

УДК 528.4:656

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/35>**Суворова Н.О.**

orcid.org/0000-0001-6110-4864

Національний авіаційний університет

Валько А.М.

orcid.org/0000-0003-0394-6304

Національний авіаційний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ЗАСТОСУВАННЯ ГІС У ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ

Нині транспортні системи завдяки використанню інформаційних технологій у процесі перевезення вантажів та пасажирів досягли високого та ефективного рівня для підтримки світової економіки. Враховуючи те, що сам процес транспортування має просторовий характер, без сумніву, геоінформаційні системи (ГІС) можуть сприяти вирішенню просторових аспектів транспортних завдань.

Доцільно сказати, що завдяки повнофункціональній структурі та модульній побудові сучасні ГІС здійснили технологічний прорив у просторовому плануванні та прийнятті управлінських рішень у багатьох сферах застосування, в тому числі у транспортній галузі.

Однак ефективне впровадження та реалізація базових функцій ГІС у транспортних системах не може досягти бажаних переваг частково через невідповідність між вирішеннями ГІС транспортних проблем і саме потреб транспорту.

У результаті транспортні проблеми змушені вписуватися в структуру наявної ГІС, навіть якщо її структура не призначена для конкретних транспортних потреб та завдань.

Таким чином, головною проблемою під час застосування геоінформаційних систем на транспорті залишаються питання аналізу динамічних за своєю суттю та різноманітних наборів даних під час вирішення транспортних завдань.

Саме тому метою нашої наукової статті є проведення дослідження та аналізу розвитку сучасних підходів щодо застосування ГІС у транспортних системах.

У статті визначена та сформульована сутність транспортних геоінформаційних систем. Досліджено та проведено аналіз розвитку сучасних підходів застосування ГІС у транспортних системах. Виокремлено основні функціональні підсистеми транспортних ГІС. Систематизовані та сформульовані категорії тем дослідження ГІС-технологій у транспортних системах. Визначені методи аналізу і моделювання у транспортних системах. Висвітлені питання щодо подальшого дослідження розвитку транспортних ГІС.

Ключові слова: геоінформаційні системи, транспортна система, транспортне завдання, процес перевезення, динамічні дані, управління.

Постановка проблеми. У процесі розвитку інформаційного суспільства будь-який фахівець повинен вміти швидко сприймати й опрацювати великі обсяги інформації, використовувати сучасні комп'ютерні засоби, методи та інформаційні технології. Нові умови роботи ставлять у залежність інформованість однієї людини від інформації, добутої іншими людьми. Тому потрібно освоїти такі технології роботи з інформацією, коли готуються та приймаються рішення на засадах колективних знань, тобто людина повинна мати певний рівень інформаційної культури [1, с. 17].

Нині управління складними за своєю структурою транспортними системами вимагає не тільки

високої підготовки кваліфікаційного персоналу, але й сучасного та якісного інформаційного забезпечення процесу управління транспортним комплексом.

Прийняття обґрунтованих та ефективних управлінських рішень щодо оптимізації транспортного процесу можливе тільки на основі обробки даних і аналізу великих обсягів інформації про функціонування транспортної системи на рівні країни, регіону або міста.

Одним із чинників ефективного використання інформації є ефект від використання просторово-локалізованої інформації, ефективним інструментом аналізу якої є геоінформаційні системи (ГІС) та геоінформаційні технології (ГІТ) [1, с. 11].

Геоінформаційна система працює із просто-риво розподіленою інформацією – інформацією, яка має географічну прив'язку. Практично 90% інформаційного руху в сучасному суспільстві має подібну географічну прив'язку [2, с. 9].

ГІС ефективні в усіх галузях, де здійснюються облік і управління територією та об'єктами на ній. Ці системи виявилися надзвичайно ефективними для розв'язку завдань управління і планування, які зустрічаються в будь-якій сфері діяльності людини, від цивільного будівництва до моніторингу навколишнього середовища та різноманітних науково-практичних досліджень [3, с. 11].

Причини такого успіху ГІС пояснюються таким [4, с. 26]:

- по-перше, великою ефективністю вирішень складних проблем засобами ГІС;
- по-друге, величезною множиною сфер застосування ГІС, тому що ГІС працює із просторовими даними, які є частиною нашого повсякденного життя;
- по-третє, стали доступними для масового користувача як потужні персональні комп'ютери, на яких можлива реалізація ГІС, так і складні програмні комплекси ГІС, що забезпечені легким для користувача інтерфейсом.

Всі ці фактори можна врахувати тільки під час застосування геоінформаційних систем як інструменту управління транспортними системами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науковими дослідженнями щодо застосування геоінформаційних систем займалися такі вітчизняні та зарубіжні вчені, як: К.В. Доля, О.Є. Доля, В.І. Зацерковний, В.Г. Бурачек, О.О. Железняк, А.О. Терещенко, Л.А. Павленко, І.В. Крив'юк, В.Д. Шипулін, О.В. Грицунов, І.В. Тішаєв, І.В. Віршило, В.К. Демидов, С.В. Костріков, К.Ю. Сегіда, Х. Міллер, Ші-Лун Шоу, Дж.-П. Родріге та інші.

Проведений аналіз сучасних наукових робіт у сфері геоінформаційних систем показав, що в цих роботах деякі питання щодо використання ГІС-технологій у транспортних системах недостатньо висвітлені та потребують подальшого вивчення та поглиблення.

Постановка завдання. Метою статті є дослідження та аналіз розвитку сучасних підходів щодо застосування ГІС у транспортних системах, що зумовлено їх широкими функціональними можливостями під час вирішення транспортних завдань.

Виклад основного матеріалу дослідження. Враховуючи фактор просторового розподілу

матеріальних, трудових ресурсів, послуг, а також населення, ми повинні здійснювати процес переміщення товарів, вантажів людей, послуг та інформації з різних місць розташування для задоволення фізіологічних, економічних і соціальних потреб людства. Тобто транспорт у сучасному світі є необхідністю в людському суспільстві.

Нині транспортні системи завдяки використанню інформаційних технологій у процесі перевезення досягли високого та ефективного рівня для підтримки світової економіки. Враховуючи те, що сам процес перевезення має просторовий характер, хоча сам транспорт включає деякі непросторові аспекти, без сумніву, геоінформаційні системи можуть сприяти вирішенню просторових аспектів транспортних завдань.

Автори джерела [1, с. 41] дають таке визначення ГІС: «геоінформаційна система (ГІС) – це система апаратно-програмних засобів і алгоритмічних процедур, що створена для цифрової підтримки, поповнення, управління, маніпулювання, аналізу, математико-картографічного моделювання й образного відображення географічно координованих даних».

У широкому розумінні геоінформаційна система – це інформаційна система, яка спеціалізується на введенні, управлінні, аналізі, звітності та представленні географічної (просторово-зв'язної) інформації. Серед широкого спектру потенційних додатків ГІС можливо використовувати для вирішення транспортних завдань, оскільки вони значною мірою залежать від візуалізації даних і аналітичних методів [5, с. 317].

Під структурою ГІС розуміють сукупність її властивостей, які є істотними з погляду здійснюваного дослідження і які мають інваріантність в інтервалі функціонування [1, с. 122].

Науковець [6, с. 123] у своїй праці стверджує, що у загальному випадку ГІС повинна складатися з таких чотирьох підсистем:

- збору, підготовки і введення даних;
- збереження, відновлення і керування даними;
- обробки, моделювання й аналізу даних;
- контролю, візуалізації і виведення даних.

Автор у своїй роботі [6, с. 124] дає пояснення щодо основних завдань підсистем ГІС, а саме:

- основне завдання підсистеми збору, підготовки і введення даних – формування бази географічних і атрибутивних даних ГІС;
- основне завдання підсистеми збереження, відновлення і керування даними – організація збереження даних, забезпечення процедур їхнього

редагування і відновлення, обслуговування запитів на інформаційний пошук, що надходять до системи;

– основне завдання підсистеми обробки, моделювання й аналізу даних – організація обробки даних, забезпечення процедур їхнього перетворення, математичного моделювання і спільного аналізу;

– основне завдання підсистем контролю, візуалізації і виведення даних – генерація та оформлення результатів роботи системи у вигляді карт, графічних зображень, таблиць, текстів на твердих або магнітних носіях.

У своїй роботі [5, с. 319] автор пояснює, що інформація в ГІС найчастіше зберігається і представляється у вигляді класів просторових об'єктів (шарів), які являють собою набір географічних об'єктів, пов'язаних з їх атрибутами. На рис. 1 наведена транспортна система у вигляді трьох шарів, які пов'язані із землекористуванням, транспортними потоками (просторова взаємодія) і транспортною мережею. Кожен із них має свої особливості, пов'язані дані і може використовуватися незалежно або в поєднанні з іншими шарами.

Зазначимо, що такі основні функції підсистем ГІС, як кодування, управління, аналіз та звітність, мають особливі аспекти для управління транспортними системами.

Основні функціональні підсистеми транспортних ГІС наведені в табл. 1.

Згідно з наведеними даними в таблиці, можемо зробити висновки щодо основних завдань кожної з функціональних підсистем.

Так, наприклад, основним завданням підсистем кодування у транспортній ГІС є вирішення питань, які пов'язані з поданням даних щодо транспортної системи та її просторових компонентів.

Зауважимо, що під час кодування даних необхідно враховувати деякі важливі аспекти на тран-

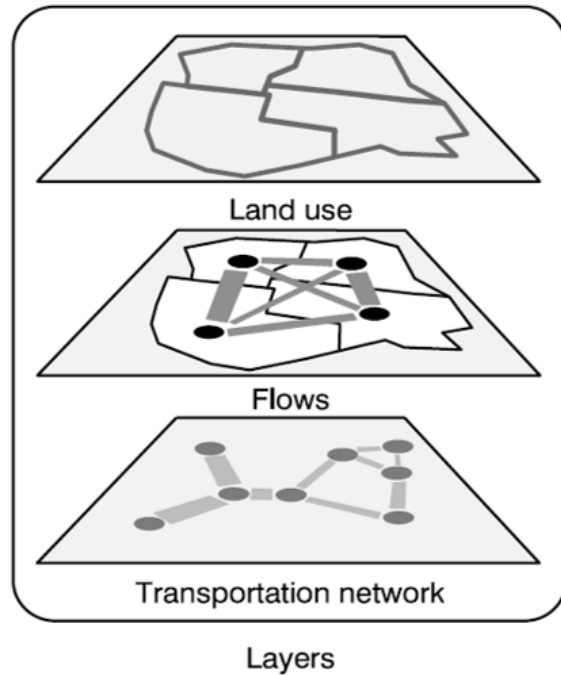


Рис. 1. Транспортна система у вигляді класів просторових об'єктів (шарів) [5]

спорті. Насамперед транспортна мережа повинна бути правильно закодована, враховуючи її функціональну топологію. По-друге, елементи, які відносяться до транспортування (кількісні та якісні дані), повинні бути закодовані та пов'язані з їх відповідними просторовими елементами.

Якщо розглядати основні завдання підсистеми управління в транспортних ГІС, можемо визначити, що це є організація закодованої інформації, що зберігається в базі даних, за просторовою, тематичною та часовою ознакою. Для вирішення цього завдання необхідно розробити таку базу даних геоінформаційних систем, яка без проблем зможе організувати великий обсяг різнорідних транспортних даних згідно з поставленими завданнями, до яких можливо буде легко отри-

Таблиця 1

Основні функціональні підсистеми транспортних ГІС

Транспортна інформація		↓
Кодування	➡	Модель представлення транспортної системи та її просторових компонентів (просторові дані)
Управління	➡	Організація інформації за ознаками: Просторова – тематична – часова
Аналіз	➡	Запит – операції – моделювання вирішення транспортної проблеми
Звітність	➡	Візуалізація та картографія отриманих результатів
		↓
Кінцевий користувач (споживач транспортної інформації)		

мати доступ для вирішення та підтримки різноманітних транспортних потреб.

Підсистема аналізу в транспортних геоінформаційних системах насамперед враховує та розглядає широкий спектр інструментів та методів, які доступні для вирішення транспортних питань. Цей спектр може варіюватися від простого запиту до конкретного елементу транспортної системи (інтенсивність руху транспортних засобів у годину пік на конкретній ділянці дороги) до складної моделі дослідження взаємозв'язків між компонентами та елементами транспортної системи (якщо, наприклад був доданий новий термінал в аеропорту, який у подальшому буде мати вплив на пасажиропотік чи вантажопотік).

Зазначимо, що ГІС у будь-якій сфері застосування була би неповноцінною, якби не мала можливостей візуалізації та подання звітності просторових і непросторових даних після виконання будь-якого аналізу.

Програмні засоби геоінформаційних систем повинні забезпечити візуалізацію просторових та інших графічних і відеоданих, а також результати виконання різних запитів [1, с. 132].

На нашу думку, підсистема звітності особливо важлива для вирішення транспортних комплексних завдань, оскільки вона пропонує інтерактивні інструменти для передачі складної, різноформатної інформації у візуальному форматі.

Автори роботи [7, с. 142–143] зазначають, на сьогодні у світі налічується безліч ГІС, що належать до розряду повнофункціональних, тобто вони забезпечені базовими функціями ГІС для створення, візуалізації та аналізу карт. Більша частина сучасних ГІС має модульну побудову. ГІС забезпечені деяким ядром, що передбачає тільки мінімальну функціональність (відображення карт, підтримку базових моделей даних, деякі функції просторового аналізу).

Доцільно сказати, що завдяки повнофункціональній структурі та модульній побудові сучасні геоінформаційні системи здійснили технологічний прорив у просторовому плануванні та прийнятті управлінських рішень у багатьох

сферах застосування, у тому числі у транспортній галузі.

Однак автори наукової роботи [8, с. 130] зазначають, що однією з основних проблем, з якими стикається ГІС на транспорті, є невизначеність у розумінні постановки проблеми між дослідниками у сфері ГІС та фахівцями із транспортних технологій. Фахівці з ГІС найчастіше розглядають транспортні потреби з погляду самої ГІС і тому відносять їх до проблеми виключно геоінформаційних систем.

У результаті транспортні проблеми змушені вписуватися в структуру наявної ГІС, навіть якщо її структура не призначена для конкретних транспортних потреб та завдань. Впровадження та реалізація ГІС у транспортних системах не може досягти бажаних переваг частково через невідповідність між рішеннями ГІС і потребами транспорту.

Нині існують два варіанти дослідження ГІС в транспортних системах:

- дослідження, зосереджені виключно на питаннях подальшого розвитку та поліпшення ГІС для задоволення транспортних додатків;
- дослідження, які займаються вирішенням питання щодо використання ГІС з погляду полегшення та покращення транспортних досліджень.

На думку авторів [5, с. 319], до досліджень ГІС у транспортних системах можна підходити з двох різних напрямів за умови доповнення один одного.


Таким чином, теми дослідження ГІС технологій в транспортних системах ми пропонуємо класифікувати за трьома категоріями (табл. 2).

Зауважимо, що однією з особливих характеристик геоінформаційних систем є можливість інтегрування просторових і непросторових даних для подальшого аналізу та підтримки відображення даних. Тому представлення даних нині є основною темою дослідження ГІС-технологій.

Геоінформаційні системи базуються на моделях даних, що відображають реальні об'єкти на місцевості, взаємозв'язок між ними та інші додаткові знання, що мають просторову прив'язку.

Таблиця 2

Категорії тем дослідження ГІС технологій у транспортних системах

Тема дослідження	Питання, на яке відповідає дослідження
Представлення даних 	Як можуть бути представлені дані в ГІС на транспорті?
Аналіз і моделювання 	Як можна використовувати транспортні методи і моделі в ГІС?
Додатки (програмне забезпечення) 	Які типи додатків підходять для ГІС при вирішенні транспортних завдань?

Кожна модель даних ГІС включає різні окремі просторові об'єкти, пов'язані додатковими топологічними особливостями [7, с. 20].

У дослідженнях транспортних ГІС для представлення відповідних геоданих використовуються, як правило, об'єктивно-орієнтовані моделі даних, а також моделі польових вишукувань.

Використання того чи іншого типу моделі даних залежить від наявної транспортної проблеми. Наприклад, при сітьовому аналізі найкращим варіантом для транспортного додатку буде застосування об'єктивно-орієнтованої моделі даних ГІС.

У практичній діяльності транспортні підприємства найчастіше вимірюють розташування об'єктів транспортної системи або подій, які пов'язані з цими об'єктами, поряд із транспортними сітьовими зв'язками. Але у більшості моделей даних стандартних ГІС нині використовується двомірна система координат, яка не може належним чином обробляти одновимірну лінійну систему посилань. З цією метою пропонується застосування моделі сегментації динамічних даних для задоволення конкретних потреб транспортних ГІС.

Можемо зробити висновок, що існуючі моделі даних забезпечують основу для підтримки багатьох додатків ГІС для вирішення транспортних проблем, але, враховуючи специфічні та унікальні характеристики транспортних даних, постає питання щодо подальшого розробки найбільш досконалих моделей даних ГІС для покращення представлення даних транспортних ГІС.

Авторами роботи [1, с. 131] зазначається, що підсистема обробки, моделювання й аналізу даних призначена для організації обробки даних, забезпечення процедур їх перетворення, математичного моделювання та поєднання аналізу шляхом генералізації, агрегації, встановлення параметрів і обмежень за допомогою моделюючих функцій.

Зазначимо що стандартні функції ГІС, наприклад запит, кодування, буфер тощо, також використовуються у додатках транспортних ГІС для підтримки потреб в управлінні даними, аналізу і візуалізації інформації.

Доцільно сказати, що у сфері транспортних систем нині розроблені свої унікальні методи аналізу і моделювання даних (рис. 2).

Одним із важливих моментів, на який варто звернути увагу, є те, що основні методи аналізу і моделювання даних процесу перевезення, наприклад модель оптимізації маршруту, використовуються в більшості стандартних програм ГІС,

проте більшість універсальних моделей вирішення транспортних завдань застосовуються лише в деяких комерційних програмних пакетах геоінформаційних систем, наприклад модель попиту на перевезення.

На нашу думку, невизначеності у методах аналізу і моделювання даних у транспортних системах можливо уникнути у разі:

1. Розуміння існуючих методів та моделей аналізу даних дослідниками та фахівцями у сфері ГІС-технологій на транспорті.

2. Вибору програмного продукту ГІС, який найкраще буде відповідати потребам транспортних систем.

3. Вибору з доступних програмних пакетів відповідних функцій аналізу даних для правильної та точної інтерпретації результатів проведеного аналізу.

4. Подальшого дослідження застосування ГІС у транспортних системах з метою удосконалення можливостей проектування та аналізу транспортних геоінформаційних систем.

Для ефективного впровадження ГІС у транспортних системах необхідно мати в наявності потужне програмне забезпечення (додатки) для безпосереднього управління транспортними ГІС загалом, а також для забезпечення виконання основних функцій геоінформаційних систем.

У наш час більшість додатків транспортних ГІС охоплюють широкий спектр вирішення завдань транспортних систем та логістики, а саме [5, с. 321]:

- планування й управління транспортною інфраструктурою;
- аналіз транспортної безпеки;
- аналіз попиту на перевезення вантажів та пасажирів;
- моніторинг дорожнього руху;
- планування та експлуатація громадського транспорту;
- оцінка економічного та екологічного впливу транспорту;
- планування маршрутів;
- відстеження транспортних засобів;
- управління парком транспортних засобів;
- управління ланцюгами поставок.

Зазначимо, що кожний із перерахованих вище додатків ГІС має відповідні та конкретні вимоги до представлення й аналізу даних залежно від вирішуваних завдань.

Наприклад, у разі представлення вуличної мережі у вигляді осьових ліній достатньо додатків ГІС під час вирішення завдань із планування



Рис. 2. Методи аналізу і моделювання в транспортних системах

перевезень чи оптимізації маршруту. Проте у разі вирішення завдань з управління дорожнім рухом для додатків ГІС може знадобитися більше атрибутивної інформації (детальний опис смуг дорожнього руху, прилеглих зон тощо).

Зауважимо, що всі перелічені потреби додатків ГІС мають безпосереднє відношення до проведеного вище дослідження з питань представлення даних, а також аналізу та моделювання ГІС у транспортних системах.

Висновки. У статті визначено, що транспортні ГІС є дуже складними та різноманітними системами, але водночас дуже важливими додатками базових ГІС.

Головною проблемою під час застосування ГІС у транспортних системах залишається питання аналізу динамічних за своєю суттю, а також різноманітних наборів даних для вирішення транспортних завдань. Нині є два сучасних підходи

щодо дослідження існуючих додатків ГІС для застосування на транспорті.

Перший підхід полягає в удосконаленні та розширенні існуючих можливостей геоінформаційних систем для вирішення транспортних завдань, враховуючи специфічні, різноманітні та унікальні характеристики транспортних даних.

Другий підхід полягає у використанні існуючих базових функцій ГІС для подальшого розроблення додатків транспортних ГІС із метою поліпшення процесів перевезення, планування, управління та експлуатації транспортних засобів у практичній діяльності транспортних підприємств.

Таким чином, ми бачимо, що для ефективного впровадження та реалізації функцій ГІС під час вирішення транспортних завдань необхідна взаємодія між дослідниками ГІС і фахівцями із транспортних технологій.

Список літератури:

1. Зацерковний В.І., Бурачек В.Г., Железняк О.О., Терещенко А.О. Геоінформаційні системи і бази даних: монографія. Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2014. 492 с.
2. Костріков С.В., Сегіда К.Ю. Географічні інформаційні системи: навчально-методичний посібник для аудиторної та самостійної роботи студентів за спеціальностями «Географія», «Економічна та соціальна географія». Харків, 2016. 82 с.
3. Зацерковний В.І., Тішаєв І.В., Віршило І.В., Демидов В.К. Геоінформаційні системи в науках про Землю. Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2016. 510 с.

4. Шипулін В.Д. Основні принципи геоінформаційних систем: навч. посібник. Харків: ХНАМГ, 2010. 313 с.
5. Rodrigue Jean-Paul. The Geography of Transport Systems. New York: Routledge, 2020. Third edition. 456 p.
6. Біда П.І. Використання ГІС-технологій у землевпорядному проектуванні. *Український журнал прикладної економіки*. 2017. Т. 2, № 2. С. 120–128. URL: <http://ujae.wunu.edu.ua/index.php/ujae/article/download/145/145> (дата звернення: 12.03.2021).
7. Доля К.В., Доля О.Є. Геоінформаційні системи на транспорті. Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2018. 230 с.
8. Shaw Shih-Lung. Geographic information systems for transportation: from a static past to a dynamic future, *annals of GIS*. 2010. Vol. 16. P. 129–140. DOI: 10.1080/19475683.2010.513155 (дата звернення: 10.03.2021).

Suvorova N.O., Valko A.M. RESEARCH OF MODERN APPROACHES TO THE APPLICATION OF GIS IN TRANSPORT SYSTEMS

To date, transport systems, thanks to the use of information technology in the process of transporting goods and passengers, have reached a high and efficient level to support the world economy. Given that the transportation process itself is spatial in nature, there is no doubt that geographic information systems (GIS) can help solve the spatial aspects of transport problems.

It is worth noting that due to the full-featured structure and modular construction, modern GIS has made a technological breakthrough in spatial planning and management decisions in many areas of application, including transport.

However, the effective implementation and enforcement of the basic functions of GIS in transport systems cannot achieve the desired benefits in part due to the mismatch between GIS solutions to transport problems and transport needs.

As a result, transport problems are forced to fit into the structure of the existing GIS, even if its structure is not designed for specific transport needs and tasks.

Thus, the main problem in the application of geographic information systems in transport are the issues of analysis of dynamic in nature and diverse data sets in solving transport problems.

That is why the purpose of our scientific article is to conduct research and analysis of the development of modern approaches to the use of GIS in transport systems.

The article defines and formulates the essence of transport geographic information systems. The analysis of development of modern approaches of application of GIS in transport systems is investigated and carried out. The main functional subsystems of transport GIS are singled out. Systematized and formulated categories of research topics GIS technologies in transport systems. Methods of analysis and modeling in transport systems are defined. Issues for further study of the development of transport GIS are covered.

Key words: *geographic information systems, transport system, transport tasks, transportation process, dynamic data, management.*