будівельних матеріалів, але, при цьому не охоплюють усі можливі перспективні напрямки.

Одним із таких є впровадження напрацьованого математичного апарату до таких сучасних архітектурно-будівельних САПР як Allplan, ArchiCAD, Revit та інших. У даних комп'ютерних пакетах на доволі високому рівні розроблено задачі проектування різноманітних споруд в аспекті формування архітектурно-планувальних рішень, створення будівельних конструкцій, розрахунків їх на міцність, компонування інженерних систем тощо. Але питання моделювання технології будівельного виробництва з відповідною оптимізацією його організації, якщо порівнювати, наприклад із машинобудівною галуззю, опрацьовані ще недостатньо. Так, зокрема, нинішнім BIM-технологіям стосовно динамічного, тобто в часі, відтворення технологічних процесів ще доволі далеко до машинобудівних CAM (Computer Computer-aided manufacturing) систем.

Взірцем може слугувати система моделювання виробничих процесів DELMIA французької компанії Dassault Systemes. Цей комп'ютерний програмний продукт є складовою комплексного автоматизованого рішення для керування всім життєвим циклом промислової продукції. Популярними є пакети програмування роботизованих дільниць, автоматизованих технологічних ліній, проведення ергономічного аналізу робочих місць із використанням анімованих комп'ютерних манекенів, оптимізації планування та технологічної маршрутизації виробничих процесів і т. д. Зрозуміло, що нинішньому реальному будівельному майданчику важко досягти рівня роботизованої промислової дільниці або автоматизованої виробничої лінії машинобудування, але прагнути до цього треба.

Певним скромним кроком в окресленому напрямку є результати й даного наукового дослідження, особливо якщо це стосується перспектив їх подальшого розвитку.

Так, дійсно, транспортування будівельних матеріалів та виробів є невід'ємною частиною технологічного процесу зведення деякої споруди. Наведений математичний апарат, завдяки належним описаним вище гнучким засобам, зданий доволі продуктивно адаптуватися до різноманітних комп'ютерних інформаційних систем, в тому числі й архітектурно-будівельних САПР та BIM-продуктів.

Як свідчать викладені вище відомості, незважаючи на свою будівельну спеціалізацію, напрацьована теоретична концепція, розроблені способи, прийоми, алгоритми, методики та моделі, за рідким виключенням, доволі універсальні.

Це значить, що з певними доопрацюваннями їх можна застосовувати також для здійснення оптимізації процесів постачання будівельних матеріалів і виробів не тільки автомобільним, а й залізничним, водним та повітряним транспортом. Хоч треба зауважити, що зазначені випадки на так розповсюджені на практиці як використання автомобільного рухомого складу.

При цьому необхідно брати до уваги особливості вказаних перевезень. Даний шлях, за рахунок постановки нових задач та запропонованих їх розв'язків, спроможний додатково покращити напрацьований у даному дисертаційному дослідженні математичний апарат геометричного моделювання оптимальних маршрутів транспортних мереж. Викладені аргументи додатково підтверджують актуальність виконаних наукових розвідок та існування їх подальших перспектив.

Для останніх придатні також інші, ніж будівельна, галузі народного господарства. Цей факт обумовлений наявністю як спільної мети оптимізації, що полягає у зменшенні витрат на постачання продукції, підвищенні якості цих процесів тощо, так і деяких характерних при цьому особливостей.

Такими прикладами слугують, зокрема, існуючі вимоги стосовно доволі жорстких термінів доставляння певної продукції. У будівництві це були технологічні розчини, а у харчовій промисловості це продукти. Не виключення становить, навіть, медицина. Таким свідченням є постачання вакцини від COVID-19 в умовах світової пандемії.

Останній факт із практики подає логістичну задачу оптимізації маршрутів при застосуванні кількох видів транспорту. У загальному випадку це може бути комбінація з авіаційних, залізничних, автомобільних та, що мало ймовірно через відносно низьку швидкість переміщення, водних перевезень.

Для описаного доставляння вакцини теж характерна вимога дотримання температурного режиму. Але, на відміну від асфальтобетона, належить працювати не з високими, а низькими температурами. Звісно, що і як у попередньому разі, виникає потреба у спеціалізованому обладнанні, що суттєво збільшує вартість транспортування такої продукції.

Отже бачимо, що розроблені в дисертації теоретичні положення, способи, прийоми, алгоритми, моделі та методика можуть бути поширені й на інші, ніж будівельна, галузі промисловості. Але це може вимагати проведення додаткових наукових розвідок.

Результати дійсних досліджень впроваджено в ТОВ "Градобуд-К" (м. Київ) при організації та проведенні технологічних робіт, у Науково-освітньому центрі проектування будівель із близьким до нульового енергоспоживання Київського національного університету будівництва і архітектури при здійсненні наукових досліджень, у навчальний процес кафедри організації та управління будівництвом Київського національного університету будівництва і архітектури, що засвідчило їх прикладну значущість.

Таким чином, ще одним напрямком поширення на практиці запропонованого підходу є його впровадження в освітній процес університетських спеціальностей відповідного профілю підготовки.

Як завершальний підсумок останніх двох підрозділів дисертації варто зазначити наступне.

У проведеному науковому дослідженні здійснено системний аналіз постачання будівельних матеріалів та визначено важливу роль для його вдосконалення геометричних засобів. На засадах цього розроблено загальну оптимізаційну модель процесу постачання будівельних матеріалів шляхом синтезу графоаналітичного представлення транспортної мережі та технології структурно-параметричного підходу. Напрацьовано належні способи, прийоми, алгоритми та методики моделювання, перевірено їх на практиці, підтверджено впровадженнями на виробництві та в навчальний процес університету.

Визначено перспективи подальшого розвитку отриманих наукових результатів, які полягають у вдосконаленні теоретичних положень, подальшому покращенні способів та алгоритмів моделювання, поглибленій адаптації геометричного інструментарію до потреб будівельної галузі, більш тісній його інтеграції з такими спеціалізованими дисциплінами як технологія, організація та управління будівництвом, економіка, логістика, транспортні перевезення, матеріально-технічне забезпечення, системний аналіз і т. д. У практичному плані актуальним є впровадження розробленого математичного апарату в середовище сучасних BIM-технологій, а також поширення даного підходу в інших, ніж будівельна, галузях промисловості.

Висновки до розділу 4

1. *Встановлено*, що перспективи розвитку запропонованих концептуальних положень, розроблених способів, прийомів, алгоритмів, моделей і методик оптимізації процесів постачання будівельних матеріалів полягають, зокрема, в багатогранному опрацюванні зазначених питань та розширенні сфери практичного впровадження отриманих наукових результатів. Це забезпечить подальше вдосконалення теорії геометричного моделювання, а у прикладному плані – поліпшення ефективності будівельного виробництва.

2. *Показано* провідну роль у процесах оптимізації постачання будівельних матеріалів геометричних засобів моделювання, створених на засадах широкого застосування структурно-параметричної методології проектування. Даний підхід дозволяє ефективно поєднувати та узгоджувати поміж собою доволі часто суперечливі вимоги різних дисциплін, дотичних до зазначених процесів.

3. *Обґрунтовано* необхідність інтеграції створених у даному дисертаційному дослідженні оптимізаційних комплексних геометричних моделей транспортних мереж із методами математичного програмування. Це сприятиме подальшому вдосконаленню розв'язування задач оптимізації процесів постачання матеріалів на будівельне виробництво.

4. *Показано* потребу взяття до уваги при вирішенні питань оптимізації доставляння продукції належних напрацювань таких дисциплін як технологія, організація та управління будівництвом; землеустрій і територіальне планування; економіка будівельної галузі; логістика; транспортні перевезення; матеріально-технічне забезпечення; системний аналіз; оптимальне управління; комп'ютерні інформаційні технології т. д. Акцентований підхід обумовлює взаємозбагачення зазначених дисциплін, удосконалення їх математичного апарату у вигляді використовуваних методів, способів, прийомів, моделей та методик проектування.

5. *Обґрунтовано* пристосованість запропонованого математичного апарату до реалізації програмними комп'ютерними засобами в сучасних архітектурно-будівельних САПР та середовищі нинішніх BIM-технологій. Це забезпечує додаткові важелі для розширення впровадження результатів виконаного дисертаційного дослідження у проектну та виробничу практику, в навчальний процес університетів при фаховій підготовці відповідних спеціалістів і т. д.

6. *Встановлено*, що проаналізовані вище питання варто обов'язково розглядати з урахуванням усього життєвого циклу архітектурно-будівельних

споруд, що дає змогу оцінювати ефективність прийнятих оптимальних рішень із найбільш загальних системних позицій.

Публікації автора з розглянутих питань: [69, 70, 71, 74, 77].

Список публікацій здобувача за матеріалами розділу 4

1. Магалов А.М. Моделювання транспортних маршрутів постачання будівельних матеріалів при спорудженні об'єктів будівництва. *Робоча програма та тези доповідей Восьмої міжнародної науково-практичної конференції «Інтегровані енергоефективні технології в архітектурі та будівництві «Енергоінтеграція-2018»*. Київ, 2018. С. 76–77.

2. Магалов А., Плоский В., Скочко В. Деякі аспекти геометричного моделювання оптимальних маршрутів постачання будівельних матеріалів. *International scientific-practical conference of young scientists "Build-Master-Class-2018". Conference Proceedings*. Київ, 2018. С. 118–119.

Особистий внесок здобувача: *розроблено геометричну модель та алгоритм визначення оптимальних маршрутів постачання будівельних матеріалів.*

3. Магалов А.М. Застосування структурно-параметричного підходу для геометричного моделювання маршрутів постачання будівельних матеріалів при новому будівництві. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. Київ, 2020. Вип. 14. Р. 7–14. (Журнал входить до наукометричних баз Google Scholar, Worldcat, BASE).

4. Магалов А.М., Міщенко О.Г., Плоский В.О., Скочко В.І. Геометричне моделювання дискретно представлених поверхонь для визначення оптимальних траєкторій транспортних сполучень. *Сучасні проблеми моделювання*. Мелітополь, 2020. Вип. 17. С. 54–65. (Збірник входить до наукометричної бази Google Scholar).

Особистий внесок здобувача: *для підвищення ефективності обчислювальних операцій запропоновано зберігати в моделях інформацію про висоти точок у форматі векторів із послідовною індексацією вузлів.*

5. Магалов А.М., Міщенко О.Г. Аналіз параметрів обмежень трасування доріг при територіальному проектуванні. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. Київ, 2020. Вип. 58. С. 283–290.

Особистий внесок здобувача: запропоновано систематизувати обмежувальні геометричні параметри при трасуванні доріг.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Метою даного дисертаційного дослідження є подальше вдосконалення геометричних моделей постачання матеріалів і виробів в умовах нового будівництва.

Значення для науки полягає у створених нових геометричних способах оптимізації маршрутів перевезень на основі оцінок ймовірних швидкостей переміщення, забезпечення проходження через необхідні пункти на шляху до місця призначення та дефініції раціонального розташування додаткових доріг або вузлів транспортної мережі.

Значення для практики становлять нові геометричні моделі, запропоновані методики та рекомендації, що сприяють підвищенню ефективності нового будівництва за рахунок зменшення витрат трудових, фінансових і матеріальних ресурсів.

Отримано результати, які мають науково-практичну цінність:

1. Виконано системний аналіз сучасного стану задач моделювання постачання будівельних матеріалів і виробів. Показано, що геометричні засоби суттєво сприяють оптимізації зазначених процесів в умовах нового будівництва. На основі цього визначено належні завдання дисертаційного дослідження.

2. Розроблено базові теоретичні положення, що полягають у створенні загальної оптимізаційної геометричної моделі процесу постачання будівельних матеріалів на основі синтезу графоаналітичного представлення транспортної мережі та технології структурно-параметричного геометричного моделювання. Такий підхід дозволяє з єдиних методичних позицій проводити оптимізацію маршрутів постачання будівельних матеріалів і виробів графоаналітичними методами.

3. На цій основі розроблено нові геометричні способи та алгоритми моделювання постачання будівельних матеріалів, доцільні для використання за різних практичних умов. Зокрема, запропоновано евристичний спосіб оптимізації маршрутів на основі оцінок ймовірних швидкостей переміщення

транспорту, спосіб, що забезпечує проходження через потрібні пункти на шляху до місця призначення та спосіб дефініції раціонального розташування додаткових доріг або вузлів транспортної мережі. Взаємне доповнення запропонованих інструментів сприяє багатоаспектному підвищенню ефективності перевезень.

4. Ефективність розроблених геометричних способів та алгоритмів, що реалізують запропонований математичний апарат, підтверджена виконаними числовими практичними розрахунками, які вказують на економію різноманітних ресурсів під час логістичного забезпечення виробничих будівельних процесів. Це створює гарне підґрунтя для успішного практичного застосування напрацьованого підходу до оптимізації транспортних маршрутів постачання будівельних матеріалів.

5. Отримані результати у вигляді моделей, методик та рекомендацій впроваджено у практику постачання матеріалів ТОВ "Градобуд-К" (м. Київ) при організації будівництва та виконанні будівельних робіт; у Науково-освітньому центрі проектування будівель із близьким до нульового енергоспоживання Київського національного університету будівництва і архітектури при проведенні наукових досліджень; у навчальний процес кафедри організації та управління будівництвом Київського національного університету будівництва і архітектури, що засвідчило прикладну значущість даної наукової праці.

6. Визначено перспективи подальшого розвитку обраної наукової теми, які полягають у вдосконаленні теоретичних положень, розроблянні нових методів та алгоритмів геометричного моделювання, адаптації існуючих геометричних інструментів до потреб будівельної галузі, більш тісній інтеграції з пов'язаними спеціалізованими дисциплінами, такими як технологія будівництва, транспортні перевезення, економіка та ін. У практичному плані актуальним є впровадження розробленого математичного апарату в середовище сучасних BIM-технологій, а також поширення даного підходу на різні види транспорту.

Таким чином, головні науково-прикладні здобутки виконаної дисертаційної праці полягають у розроблених нових геометричних способах, алгоритмах та спеціалізованих моделях для здійснення оптимізації процесів постачання матеріалів під час нового будівництва, що забезпечує зниження різноманітних витрат та сприяє підвищенню його ефективності в цілому.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аббасов М.Э. Методы оптимизации. Санкт-Петербург: ВВМ, 2014. 64 с.
2. Алексеев В.Е., Захарова Д.В. Теория графов. Нижний Новгород: НГУ, 2012. 57 с.
3. Барабаш М.С. Компьютерное моделирование процессов жизненного цикла объектов строительства. Киев: Сталь, 2014. 301 с.
4. Беляев В.М. Организация автомобильных перевозок и безопасность движения. Москва: МАДИ, 2014. 204 с.
5. Борисенко В.Д., Устенко С.А., Устенко І.В. Геометричне моделювання кривих ліній і поверхонь у натуральній параметризації. Миколаїв: МНУ, 2018. 220 с.
6. Борисова В.В., Гордей К.Г. Складская логистика как универсальный инструмент управления товаропотоками. *Вестник Ростовского государственного экономического университета*. 2013. № 4 (44). С. 40–43.
7. Ванін В.В., Вірченко Г.А. Визначення та основні положення структурно-параметричного геометричного моделювання. *Геометричне та комп'ютерне моделювання*. Харків: ХДУХТ, 2009. Вип. 23. С. 42–48.
8. Вельможин А.В., Гудков В.А., Миротин Л.Б., Куликов А.В. Грузовые автомобильные перевозки. Москва: Горячая линия-Телеком, 2006. 560 с.
9. Вірченко Г.А. Узагальнення структурно-параметричного підходу до геометричного моделювання об'єктів машинобудування: дис. ... докт. техн. наук: 05.01.01. Київ: НТУУ "КПІ", 2011. 357 с.
10. Волченская Т.В., Князьков В.С. Компьютерная математика. Часть 2. Теория графов. Пенза: ИПУ, 2002. 101 с.
11. Галкина В.А. Дискретная математика: комбинаторная оптимизация на графах. Москва: Гелиос АРВ, 2003. 232 с.

12. Гасников А.В., Кленов С.Л., Нурминский Е.А. Введение в математическое моделирование транспортных потоков. Москва: МФТИ, 2010. 360 с.
13. Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы. Москва: Физматлит, 2006. 320 с.
14. Голованов Н.Н. Геометрическое моделирование. Москва: Академия, 2011. 272 с.
15. Гончарова Ю.А., Валеев Р.С., Валеева А.Ф. Задачи маршрутизации при транспортировке: обзор моделей, методов и алгоритмов. Часть 1. *Логистика и управление цепями поставок*. 2019. № 4 (93). С. 74–87.
16. Горев А.Э. Грузовые автомобильные перевозки. Москва: Академия, 2008. 288 с.
17. Горев А.Э., Беттгер К., Прохоров А.В, Гизатуллин Р.Р. Основы транспортного моделирования. Санкт-Петербург: Издательско-полиграфическая компания «Коста», 2015. 168 с.
18. ГОСТ 6266-97. Листы гипсокартонные. Технические условия. Москва: ГУП ЦПП, 1999. 26 с.
19. ГОСТ 9561-91. Плиты перекрытий железобетонные многопустотные для зданий. Москва: Издательство стандартов, 1992. 30 с.
20. ГОСТ 12504-80. Панели стеновые внутренние бетонные и железобетонные для жилых и общественных зданий. Общие технические условия. Москва: ИПК Издательство стандартов, 1995. 23 с.
21. ГОСТ 18079-90. Колонны железобетонные для многоэтажных зданий. Технические условия. Москва: Издательство стандартов, 1990. 26 с.
22. Громов Ю.Ю., Земской Н.А., Лагутин А.В, Иванова О.Г. Специальные разделы теории управления. Оптимальное управление динамическими системами. Тамбов: ТГТУ, 2007. 108 с.

23. Грошев С.В., Карпенко А.П. Мета-оптимизация популяционных алгоритмов многоцелевой оптимизации.. *Интернет-журнал «Науковедение»*. 2016. Том 8. № 6. 11 с. URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/52TVN616.pdf>
24. Гуляницький Л.Ф., Коткова А.А. До класифікації задач маршрутизації транспортних засобів. *Науковий вісник Ужгородського університету*. 2020. Вип. 36. № 1. С. 73–84.
25. Гуляницький Л.Ф., Мулеса О.Ю. Методи комбінаторної оптимізації: теоретичні відомості. Ужгород: УНУ, 2015. 25 с.
26. Гуляницький Л.Ф., Мулеса О.Ю. Прикладні методи комбінаторної оптимізації. Київ: КНУ, 2016. 142 с.
27. Гуляницький Л.Ф., Сторчевий В.В. Одна спеціальна задача маршрутизації БПЛА. *Науковий вісник Ужгородського університету*. 2019. Вип. 34. № 1. С. 69–78.
28. Гумен О.М. Моделювання проєктивних n -просторів багатопараметричних технічних систем: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.01.01. Мелітополь: ТДАТУ, 2011. 36 с.
29. Дацко М.В., Цвір Л.Р. Побудова транспортних маршрутів у логістиці. *Науковий вісник Херсонського державного університету*. 2019. Вип. 16. Ч 4. С. 152–155.
30. ДБН А.3.1-5:2016. Організація будівельного виробництва. Київ: Мінрегіон України, 2016. 52 с.
31. ДБН Б.2.2-12:2019. Планування та забудова територій. Київ: Мінрегіон України, 2019. 177 с.
32. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Київ: Мінрегіон України, 2015. 104 с.
33. ДБН В.2.3-5:2018. Вулиці та дороги населених пунктів. Київ: Мінрегіон України, 2018. 55 с.
34. Демиденко О.В., Казаков В.А., Кузнецов С.М., Алексеев Н.Е. Модель функционирования строительных потоков. *Вестник СибАДИ*. 2016. Вип. 2 (48). С. 89–95.

35. Дмитрієва О.І. Державне регулювання інноваційного розвитку транспортної інфраструктури: автореф. дис. ... докт. екон. наук: 08.00.03. Харків: ХНАДУ, 2020. 525 с.

36. Долгова О.Э. Муравьиные алгоритмы для решения задач маршрутизации транспорта: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.18. Комсомольск на Амуре: ВЦ ДОРАН, 2018. 15 с.

37. Долгова О.Э., Пересветов В.В. Лучевой поиск и муравьиный алгоритм в решении задачи маршрутизации транспорта. *Информатика и системы управления*. 2016. № 2 (48). С. 47–57.

38. Дорош А.М. Організація будівельного виробництва. Київ: Аграрна освіта, 2011. 255 с.

39. ДСТУ Б В.2.7-17-95. Будівельні матеріали. Гравій, щебінь і пісок. Штучні пористі. Технічні умови. Київ: Держкоммістобудування України, 1995. 11 с.

40. ДСТУ Б В.2.7-23-95. Будівельні матеріали. Розчини будівельні. Загальні технічні умови. Київ: Держкоммістобудування України, 1996. 11 с.

41. ДСТУ Б В.2.7-29-96. Будівельні матеріали. Дрібні заповнювачі природні, із відходів промисловості, штучні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Класифікація. Київ: Держкоммістобудування України, 1996. 16 с.

42. ДСТУ Б В.2.7-36-2008. Будівельні матеріали. Цегла та камені стінові безцементні. Технічні умови. Київ: Мінрегіонбуд України, 2008. 28 с.

43. ДСТУ Б В.2.7-56-2010. Будівельні матеріали. Вироби теплоізоляційні зі скляного штапельного волокна. Технічні умови. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 60 с.

44. ДСТУ Б В.2.7-60-97. Будівельні матеріали. Сировина глиниста для виробництва керамічних будівельних матеріалів. Класифікація. Київ: Держкоммістобудування України, 1997. 14 с.

45. ДСТУ Б В.2.7-90:2011. Вапно будівельне. Технічні умови. Київ: Мінрегіон України, 2012. 23 с.

46. ДСТУ Б В.2.7-94-2000. Будівельні матеріали. Вироби із мінеральної вати. Технічні умови. Київ: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2000. 17 с.

47. ДСТУ Б В.2.7-101-2000. Матеріали рулонні покрівельні та гідроізоляційні. Загальні технічні умови. Київ: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2000. 14 с.

48. ДСТУ Б В.2.7-103-99. Будівельні матеріали. Мастики будівельні полімерні клеючі латексні. Технічні умови. Київ: Міждержавна науково-технічна комісія зі стандартизації та технічного нормування в будівництві, 2000. 11 с.

49. ДСТУ Б В.2.7-110-2001. Будівельні матеріали. Скло загартоване будівельне. Технічні умови. Київ: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2001. 18 с.

50. ДСТУ Б В.2.7-112-2002. Будівельні матеріали. Цементи. Загальні технічні умови. Київ: Держбуд України, 2002. 39 с.

51. ДСТУ Б В.2.7-119:2011. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови. Київ: Мінрегіон України, 2012. 55 с.

52. Живоглядов В.Г. Теория движения транспортных и пешеходных потоков. Ростов-на-Дону: ИВСКР, 2005. 1082 с.

53. Карпенко А.П. Популяционные алгоритмы глобальной поисковой оптимизации. Обзор новых и малоизвестных алгоритмов. *Приложение к журналу «Информационные технологии»*. 2012. № 7. 32 с.

54. Карпенко А.П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой. Москва: МГТУ, 2014. 446 с.

55. Карпенко А.П. Основные сущности популяционных алгоритмов глобальной оптимизации. Опыт систематизации. *Интернет-журнал «Наукovedenie»*. 2017. Том 9. № 6. 27 с. URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/46TVN617.pdf>

56. Клейнберг Дж., Тардос Е. Алгоритмы: разработка и применение. Классика Computers Science. Санкт-Петербург: Питер, 2016. 800 с.
57. Климачева Т.Н. Трехмерная компьютерная графика и автоматизация проектирования в AutoCAD 2007. Москва: ДМК, 2007. 464 с.
58. Ковалев С.Н. Формирование дискретных моделей поверхностей пространственных архитектурных конструкций: дис. ... докт. техн. наук: 05.01.01. Москва: МАИ, 1986. 348 с.
59. Комяк В.М., Приходько А.Ю., Панкратов А.В. Математические модели оптимизации размещения пунктов наблюдения наземных систем видеомониторинга лесных пожаров. *Вестник херсонского национального технического университета*. Херсон: ХНТУ, 2015. № 3 (54). С. 573–579.
60. Кормен Т.Х., Лейзерсон Ч.И., Ривест Р.Л., Штайн К. Алгоритмы: построение и анализ. Москва: Вильямс, 2005. 1296 с.
61. Корольов В.Ю., Огурцов М.І. Транспортно-комунікаційна задача для груп безпілотних апаратів. *Математичні машини в системи*. 2017. № 1. С. 82–89.
62. Кочегурова Е.А., Мартынова Ю.А. Оптимизация составления маршрутов общественного транспорта при создании автоматизированной системы поддержки принятия решений. *Известия Томского политехнического университета*. 2013. Т. 323. № 5. С. 79–84.
63. Кубил В.Н. Исследование и разработка методов решения многокритериальных задач маршрутизации транспорта на основе муравьиного алгоритма: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01. Новочеркасск: ЮРГПУ, 2019. 184 с.
64. Ланцов А.Л. Компьютерное проектирование в архитектуре. ArchiCAD 11. Москва: ДМК Пресс, 2009. 800 с.
65. Ланцов А.Л. Autodesk Revit 2015. Компьютерное проектирование зданий. Москва: ИЦ РИОР, 2014. 664 с.

66. Ларин О.Н. Организация грузовых перевозок. Челябинск: ЮУрГУ, 2006. 99 с.

67. Литвин В.В., Угрин Д.І. Методика вирішення завдань пошуку оптимальних туристичних маршрутів алгоритмами наслідування мурашиної колонії. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. 2016. № 21. С. 47–60.

68. Любчик Л.М., Шафеев Р.О. Розв'язання транспортної задачі з обмеженнями за часом за допомогою метаевристичного алгоритму. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. 2013. № 3. С. 35–39.

69. Магалов А.М. Моделювання транспортних маршрутів постачання будівельних матеріалів при спорудженні об'єктів будівництва. *Робоча програма та тези доповідей Восьмої міжнародної науково-практичної конференції «Інтегровані енергоефективні технології в архітектурі та будівництві «Енергоінтеграція-2018»*. Київ, 2018. С. 76–77.

70. Магалов А. Алгоритм дискретного моделювання оптимальних маршрутів транспортування будівельних матеріалів. *Тези доповідей 21 міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні проблеми геометричного моделювання»*. Мелітополь, 2019. С. 19.

71. Магалов А.М. Застосування структурно-параметричного підходу для геометричного моделювання маршрутів постачання будівельних матеріалів при новому будівництві. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. Київ, 2020. Вип. 14. Р. 7–14.

72. Магалов А.М., Міщенко О.Г. Математична модель для побудови оптимальної економічної траєкторії дороги на площині та дискретно представленої поверхні. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2017. № 31. Ч. 1. С. 120–128.

73. Магалов А.М., Міщенко О.Г. Аналіз параметрів обмежень трасування доріг при територіальному проектуванні. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. Київ, 2020. Вип. 58. С. 283–290.

74. Магалов А.М., Міщенко О.Г., Плоский В.О., Скочко В.І. Геометричне моделювання дискретно представлених поверхонь для визначення оптимальних траєкторій транспортних сполучень. *Сучасні проблеми моделювання*. Мелітополь, 2020. Вип. 17. С. 54–65.

75. Магалов А.М., Орел Ю.М. Визначення питомих показників вартості спорудження і експлуатації трубопроводів ефективних систем водопостачання. *Сучасні проблеми моделювання*. Мелітополь, 2020. Вип. 19. С. 130–137.

76. Магалов А., Плоский В., Куліков П., Гегер А. Візуалізація алгоритму прокладання найшвидших маршрутів постачання будівельних матеріалів. *International scientific-practical conference of young scientists "Build-Master-Class-2019". Conference Proceedings*. Київ, 2019. Р. 148–149.

77. Магалов А., Плоский В., Скочко В. Деякі аспекти геометричного моделювання оптимальних маршрутів постачання будівельних матеріалів. *International scientific-practical conference of young scientists "Build-Master-Class-2018". Conference Proceedings*. Київ, 2018. Р. 118–119.

78. Мазилюк П.В. Розробка методу раціонального проїзду транспортними засобами регульованих ділянок доріг: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01. Луцьк: ЛНТУ, 2019. 191 с.

79. Майборода М.Е., Беднарский В.В. Грузовые автомобильные перевозки. Ростов-на-Дону: Феникс, 2008. 442 с.

80. Маркелова Т.В. Совершенствование планирования перевозок грузов автомобильным транспортом общего пользования: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. Омск: СГАДУ, 2018. 164 с.

81. Мартинов В.Л. Моделювання оптимальних геометричних параметрів енергоефективних будівель гранної форми: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.01.01. Київ: КНУБА, 2015. 39 с.

82. Маценко В.Г. Комп'ютерна графіка. Чернівці: Рута, 2009. 343 с.

83. Михайлов А.Ю., Головных И.М. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей городов. Новосибирск: Наука, 2004. 267 с.

84. Молчанова Л.А. Введение в Maple. Владивосток: ИДУ, 2006. 36 с.

85. Морозов А.В. Про математичні моделі задач класів листоноші та комівояжера. *Вісник Житомирського державного технологічного університету*. 2015. № 2 (73). С. 167–173.

86. Нагребельна Л.П. Визначення місць утворення заторів за допомогою гідродинамічної моделі та залежностей транспортного потоку. *Дороги і мости*. 2020. Вип. 22. С. 214–224.

87. Некрасов А.В., Срыбных М.А. Allplan 2014. Первый проект от эскиза до презентации. Екатеринбург: Уралкомплект-наука, 2014. 250 с.

88. Никифорок О.І. Розвиток транспорту з метою відновлення і зростання української економіки. Київ: ІЕП, 2018. 200 с.

89. Никонов О.Я. Математические методы решения многокритериальной задачи о назначениях. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2011. Вып. 55. С. 103–112.

90. Никоноров В.М. Логистические показатели мелкопартионных автомобильных перевозок. *Экономические науки*. 2011. № 5 (78). С. 362–366.

91. Никулин Е.А. Компьютерная графика. Модели и алгоритмы. Санкт-Петербург: Лань, 2018. 708 с.

92. Пахомова В.М., Міщанюк Л.О. Інтелектуальна підсистема вибору раціональних маршрутів вантажних потягів. *Штучний інтелект*. 2014. № 1. С. 119–125.

93. Передерій А.О., Кір О.Ф. Алгоритми та системи оптимальної автоматичної кільцевої маршрутизації. *Вісник Кременчуцького національного університету*. 2013. Вип. 3 (80). С. 142–147.

94. Першаков В.М., Белятинський А.О., Степанчук О.В., Кротов Р.В. Дослідження транспортних потоків в аспекті заторових станів дорожнього руху. Київ: НАУ, 2015. 177 с.

95. Плоский В.О. Дослідження структурних особливостей методів геометричного моделювання та тенденцій розвитку прикладної геометрії: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.01.01. Київ: КНУБА, 2007. 39 с.

96. Погуляева И.В., Погуляев И.А. Показатели, влияющие на экономическую эффективность автомобильного транспорта в междугородном сообщении. *Интернет-журнал «Наукоедение»*. 2016. Том 8. № 3. 9 с. URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/79EVN316.pdf>

97. Поляков В.И., Скорубский В.И. Основы теории алгоритмов. Санкт-Петербург: ИТМО, 2012. 50 с.

98. Приходько В.М. Вероятностные и имитационные подходы к оптимизации автотранспортного движения. Москва: Мир, 2003. 368 с.

99. Просов С.Н. Проектирование автотранспортных систем доставки. Москва: МАДИ, 2017. 104 с.

100. Роджерс Д., Адамс Дж. Математические основы машинной графики. Москва: Мир, 2001. 604 с.

101. Савин В.И. Перевозки грузов автомобильным транспортом. Москва: Дело и Сервис, 2004. 544 с.

102. Савчук А.М., Цьонь О.П. Необхідність проведення маршрутизації вантажних перевезень. *Матеріали IV міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій»*. Тернопіль, 2015. С. 222.

103. Сергеев В.И. Управление цепями поставок. Москва: Юрайт, 2014. 479 с.

104. Сергейчук О.В. Геометричне моделювання фізичних процесів при оптимізації форми енергоефективних будинків: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.01.01. Київ: КНУБА, 2008. 39 с.

105. Симионов Ю.Ф. Экономика строительства. Ростов-на-Дону: Феникс, 2009. 378 с.

106. Скрипін В.С. Організація транспортного процесу розвезення тарно-штучних вантажів пунктами збуту на принципах логістики: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01. Харків: ХНУМГ, 2017. 212 с.

107. Смирнов А.А. Трехмерное геометрическое моделирование. Москва: МГТУ, 2008. 40 с.

108. Соболев О. М., Кравців С. Я., Стельмах О. А., Ляшевська О. І. Модель максимального покриття заданої області з урахуванням обмежень спеціального виду. *Сучасні проблеми моделювання*. Мелітополь: МДПУ, 2020. Вип. 17. С. 115–122.

109. Спирин И.В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками. Москва: Академия, 2010. 400 с.

110. Талапов В.В. Технология BIM: суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий. Москва: ДМК Пресс, 2015. 410 с.

111. Терещук М.О., Регіда О.В. Деякі перспективи розвитку сучасного комп'ютерного будівельного моделювання. *Управління розвитком складних систем*. Київ: КНУБА, 2020. Вип. 42. С. 119–123.

112. Трофимова Л.С. Научные основы текущего планирования работы грузового автотранспортного предприятия в условиях неопределенности развития: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.22.10. Омск: СибГАДУ, 2020. 34 с.

113. Тюрин А.Ю. Транспортно-логическое обслуживание цепей поставок пищевой промышленности: автореф. дис. ... докт. экон. наук: 08.00.05. Ростов-на-Дону: РГСУ, 2013. 46 с.

114. Тюрин А.Ю. Планирование вариантов доставки товаров автомобильным транспортом торговых распределительных сетях. *Торгово-экономический журнал*. 2014. Том 1. № 1. С. 27–38.

115. Уокенбах Д. Excel 2013. Библия пользователя. Москва: Вильямс, 2015. 928 с.

116. Ушацький С.А., Шейко Ю.П., Тригер Г.М. Організація будівництва. Київ: Кондор, 2007. 521 с.
117. Хаггарті Р. Дискретная математика для программистов. Москва: Техносфера, 2003. 320 с.
118. Харитоновна Е.В. Графы и сети. Ульяновск: УЛГТУ, 2006. 92 с.
119. Хачай М.Ю., Огородников Ю.Ю. Полиномиальная приближенная схема для задачи маршрутизации транспортных средств с ограничениями на грузоподъемность и временные промежутки обслуживания. *Труды института математики и механики УрО РАН*. 2018. Том 24. № 3. С. 233–246.
120. Швецов В.И. Математическое моделирование транспортных потоков. *Автоматика и телемеханика*. 2003. № 11. С. 3–46.
121. Шоман О.В., Даниленко В.Я. Геометричні множини в моделях формування транспортних маршрутів. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2016. Вип. 6. Т. 1. С. 251–256.
122. Шраменко Н.Ю. Модель вибору раціональної вантажності автомобілів при організації перевезень дрібнопартійних вантажів. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2015. Вип. 68. С. 113–117.
123. Яковлева Т.А. Мультиноменклатурная оптимизационная задача маршрутизации транспортных средств с ограничениями на перевозку: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.01. Уфа: УГАТУ, 2012. 18 с.
124. Abu-Ryash H., Tamimi A. Comparison Studies for Different Shortest path Algorithms. *International Journal of Computers and Applications*, 2015. Vol. 14. No. 8. P. 5979–5986.
125. Akilbasha A., Natarajan G., Pandian P. Algorithmic Approach for Solving Transportation Problems. *Global Journal of Pure and Applied Mathematics*, 2015. Vol. 11. Num. 5. P. 3743–3749.

126. Beker I., Jevtich V., Dobrilovich D. Shortest-path algorithms as tools for inner transportation optimization. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 2012. Vol. 3. No 1. P. 39–45.

127. Gajbhiye S. Optimal Power Flow Path Selection Using Different Shortest Path Algorithms. *International Journal of Innovations in Engineering and Technology*, 2013. Vol. 2 Issue 1. P. 213–217.

128. Jungnickel D. *Graphs, Networks and Algorithms*. Heidelberg: Springer, 2013. 675 p.

129. Magalov A., Mishchenko O., Orel J., Skochko V. Methods for determining the optimal trajectories of transport routes for different types of transport and types of relief. *Budownictwo o zoptymalizowanym Potencjale energetycznym. Construction of optimized Energy potential*. Wydział Budownictwa Politechniki Częstochowskiej. 2016. № 1 (11). P. 71–79.

130. Mishra S. Solving Transportation Problem by Various Methods and Their Comparison. *International Journal of Mathematics Trends and Technology*, 2017. Vol. 44. Num. 4. P. 270–275.

131. Novak L., Gibbons A. *Hybrid Graph Theory and Network Analysis*. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. 177 p.

132. Patel R.G., Bhathawala P.H. An Innovative Approach to optimum solution of a Transportation Problem. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2016. Vol. 5, Issue 4. P. 5695–5700.

133. Patel R.G., B.S. Patel. Bhathawala P.H. On Optimal Solution of a Transportation Problem. *Global Journal of Pure and Applied Mathematics*, 2017. Vol. 13. Num. 9. P. 6201–6208.

134. Sun Y., Lang M., Wang D. Optimization Models and Solution Algorithms for Freight Routing Planning Problem in the Multi-Modal Transportation Networks: A Review of the State-of-the-Art. *The Open Civil Engineering Journal*, 2015. Vol. 9. P. 714–723.

135. Zhang M., Janic M., Tavasszy L. A freight transport optimization model for integrated network, service, and policy design. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. Elsevier, 2015. Vol. 77. P. 61–76.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

ДОВІДКОВА ІНФОРМАЦІЯ

Цей додаток містить два підрозділи, в яких наведено відповідно інформацію про будівельні матеріали та характеристики їх доставляння, а також приклад комп'ютерної програмної реалізації запропонованого підходу до геометричного моделювання транспортування цих матеріалів на будівельні майданчики.

А.1. Будівельні матеріали та їх постачання

Відомості щодо деяких навальних вантажів подано в табл. А.1.

Характеристики навальних вантажів Таблиця А.1

№	Найменування	Густина, т/м ³	Кут укосу, градус	
			у русі	У покої
1	Глина суха	1,8	40	40
2	Глина сира	2,0	20	25
3	Гравій	1,7	30	45
4	Земля	1,6	17	27
5	Пісок	1,6	30	33
6	Щебінь	1,8	35	45

Наступний підрозділ додатків містить приклад, який ілюструє використання цих даних для проведення графоаналітичного аналізу щодо можливостей перевезення зазначених навальних вантажів наявними транспортними засобами. Комп'ютерну програму реалізовано в середовищі пакета математичного моделювання Maple.

Згідно з виданням [66] орієнтовні норми технічної швидкості вантажних автомобілів при їх застосуванні за містом наведено в табл. А.2.

Норми технічної швидкості вантажних автомобілів Таблиця А.2
при роботі за містом

Група доріг	Дорожнє покриття	Технічна швидкість, км/год
I	Асфальтобетонне, цементобетонне	49
II	Бруківка, щебінь, гравій	37
III	Грунт	28

На рис. А.1 показано електронну таблицю Microsoft Excel, в якій, порівняно з поданою на рис. 2.10, змінено величини коефіцієнта $k_{п-в}$. Це призвело до автоматичного перерахунку, зокрема, тривалості руху маршрутами та їх собівартості. На рис. А.2 зображено належні комп'ютерні графічні моделі.

Параметри постачання та вивезення будівельних матеріалів

№ маршрути	Відстань, км	$k_{дор}$	$k_{п-в}$	Пит. вартість, грн/км		$k_{вар}$	Швидкість, км/год		$k_{швед}$	$k_{чп}$	$k_{пу}$	$k_{нс}$
				min	max		min	max				
1	9,5	1,10	3,0	15	20	1	25	29	150	1,0	1,0	1,0
2	14	0,90	3,0	12	14	1	34	40	150	1,0	1,0	1,0
3	12,5	0,85	3,0	10	12	1	37	42	150	1,0	1,0	1,0
4	8	1,00	3,0	14	16	1	26	30	150	1,0	1,0	1,0

Трв. руху, год		Заг. вартість, грн		Інтегр. крит.	
min	max	min	max	min	max
0,48	0,56	209	279	281	362
0,42	0,49	202	235	265	309
0,34	0,38	142	170	192	227
0,36	0,41	149	171	203	232

Рис. А.1. Деякі параметри маршрутів постачання будівельних матеріалів

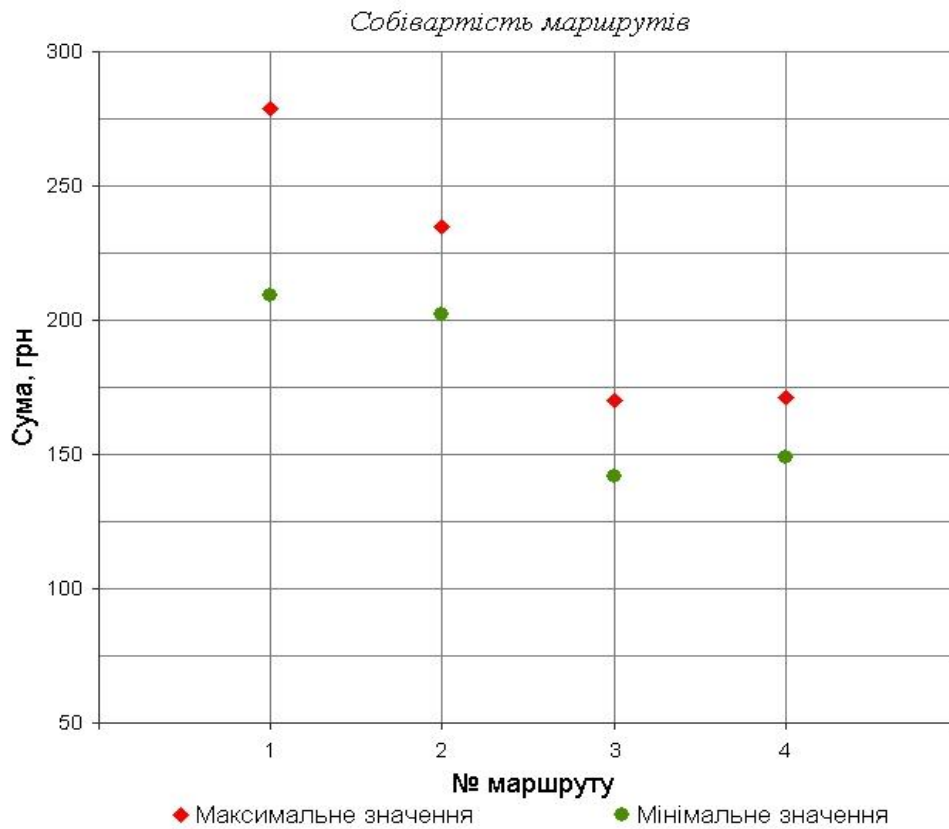
На рис. А.3 приведено приклади одночасного врахування впливу нештатного часу здійснення автомобільних перевезень, погодних умов та ймовірних надзвичайних ситуацій, тобто використання відмінних від одиниці величин коефіцієнтів $k_{чп}$, $k_{пу}$, $k_{нс}$.

Для виконання ефективного аналізу отриманої інформації може бути застосовано прийоми дослідження, аналогічні розглянутим у пункті 2.4.2 дисертації для графоаналітичних моделей, показаних на рис. 2.9 або графічних типу рис. А.2.

Зазначимо, що час здійснення доставляння будівельних матеріалів, існуючі при цьому погодні умови, ймовірні надзвичайні обставини тощо не завжди мають однаковий за своєю спрямованістю вплив на прогнозовану тривалість перевезень та їх собівартість. Так, зокрема, дуже ранішній час за рахунок малої кількості автомобілів на дорогах підвищує швидкість руху транспорту, а безпосередньо перед початком робочого дня, через їх суттєве зростання, значно зменшує.



a



б

Рис. А.2. Графічні моделі візуалізації розрахованих параметрів
опрацьовуваних маршрутів:

a – тривалість руху; *б* – собівартість перевезень

Параметри постачання та вивезення будівельних матеріалів

№ марш	Відстань, км	k дор	k п-в	Пит. вартість, грн/км		k вар	Швидкість, км/год		k швд	k чп	k пу	k нс
				min	max		min	max				
1	9,5	1,10	5,0	15	20	1	25	29	150	1,1	1,2	1,0
2	14	0,90	5,0	12	14	1	34	40	150	1,1	1,2	1,0
3	12,5	0,85	5,0	10	12	1	37	42	150	1,1	1,0	1,0
4	8	1,00	5,0	14	16	1	26	30	150	1,1	1,1	1,0

Трв. руху, год		Заг. вартість, грн		Інтегр. крит.	
min	max	min	max	min	max
0,48	0,55	207	276	278	359
0,42	0,49	200	233	262	306
0,28	0,32	117	140	159	188
0,32	0,37	136	155	184	211

а

Параметри постачання та вивезення будівельних матеріалів

№ марш	Відстань, км	k дор	k п-в	Пит. вартість, грн/км		k вар	Швидкість, км/год		k швд	k чп	k пу	k нс
				min	max		min	max				
1	9,5	1,10	5,0	15	20	1	25	29	150	1,1	1,2	1,0
2	14	0,90	5,0	12	14	1	34	40	150	1,1	1,2	1,2
3	12,5	0,85	5,0	10	12	1	37	42	150	1,1	1,0	1,2
4	8	1,00	5,0	14	16	1	26	30	150	1,1	1,1	1,0

Трв. руху, год		Заг. вартість, грн		Інтегр. крит.	
min	max	min	max	min	max
0,48	0,55	207	276	278	359
0,50	0,59	240	279	314	367
0,33	0,38	140	168	190	225
0,32	0,37	136	155	184	211

б

Рис. А.3. Варіантні розрахунки транспортних маршрутів для випадку сумісного впливу нештатного часу перевезень, погодних умов та надзвичайних ситуацій:

а – час перевезень і погодні умови; б – усі три фактори

У наступному підрозділі додатків наведено приклад комп'ютерної програми, застосовуваної при опрацюванні маршрутів постачання будівельних матеріалів.

А.2. Приклади комп'ютерної реалізації

Приклад А.1. Комп'ютерна модель в системі Maple згідно з формулами (1.4) ... (1.7) та табл. А.1 для виконання графоаналітичного аналізу щодо можливостей перевезення навалних вантажів наявними автомобілями.

```

with(plots):
lk := 4.3: # довжина кузова в м
bk := 2.3: # ширина кузова в м
# h – змінна висота кузова в м
r:= [1.8, 2.0, 1.7, 1.6, 1.6, 1.8]: # масив густин матеріалів табл. А.1
al:= [40, 20, 30, 17, 30, 35]: # масив кутів укосу в русі матеріалів табл. А.1
V1:= lk*bk*h+(bk/2)^3*tan(al[1]*evalf(Pi)/180): m1:=V1*r[1]:
V2:= lk*bk*h+(bk/2)^3*tan(al[2]*evalf(Pi)/180): m2:=V2*r[2]:
V3:= lk*bk*h+(bk/2)^3*tan(al[3]*evalf(Pi)/180): m3:=V3*r[3]:
V4:= lk*bk*h+(bk/2)^3*tan(al[4]*evalf(Pi)/180): m4:=V4*r[4]:
V5:= lk*bk*h+(bk/2)^3*tan(al[5]*evalf(Pi)/180): m5:=V5*r[5]:
V6:= lk*bk*h+(bk/2)^3*tan(al[6]*evalf(Pi)/180): m6:=V6*r[6]:
hn:=0.9: hv:= 1.5:
Vn:= 5: Vv:= 20:
V1p:=plot(V1, h= hn..hv, V=Vn..Vv, style = line, color = red, gridlines=true):
V2p:=plot(V2, h= hn..hv, V=Vn..Vv, style = line, color = green):
V3p:=plot(V3, h=hn..hv, V=Vn..Vv, style = line, color = blue):
V4p:=plot(V4, h=hn..hv, V=Vn..Vv, style = line, color = yellow):
V5p:=plot(V5, h=hn..hv, V=Vn..Vv, style = line, color = cyan):
V6p:=plot(V6, h=hn..hv, V=Vn..Vv, style = line, color = black):
display({V1p, V2p, V3p, V4p, V5p, V6p}):
mn:= 10: mv:= 25:
m1p:=plot(m1, h=hn..hv, m=mn..mv, style = line, color = red, gridlines = true):
m2p:=plot(m2, h=hn..hv, m=mn..mv, style = line, color = green):
m3p:=plot(m3, h=hn..hv, m=mn..mv, style = line, color = blue):
m4p:=plot(m4, h=hn..hv, m=mn..mv, style = line, color = yellow):
m5p:=plot(m5, h=hn..hv, m=mn..mv, style = line, color = cyan):
m6p:=plot(m6, h=hn..hv, m=mn..mv, style = line, color = black):
display({m1p, m2p, m3p, m4p, m5p, m6p})

```

Отримані за допомогою програми графіки подано на рис. А.4.

На першому зображенні показано змінювання максимального об'єму V (м^3) навалних матеріалів, які перевозяться, в залежності від висоти кузова h (м) автомобіля, а на другому – маса m (т) цих матеріалів.

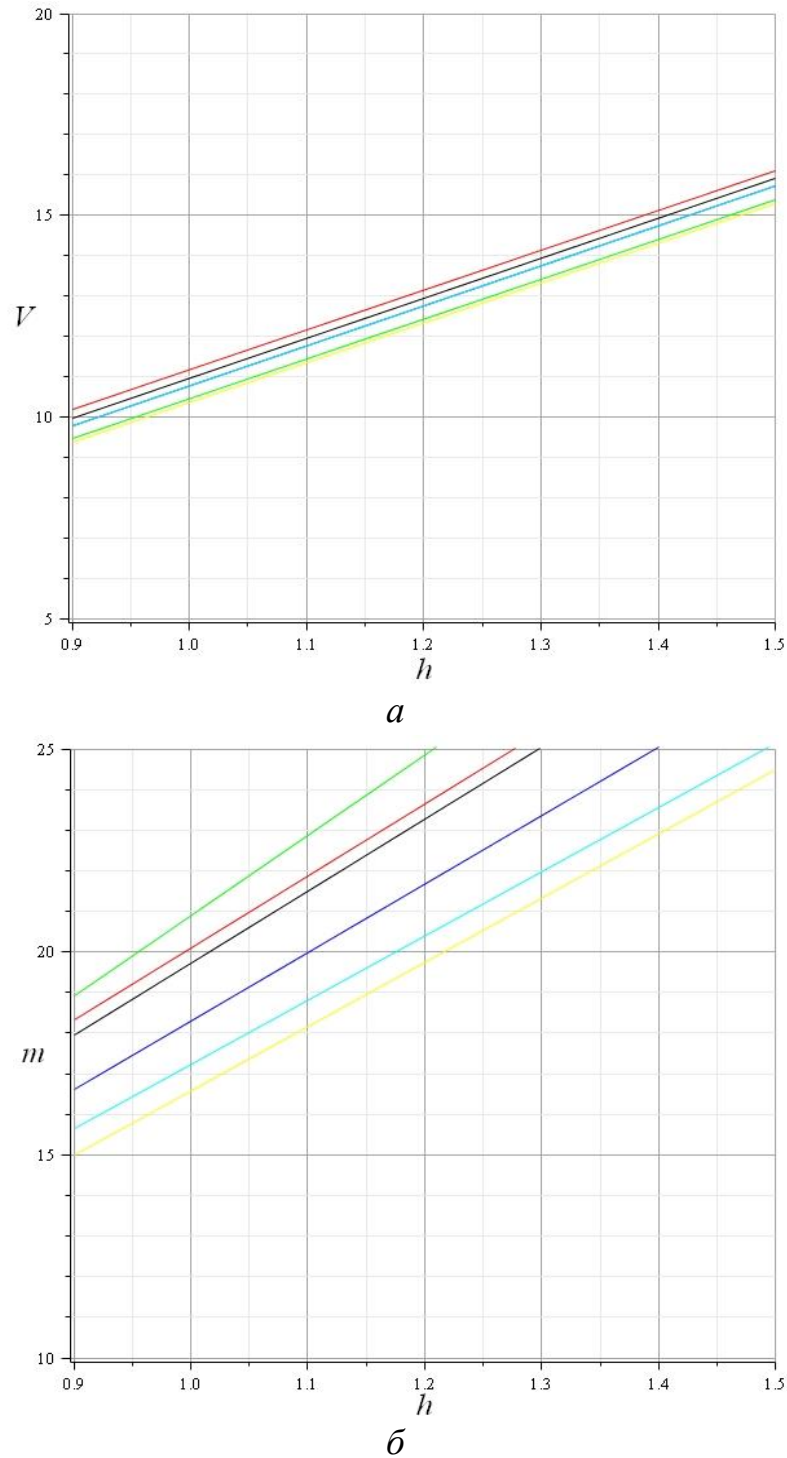


Рис. А.4. Результати роботи програми

Аналіз свідчить, що при вантажопідйомності автомобіля $q_n=15$ т і висоті $h=0,9$ м його кузова максимальний об'єм матеріалів, які доставляються, визначається вантажопідйомністю транспортного засобу. Якщо ж остання $q_n=20$ т і висота кузова $h=1$ м, то крім глини максимальний об'єм не обмежується вантажопідйомністю та зростає порівняно з попереднім випадком приблизно на 1 м^3 .

ДОДАТОК Б

ДОКУМЕНТИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ

Напрацьовані в дисертаційному дослідженні нові способи, прийоми, алгоритми, методики та геометричні моделі постачання будівельних матеріалів і виробів упроваджено на практиці:

– у ТОВ "Градобуд-К" (м. Київ) при організації та виконанні будівельних робіт;

– у Науково-освітньому центрі проектування будівель із близьким до нульового енергоспоживання Київського національного університету будівництва і архітектури при здійсненні наукових досліджень;

– у навчальному процесі кафедри організації та управління будівництвом Київського національного університету будівництва і архітектури.

Відповідні документи подано на трьох наступних аркушах.

ДОДАТОК В

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в періодичних наукових виданнях інших держав

1. Magalov A., Mishchenko O., Orel J., Skochko V. Methods for determining the optimal trajectories of transport routes for different types of transport and types of relief. *Budownictwo o zoptymalizowanym Potencjale energetycznym. Construction of optimized Energy potential*. Wydział Budownictwa Politechniki Częstochowskiej. 2016. № 1 (11). P. 71–79. Особистий внесок здобувача: уточнено використання методики оптимізації транспортної траєкторії для різних типів рельєфу місцевості.

Статті в наукових фахових виданнях України

2. Магалов А.М., Міщенко О.Г. Математична модель для побудови оптимальної економічної траєкторії дороги на площині та дискретно представлений поверхні. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2017. № 31. Ч. 1. С. 120–128. (Збірник входить до наукометричних баз Ulrichsweb, BASE, Index Copernicus, Google Scholar). Особистий внесок здобувача: запропоновано застосування вагових економічних коефіцієнтів для ділянок трасування дороги.

3. Магалов А.М., Міщенко О.Г., Плоский В.О., Скочко В.І. Геометричне моделювання дискретно представлених поверхонь для визначення оптимальних траєкторій транспортних сполучень. *Сучасні проблеми моделювання*. Мелітополь, 2020. Вип. 17. С. 54–65. (Збірник входить до наукометричної бази Google Scholar). Особистий внесок здобувача: для підвищення ефективності обчислювальних операцій запропоновано зберігати в моделях інформацію про висоти точок у форматі векторів із послідовною індексацією вузлів.

4. Магалов А.М. Застосування структурно-параметричного підходу для геометричного моделювання маршрутів постачання будівельних матеріалів при новому будівництві. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. Київ, 2020. Вип. 14. Р. 7–14. (Журнал входить до наукометричних баз Google Scholar, Worldcat, BASE).

5. Магалов А.М., Міщенко О.Г. Аналіз параметрів обмежень трасування доріг при територіальному проектуванні. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. Київ, 2020. Вип. 58. С. 283–290. Особистий внесок здобувача: запропоновано систематизувати обмежувальні геометричні параметри при трасуванні доріг.

6. Магалов А.М., Орел Ю.М. Визначення питомих показників вартості спорудження і експлуатації трубопроводів ефективних систем водопостачання. *Сучасні проблеми моделювання*. Мелітополь, 2020. Вип. 19. С. 130–137. (Збірник входить до наукометричної бази Google Scholar). Особистий внесок здобувача: запропоновано спеціальні цільові функції для об'єктивної оцінки економічної ефективності будівництва та експлуатації мереж водопостачання.

Апробація матеріалів дисертації

7. Магалов А.М. Моделювання транспортних маршрутів постачання будівельних матеріалів при спорудженні об'єктів будівництва. *Робоча програма та тези доповідей Восьмої міжнародної науково-практичної конференції «Інтегровані енергоефективні технології в архітектурі та будівництві «Енергоінтеграція-2018»*. Київ, 2018. С. 76–77.

8. Магалов А., Плоский В., Скочко В. Деякі аспекти геометричного моделювання оптимальних маршрутів постачання будівельних матеріалів. *International scientific-practical conference of young scientists "Build-Master-Class-2018": Conference Proceedings*. Київ, 2018. Р. 118–119. Особистий внесок здобувача: розроблено геометричну модель та алгоритм визначення оптимальних маршрутів постачання будівельних матеріалів.

9. Магалов А., Плоский В., Куліков П., Гегер А. Візуалізація алгоритму прокладання найшвидших маршрутів постачання будівельних матеріалів. *International scientific-practical conference of young scientists "Build-Master-Class-2019": Conference Proceedings*. Київ, 2019. Р. 148–149. Особистий внесок здобувача: розроблено алгоритм прокладання найшвидших маршрутів постачання будівельних матеріалів.

10. Магалов А. Алгоритм дискретного моделювання оптимальних маршрутів транспортування будівельних матеріалів. *Тези доповідей 21 міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні проблеми геометричного моделювання»*. Мелітополь, 2019. С. 19.

Відомості про апробацію результатів дисертації

Матеріали дисертації доповідалися на 4 конференціях, а саме: Восьмій міжнародній науково-практичній конференції «Інтегровані енергоефективні технології в архітектурі та будівництві «Енергоінтеграція-2018» (м. Київ, 2018 р., очна); International scientific-practical conference of young scientists "Build-Master-Class-2018" (м. Київ, 2018 р., очна); International scientific-practical conference of young scientists "Build-Master-Class-2019" (м. Київ, 2019 р., очна); 21 міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми геометричного моделювання». (м. Мелітополь, 2019 р., очна).