

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

ГАВЕНКО ОЛЕГ ВІТАЛІЙОВИЧ

УДК 004.94:004.04

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ДЛЯ ПОБУДОВИ АНАЛІТИЧНИХ  
ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ БАГАТОЗВ'ЯЗНИХ  
ПРОСТОРОВО-РОЗПОДІЛЕНИХ ОБ'ЄКТІВ

Спеціальність 05.13.06 – інформаційні технології

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Вінниця – 2013

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано у Вінницькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Мокін Віталій Борисович,**  
Вінницький національний технічний університет,  
завідувач кафедри комп'ютерного еколого-економічного  
моніторингу та інженерної графіки.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Прокудін Георгій Семенович,**  
Національний транспортний університет, м. Київ, завідувач  
кафедри міжнародних перевезень та митного контролю;

доктор технічних наук, професор, член-кореспондент  
НАН України  
**Трофимчук Олександр Миколайович,**  
Інститут телекомунікацій та глобального інформаційного  
простору НАН України, м. Київ, заступник директора з наукової  
роботи.

Захист відбудеться «26» \_\_\_\_\_ 10\_\_\_\_\_ 2013 р. о 9<sup>30</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 05.052.01 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ГНК, ауд. 210.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.

Автореферат розісланий «24» \_\_\_\_\_ 09\_\_\_\_\_ 2013 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради

С. М. Захарченко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Однією з найбільш актуальних проблем сьогодення є моніторинг стану та оптимальне управління процесами у багатозв'язних просторово-розподілених об'єктах та системах (БПРО) таких як: транспортні, річкові, енергетичні, телекомунікаційні, трубопроводи тощо. Інформація про атрибутивні (числові, текстові та інші) характеристики зберігається в реляційних базах даних (БД), а просторові характеристики формалізуються як шари геоінформаційних систем (ГІС), в яких векторні об'єкти пов'язуються з атрибутивними характеристиками у БД.

Традиційно БПРО формалізується у вигляді геометричної та логічної мережі, що дозволяє використовувати як сучасний інструментарій ГІС для збереження, обробки, аналізу та візуалізації даних цих систем, так і сучасні засоби мережевого аналізу на основі теорії графів.

Геометрична мережа – це визначений набір класів векторних об'єктів, які утворюють частину нерозривної мережі, що складається із граничних елементів, переходів і поворотів, яка використовується для представлення та моделювання поведінки загальної інфраструктури мережі у реальному світі.

Для синтезу оптимального управління необхідною є побудова математичних моделей процесів у БПРО, чому присвячена величезна кількість робіт. Однак, багатозв'язність об'єктів, яка означає наявність великої кількості залежностей та зв'язків між параметрами різних складових цих об'єктів суттєво ускладнює процес моделювання. Під залежністю розуміється певна математична модель чи алгоритм, за яким один вихідний параметр обчислюється по одному чи багатьох інших параметрах. Наприклад, при розрахунку середньої швидкості руху транспортного засобу у вулично-дорожній мережі міста, в залежності від необхідної точності розрахунку, можуть враховуватись різні комбінації параметрів об'єктів, які прямо чи опосередковано впливають на середню швидкість руху: довжина перегонів мережі, стан дорожнього покриття, фази роботи світлофорних об'єктів, інтенсивність та пропускна здатність транспортної мережі тощо.

Отже, враховуючи багатозв'язність та взаємозалежність великої кількості параметрів БПРО, доводиться будувати цілі комплекси математичних моделей, які враховують ту чи іншу кількість атрибутивних параметрів та просторових об'єктів шарів ГІС. Потім ув'язувати їх змінні та параметри з параметрами ГІС БПРО та створювати спеціальні інструментальні засоби обробки даних для кожної комбінації шарів ГІС, що є досить трудомістким і малоефективним підходом. Адже на практиці, для програвання різних сценаріїв оптимізації функціонування БПРО доводиться проводити моделювання та аналіз результатів щоразу для різних комбінацій шарів ГІС та їх параметрів, а це займає багато часу. Більше того, проблема ускладнюється ще й тим, що геоінформаційні системи та бази даних зберігаються у різних програмних середовищах, мають різну структуру та формати даних.

Таким чином, є актуальною розробка нової інформаційної технології для більш швидкої побудови аналітичних геоінформаційних систем багатозв'язних

просторово-розподілених об'єктів за рахунок формалізації та зберігання не лише просторових та атрибутивних даних об'єктів БПРО, а й засобів їх аналітичної обробки.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Вибраний напрямок досліджень співпадає з напрямком досліджень за такими науково-дослідними роботами (НДР) Вінницького національного технічного університету (ВНТУ), де здобувач був виконавцем:

1) «Автоматизація ідентифікації та оптимізації характеристик просторово-розподілених систем за інформаційними моделями їх елементів» (№ ДР 0111U001116), яка була виконана на замовлення Міністерства освіти і науки України (МОН України) у 2011-2012 рр.;

2) «Розробка інформаційної моделі водогосподарського районування України» (№ ДР 0112U003475), яка була виконана на замовлення Державного агентства водних ресурсів України у 2012 р.;

3) «Створення та впровадження геоінформаційної системи для управління водними ресурсами із даними моніторингу вод, банком кадастрової інформації про водні ресурси та основні гідротехнічні споруди Полтавської області» (№ ДР 0112U006650), яка була виконана на замовлення Полтавського обласного управління водних ресурсів та Управління з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи Полтавської облдержадміністрації у 2012 р.;

4) «Створення та впровадження геоінформаційної системи з основними даними про водні ресурси та даними моніторингу якості вод і водокористування Кіровоградської області» (№ ДР 0112U008255), яка була виконана на замовлення Головного управління агропромислового розвитку Кіровоградської облдержадміністрації у 2012 р.;

5) «Розробка інформаційної моделі екологічної геоінформаційної системи м. Кривий Ріг» (№ ДР 0112U006706), яка була виконана на замовлення ТОВ «ГІСІНФО» (генпідрядник – Міськрада м. Кривий Ріг) у 2012-2013 рр.

Крім того, робота відповідає договору про науково-технічне співробітництво між ВНТУ та Вінницькою міськрадою № 28/2 від 01 березня 2010 року, зокрема напрямку робіт № 16 «Оптимізація моделі руху транспорту у місті та системи автоматизованого керування дорожнім рухом з метою зниження заторів та, відповідно, викидів транспорту в атмосферне повітря», де автор зазначений серед виконавців від ВНТУ.

**Мета і задачі дослідження.** *Мета дослідження* полягає у підвищенні швидкості побудови аналітичних геоінформаційних систем багатозв'язних просторово-розподілених об'єктів.

У результаті проведеного аналізу для досягнення поставленої мети сформульовано задачі дослідження:

1. Здійснити аналіз методів, технологій та підходів до формалізації і обробки атрибутивних та просторових даних багатозв'язних просторово-розподілених об'єктів для оптимізації процесів, що протікають у них.

2. Розробити метод формалізації аналітичних та алгоритмічних

залежностей між параметрами об'єктів шарів ГІС БПРО, який би забезпечував швидку адаптацію до різних комбінацій об'єктів та шарів.

3. Удосконалити метод формалізації впливу центрів тяжіння на параметри БПРО з урахуванням аналітичних та алгоритмічних залежностей між цими параметрами.

4. Розробити інформаційну модель аналітичної геоінформаційної системи багатозв'язних просторово-розподілених об'єктів, що дозволить представляти в єдиному форматі ГІС просторові і атрибутивні дані БПРО, аналітичні і алгоритмічні залежності між їх параметрами, просторові і логічні відношення між їх об'єктами для автоматизації їх обробки.

5. Розробити технологію більш швидкої, ніж існуючі, автоматизованої побудови аналітичних геоінформаційних систем багатозв'язних просторово-розподілених об'єктів з урахуванням можливих аналітичних та алгоритмічних зв'язків між атрибутивними та просторовими параметрами цих об'єктів та з урахуванням математичних моделей з різною кількістю факторів із різною точністю опису.

6. Створити програмні засоби для реалізації розробленої інформаційної технології та апробувати їх на практичних прикладах і впровадити у різні організації та установи.

*Об'єктом дослідження* є процес автоматизації побудови аналітичних геоінформаційних систем багатозв'язних просторово-розподілених об'єктів.

*Предметом дослідження* є інформаційна технологія, методи, інструментальні засоби та алгоритми автоматизації побудови аналітичних геоінформаційних систем багатозв'язних просторово-розподілених об'єктів для моделювання процесів у них з урахуванням можливих аналітичних та алгоритмічних залежностей між атрибутивними та просторовими параметрами цих об'єктів.

**Методи дослідження.** У дослідженнях використовувались такі методи: під час формалізації атрибутивних даних ГІС – методи теорії реляційних баз даних; під час формалізації просторових даних ГІС – методи ГІС-технологій; під час уніформатної формалізації об'єктів шарів ГІС – методи формалізації ієрархічно структурованих даних за допомогою мови розмітки XML; під час формалізації залежностей між параметрами об'єктів БПРО – методи математичного моделювання; для автоматизації формування запитів пошуку об'єктів БПРО – методи теорії множин, методи ГІС-технологій; під час розробки методів пошуку оптимальних рішень – методи теорії графів; під час програмної реалізації інформаційної технології – методи об'єктно-орієнтованого програмування.

#### **Наукова новизна одержаних результатів**

1. **Вперше** розроблено інформаційну модель аналітичної геоінформаційної системи багатозв'язних просторово-розподілених об'єктів, яка дозволяє представляти в єдиному форматі ГІС просторові і атрибутивні дані БПРО, аналітичні і алгоритмічні залежності між їх параметрами, просторові і логічні відношення між їх об'єктами для автоматизації їх обробки.

2. **Вперше** розроблено метод формалізації аналітичних та алгоритмічних залежностей між параметрами БПРО як системного шару їх ГІС, що дозволяє автоматизувати формалізацію та збереження аналітичних та алгоритмічних зв'язків між атрибутивними та просторовими параметрами цих об'єктів і збільшити швидкість адаптації ГІС БПРО до заданої комбінації шарів об'єктів, їх параметрів та залежностей між ними під час моделювання процесів у них.

3. **Удосконалено** метод формалізації впливу центрів тяжіння на параметри БПРО шляхом введення нових коефіцієнтів до аналітичних залежностей між параметрами об'єктів шарів ГІС та їх збереження у додатковому системному шарі, що дозволяє більш комплексно та швидко враховувати вплив центрів тяжіння на процеси у БПРО при проектуванні чи моделюванні процесів у них.

4. **Вперше** розроблено інформаційну технологію автоматизованої побудови аналітичних ГІС БПРО з урахуванням можливих аналітичних та алгоритмічних зв'язків між атрибутивними та просторовими параметрами цих об'єктів з різними факторами та об'єктами шарів ГІС, що враховуються, незалежну від платформ та форматів геоінформаційних систем, що дозволяє збільшити швидкість побудови таких систем та їх аналітичні можливості.

**Практичне значення одержаних результатів.** Найбільшу практичну цінність мають такі одержані результати:

- розроблена методика формалізації інформаційної моделі об'єктів ГІС БПРО у вигляді текстового опису з урахуванням у ній параметрів просторово-логічної моделі об'єктів для автоматизації геокодування БПРО, незалежно від форматів та програмних середовищ для роботи з ГІС;

- удосконалено методику обробки параметрів геометричних мереж, формалізованих у вигляді розробленої інформаційної моделі, що дозволяє пришвидшити їх використання на практиці;

- розроблено програмне забезпечення для автоматизованої формалізації та побудови аналітичних ГІС БПРО з використанням розроблених методів та технологій.

Результати дисертаційної роботи впроваджені в таких установах: в управлінні використання водних ресурсів центрального апарату Державного агентства водних ресурсів України та усіх його 31 басейнових й обласних управліннях водних ресурсів України (акт впровадження від 28.05.2013 р.) – програмно-інформаційне забезпечення геоінформаційної системи гідрографічного та водогосподарського районування України та програмний модуль для його оптимізації; у ТОВ «ГІСІНФО» та Міськраді м. Кривий Ріг (акт впровадження від 27.05.2013 р.) – програмно-інформаційне забезпечення екологічної ГІС м. Кривий Ріг з програмним модулем для обчислення та візуалізації інтегральних індексів забруднення атмосфери, води та ґрунтів міста; у Комунальному підприємстві «Спеціалізована монтажньо-експлуатаційна ділянка організації дорожнього руху» Вінницької міськради (акт впровадження від 21.06.2013 р.) – програмно-інформаційне забезпечення геоінформаційної системи транспортної мережі м. Вінниці з шарами дорожніх

знаків; у навчальний процес кафедри комп'ютерного еколого-економічного моніторингу та інженерної графіки Вінницького національного технічного університету (акт впровадження від 20.06.2013 р.) – комплекс лабораторних робіт з побудови та застосування аналітичних геоінформаційних систем для розв'язання прикладних задач в галузі екології та управління транспортним рухом для студентів спеціальностей «Екологія та охорона навколишнього середовища» та «Комп'ютерний еколого-економічний моніторинг» напряму «Комп'ютерні науки».

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати дисертаційної роботи отримані автором особисто. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать такі результати: [1] – розроблено та охарактеризовано інформаційну модель аналітичної геоінформаційної системи БПРО, розроблено інформаційну технологію автоматизованої побудови аналітичних ГІС БПРО, запропоновано формалізацію інформаційних моделей просторових об'єктів ГІС БПРО; [2] – запропоновано метод формалізації впливу центрів тяжіння з урахуванням їх типових особливостей та характеристик на параметри транспортних потоків; [3] – удосконалено метод оптимізації параметрів геоінформаційних моделей об'єктів світлофорного регулювання дорожнього руху міста; [4] – запропоновано метод моделювання та модель інтенсивності руху транспортних потоків біля супермаркетів як центрів тяжіння автотранспорту міста; [5] – запропоновано метод оптимізації параметрів руху автомобільного транспорту та здійснено моделювання параметрів транспортних потоків у середовищі автоматизованої системи пошуку оптимальних рішень; [6] – розроблено програмний комплекс “Автоматизована система пошуку оптимальних рішень”; [7] – охарактеризовано програмний комплекс “Автоматизована система пошуку оптимальних рішень” для розв'язання транспортних задач; [9] – запропонована концепція ігрової веб-системи імітаційного моделювання; [10] – розроблено концепцію створення автоматизованої системи керування транспортним засобом, оперуючи даними автоматизованої системи керування дорожнім рухом; [11] – розроблено метод пошуку оптимального шляху у складних геометричних мережах; [12] – удосконалено структуру інформаційної моделі екологічної геоінформаційної системи м. Кривий Ріг для забезпечення можливості розрахунку індексів забруднення та розроблено програмне забезпечення для їх розрахунку як підсистеми ГІС міста; [13] – розроблено програмне забезпечення.

**Апробація результатів дисертації.** Результати, одержані в дисертаційній роботі, пройшли апробацію на таких 14-ти наукових конференціях: 15-та Міжнародна науково-технічна конференція «Системний аналіз та інформаційні технології» (SAIT) (Київ, 2013 р.), 6-та, 7-ма та 8-ма Міжнародні науково-практичні конференції «Інтернет-Освіта-Наука» (ІОН), (м. Вінниця, 2008 р., 2010 р., 2012 р.); 4-та та 5-та Міжнародні конференції з оптоелектронних інформаційних технологій «Photonics-ODS», (м. Вінниця, 2008 р., 2010 р.); Міжнародна науково-практична конференція "Информационные технологии и

информационная безопасность в науке, технике и образовании ИНФОТЕХ“ (м. Севастополь, 2009 р.); 5-та Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування» (СПРТП) (м. Вінниця, 2011 р.); 11-та Міжнародна науково-технічна конференція "Контроль і управління в складних системах" (КУСС) (м. Вінниця, 2012 р.); Науково-технічні конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету за участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств міста Вінниці та області (м. Вінниця, 2009 р., 2010 р., 2011 р., 2012 р., 2013 р.).

**Публікації.** Всього за тематикою дослідження опубліковано 19 наукових праць, в тому числі 7 статей у наукових фахових журналах, з них 2 статті входять до наукометричної бази РІНЦ, одну статтю у російському журналі «Геопрофи», 10 матеріалів доповідей на наукових конференціях. Отримано свідоцтво про реєстрацію авторських прав на комп'ютерну програму.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел (161 найменування) та дев'яти додатків. Основний зміст викладено на 145 сторінках друкованого тексту, містить 79 рисунків, 14 таблиць. Загальний обсяг дисертації 204 сторінки.

### ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** розкрито сутність і стан досліджень науково-прикладної задачі, підстави і вихідні дані для проведення дослідження. Також викладено: актуальність теми дисертації, мету, задачі дослідження, наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, особистий внесок здобувача та апробацію результатів дисертації і публікації здобувача.

**У першому розділі** здійснено аналіз методів, технологій та підходів до формалізації і обробки атрибутивних та просторових даних багатозв'язних просторово-розподілених об'єктів для оптимізації процесів, що протікають у них. Проаналізовано проблеми обробки даних у БПРО, загалом, та на основі геоінформаційних технологій та реляційних БД, зокрема, на прикладі таких БПРО як транспортні системи.

Проблемам обробки даних та оптимізації процесів у БПРО з використанням інформаційних технологій присвячені роботи таких іноземних вчених, як: Greenberg Н., Greenshields В. D., Mitchell А., Payne Н. J., Yang Н., Уїзем Д., Буренскене М. Ч., Гасников А. В., Кленов С. Л., Корсей С. Г., Семенов В. В., Сильянов В. В., Шамрай Н. Б. та ін. В Україні з даної тематики проводили дослідження такі відомі вчені: Давідіч Ю. О., Денесенко М. П., Дубовий В. М., Кветний Р. Н., Левковець П. Р., Мокін Б. І., Мокін В. Б., Прокудін Г. С., Сторчак В. Г., Трофимчук О. М., Усов А. В. та інші.

Кількість можливих комбінацій зв'язків між параметрами БПРО  $C$  можна визначити за допомогою формули

$$C = 2^{N_p}, \quad (1)$$

де  $N_p$  – кількість вхідних параметрів БПРО, яку можна визначити за формулою



$$N_p = \sum_{i=1}^{N_L} \sum_{j=1}^{N_{oi}} N_{ij}, \quad (2)$$

де  $N_L$  – кількість шарів у ГІС,  $N_{oi}$  – кількість об'єктів в  $i$ -му шарі,  $N_{ij}$  – кількість параметрів  $j$ -го просторового об'єкта  $i$ -го шару ГІС. За умови, що кожен шар містить однакову кількість об'єктів, а кожен об'єкт – однакову кількість параметрів, формула (2) перепишеться у вигляді:  $N_p = N_L N_{o1} N_{11}$ .

Так, наприклад, якщо БПРО складається з 200 шарів, кожен з яких містить 50 об'єктів різного типу, що описуються 10 параметрами, то  $N_p = 100000$ , а можливих комбінацій зв'язків між параметрами:  $K = 2^{100000}$ , тому виникає проблема представлення цих зв'язків традиційними підходами. Наприклад, у разі представлення цих зв'язків за допомогою реляційних баз даних є можливими два варіанти інформаційної моделі:

1) таблиця з  $N_p$  стовпцями і  $2^{N_p}$  рядками і в кожній комірці 0 або 1, що означає наявність чи відсутність зв'язків між параметрами, і ще два стовпці, в яких зберігаються код параметра, з котрим пов'язаний кожен параметр, та ідентифікатор залежності, яка характеризує цей зв'язок;

2) таблиця із 3-х стовпців і  $2^{N_p}$  рядків: у першому стовпці зберігається двійковий код довжиною в  $N_p$  біт, який описує наявність чи відсутність впливу параметрів, у другому і третьому стовпцях – ті ж дані, що й у першому варіанті.

У разі необхідності зміни характеру чи зв'язків якогось параметру, видалення його з інформаційної моделі та з усіх залежностей, де він фігурує, та інших операцій щоразу виникає проблема з редагуванням такої інформаційної моделі, її верифікацією та забезпеченням несуперечності та цілісності даних.

Отже, реляційні БД є малоефективними для збереження великої кількості зв'язків між параметрами об'єктів БПРО разом із залежностями, що описують ці зв'язки.

Аналіз відомих геоінформаційних моделей БПРО показав, що для підвищення швидкості побудови аналітичних ГІС БПРО необхідно розробити методику формалізації інформаційної моделі об'єктів ГІС БПРО у вигляді текстового опису. Об'єкти ГІС найбільш доцільно зберігати у форматі обмінного файлу XML, а можливий набір просторових та атрибутивних характеристик – у вигляді схеми XSD. Слід зазначити, що такий підхід до формалізації об'єктів ГІС набуває популярності як в Україні, так і за її межами. Так, наприклад, в Україні з 2009 р. введені вимоги до формального опису об'єктів земельного кадастру, затверджені законодавством України – вимоги до структури, змісту та формату оформлення результатів робіт із землеустрою в електронному вигляді.

Аналіз методів аналітичної обробки даних БПРО, показав, що у різних предметних галузях використовуються специфічні моделі і моделювання процесів у БПРО є складною задачею, яка, зазвичай, вимагає комплексного підходу до побудови моделей. Велика кількість моделей процесів у БПРО може бути побудована шляхом декомпозиції складної моделі на більш прості моделі, які подані у вигляді зв'язків та залежностей між параметрами об'єктів.

У даному дослідженні розглянуто лише такі математичні або алгоритмічні моделі, які можна записати у вигляді:

$$y = f(U, X, P), \quad (3)$$

де  $y$  – вихідна змінна;  $U$  – вектор вхідних змінних (даних);  $X$  – вектор змінних стану;  $P$  – вектор параметрів. Як видно з (3), ключовою умовою є те, що багато вхідних змінних відповідають лише одній вихідній змінній.

Аналіз можливостей поширених у світі геоінформаційних пакетів та систем показав, що не існує жодного, який дозволяв би формалізувати та автоматизувати розрахунки за новою математичною чи алгоритмічною моделлю, яка враховує дані різних шарів і дещо структурно відрізняється від вже запрограмованих у цих системах моделей.

Аналіз відомих методів та технологій автоматизованої побудови ГІС БПРО, показав, що їхні можливості досить обмежені, коли йдеться про побудову довільної аналітичної ГІС БПРО. Адже, враховуючи багатозв'язність та взаємозалежність великої кількості параметрів БПРО, доводиться будувати цілі комплекси математичних моделей, які враховують ту чи іншу кількість атрибутивних параметрів та просторових об'єктів шарів ГІС. На практиці, для програвання сценаріїв розвитку процесів у БПРО доводиться проводити моделювання та аналіз результатів щоразу для різної кількості параметрів, а це займає багато часу. Більше того, проблема ускладнюється ще й тим, що геоінформаційні системи та бази даних зберігаються у різних програмних середовищах, мають різну структуру та формати даних.

Отже, є актуальною задача розробки інформаційної технології для більш швидкої побудови аналітичних ГІС БПРО з можливістю швидкої адаптації до різних математичних та алгоритмічних моделей. На основі аналізу сформульовано задачі дослідження.

**Другий розділ** присвячено розробці методів побудови та ідентифікації структури та параметрів ГІС БПРО.

Як показав аналіз, проведений у першому розділі, реляційні БД є малоефективними для збереження великої кількості зв'язків між параметрами об'єктів БПРО разом із залежностями, що описують ці зв'язки, тому запропоновано новий метод формалізації аналітичних та алгоритмічних залежностей між параметрами БПРО у системний шар їх ГІС на основі використання геоінформаційного простору параметрів.

Введено нове поняття: геоінформаційний простір параметрів (ГПП) – це геометричний образ, представлений множиною усіх можливих параметрів, наділених природним поняттям близькості, усіх можливих просторових об'єктів усіх можливих шарів, з яких складається геоінформаційна система БПРО. Множина усіх параметрів, представлених у вигляді точок (вузлів) з координатами  $(x, y)$ , в математичному плані утворює площину, а в інформаційному – системний шар геоінформаційної системи, параметри якої вона описує. ГПП пропонується використовувати для формалізації можливих аналітичних чи алгоритмічних зв'язків між параметрами шляхом створення полігонів, вузлами яких є точки ГПП, котрі відповідають усім пов'язаним між

собою параметрам, а самі залежності, що описують ці зв'язки, в інформаційному плані формалізуються («прив'язуються») як атрибути (параметри) цих полігонів, що зберігаються у базі даних ГІС. Ці зв'язки, в залежності від кількості  $K$  параметрів, які вони зв'язують, формалізуються одним із трьох варіантів:  $K > 2$ : точки ГПП є вузлами полігону (багатокутника), атрибутом якого є залежність, що пов'язує ці параметри;  $K = 2$  (вироджений варіант першого типу): дві точки ГПП поєднуються лінією, атрибутом якої є залежність, що пов'язує ці два параметри;  $K = 1$  (вироджений варіант другого типу): сама точка ГПП і є геометричним образом зв'язку, наприклад, коли параметр задається константою або функцією, що залежить, наприклад від часу, а не від інших параметрів ГПП (хоча час, звичайно, теж може бути параметром якогось просторового об'єкта ГІС БПРО, тоді ця залежність перетвориться на вироджений варіант першого типу).

У кожній залежності, яка формалізується у ГПП, усі параметри поділяються на вхідні, якщо  $K > 1$ , та один вихідний, який обчислюється через вхідні, тобто кожна залежність є розв'язком певної математичної моделі відносно однієї вихідної змінної або алгоритмом обчислення цієї змінної із вхідних змінних. Кожен параметр в одній залежності може бути вхідним, а в іншій – вихідним, формалізуючи, у такий спосіб, систему залежностей (математичних моделей чи алгоритмів).

Наприклад, у табл. 1 наведено графічне подання у ГПП усіх можливих комбінацій наявності зв'язків (впливів) між трьома вхідними параметрами  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  та параметром  $P_4$  (при  $K=4$ ).

Кожен об'єкт ГПП зберігає ідентифікатор залежності (*FID*), на основі якої і здійснюється розрахунок параметра. Так, для  $K = 4$  приклад схеми відповідності елементів ГПП залежностям між параметрами цього ГПП наведено на рис. 1.

Важливо відмітити, що залежність може бути як функціональною, так і алгоритмічною. Функціональна залежність може бути як лінійною, так і нелінійною, основою на апараті як чітких, так і нечітких множин. Для обчислення вихідного параметра по вхідних можуть використовуватись як прості співвідношення типу  $P_1 + P_2$ , так і складні, які, у свою чергу, можуть обчислюватись як з використанням зовнішніх модулів, що інтегруються в систему, так і з використанням спеціалізованих обчислювальних пакетів (MS Excel, Matlab, Mathcad тощо), за умови забезпечення автоматичного обчислення без участі оператора.

Доцільним є формування єдиної бібліотеки залежностей із присвоєнням кожній залежності спеціального ідентифікатора. Це дозволяє зберігати у базі даних ГПП тільки цей ідентифікатор.

З використанням запропонованої формалізації аналітичних та алгоритмічних залежностей між параметрами БПРО як системного шару їх ГІС розроблено метод, що дозволяє автоматизувати формалізацію та збереження аналітичних та алгоритмічних зв'язків між атрибутивними та просторовими параметрами цих об'єктів і збільшити швидкість адаптації ГІС БПРО до

заданої комбінації шарів об'єктів, їх параметрів та залежностей між ними під час моделювання процесів у них.

Таблиця 1 – Усі можливі комбінації наявності зв'язків (впливів) між трьома вхідними параметрами  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  та вихідним параметром  $P_4$

№ п/п	Комбінація вхідних параметрів	Графічний вигляд ГПП	Характеристика наявності зв'язків між $P_4$ та іншими параметрами
1	000		Параметр $P_4$ не залежить ні від жодного із параметрів.
2	001		Параметр $P_4$ залежить лише від параметра $P_3$ .
3	010		Параметр $P_4$ залежить лише від параметра $P_2$ .
4	011		Параметр $P_4$ залежить від параметрів $P_2$ та $P_3$ .
5	100		Параметр $P_4$ залежить лише від параметра $P_1$ .
6	101		Параметр $P_4$ залежить від параметрів $P_1$ та $P_3$ .
7	110		Параметр $P_4$ залежить від параметрів $P_1$ та $P_2$ .
8	111		Параметр $P_4$ залежить від параметрів $P_1$ , $P_2$ , $P_3$ .

Розроблений метод формалізації аналітичних та алгоритмічних залежностей між параметрами БПРО дозволяє ефективно формалізувати та зберігати усі можливі залежності для заданого БПРО. Проте, розрахунок параметрів об'єктів аналітичної ГІС БПРО потребує засобів ідентифікації зв'язків (відношень) між самими об'єктами.

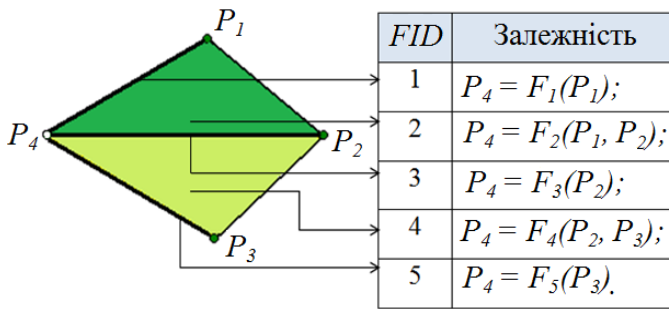


Рисунок 1 – Приклад схеми відповідності елементів ГПП залежностям між параметрами цього ГПП

Просторово-логічна модель даних (ПЛМД) – це псевдограф відношень  $G = (V, E)$ , де вершини  $V$  відповідають об'єктам предметної області, а множина ребер  $E$  – зв'язкам між цими об'єктами.

Зв'язки (відношення) між просторовими об'єктами ГІС можна представити у наступному вигляді:

$$R_{Tj}(O_i) = \{O_1, O_2, \dots, O_k\}, \quad (4)$$

де  $\{O_1, O_2, \dots, O_k\}$  – множина з  $k$  об'єктів, які отримуються шляхом застосування відношення  $R$  типу  $T$  з ідентифікатором відношення  $j$  (можливі значення типу відношення –  $T$ :  $P$  – просторове відношення;  $L$  – логічне відношення;  $U$  – множина об'єктів, яка формується користувачем;

$I$  – узагальнене відношення) над об'єктом  $O_i$ , де  $i$  – унікальний ідентифікатор об'єкта.

Основною перевагою представлення відношень за допомогою псевдографа є те, що він дозволяє встановлювати зв'язки не лише між різними об'єктами, а й між одним і тим самим об'єктом. Запропонований підхід не накладає жодних обмежень на кількість зв'язків між парами об'єктів.

Автоматизація побудови аналітичної ГІС БПРО на основі геоінформаційного простору параметрів та просторово-логічної моделі даних вимагає розробки методики формалізації інформаційної моделі об'єктів ГІС БПРО у вигляді текстового опису з урахуванням у ній параметрів просторово-логічної моделі об'єктів для автоматизації геокодування БПРО, незалежно від форматів та програмних середовищ для роботи з ГІС.

Модель об'єкта ГІС  $O$  можна представити у наступному вигляді:

$$O = [S, A], \quad A = [T, P],$$

$$S = [NS1, NS2, \dots], \quad T = [NT1, NT2, \dots], \quad P = [NP1, NP2, \dots], \quad (5)$$

де  $S$  – просторові (метричні) характеристики об'єкта,  $A$  – атрибутивні характеристики об'єкта, які складаються з текстових ( $T$ ) та числових ( $P$ ) характеристик об'єкта;  $NS1, NS2$  – просторові характеристики об'єкта  $O$ ;  $NT1, NT2$  – текстові характеристики об'єкта  $O$ ;  $NP1, NP2$  – числові характеристики (параметри) об'єкта  $O$ .

У загальному випадку, зв'язки між об'єктами аналітичної ГІС БПРО можна описати за допомогою логічних та просторових зв'язків. Просторові зв'язки між об'єктами аналітичної ГІС БПРО ідентифікуються шляхом аналізу метричної інформації об'єктів. Логічні ж зв'язки більше відображають логічні відношення між об'єктами. Пропонується представляти ці обидва види відношень (зв'язків) за допомогою просторово-логічної моделі даних.

Значення параметрів у базі даних ГІС зберігаються у вигляді  $R$ -вимірної матриці. При  $R = 0$  – зберігається лише одне значення, при  $R = 1$  – вектор-стовпець, при  $R = 2$  – матриця і т.і.

Запропонована методика формалізації інформаційної моделі об'єктів ГІС БПРО апробована на прикладі інформаційної моделі аналітичної екологічної ГІС м. Кривий Ріг.

Розроблена методика формалізації інформаційної моделі об'єктів ГІС БПРО дозволить почати формування єдиного банку даних про БПРО різного типу з інформацією багатьох відомств та організацій тощо: дані земельного, водного, лісного та інших кадастрів, дані екологічного моніторингу, дані метеомоніторингу тощо, що дозволить значно пришвидшити процес збирання вхідних даних, моделювання різних процесів та оптимізацію БПРО.

Розроблено метод ідентифікації структури ГІС БПРО, що дозволяє здійснити ідентифікацію структури її складових, в залежності від вибраних шарів, об'єктів та параметрів БПРО.

Розробка методів та технологій автоматизованої побудови ГІС БПРО вимагає якомога точнішого врахування усіх характеристик та аспектів протікання процесів, у т. ч. зміни структури та параметрів математичних моделей через вплив центрів тяжіння. Як відомо, на прикладі транспортних мереж, центри тяжіння (магазини, школи, заводи, ринки, склади, місця проживання тощо) – це місця, у напрямі до яких чи від яких регулярно підвищується інтенсивність руху транспортних засобів різного типу.

Розроблено метод формалізації впливу центрів тяжіння на параметри БПРО шляхом введення нових коефіцієнтів до аналітичних залежностей між параметрами об'єктів шарів ГІС та їх збереження у додатковому системному шарі, що дозволяє більш комплексно та швидко враховувати вплив центрів тяжіння на процеси у БПРО при проектуванні чи моделюванні процесів у них.

Дослідивши додаткове навантаження, що виникає біля центру тяжіння внаслідок його функціонування, можна встановити додаткове навантаження даного центру тяжіння на усю геометричну мережу шляхом розробки та використання геоінформаційної імітаційної моделі мережі.

Наведено приклад побудови інформаційної моделі ГІС транспортної системи міста чи його найбільш завантаженої транспортом частини, в якій проводиться оптимізація середньої швидкості руху транспортних засобів, з метою її підвищення, що, у свою чергу, покращить ефективність функціонування транспортної мережі.

На першому кроці транспортна система міста формалізована як набір об'єктів, кожен з яких має унікальний ідентифікатор типу об'єкта ( $OID$ ), що логічно розміщені у таких шарах ГІС: вулично-дорожня мережа (проїжджа частина ( $OID = 1$ ), смуга руху ( $OID = 2$ ), перехрестя ( $OID = 3$ )), дорожні знаки (обмеження максимальної швидкості ( $OID = 4$ )), дорожня розмітка (пішохідний перехід ( $OID = 5$ )) та світлофорні об'єкти (світлофор ( $OID = 6$ )).

Наступним кроком є ідентифікація відношень між об'єктами предметної області у вигляді логічних та просторових відношень (зв'язків). Оскільки просторові характеристики об'єктів транспортної системи міста, в даному випадку, є незмінними, то для представлення залежностей між ними достатньо логічних відношень. Просторово-логічну модель даних представлено у вигляді псевдографа відношень, де кожне відношення має унікальний ідентифікатор (рис. 2).

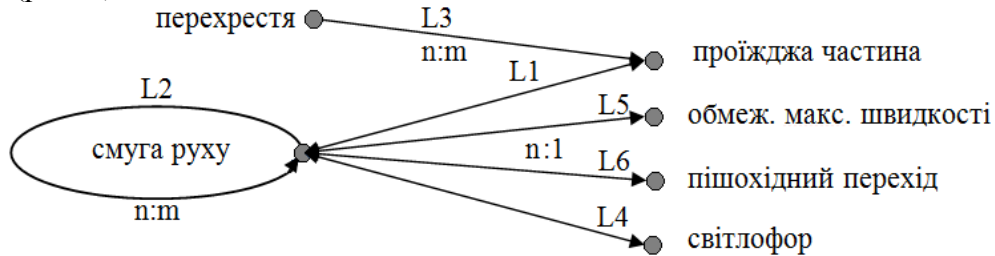


Рисунок 2 – Псевдограф відношень об'єктів транспортної системи міста

Наступним етапом є побудова моделі залежностей між параметрами у вигляді геоінформаційного простору параметрів, для чого спочатку необхідно встановити типи залежностей між параметрами. Для простоти розглянуто варіант, коли, наприклад, середню швидкість руху  $V$  (км/год) на заданій ділянці транспортної мережі можна визначити за допомогою відомої формули:

$$V = S / (S / V_{min} + T_p), \quad (6)$$

де  $S$  – довжина ділянки транспортної мережі (км);  $V_{min}$  – швидкість руху (км/год), що враховує усі обмеження на швидкість і визначається за допомогою формули:  $V_{min} = \inf(V_{sdp}, V_{vdz})$ , де  $V_{sdp}$  – максимально можлива швидкість руху ТЗ з урахуванням стану дорожнього покриття (км/год), а  $V_{vdz}$  – максимальна швидкість руху з урахуванням дорожніх знаків (км/год);  $T_p$  – сумарний час простою ТЗ (год) на даній ділянці транспортної мережі, який можна визначити за формулою  $T_p = T + T_{pp}$ , де  $T$  – час простою ТЗ на світлофорному об'єкті (год), а  $T_{pp}$  – час простою ТЗ перед пішохідним переходом (год), що визначається, як відомо за допомогою формули  $T_{pp} = L_{pp} / V_{pp} + 5 / 3600$ , де  $L_{pp}$  – довжина пішохідного переходу (км), а  $V_{pp}$  – середня швидкість руху пішохода (км/год):  $V_{pp} = 5$  (км/год).

Важливо відзначити, що параметри, наприклад  $V_{min}$ , враховують лише обмеження, які мають місце лише з боку транспортної інфраструктури, тобто з боку шарів ГІС, і не враховують обмеження на швидкість, які пов'язані із транспортними засобами, їх водіями, пасажирями, особливістю вантажу тощо.

Введено такі додаткові позначення: у залежностей верхні індекси показують тип та номер відношення (у даному випадку усі відношення логічні), а нижні індекси – номер типу об'єкта, до якого належить даний параметр. Так, наприклад, формула обрахунку сумарного часу простою ТЗ на смузі руху має вигляд:

$$T_p = T_{pp5}^{L6} + T_6^{L4}, \quad (7)$$

де  $T_{pp5}^{L6}$  – означає, що параметр  $T_{pp}$  є параметром об'єкта з ідентифікатором типу об'єкта  $OID = 5$ , значення якого визначається на основі логічного відношення з

номером 6. Важливо відмітити, що у співвідношеннях з  $FID=1$  і  $FID=2$  для  $V_{min}$  індекси відсутні, оскільки параметри  $V$  та  $V_{min}$  належать одному об'єкту.

Геоінформаційний простір параметрів, за умови активності усіх шарів транспортної мережі, має вигляд, зображений на рисунку 3, де параметри ГПП, котрі представлені у вигляді круга, є вхідними параметрами моделі, а у вигляді кола – вихідними, тобто такими, що розраховуються.

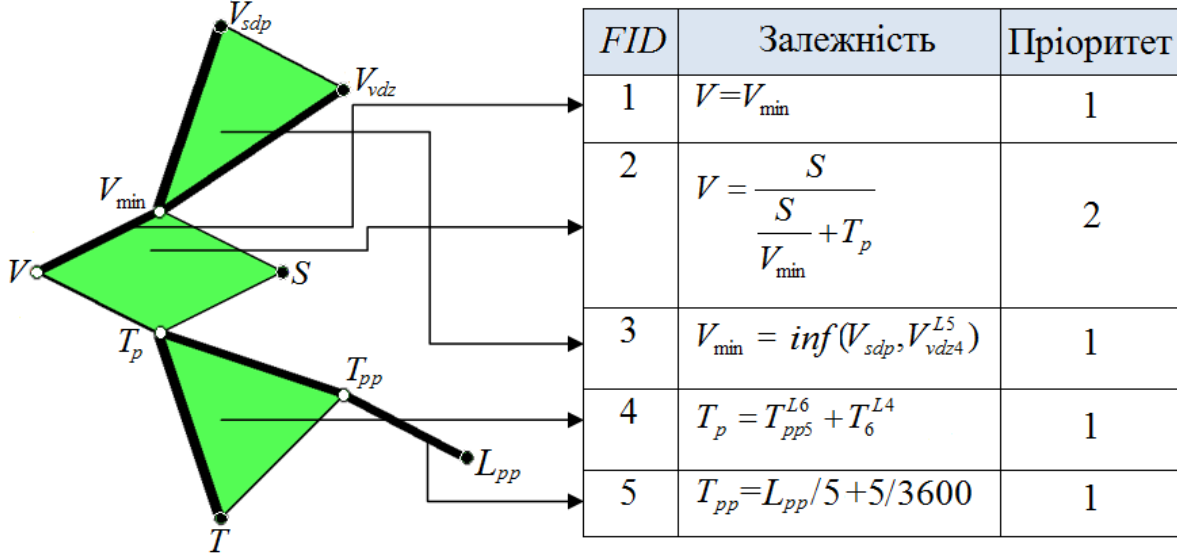


Рисунок 3 – Геоінформаційний простір параметрів транспортної мережі

Залежність містить вираз, за яким здійснюється розрахунок параметрів, а пріоритет – порядок, якого слід дотримуватись під час розрахунку параметра, котрий часто може бути обчислений за допомогою різних залежностей.

Після формалізації інформаційної моделі та побудови аналітичної ГІС БПРО за запропонованою технологією система готова для введення даних та для здійснення моделювання чи оптимізації. Для чого необхідно лише задати які саме шари, об'єкти та параметри будуть враховуватись в інформаційній моделі на кожному етапі (ітерації) моделювання чи оптимізації. Так, наприклад, при врахуванні шарів «Вулично-дорожня мережа» та «Світлофорні об'єкти» інформаційна модель буде мати вигляд, поданий на рис. 4.

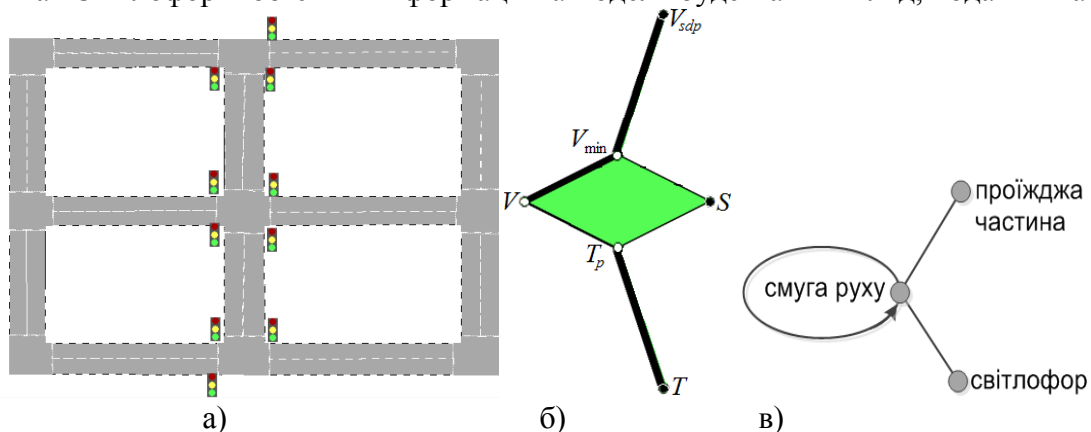


Рисунок 4 – Інформаційна модель транспортної мережі при врахуванні шарів «Вулично-дорожня мережа» та «Світлофорні об'єкти»: а) об'єкти інформаційної моделі, формалізовані у вигляді шарів ГІС; б) схема ГПП; в) схема просторово-логічної моделі даних



**Третій розділ** присвячено розробці інформаційної технології для побудови аналітичних ГІС БПРО.

На рисунку 5 наведено архітектуру інформаційної технології автоматизованої побудови аналітичних ГІС БПРО, з урахуванням можливих аналітичних та алгоритмічних зв'язків між атрибутивними та просторовими параметрами об'єктів, яка відрізняється від існуючих структурою та алгоритмами формалізації та ідентифікації інформаційної моделі, що дозволяє збільшити швидкість побудови аналітичної ГІС БПРО для моделювання процесів у БПРО з урахуванням у моделях різної кількості факторів та просторових об'єктів із різною точністю опису.

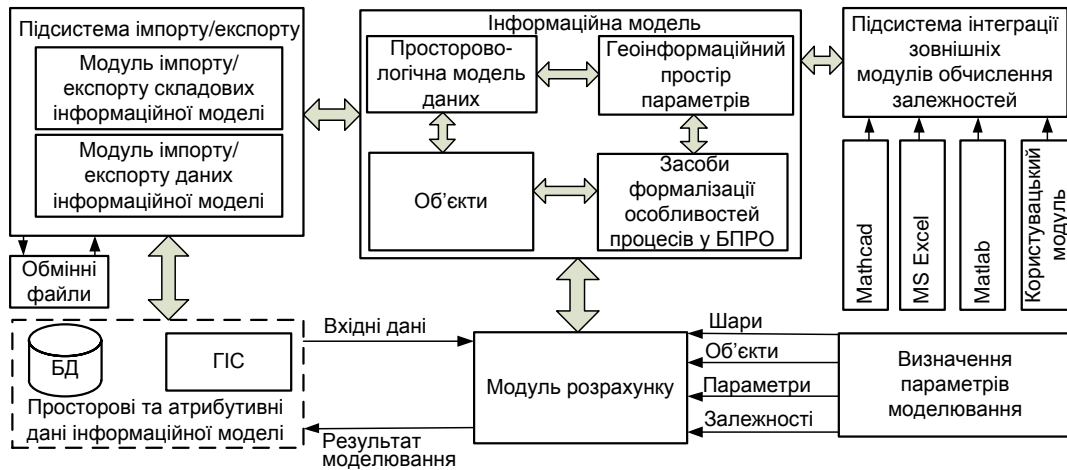


Рисунок 5 – Архітектура інформаційної технології автоматизованої побудови аналітичних ГІС БПРО

Удосконалено методику обробки параметрів геометричних мереж, формалізованих згідно розробленої інформаційної моделі, що дозволяє пришвидшити їх використання на практиці для розв'язання різних задач моделювання та оптимізації з урахуванням технічних засобів регулювання процесів у них на основі геоінформаційних моделей їх об'єктів та з використанням методів і алгоритмів теорії графів.

З використанням розробленої інформаційної технології створено типове ПЗ аналітичної ГІС БПРО, яке апробоване на прикладі транспортної мережі. Типове ПЗ створено засобами мови програмування Delphi на основі компонентів GIS Toolkit ГІС "Карта 2011". Обрахунок залежностей між параметрами здійснюється засобами MS Excel, що підключаються у систему через модуль інтеграції зовнішніх модулів обчислення залежностей.

Здійснено оцінювання швидкості побудови аналітичної ГІС БПРО та встановлено, що для простих інформаційних моделей, які описують 6 об'єктів та містять 5 вхідних параметрів, тривалість побудови аналітичної ГІС БПРО за допомогою запропонованої інформаційної технології менша за тривалість побудови аналітичної ГІС БПРО з використанням відомої інформаційної технології у 7 разів, а якщо розглядати процес ідентифікації і програвання сценаріїв при оптимізації параметрів моделі БПРО в цілому, то за відомою інформаційною технологією програмується кожен варіант шарів ГІС окремо, а

в запропонованому – один раз і для усіх комбінацій одразу. Тобто, по-перше, моделювання та оптимізація з використанням комплексної аналітичної ГІС БПРО здійснюється швидше, ніж за допомогою окремих моделей шарів з розрахунковими залежностями і БД окремо, а, по-друге, в багато разів збільшується швидкість адаптації аналітичної ГІС БПРО під час аналізу сценаріїв зміни параметрів БПРО.

**У четвертому розділі** наведено практичне застосування розробленої інформаційної технології.

Розроблена інформаційна модель водогосподарського районування України – створена у 2012 році на замовлення Державного агентства водних ресурсів України та впроваджена в його управлінні водних ресурсів центрального апарату та усіх 31 басейнових й обласних управліннях водних ресурсів України.

Розроблена аналітична екологічна геоінформаційна системи м. Кривий Ріг – створена у 2012 році на замовлення ТОВ «ГІСІНФО» (генпідрядник – Міськрада м. Кривий Ріг).

Розроблена геоінформаційна система для управління водними ресурсами із даними моніторингу вод, банком кадастрової інформації про водні ресурси та основні гідротехнічні споруди Полтавської області – створена у 2012 році на замовлення Полтавського обласного управління водних ресурсів та Управління з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи Полтавської облдержадміністрації.

Розроблена геоінформаційна система з основними даними про водні ресурси та даними моніторингу якості вод і водокористування Кіровоградської області – створена у 2012 році на замовлення Головного управління агропромислового розвитку Кіровоградської облдержадміністрації.

Крім того, в межах договору про науково-технічне співробітництво між ВНТУ та Вінницькою міськрадою № 28/2 від 01 березня 2010 року, було здійснено розробку ГІС вулично-дорожньої мережі міста Вінниці, яка впроваджена з 2012 року у Комунальному підприємстві «Спеціалізована монтажно-експлуатаційна ділянка організації дорожнього руху» Вінницької міськради.

Охарактеризовано внесок здобувача у створення усіх цих систем та які саме результати дослідження при цьому використовувались.

Також, слід зазначити, що побудова ГІС на основі запропонованої інформаційної технології дозволяє інтегрувати в ГІС транспортних потоків типові засоби мережевого аналізу, що дозволило здобувачу створити автоматизовану систему пошуку оптимальних рішень (АСПОР) [13], яка може бути інтегрована в аналітичну ГІС у вигляді алгоритмічних залежностей.

Окремі результати впроваджені у навчальний процес зі спеціальностей «Екологія та охорона навколишнього середовища», а також використані у навчальних програмах відкритої у ВНТУ у 2013 році нової спеціальності «Комп'ютерний еколого-економічний моніторинг» напряму «Комп'ютерні науки».

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Роботу присвячено розв'язанню науково-прикладної задачі підвищення швидкості побудови аналітичних ГІС БПРО для комплексного моделювання та оптимізації процесів у багатозв'язних просторово-розподілених об'єктах та системах.

У результаті проведеного дослідження отримано такі нові наукові та практичні результати:

1. Аналіз методів та засобів обробки даних у БПРО показав доцільність розробки нових інформаційних моделей об'єктів ГІС БПРО з можливістю формалізації та врахування довільних аналітичних та алгоритмічних залежностей між їх параметрами, які автоматично перебудовуються та ідентифікуються, в залежності від факторів, що слід враховувати. Аналіз можливостей поширених геоінформаційних пакетів та систем показав, що не існує жодного, який дозволяв би формалізувати та автоматизувати моделювання процесів за новою математичною чи алгоритмічною моделлю, яка враховує дані різних шарів і дещо структурно відрізняється від вже запрограмованих у цих системах моделей. Проаналізовано та встановлено низьку ефективність реляційних БД для збереження інформаційної моделі аналітичної ГІС БПРО з довільними аналітичними та алгоритмічними залежностями між параметрами їх об'єктів.

2. Вперше розроблено метод формалізації аналітичних та алгоритмічних залежностей між параметрами БПРО як системного шару їх ГІС, що дозволяє автоматизувати формалізацію та збереження аналітичних та алгоритмічних зв'язків між атрибутивними та просторовими параметрами цих об'єктів і збільшити швидкість адаптації ГІС БПРО до заданої комбінації шарів об'єктів, їх параметрів та залежностей між ними під час моделювання процесів у них.

3. Удосконалено метод формалізації впливу центрів тяжіння на параметри БПРО шляхом введення нових коефіцієнтів до аналітичних залежностей між параметрами об'єктів шарів ГІС та їх збереження у додатковому системному шарі, що дозволяє більш комплексно та швидко враховувати вплив центрів тяжіння на процеси у БПРО при проектуванні чи моделюванні процесів у них.

4. Вперше розроблено інформаційну модель аналітичної геоінформаційної системи багатозв'язних просторово-розподілених об'єктів, яка дозволяє представляти в єдиному форматі ГІС просторові і атрибутивні дані БПРО, аналітичні і алгоритмічні залежності між їх параметрами, просторові і логічні відношення між їх об'єктами для автоматизації їх обробки.

5. Вперше розроблено інформаційну технологію автоматизованої побудови аналітичних ГІС БПРО з урахуванням можливих аналітичних та алгоритмічних зв'язків між атрибутивними та просторовими параметрами цих об'єктів з різними факторами та об'єктами шарів ГІС, що враховуються, незалежну від платформ та форматів геоінформаційних систем, що дозволяє збільшити швидкість побудови таких систем та їх аналітичні можливості. Розроблена методика формалізації інформаційної моделі об'єктів ГІС БПРО у

вигляді текстового опису з урахуванням у ній параметрів просторово-логічної моделі об'єктів для автоматизації геокодування БПРО, незалежно від форматів та програмних середовищ для роботи з ГІС, що дозволить почати формування єдиного банку даних про БПРО різного типу з інформацією багатьох відомств та організацій тощо: дані земельного, водного, лісного та інших кадастрів, дані екологічного моніторингу, дані метеомоніторингу тощо, що дозволить значно пришвидшити процес збирання і формалізації вхідних даних, моделювання різних процесів та оптимізацію БПРО. Удосконалено методику обробки параметрів геометричних мереж, формалізованих згідно розробленої інформаційної моделі, що дозволяє пришвидшити її використання на практиці для задач моделювання та оптимізації БПРО. Розроблена інформаційна технологія дозволить швидко створювати аналітичні ГІС БПРО, які автоматично перебудовуються та ідентифікуються, в залежності від факторів, що слід враховувати, та, відповідно, заданих комбінацій параметрів і шарів ГІС, що суттєво прискорює та полегшує адаптацію таких аналітичних ГІС БПРО до реальних систем та процесів.

6. Розроблено програмне забезпечення для автоматизованої формалізації та побудови аналітичних ГІС БПРО з використанням розроблених методів та технологій. Науково-практичні результати роботи апробовані в установах та підприємствах, які займаються моніторингом та управлінням транспорту в місті та водними ресурсами, зокрема, в управлінні водних ресурсів центрального апарату Державного агентства водних ресурсів України та усіх його 31 басейнових й обласних управліннях водних ресурсів України, у ТОВ «ГІСІНФО» та Криворізькій міськраді, Полтавському обласному управлінні водних ресурсів, Управлінні з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи Полтавської облдержадміністрації, Кіровоградському обласному управлінні водних ресурсів та Головному управлінні агропромислового розвитку Кіровоградської облдержадміністрації, у Комунальному підприємстві «Спеціалізована монтажньо-експлуатаційна ділянка організації дорожнього руху» Вінницької міськради.

Впровадження результатів роботи забезпечить екологічний та соціально-економічний ефект, пов'язаний з більшою обґрунтованістю, оперативністю і комплексністю врахування різних факторів під час прийняття управлінських рішень з покращення стану та характеристик транспортних та екологічних систем. Окремі результати впроваджені у навчальний процес зі спеціальності «Екологія та охорона навколишнього середовища», а також використані у навчальних програмах відкритої у Вінницькому національному технічному університеті у 2013 році нової спеціальності «Комп'ютерний еколого-економічний моніторинг» напряму «Комп'ютерні науки».

**СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Гавенко О. В. Технологія автоматизованої побудови інформаційної моделі для моделювання процесів у багатозв'язних просторово-розподілених системах / О. В. Гавенко, В. Б. Мокін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2013. – №2. – С. 73-80. – ISSN 1997-9266.
2. Новий підхід до побудови геоінформаційної імітаційної моделі транспортної мережі міста / О. В. Гавенко, В. Б. Мокін, В. Г. Сторчак, І. О. Медведєв // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2011. – №2. – С. 45-50. – ISSN 2071-2227.
3. Оптимізація параметрів геоінформаційних моделей об'єктів світлофорного регулювання дорожнього руху міста / О. В. Гавенко, В. Б. Мокін, В. Г. Сторчак, І. В. Олександров // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – 2011. – №14(188). – С. 319-324. – ISSN 1996-1588.
4. Метод ідентифікації параметрів моделі інтенсивності руху автомобілів біля супермаркета як центра тяжіння автотранспорту міста / О. В. Гавенко, В. Б. Мокін, В. Г. Сторчак, І. О. Медведєв // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – №1. – С.124-128. – ISSN 1997-9266.
5. Моделювання параметрів транспортної мережі в середовищі автоматизованої системи пошуку оптимальних рішень / О. В. Гавенко, В. Б. Мокін, О. Н. Романюк [та ін.] // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2010. – №2. – С. 20-24. – ISSN 1999-9941.
6. Розробка автоматизованої системи пошуку оптимальних рішень з використанням теорії графів / О. В. Гавенко, А. О. Стахов, В. В. Войтко, А. В. Денисюк // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. — 2010. – №1. – С. 83–88. – ISSN 1999-9941.
7. Гавенко О. В. Дослідження автоматизованої системи пошуку оптимальних рішень у процесі розв'язання транспортних задач / О. В. Гавенко, В. В. Войтко, С. А. Яремко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2011. – №3. – С. 30-34. – ISSN 2307-5732.
8. Гавенко О. В. Новий підхід до формалізації реляційних зв'язків баз даних геоінформаційних систем / О. В. Гавенко // Системний аналіз та інформаційні технології: XV Міжнародна науково-технічна конференція, 27-31.05.2013 р.: матеріали конференції. — К.: 2013. — С. 408 – 409. – ISBN 978-966-2748-32-1.
9. Гавенко О. В. Ігрова веб-система імітаційного моделювання / О. В. Гавенко, В. Б. Мокін // Праці VIII-ї Міжнародної науково-практичної конференції “Інтернет-Освіта-Наука (ІОН-2012)”. — Вінниця, 2012. – С. 93. – ISBN 978-966-641-491-8.
10. Гавенко О. В. Розробка автоматизованої системи керування транспортним засобом / О. В. Гавенко, В. В. Войтко, С. О. Крищук // Праці V міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТП-2011)». – Вінниця, 2011. – С. 43-44. – ISBN 978-966-641-411-6.

11. Гавенко О. В. Розробка методу пошуку оптимального шляху у складних геометричних мережах / О. В. Гавенко, В. Б. Мокін // XI Міжнародна науково-технічна конференція «Контроль і управління в складних системах (КУСС-2012)». – Вінниця, 2012. – С. 27. – ISBN 978-966-641-488-0.

12. Геоинформационная система мониторинга окружающей среды города Кривой Рог / О. В. Гавенко, В. Б. Мокін, Е. Н. Крыжановский, В. В. Беленков // Геопрофи. – Москва. – 2013. – №2. – С. 23-25. – ISSN 2306-8736.

13. Гавенко О. В. Комп'ютерна програма для вирішення оптимізаційних задач / О. В. Гавенко, В. В. Войтко // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 30044. — К.: Державний департамент інтелектуальної власності України. — Дата реєстрації: 27.08.2009.

### АНОТАЦІЯ

Гавенко О. В. Інформаційна технологія для побудови аналітичних геоінформаційних систем багатозв'язних просторово-розподілених об'єктів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2013.

Дисертаційну роботу присвячено підвищенню швидкості побудови аналітичних геоінформаційних систем багатозв'язних просторово-розподілених об'єктів (ГІС БПРО). Вперше розроблено інформаційну технологію автоматизованої побудови аналітичних ГІС БПРО з урахуванням можливих аналітичних та алгоритмічних зв'язків між атрибутивними та просторовими параметрами цих об'єктів, незалежну від платформ та форматів ГІС. Для цієї технології вперше розроблено інформаційну модель аналітичної ГІС БПРО, метод формалізації аналітичних та алгоритмічних залежностей між параметрами БПРО, а також удосконалено метод формалізації впливу центрів тяжіння на параметри БПРО.

Розроблена інформаційна технологія дозволяє швидко створювати аналітичні ГІС БПРО, які автоматично перебудовуються та ідентифікуються, в залежності від факторів, що слід враховувати, та, відповідно, заданих комбінацій параметрів та шарів ГІС, що суттєво прискорює та полегшує адаптацію таких аналітичних ГІС БПРО до реальних систем та процесів.

**Ключові слова:** інформаційна модель, багатозв'язні просторово-розподілені об'єкти, геоінформаційні системи, автоматизація, інформаційна технологія, моделювання, оптимізація.

**АННОТАЦИЯ**

Гавенко О. В. Информационная технология для построения аналитических геоинформационных систем многосвязных пространственно-распределенных объектов. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Винницкий национальный технический университет, Винница, 2013.

Диссертационная работа посвящена решению научно-прикладной задачи повышения скорости построения аналитических геоинформационных систем многосвязных пространственно-распределенных объектов с учетом аналитических и алгоритмических зависимостей между атрибутивными и пространственными параметрами этих объектов.

Анализ известных методов и технологий автоматизированного построения ГИС МПРО, показал, что их возможности весьма ограничены, когда ставится задача построения произвольной аналитической ГИС МПРО. Ведь, учитывая многосвязность и взаимозависимость большого количества параметров МПРО, приходится строить целые комплексы математических моделей, учитывающих то или иное количество атрибутивных параметров и пространственных объектов слоев ГИС. На практике, для проигрывания сценариев развития процессов в МПРО приходится проводить моделирование и анализ результатов каждый раз для разного количества параметров, а это занимает много времени. Более того, проблема усугубляется еще и тем, что геоинформационные системы и базы данных хранятся в разных программных средах, имеют различную структуру и форматы данных.

Впервые разработан метод формализации аналитических и алгоритмических зависимостей между параметрами МПРО как системного слоя их ГИС, позволяющий автоматизировать формализацию и сохранение аналитических и алгоритмических связей между атрибутивными и пространственными параметрами этих объектов и увеличить скорость адаптации ГИС МПРО к заданным комбинациям слоев объектов, их параметров и зависимостей между ними при моделировании процессов в них.

Впервые разработана информационная модель аналитической геоинформационной системы многосвязных пространственно-распределенных объектов, позволяющая представлять в едином формате ГИС пространственные и атрибутивные данные МПРО, аналитические и алгоритмические зависимости между их параметрами, пространственные и логические отношения между их объектами для автоматизации их обработки.

Усовершенствован метод формализации влияния центров тяжести на параметры МПРО путем введения новых коэффициентов в аналитические зависимости между параметрами объектов слоев ГИС и их сохранения в дополнительном системном слое, позволяющий более комплексно и быстро учитывать влияние центров тяжести на процессы в МПРО при проектировании или моделировании процессов в них.

Разработана методика формализации информационной модели объектов

ГИС МПРО в виде текстового описания с учетом в ней параметров пространственно-логической модели объектов для автоматизации геокодирования МПРО, независимо от форматов и программных сред для работы с ГИС, позволит начать формирование единого банка данных о МПРО разного типа информации многих ведомств и организаций и т.п.: данные земельного, водного, лесного и других кадастров, данные экологического мониторинга, данные метеомониторинга и др., что позволит значительно ускорить процесс сбора входных данных, моделирования различных процессов и оптимизацию МПРО.

Усовершенствована методика обработки параметров геометрических сетей, формализованных в виде разработанной информационной модели, позволяющая ускорить ее использование на практике.

Разработанная информационная технология позволит быстро создавать аналитические ГИС МПРО, которые автоматически перестраиваются и идентифицируются, в зависимости от факторов, которые следует учитывать, и, соответственно, заданных комбинаций параметров и слоев ГИС, что существенно ускоряет и облегчает адаптацию таких аналитических ГИС МПРО к реальным системам и процессам.

Разработано программное обеспечение для автоматизированной формализации и построения аналитических ГИС МПРО с использованием разработанных методов и технологии. Научно-практические результаты работы апробированы в учреждениях и предприятиях, занимающихся мониторингом и управлением транспорта в городе и водными ресурсами, в частности, в управлении водных ресурсов центрального аппарата Государственного агентства водных ресурсов Украины и всех его 31 бассейновых и областных управлениях водных ресурсов, в ООО «ГИСИНФО» и Криворожском горсовете, Полтавском областном управлении водных ресурсов, Управлении по вопросам чрезвычайных ситуаций и по делам защиты населения от последствий Чернобыльской катастрофы Полтавской облгосадминистрации, Кировоградском областном управлении водных ресурсов и Главном управлении агропромышленного развития Кировоградской облгосадминистрации, в коммунальном предприятии «Специализированный монтажно-эксплуатационный участок организации дорожного движения» Винницкого горсовета.

**Ключевые слова:** информационная модель, многосвязные пространственно-распределенные объекты, геоинформационные системы, автоматизация, информационные технологии, моделирование, оптимизация.

#### ABSTRACT

Gavenko O.V. Information technology for building of analytical GIS multiply spatially distributed objects. – A manuscript.

Thesis for obtaining PhD scientific degree on the speciality 05.13.06 – information Technologies. – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2013.



The thesis is dedicated to increasing the speed of construction of analytical GIS multiply spatially distributed objects (GIS MSDO). First developed information technology automated construction of analytical GIS MSDO considering the possible analytical and algorithmic relationships between attribute and spatial parameters of these objects, independent from platforms and GIS formats. For this technology the information model of analytical GIS MSDO and the method of formalizing analytical and algorithmic dependencies between parameters MSDO are developed and method for the formalization of the centers of gravity effects on the parameters MSDO is improved.

The information technology provides a quick analytical GIS MSDO which are automatically rebuilt and identified, depending on the factors which should be considered, and, consequently, the set of combinations of parameters and GIS layers, which significantly speed up and simplify the adaptation of analytical GIS MSDO to real systems and processes.

**Keywords:** information model, multiply spatially distributed systems, geographic information systems, automation, information technology, simulation, optimization.

Підписано до друку 16.09.2013 р. Формат 29,7×42 ¼  
Наклад 110 прим. Зам. № 2013-147  
Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі  
Вінницького національного технічного університету  
м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95. Тел.: 59-81-59  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК №3516 від 01.07.2009р.