

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

МАГАЛОВ АРШАК МИХАЙЛОВИЧ



УДК 514.18

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

05.01.01 – Прикладна геометрія, інженерна графіка

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Київському національному університеті будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник – кандидат технічних наук, доцент
ПАНЬКО Олексій Миколайович,
Київський національний університет
будівництва і архітектури
МОН України,
професор кафедри архітектурних конструкцій(м. Київ)

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
СОБОЛЬ Олександр Миколайович,
Національний університет цивільного захисту України,
Державна служба України з
надзвичайних ситуацій,
професор кафедри управління та організації діяльності у
сфері цивільного захисту, (м. Харків);

доктор технічних наук, доцент
УСЕНКО Валерій Григорович,
Полтавський національний технічний університет імені
Юрія Кондратюка (м. Полтава) МОН України,
доцент кафедри нарисної геометрії та графіки.

Захист відбудеться «27» травня 2021 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д26.056.06 при Київському національному університеті будівництва і архітектури за адресою: 03037, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31, КНУБА, Вчена рада університету, ауд. 466.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Київського національного університету будівництва і архітектури за адресою: 03037, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31, КНУБА.

Автореферат розіслано «27» квітня 2021 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

О. А. Бондар

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Методи прикладної геометрії та графічних технологій набувають дедалі більшого значення у вирішенні проектних та організаційно-технологічних проблем будівництва (інтерпретаційні моделі формування організаційних будівельних кластерів, геометричне моделювання транспортних та інженерних комунікацій, проектування і конструювання енергоощадних будівельних об'єктів та засобів альтернативної енергетики тощо).

Ефективність зведення житлових будинків, об'єктів виробничого та соціального призначення, інженерних споруд тощо є важливою проблемою сталого розвитку будівництва. Оскільки для будівельної галузі характерним є використання великої номенклатури матеріалів, конструкцій, виробів та деталей, виникає необхідність оптимізації належного їх постачання до місця будівництва. Ці процеси потребують чіткої організації та характеризуються потребами в значних матеріальних, людських, фінансових, енергетичних та інших ресурсах. Тому питання їх удосконалення, яке призвело б до зменшення відповідних витрат часу та ресурсів, становить актуальне науково-прикладне завдання.

Серед важливих організаційно-технологічних завдань будівництва, де застосування геометричних та графічних методів є ефективним та доцільним, слід відзначити оптимізацію технологічного супроводу будівництва, зокрема, будівельної логістики. Науковцями Харківської школи геометричного проектування (В. М. Комяк, О. М. Соболев та їхні учні) одержано важливі результати з моделювання та оптимізації транспортних та людських потоків стосовно завдань пожежної безпеки в будівництві.

У такий спосіб одним із перспективних напрямів розв'язання завдань підвищення ефективності постачання матеріалів, конструкцій та виробів на будівельний майданчик є системне застосування засобів геометричного моделювання, які дають змогу оптимізувати маршрути постачання при новому будівництві, що й обумовило тему цієї дисертаційної роботи. Предмет дослідження конкретизовано на використанні автомобільного транспорту як найбільш поширеного в регіонах, коли матеріали та вироби надходять на будівельні майданчики з місць, розташованих на відносно невеликих відстанях. Перевагою запропонованого в дисертації підходу є те, що останній може бути розповсюджено, з виконанням певних необхідних уточнень, також і на варіанти залізничного, водного та навіть повітряного сполучення, що 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».

Мета та завдання дослідження. Мета дисертаційної роботи полягає у розробці способів геометричної оптимізації процесів постачання будівельних матеріалів в умовах нового будівництва на основі графоаналітичного моделювання маршрутів їх транспортування.

Для реалізації зазначеної мети, необхідно виконати такі *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 транспортної 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. *Упровадити* одержані результати у практику та визначити перспективи подальшого розвитку виконаної наукової праці.

Об'єктом дослідження є 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 було застосовано методи аналітичної й обчислювальної геометрії, теорія кривих і поверхонь, інтерполяції та апроксимації, теорія множин і графів, алгоритмів, оптимізації, будівельного виробництва, комп'ютерної графіки.

Науково-теоретичну основу проведених досліджень становлять праці вітчизняних і закордонних учених з обчислювальної геометрії, теорії кривих та поверхонь, множин і графів, моделювання об'єктів, процесів та явищ. На їхні праці у дисертації зроблено відповідні посилання.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що:

вперше:

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 структури 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;

дістало подальшого розвитку:

– 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 одержаних результатів полягає в удосконаленні процесів геометричного моделювання постачання будівельних матеріалів, використанні у ТОВ «Градобуд-К» (м. Київ) при організації та виконанні будівельних робіт (від 17.08.2020 р. № 22/20); у Науково-освітньому центрі проектування будівель із близьким до нульового енергоспоживання КНУБА при здійсненні наукових досліджень (від 06.09.2020 р.); у навчальному процесі кафедри організації та управління будівництвом КНУБА (від 04.09.2020 р. № 014-14), що засвідчило практичну значущість 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 результатів дослідження. Одержані наукові результати оприлюднено на: VIII 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.); XXI Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми геометричного моделювання» (м. Мелітополь, 2019 р.).

Публікації. Основні теоретичні положення, висновки і практичні результати, одержані у процесі дослідження, висвітлено у 10 наукових працях, з 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 анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 151 сторінку, з них основного тексту – 108 сторінок. Список використаних джерел налічує 135 найменувань та займає 14 сторінок, 10 таблиць та 24 рисунки. Додатки (5) розміщено на 14 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дослідження; вказано на зв'язок роботи з науковою тематикою; визначено мету, завдання, об'єкт, предмет, сформульовано методологічну основу дослідження; висвітлено наукову новизну, науково-теоретичне та практичне значення одержаних результатів; наведено відомості про апробацію результатів дослідження, структуру та обсяг дисертації.

У **Розділі 1 «Системний аналіз завдання постачання будівельних матеріалів та перспективи застосування методів геометричного моделювання»** зроблено огляд літератури за темою дисертації. Показано, що геометричні засоби суттєво сприяють багатоаспектній оптимізації доставляння матеріалів в умовах нового будівництва. Основними вихідними даними для визначення необхідних маршрутів є наявний вантажообіг, дальність і вартість перевезень, характеристики наявної 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 за планами матеріально-технічного забезпечення. На підставі цього середній добовий вантажообіг:

$$Q_{сер.доб} = Q_{річ} / N_{річ}, \quad (1)$$

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

Величину (1) 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 їхня вага, габарити, терміни доставляння тощо. Кількість одиниць транспорту $N_{тр.добі,j}$ для перевезення протягом доби певної i -ї групи вантажів за деяким j -м маршрутом обчислюється за формулою:

$$N_{тр.добі,j} = Q_{добі,j} / П_{тр.добі,j}, \quad (2)$$

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

$$П_{тр.добі,j} = q \cdot \gamma \cdot T_{добі,j} / (L_{i,j} / V_{i,j} / \beta + t_{з.рi,j}), \quad (3)$$

де q , γ – вантажопідйомність автомобіля (т) і коефіцієнт її використання; $T_{добі,j}$, $L_{i,j}$, $t_{з.рi,j}$, $V_{i,j}$ – 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 тощо. З огляду на це, розрахунковий час $t_{z,p_{i,j}}$ збільшується у належний спосіб.

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 наявними дорогами тощо розв'язуються засобами математичного програмування.

На підставі співвідношень (2) і (3) можна стверджувати, що суттєвий вплив при цьому мають також відстані переміщення вантажів, обрані шляхи та швидкості руху і т. д., тобто 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. Наведені аналітичні залежності показують, що на деяких ділянках маршруту автомобілі переміщуються без вантажу.

Зазвичай при геометричному моделюванні транспортної 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 доволі великої кількості обчислень, а другі, *наближені*, характеризуються відносно малою тривалістю розрахунків, але забезпечують приблизні результати. Належними прикладами перших слугують метод потенціалів, гілок та меж, мітли тощо, а других – методи випадкового пошуку з наступною локальною оптимізацією, евристичні (метод мурашиних колоній, нейронних мереж та ін.).

У науковій літературі йдеться про те, що оптимальність конкретної методології моделювання транспортних маршрутів суттєво залежить від галузі застосування та ретельного врахування її властивостей. Тому у певний спосіб різняться підходи в машинобудуванні, легкій, нафтопереробній промисловості, сільському господарстві, торгівлі і т. д.

У **Розділі 2 «Теоретичні положення геометричного моделювання постачання будівельних матеріалів»** визначено ознаки, притаманні геометричним моделям при дефініції маршрутів доставляння матеріалів в умовах нового будівництва. На підставі цього розроблено відповідні способи, прийоми, алгоритми та методики.

Вище було показано, що акцентованими особливостями є значна номенклатура й обсяги матеріалів, їх різноманітність, чимала кількість постачальників, наявність одержувачів вантажів, специфічні вимоги до перевезень, розташування будівельних

майданчиків у різній місцевості тощо. Для спорудження об'єктів у населених пунктах зазначеними прикладами слугують ймовірність заторів, заборона руху деякими вулицями транспорту великої вантажопідйомності та габаритів, зокрема, при перевезенні залізобетонних конструкцій промислових будівель. Актуальні обмеження на придатність таких матеріалів, як цементні, вапняні та інші розчини. Згідно зі стандартом час t_{mp} їх транспортування повинен задовольняти умові:

$$t_{mp} < t_{прид} - t_{вик}, \quad (4)$$

де: $t_{прид}$ – термін придатності, год; $t_{вик}$ – технологічна тривалість використання, год.

У виразі (4) для цементного розчину без добавок при температурі не вище 24 °С термін придатності приймається 3 години, а вапняного – 10 годин. Тривалість їх застосування визначається споживачем.

Типовою є необхідність у нових дорогах для доставляння піску, гравію, щебеню тощо. Будівельні процеси вимагають ритмічного надходження матеріалів. Для їх приймання від постачальників, зберігання, підвищення заводської готовності та подальшого відвантаження за призначенням можуть створюватися бази комплектації зі складами, які розміщуються біля залізничних, водних або автотранспортних магістралей. Далі ці матеріали та вироби надходять безпосередньо на будівельний майданчик.

Подано методику, характерну для будівельної галузі, оскільки остання здатна не тільки адаптуватись до умов наявної транспортної мережі, а й оперативно її змінювати під власні потреби. Належні ілюстрації наведено на рис. 1.

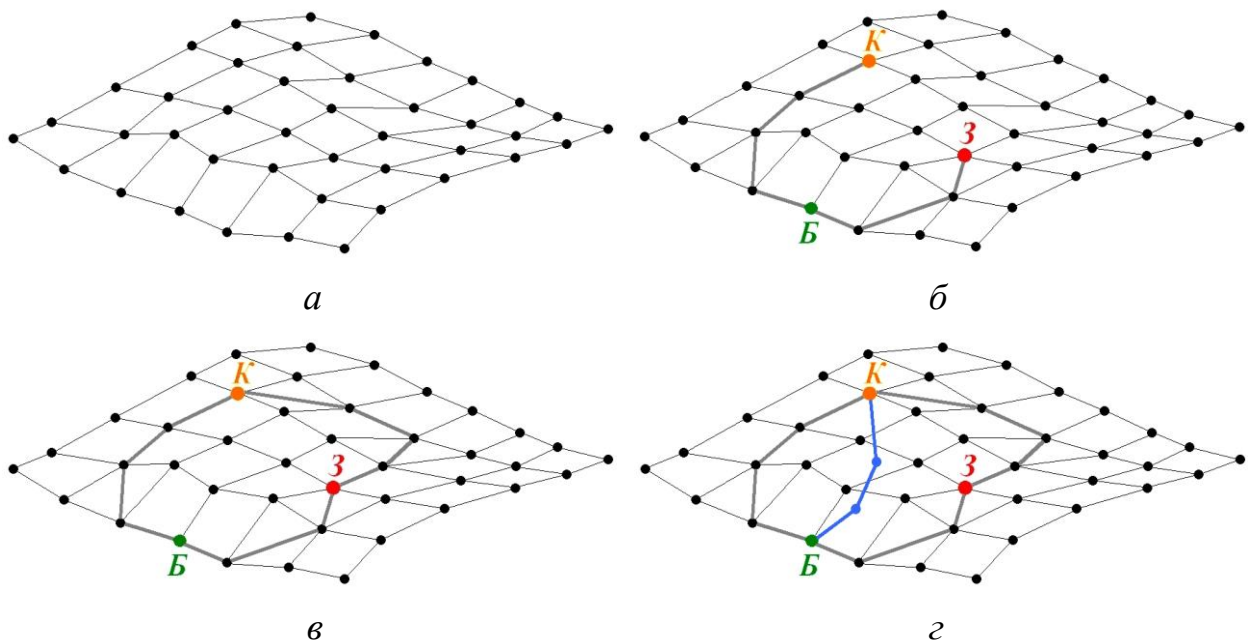


Рис. 1 Геометричне моделювання допоміжних доріг при новому будівництві: а – апроксимація рельєфу; б – маятникові маршрути до піщаного кар'єру (К) та звалища (З); в – кільцевий маршрут; г – прокладання скороченого шляху

Перше зображення відтворює рельєф місцевості множиною точок:

$$\mathbf{P} = (\mathbf{P}_{i,j})_{i=1,j=1}^{N_i, N_j}, \quad (5)$$

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

Точки (5) з'єднуються певними лініями, у цьому разі відрізками прямих:

$$\begin{aligned} l_{i,j}(u) &= (1-u)\mathbf{P}_{i,j} + u\mathbf{P}_{i,j+1}, i = 1 \dots N_i, j = 1 \dots N_{j-1}; \\ l_{j,i}(v) &= (1-v)\mathbf{P}_{i,j} + v\mathbf{P}_{i+1,j}, i = 1 \dots N_{i-1}, j = 1 \dots N_j, \end{aligned} \quad (6)$$

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

На підставі виразів (5) і (6) кожному чотирикутну чарунку визначено поверхнею Кунса:

$$\begin{aligned} \mathbf{P}_{i,j}(u, v) &= (1-v)l_{i,j}(u) + vl_{i+1,j}(u) + (1-u)l_{j,i}(v) + ul_{j+1,i}(v) - \\ &- (1-v)(1-u)\mathbf{P}_{i,j} - (1-v)u\mathbf{P}_{i,j+1} - v(1-u)\mathbf{P}_{i+1,j} - vu\mathbf{P}_{i+1,j+1}, \end{aligned} \quad (7)$$

де $i=1 \dots N_i, j=1 \dots N_j$.

Залежність (7) дає змогу здійснювати згущення сітки та проводити аналітичні розрахунки.

Нехай розглядаються питання доставляння на будівельний майданчик (Б) піску з кар'єру (К) та вивезення відходів на звалище (З). Варіант рис. 1, б має невисоку продуктивність, що засвідчує малий коефіцієнт використання пробігу у формулі (3). У проаналізованому аспекті кращою є організація маршруту рис. 1, в, однак потребує додаткових витрат на спорудження дороги між пунктами З та К. У такому разі автомобілі вивозять відходи на звалище, а потім завантажуються в кар'єрі піском. Якщо зроблені витрати виправдані, то такий маршрут є доцільним. Це саме стосується й різновиду рис. 1, г, який потребує суттєвих ресурсів, пов'язаних із великими об'ємами земляних робіт (виїмок та насипів ґрунту), що зумовлено горбистою місцевістю. Але він має коротшу довжину шляху. Описана геометрична модель дає змогу також визначати поздовжні похили доріг. Комплексно оцінити представлені маршрути

$$\mathbf{M} = (\mathbf{M}_i)_1^3, \quad (8)$$

де: M_1 – маятниковий, M_2 – кільцевий, M_3 – кільцевий укорочений,

дає змогу структурно-параметрична геометрична модель (СПГМ), показана на рис. 2.

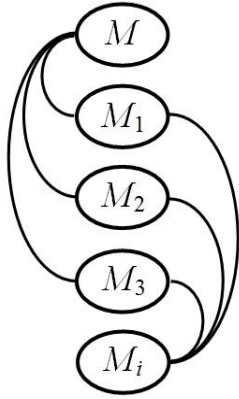


Рис. 2 СПГМ
варіантів маршрутів

За допомогою співвідношень (5) ... (8) та моделей рис. 1 і рис. 2 обчислюються не тільки довжини маршрутів, а й більш складні функції оптимізації. Наприклад, з урахуванням ухилів доріг, якості їх покриття, застосовуваних автотранспортних засобів та переміщуваних вантажів тощо. Зазвичай багатоаспектним критерієм обирається економічна ефективність. Це забезпечується тим, що наведена СПГМ є мультиграфом, ребра якого відповідають величинам розрахункових показників. З метою покращення, обрані початкові траєкторії руху надалі уточнюються варіюванням належних геометричних та інших параметрів у рамках наявних обмежень.

Далі 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.

Наявна транспортна мережа описується графами з вершинами:

$$P_{мереж} = (P_{мереж_i})_1^{N_{мереж}}, \quad (9)$$

де: $P_{мереж_i}$ – пункти (точки, вузли) мережі, $N_{мереж}$ – загальне їх число.

Обраний маршрут відтворюється множиною:

$$P_{марш} = (P_{марш_i})_1^{N_{марш}}, \quad (10)$$

де: $P_{марш_i}$ – відвідувані пункти, $N_{марш}$ – їх кількість.

Кортеж точок призначення має вигляд:

$$P_{призн} = (P_{призн_i})_1^{N_{призн}}, \quad (11)$$

де: $P_{призн_i}$ – пункти призначення, $N_{призн}$ – їх число.

Довжини ланок між точками (9) ... (11) визначаються матрицею суміжності:

$$L = \|l_{i,j}\|, \quad (12)$$

де: i, j – номери виразу (9), $l_{i,j}$ – відстані між зазначеними вершинами.

У формулі (12) 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, час переміщення, вартість перевезень й інше. Матриця (12) у загальному випадку несиметрична, оскільки, наприклад, тривалість руху у протилежних напрямках може бути неоднаковою, ухили доріг теж та ін.

Визначення раціональних маршрутів перевезення будівельних матеріалів і виробів є важливим завданням, оскільки його 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.

У дисертації запропоновано *геометричний спосіб оптимізації маршрутів на основі оцінок ймовірних швидкостей переміщення транспорту між вузлами мережі*.

Умовно процес транспортування поділяється на три основні складові: *завантаження, перевезення, розвантаження*. Мета оптимального планування полягає в мінімізації перебування вантажів на складах і забезпеченні безперервності процесів будівництва. Пошук раціональних маршрутів базується на таких 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.

У найпростішому випадку, коли вважається, що властивості всіх частин мережі однакові, пошук належного маршруту зводиться до визначення найкоротшого шляху, який пролягає через необхідні пункти призначення з подальшим поверненням у точку відправлення. Запропонований далі підхід відноситься до класу мурашиних алгоритмів, оскільки спирається на попередній досвід проходження ділянок мережі іншими суб'єктами, у цьому разі – водіями автотранспорту. При дефініції раціонального маршруту не враховується час простою при завантаженні й розвантаженні, оскільки останній не є об'єктом оптимізації у наведеній постановці задачі.

Як цільову функцію прийнято час $t_{P_{\text{призн}1}, P_{\text{призн}N} P_{\text{призн}}}$ транспортування матеріалів та виробів від точки подачі автомобіля, тобто першого елемента множини (11), до її останнього компонента:

$$t_{P_{\text{призн}1}, P_{\text{призн}N} P_{\text{призн}}} = \sum_{i=1}^{NP_{\text{призн}}-1} t_{i,i+1}, \quad (13)$$

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 запропоновано обчислювати за виразом:

$$\bar{t}_i = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^p t_{i,j}, \quad (14)$$

де

$$t_{i,j} = s_{i,j} / v_{i,j}, \quad (15)$$

p – кількість 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 цьому етапі руху, але й з певною ймовірністю гарантує, що наступна вершина також має максимальну швидкість сполучення з суміжними вже з нею вузлами і т. д.

У дисертаційній роботі запропонований підхід проілюстровано графічним алгоритмом визначення дій для довільного фрагменту мережі транспортних сполучень. Це додає наочності і спрощує розуміння його математичної природи за різних обставин виконуваного моделювання. Зокрема, до крайових умов належать межі досліджуваної ділянки мережі та інформація про її топологічні особливості. До початкових умов відносяться положення стартової, проміжних (за наявності), фінішної точок шуканого маршруту, а також поточні значення швидкостей переміщення автотранспорту між вузлами сполучення. Модель обраного фрагменту транспортної мережі розглядається як граф із двостороннім рухом.

Як приклад, наведено фрагмент транспортної мережі з десяти вузлів (рис. 3).

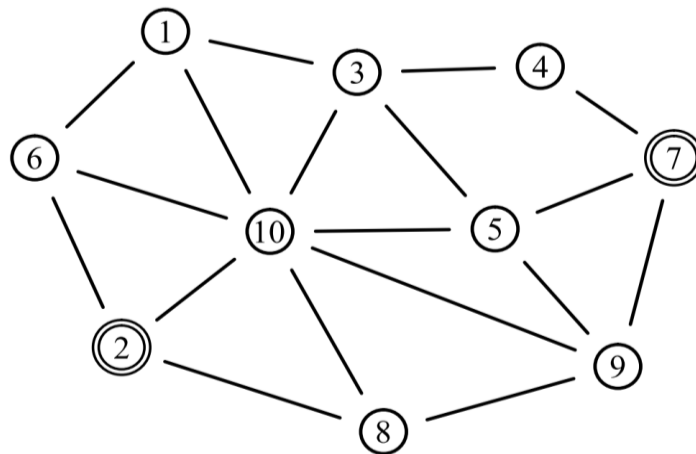


Рис. 3 Фрагмент транспортної мережі з десяти вузлів

Вважаємо, що у цій моделі сортування за швидкістю сполучення кожного вузла із 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 представлено у вигляді гістограми на рис. 4.

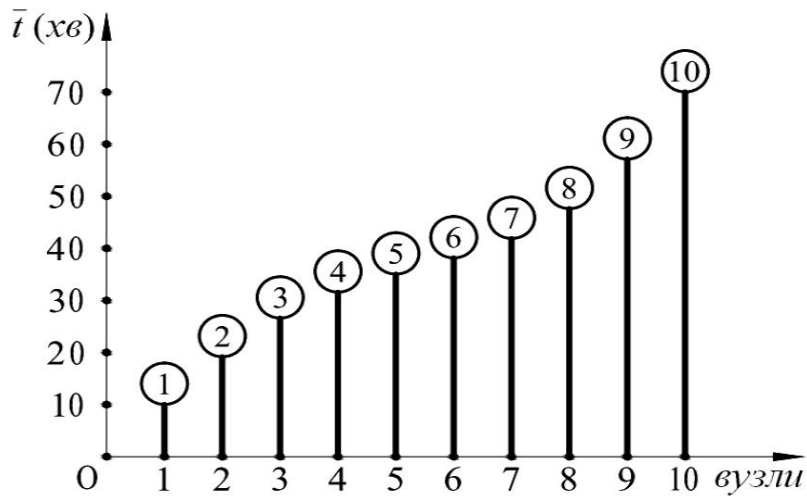


Рис. 4 Упорядкування вузлів мережі за часом сполучення між ними

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

На основі рис. 3 та рис. 4 створюємо спеціальну діаграму можливих шляхів руху автотранспорту, з урахуванням пріоритетності переміщення до кожного окремого вузла (рис. 5).

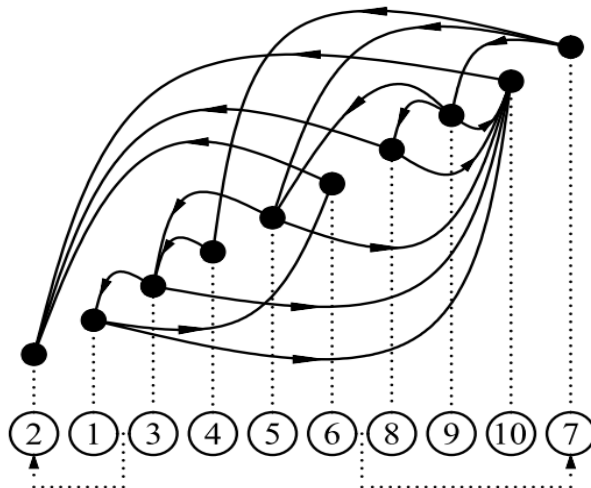


Рис. 5 Діаграма алгоритму визначення шляхів найшвидшого транспортування будівельних матеріалів

Цю діаграму будуватимемо у вигляді орієнтованого графу за такими 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 напрям зниження середніх швидкостей сполучення;

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

4. Аналогічно діємо з вузлами, до яких було проведено дуги від пункту відправлення;

5. Проводимо зворотні дуги, орієнтовані в напрямі зростання, розмішуючи 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 порівняно з іншими. При цьому слід переміщуватися винятково по дугах.

Для проаналізованого прикладу маршрутом найшвидшого спуску, згідно з показаною на рис. 5 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.

У такий спосіб поданий формулами (13) ... (15), рис. 3 ... 5 та викладеним вище алгоритмом запропонований геометричний спосіб оптимізації маршрутів на основі оцінок ймовірних швидкостей переміщення між вузлами мережі дає змогу вирішувати важливу логістичну задачу 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 зазвичай будівельне виробництво вимагає чіткого дотримання графіків, технологій і послідовності виконання робіт, а їх невиконання призводить до значних збитків.

У дисертації напрацьовано два нові геометричні способи оптимізації маршрутів на основі застосування методу потенціалів: *із забезпеченням проходження через необхідні пункти призначення та дефініції раціонального розташування додаткових доріг або вузлів транспортної мережі*. Їх сутність полягає має свої особливості.

Опрацьований фрагмент транспортної мережі подається множиною вигляду (9) та матрицею суміжності типу (12). Після цього визначаються пункти призначення (11), що реалізуються маршрутом кортежу (10). Основна мета полягає у знаходженні шляху найкоротшої довжини, яка є сумою належних величин зазначеної матриці суміжності.

Математичний апарат, що це реалізує, працює так: 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.

Потрібні маршрути створюються рухом тими ребрами графу, довжини яких відповідають різниці мінімальних значень індексів суміжних вершин. Для забезпечення відвідування необхідних пунктів призначення, описана процедура послідовно виконується для даних вузлів. Це становить головну ідею розробленого способу проходженням через потрібні пункти призначення.

Ще один засіб оптимізації, за можливості їх на практиці, полягає у модифікації наявної моделі транспортної мережі введенням додаткових ребер або вершин. Критерієм є поява у множинах індексів пунктів призначення нових мінімальних величин. На цьому базується запропонований спосіб дефініції розташування додаткових доріг або вузлів транспортної мережі.

Приклади використання розглянутих способів, які взаємно доповнюють один одного, а також наведених вище СПГМ та інших математичних залежностей для визначення раціональних маршрутів постачання будівельних матеріалів і виробів.

Розділ 3 «Способи та алгоритми геометричного моделювання постачання будівельних матеріалів» присвячено безпосередньому створенню належних моделей, їх аналізу щодо теоретичного обґрунтування та наукоємного використання .

Нехай опрацьований фрагмент транспортної мережі визначено множиною:

$$P_{мереж} = (P_{мереж_i})_1^{N_{мереж}} = (P_{мереж_i})_1^9 = (i)_1^9 \quad (16)$$

та матрицею суміжності:

$$L = \begin{pmatrix} \mathbf{0} & 10 & 12 & 0 & 15 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 10 & \mathbf{0} & 0 & 5 & 8 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 9 & 0 & \mathbf{0} & 0 & 5 & 10 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 5 & 0 & \mathbf{0} & 0 & 0 & 0 & 0 & 15 \\ 15 & 8 & 5 & 0 & \mathbf{0} & 0 & 4 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 10 & 0 & 0 & \mathbf{0} & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & \mathbf{0} & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & 3 & 0 & \mathbf{0} & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 15 & 0 & 0 & 2 & 3 & \mathbf{0} \end{pmatrix}. \quad (17)$$

Геометричну модель, яка відповідає виразам (16) і (17), показано на рис. 6.

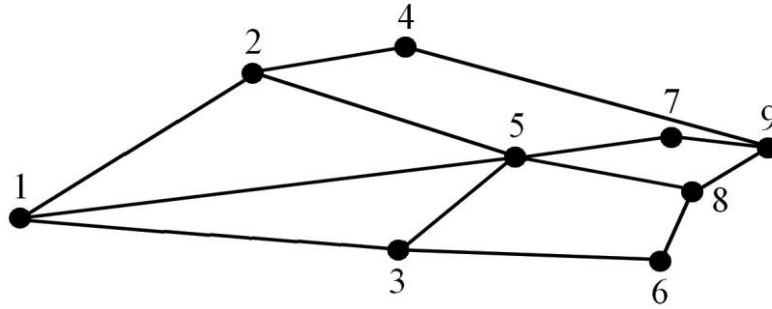


Рис. 6 Опрацьований фрагмент транспортної мережі

Значення в матриці суміжності подано в кілометрах, але з поправочними коефіцієнтами, які враховують такі наявні особливості реальних доріг, як ухили, стан полотна, допустимі швидкості руху тощо. Тому застосовані величини здатні відрізнитися від фізичних відстаней у більшу та меншу сторони. Це сприяє точнішій дефініції раціональних транспортних маршрутів.

Обчислені множини індексів мають вигляд:

$$\begin{aligned}
 I_1 &= (21; 23; 24; 24; 26; 27; 28; 30), \quad I_2 = (14; 17; 20), \\
 I_3 &= (11; 14; 16), \quad I_4 = (15), \quad I_5 = (6; 9), \\
 I_6 &= (6), \quad I_7 = (2), \quad I_8 = (3), \quad I_9 = (0).
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

Їх аналіз показує, що опрацьовувані довжини шляху між пунктами 1 та 9 належать проміжку від 21 до 30 км. Це свідчить, що для суттєвого зменшення витрат ресурсів при перевезенні будівельних матеріалів необхідно обов'язково обирати раціональний маршрут.

За описаним вище алгоритмом на підставі кортежів (18), отримуємо оптимальний маршрут між вершинами 1 та 9:

$$1 \rightarrow 5 \rightarrow 7 \rightarrow 9. \tag{19}$$

Наочне зображення рис. 6 підтверджує правильність застосованої обчислювальної процедури для визначення найкоротшого шляху (19). Оскільки автомобіль повинен повернутися в початковий пункт призначення, то потрібно також знайти належний раціональний шлях. У випадку симетричної матриці (17) це був би маршрут:

$$9 \rightarrow 7 \rightarrow 5 \rightarrow 1. \tag{20}$$

У нашому випадку не так, адже:

$$l_{1,3} = 12 \text{ км}, \quad l_{3,1} = 9 \text{ км}. \tag{21}$$

Співвідношення (21) свідчать, що під час моделювання враховуються не

просто геометричні відстані перевезення будівельних матеріалів та виробів, а й характер певних ділянок маршруту, зокрема, ухили доріг, їх якість тощо. Більш загальний випадок, що аналізується, обумовлює потребу розрахунку кортежів індексів, подібних до (18), але тепер в оберненому порядку.

Тоді одержуємо:

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

На основі множин (22) обчислюємо раціональний маршрут між пунктами 9 і 1:

$$9 \rightarrow 7 \rightarrow 5 \rightarrow 3 \rightarrow 1. \quad (23)$$

Рис. 6 та матриця (17) підтверджують правильність результату (23). Тобто цей шлях коротший за відстань (20) на 1 км і становить 20 км.

На підставі виразів (16) ... (23) робимо висновок, що в заданих умовах для постачання будівельних матеріалів між вузлами 1 та 9 наявної мережі раціональним кільцевим маршрутом буде така послідовність її вершин:

$$1 \rightarrow 5 \rightarrow 7 \rightarrow 9 \rightarrow 7 \rightarrow 5 \rightarrow 3 \rightarrow 1. \quad (24)$$

Довжина шляху (24) становить:

$$\begin{aligned} l_{1,5,7,9,7,5,3,1} &= l_{1,5} + l_{5,7} + l_{7,9} + l_{9,7} + l_{7,5} + l_{5,3} + l_{3,1} = \\ &= 15 \text{ км} + 4 \text{ км} + 2 \text{ км} + 2 \text{ км} + 4 \text{ км} + 5 \text{ км} + 9 \text{ км} = 41 \text{ км}. \end{aligned} \quad (25)$$

З описаного вище алгоритму видно, що останній, за потреби, зручно адаптується до змін наявної транспортної мережі, зокрема й динамічних, тобто в часі. Наприклад, це може стосуватися виникнення заторів на дорозі. Тоді введенням належних поправочних коефіцієнтів для довжин ребер матриці (17) отримуємо новий раціональний маршрут.

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

$$1 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 7 \rightarrow 9 \rightarrow 7 \rightarrow 5 \rightarrow 3 \rightarrow 1. \quad (26)$$

Відстань (26) дорівнює 43 км.

У дисертації проаналізовано можливе поліпшення наявного транспортного сполучення спорудженням нових доріг та вузлів. Для забезпечення наочності запропонованого алгоритму ілюстрації, де показано додавання ребра 5–9 і вершин 10 та 11.

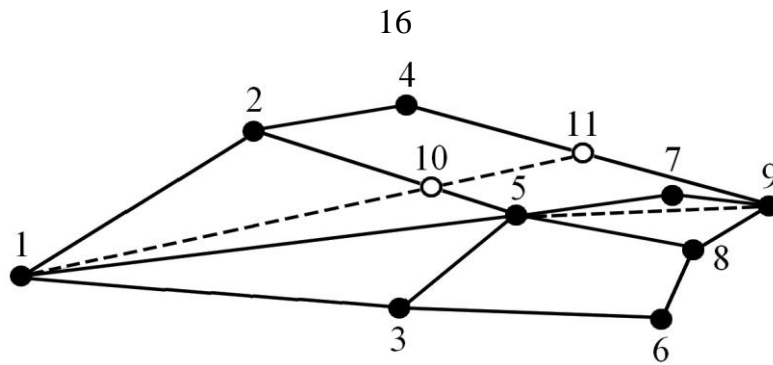


Рис. 7 Варіант модифікації транспортної мережі

Нехай

$$l_{5,9} = l_{9,5} = 5 \text{ км.} \quad (27)$$

Приклад (27) є очевидним для вдосконалення маршруту (24) на

$$1 \rightarrow 5 \rightarrow 9 \rightarrow 5 \rightarrow 3 \rightarrow 1, \quad (28)$$

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 I_1 виразу (18) нового мінімального значення 20, а у множині I_9 формули (22) – величини 19. Отже, довжина шляху (28) становить 39 км. Викладена ситуація доволі наочна, підтверджує розроблений алгоритм. У більш складних випадках застосовуються відповідні комп'ютерні розрахунки.

Додавання вузлів 10 та 11, для яких, зокрема:

$$\begin{aligned} l_{1,10} = l_{10,1} = 10 \text{ км, } l_{10,11} = l_{11,10} = 2 \text{ км,} \\ l_{11,9} = l_{9,11} = 5 \text{ км,} \end{aligned} \quad (29)$$

реалізує маршрут

$$1 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 9 \rightarrow 11 \rightarrow 10 \rightarrow 1, \quad (30)$$

довжиною

$$\begin{aligned} l_{1,10,11,9,11,10,1} &= l_{1,10} + l_{10,11} + l_{11,9} + l_{9,11} + l_{11,10} + l_{10,1} = \\ &= 10 \text{ км} + 2 \text{ км} + 5 \text{ км} + 5 \text{ км} + 2 \text{ км} + 10 \text{ км} = 34 \text{ км.} \end{aligned} \quad (31)$$

Рис. 6 і рис. 7, формули (24), (25) та (30), (31) свідчать, що введення до наявної транспортної мережі нових якісних доріг та вузлів, за умов належного фінансового обґрунтування доцільності їх будівництва, дає змогу суттєво скорочувати витрати на перевезення вантажів. Останнє зображення, порівняно з попереднім, складніше з погляду проведення оптимізації маршрутів. Це обумовлено зростанням кількості вершин та ребер графової моделі й відповідно кількості можливих варіантів перевезень. Без застосування ефективних

математичних обчислювальних алгоритмів, їх комп'ютерної реалізації, розв'язувати подібні та більш громіздкі такі задачі дуже важко. Належним прикладом може слугувати шлях

$$1 \rightarrow 10 \rightarrow 5 \rightarrow 9 \rightarrow 5 \rightarrow 10 \rightarrow 1, \quad (32)$$

довжиною

$$\begin{aligned} l_{1,10,5,9,5,10,1} &= l_{1,10} + l_{10,5} + l_{5,9} + l_{9,5} + l_{5,10} + l_{10,1} = \\ &= 10 \text{ км} + 1 \text{ км} + 5 \text{ км} + 5 \text{ км} + 1 \text{ км} + 10 \text{ км} = 32 \text{ км}. \end{aligned} \quad (33)$$

Зменшення величин $l_{10,5}$ і $l_{5,10}$ до 1 км у залежностях (32) та (33) може бути пов'язане з виконаними ремонтними роботами на зазначеній ділянці транспортної мережі, що підвищило якість дорожнього полотна.

У такий спосіб проаналізовано практичне застосування розроблених нових способів, прийомів та алгоритмів для оптимізації постачання будівельних матеріалів при новому будівництві.

У **Розділі 4 «Перспективи подальшого розвитку виконаних досліджень»** здійснено узагальнення одержаних наукових результатів, акцентовано ще не вирішені питання, окреслено напрями подальших розвідок.

Розроблені три способи геометричного моделювання для оптимізації автотранспортних 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 автотранспортної мережі, засвідчують використання багатоаспектного підходу до опрацювання розв'язуваних задач. У перспективі доцільно розповсюдити одержані здобутки на перевезення залізничними, водними та повітряними шляхами. Доречно є також більш тісна інтеграція з такими спеціалізованими дисциплінами, як технологія будівництва, організація перевезень, безпека дорожнього руху, економіка та іншими. Доречно пов'язати запропоновані способи, прийоми, алгоритми й методики геометричного моделювання на графах із задачами математичного програмування, що сприятиме вдосконаленню обох зазначених галузей досліджень, здійсненню комплексної оптимізації нового будівництва. У такому разі для цього буде корисним широке використання методології структурно-параметричного моделювання.

Важлива у практичному плані адаптація розроблених засобів до наявних архітектурних систем автоматизованого проектування та комп'ютерної інформаційної підтримки життєвого циклу різноманітних будівель і споруд, упровадження одержаних результатів безпосередньо у виробничі процеси.

Зауважено, що розглянуті перспективні напрями потребують проведення відповідних нових наукових розвідок.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційному дослідженні вдосконалено геометричні моделі постачання матеріалів і виробів в умовах нового будівництва.

Значення для науки полягає у створенні нових геометричних способів 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.

За результатами дослідження сформульовано такі висновки:

1. Виконано системний аналіз сучасного стану задач моделювання постачання будівельних матеріалів. 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. Модель дає змогу з єдиних методичних позицій оптимізувати маршрути постачання матеріалів графоаналітичними методами.

3. На цій основі розроблено нові геометричні способи та алгоритми моделювання постачання будівельних матеріалів, доцільні до 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. Взаємодоповнення запропонованих інструментів сприяє багатоаспектному підвищенню ефективності перевезень.

4. Ефективність розроблених геометричних способів та алгоритмів, що реалізують запропонований математичний апарат, підтверджена чисельними практичними розрахунками, які вказують на економію ресурсів під час логістичного забезпечення виробничих будівельних процесів.

5. Одержані 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 КНУБА при проведенні наукових досліджень; у навчальний процес кафедри

організації та управління будівництвом КНУБА, що засвідчило прикладну значущість цієї наукової праці.

6. Визначено перспективи подальшого розвитку обраної наукової теми, які полягають у вдосконаленні теоретичних положень, розроблянні нових методів та алгоритмів геометричного моделювання, адаптації відомих 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 (Building Information Modeling), а також поширення підходу на різні види транспорту.

Головні науково-прикладні здобутки дисертаційної роботи полягають у розроблянні спеціалізованих геометричних моделей для оптимізації процесів постачання матеріалів під час нового будівництва, що забезпечує зниження різноманітних витрат та сприяє підвищенню його ефективності загалом.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ 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. С. 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. С. 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.

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. – Київ, 2021.

Методи прикладної геометрії та графічних технологій набувають дедалі більшого значення у вирішенні багатьох проектних та організаційно-технологічних проблем будівництва. У дисертації вирішено актуальне науково-прикладне завдання підвищення ефективності геометричного моделювання процесів постачання будівельних матеріалів при спорудженні нових об'єктів. Виконано аналіз літературних джерел за обраною темою наукового дослідження. Доведено, що визначення раціональних маршрутів доставляння різноманітних будівельних матеріалів та виробів потребує детального оцінювання багатьох суттєвих факторів. Обґрунтовано можливість успішного розв'язання зазначених складних технічних завдань геометричними засобами. З цією метою розроблено теоретичні положення запропонованого підходу, напрацьовано нові способи, прийоми, алгоритми та методики, створено належні геометричні моделі.

Одержані результати впроваджено у практику будівництва та в освітній процес університету, що підтвердило їх достовірність і науково-практичну значущість. Визначено перспективи подальшого розвитку виконаних розвідок стосовно вдосконалення математичного апарату, його адаптації до сучасних систем автоматизованого архітектурно-будівельного проектування, розширення застосування на виробництві.

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

ANNOTATION

Magalov A. M. Geometric models of routes for the supply of building materials for new construction. – *Qualifying scientific work on the rights of 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, 2021.

The construction of new residential buildings, industrial and social facilities, engineering structures, etc. is an integral part of the sustainable development of society. In this case, various building materials are used, both natural (sand, gravel, stone, etc.) and artificial (cement and lime mortars, reinforced concrete, metal, ceramic, wood, plastic products, etc.). This branch of the national economy is

characterized by a wide range of materials used and the need for proper delivery to construction objects. These processes are characterized by the need for significant material, human, financial and other resources. Therefore, the issue of reducing the corresponding costs is an urgent scientific and applied problem.

One of the areas of its successful solution is the means of geometric modeling, which are used to optimize the routes of supply of materials for new construction, which is the topic of this scientific research. Its subject is concretized on the use of road transport as the most common in the regions where materials and products come to construction objects 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 necessary refinements, also to rail, water and even air traffic. This emphasizes the importance and practical significance of the performed scientific research.

The dissertation was completed 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 objectives of the study are due to the need to improve geometric models for the supply of building materials during new construction.

The following tasks are defined for this purpose: to analyze the current state of geometric modeling of the delivery of building materials; to develop theoretical provisions, new geometric methods, techniques and algorithms for modeling the supply of building materials; to create models that implement the proposed mathematical apparatus; to implement the results obtained in practice; to determine the prospects for the further development of the scientific work.

The optimization of processes for the supply of materials for construction production is the *object of the research*.

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

Methods of analytical and computational geometry, the theory of curves and surfaces, interpolation and approximation, sets and graphs, algorithms, optimization, construction production, computer graphics were used in the implementation of the dissertation work.

In the dissertation, for the first time, new geometric methods were 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; definitions of the rational location of additional roads or nodes of the transport network.

The practical significance of the obtained results is to improve the processes of geometric modeling of the supply of construction materials, use in LLC «Gradobud-K» (Kyiv) in the organization of construction and execution of works, in the Scientific and Educational Center for Design of Buildings with Close to 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 Kyiv National University of Construction and Architecture, which proved the practical value of the dissertation research.

The significance of this dissertation work for science and practice is that: the analysis of the current state of modeling the supply of building materials is performed. It is shown that geometric means significantly contribute to the multifaceted optimization of these processes in the conditions of new construction; the main theoretical positions are developed, on their basis new geometric methods and algorithms are created for modeling the supply of building materials; geometric algorithmic models are developed, which implement the proposed mathematical apparatus and reduce the use of various resources during the logistics of construction processes; the obtained results are implemented in the practice and educational process of the university; the prospects for the further development of the selected scientific topic are determined, which consist in improving the theoretical provisions, developing new methods and algorithms for geometric modeling, adapting to the existing needs of the construction industry, closer integration with related specialized disciplines such as construction technology, transportation, economics, etc.

Thus, the main scientific and applied achievements of this dissertation work are the development of specialized geometric models to optimize the supply of materials during new construction, which reduce various costs and improve its efficiency.

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

Наклад 100. Папір офсетний. Ум.-др. арк. 0,9.
Підписано до друку 21.04.2021. Замовлення 164.

Надруковано в «МП Леся».
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру
суб'єктів видавничої справи серія ДК № 892 від 08.04.2002.

«МП Леся»
03148, Київ, а/с 115.
Тел./факс: (066) 60-50-199, (098) 455-41-17
E-mail: lesya3000@ukr.net