

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ВАРЧУК ІЛОНА ВЯЧЕСЛАВІВНА

УДК 004.94

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ АНАЛІЗУ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ
ТОПОЛОГІЧНОЇ СПОСТЕРЕЖУВАНOSTІ БАГАТОЗВ'ЯЗНИХ
ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

Спеціальність 05.13.06 – "Інформаційні технології"

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Вінниця – 2017

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 системного аналізу, комп'ютерного
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, старший науковий
співробітник

Порєв Геннадій Володимирович,
Київський національний університет імені Тараса
Шевченка,
доцент кафедри програмних систем і технологій

Захист дисертації відбудеться «19» травня 2017 року о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 05.052.01 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, ауд. 210, ГНК.

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

Автореферат розісланий «18» квітня 2017 року.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

С. М. Захарченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми

Останнім часом велике поширення отримав такий клас багатозв'язних складних систем як багатозв'язні геоінформаційні системи (БГС). До них відносяться усі інженерні мережі (транспортні мережі, електричні та електроенергетичні мережі, різні трубопроводи, шахти та інші підземні комунікації тощо), природні мережі (річкові системи, екомережі та ін.) та інші просторово-розподілені об'єкти, в яких параметри та стан одних ділянок та елементів впливає на параметри та стан інших ділянок та елементів. Їх поєднує те, що для надійного функціонування систем контролю та управління такими БГС необхідний достатній обсяг достовірних даних як про усі їх входи, так і про змінні стану. Достатність цих змінних визначається, в першу чергу, можливістю розробити для такої системи закон керування, який дозволив би перевести систему у потрібний стан. Для розв'язання таких задач існують поняття спостережуваності та керованості, а для багатозв'язних систем та інформаційних систем – ще й поняття топологічної спостережуваності, тобто визначення спостережуваності по моделі системи у вигляді графу.

Проблематиці спостережуваності БГС присвячено багато робіт вчених, але значно менше робіт присвячено дослідженню топологічної спостережуваності по графових моделях системи або спостережуваності інформаційних систем, зокрема це досліджувалось у роботах таких вчених: К. А. Клементс, А. З. Гамм, І. І. Голуб, В. А. Богданов, А. М. Конторович, Б. І. Мокін, В. Б. Мокін, Вільям С. Левін, Е. Евангелісті, Дж. Фрагнелі, В. Мігнай, Алі Абур, А. Г. Експосіто, М. Дж. Корлесс, А. Фразко та ін. Однак, у цих роботах майже не приділялась увага питанням автоматизації процесів аналізу та оптимізації топологічної спостережуваності складних систем за їх не тільки математичними, а й інформаційними моделями.

Отже, необхідним є створення інформаційної технології аналізу та оптимізації топологічної спостережуваності багатозв'язних просторово-розподілених систем за їх математичними моделями та інформаційними складовими за рахунок більш ефективної формалізації й обробки вхідних даних і моделей та автоматизації їх оброблення.

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 є виконавцем і які виконувались на замовлення Міністерства освіти і науки України:

1) «Ідентифікація та оптимізація інформаційних моделей динамічних багатозв'язних просторово-розподілених систем для задач моніторингу, збереження даних та автоматизованого управління» (№ ДР 0113U003135), виконувалась на кафедрі САКМІГ ВНТУ у 2013-2014 рр.;

2) «Інформаційна технологія обробки параметрів просторово-часових моделей даних динамічних багатозв'язних просторово-розподілених систем» (№ ДР 0115U001122), виконувалась на кафедрі САКМІГ ВНТУ у 2015-2016 рр.

Мета і задачі дослідження. *Мета роботи* – підвищення рівня топологічної спостережуваності багатозв'язних геоінформаційних систем шляхом створення більш швидкої та ефективної інформаційної технології її аналізу та оптимізації.

Задачами досліджень є такі:

- проаналізувати відомі методи та інформаційні технології формалізації БГС та аналізу й оптимізації їх топологічної спостережуваності;
- удосконалити метод формалізації аналітичних та алгоритмічних залежностей між параметрами багатозв'язних геоінформаційних систем для прискорення процесу їх формалізації в єдиній геоінформаційній моделі;
- розробити новий метод оптимізації топологічної спостережуваності багатозв'язних геоінформаційних систем;
- розробити нову інформаційну технологію аналізу та оптимізації топологічної спостережуваності багатозв'язної геоінформаційної системи, яка більш швидко та ефективно забезпечить її повну топологічну спостережуваність;
- розробити алгоритмічне і типове програмне забезпечення та провести практичну апробацію і впровадження розробленого методу та інформаційної технології аналізу та оптимізації топологічної спостережуваності БГС.

Об'єкт дослідження – контроль стану багатозв'язних геоінформаційних систем.

Предмет дослідження – методи та інформаційна технологія аналізу та оптимізації топологічної спостережуваності багатозв'язних геоінформаційних систем за їх математичними моделями та інформаційними складовими для задач моделювання та керування процесами у цих системах.

Методи дослідження. У дослідженнях використовувались такі методи: для формалізації залежностей між параметрами БГС – методи математичного моделювання; у процесі формалізації просторових даних – методи ГІС-технологій; для оцінювання топологічної спостережуваності системи – пошук максимального паросполучення на біхроматичному графові; для оптимізації топологічної структури графів – методи теорії графів.

Наукова новизна одержаних результатів

1. Вперше розроблено метод оптимізації топологічної спостережуваності багатозв'язної геоінформаційної системи, формалізованої в її геоінформаційному просторі параметрів (ГПП), шляхом створення системи правил перетворення ГПП у класичний біхроматичний граф (БГ), проведення по цьому графу аналізу та оптимізації рівня топологічної спостережуваності та його зворотної трансформації в математичну модель БГС, що дозволяє більш швидко вибрати оптимальну математичну модель та інформаційні складові БГС, які забезпечать її задану, у т.ч. повну, топологічну спостережуваність.

2. Вперше розроблена інформаційна технологія аналізу та оптимізації топологічної спостережуваності багатозв'язної геоінформаційної системи, яка дозволяє визначити та підвищити рівень топологічної спостережуваності цієї системи і дозволяє більш швидко та ефективно вибрати математичну модель та інформаційні складові БГС, які забезпечать цей рівень її топологічної спостережуваності.

3. Удосконалено метод формалізації аналітичних та алгоритмічних залежностей між параметрами багатозв'язної геоінформаційної системи шляхом поєднання технології інтегрування математичних моделей процесів з геоінформаційними системами та технології формалізації таких залежностей у геоінформаційному просторі параметрів цих систем, що дозволяє прискорити процес їх формалізації в єдиній геоінформаційній моделі.

Практичне значення одержаних результатів роботи полягає у наступному:

- розвинено поняття топологічної спостережуваності математичних моделей процесів у БГС з урахуванням специфіки їх інформаційних моделей, що дозволяє врахувати особливості спостережуваності їх параметрів у просторі та в часі і визначити які саме ділянки БГС та в які періоди часу потребують оптимізації їх топологічної спостережуваності;

- запропоновано ряд методик, які дозволяють підвищити рівень спостережуваності БГС згідно запропонованої термінології та продемонстровано приклад їх застосування для підвищення спостережуваності системи управління водними ресурсами басейну р. Південний Буг, які пройшли затвердження на Науково-технічній раді Держводагентства України та вже використані у басейні річки Дністер (на території Польщі, Молдови та України) та в українській частині басейнів Прип'яті та Сіверського Дінця;

- розроблено алгоритм аналізу та оптимізації топологічної спостережуваності багатозв'язної геоінформаційної системи;

- в пакеті для роботи з ГІС «ArcGIS» (США) створено типовий програмний інструментарій для ефективною формалізації математичних моделей процесів у БГС у форматі геоінформаційного простору параметрів системи з подальшим його перетворенням у біхроматичний граф та оптимізацією топологічної спостережуваності цієї системи – на це програмне забезпечення отримано свідоцтво про реєстрацію авторських прав на комп'ютерну програму;

- для задач керування дорожнім рухом міста та оптимізації параметрів транспортної мережі здійснено аналіз та оптимізацію відомих моделей процесів у цих мережах, у т. ч. поширення забруднень в атмосферному повітрі від викидів автотранспорту, обґрунтовано ряд пропозицій щодо підвищення спостережуваності параметрів у таких задачах з використанням геоінформаційних технологій.

Результати роботи, які мають цінність для оптимізації системи управління водними ресурсами у Вінницькій області, впроваджені у Вінницькому регіональному управлінні водних ресурсів, що підтверджується

актом впровадження. Результати роботи, які є цінними для оптимізації БГС, передусім моделей інфраструктури населених пунктів, впроваджені у ТОВ «Аналітика», що підтверджується актом впровадження.

Результати роботи використовуються у навчальному процесі кафедри системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки зі спеціальностей 122 – «Комп'ютерні науки та інформаційні технології» (спеціалізація «Комп'ютерний еколого-економічний моніторинг») у дисциплінах: «Інформаційні технології моніторингу та аналізу стану складних систем», «Моделювання еколого-економічних систем» та «ГІС в задачах комп'ютерного моніторингу», що підтверджується актом впровадження від Вінницького національного технічного університету.

Особистий внесок здобувача

Усі результати роботи отримані самостійно. Частина цих результатів опублікована у роботах [2, 9] без співавторів; у роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать такі результати: [1] – розроблено алгоритм реалізації побудови топологічно спостережуваної БГС за інформаційною технологією аналізу та оптимізації топологічної спостережуваності; [3] – розроблено метод оптимізації топологічної спостережуваності БГС, формалізованих в їх ГПП, та реалізовано приклад аналізу та оптимізації топологічної спостережуваності БГС на прикладі нормалізації мікроклімату у шахті; [4] – здійснено вибір оптимальної математичної моделі для моделювання перенесення забруднення автомобільного транспорту з використанням геоінформаційних технологій; [5] – запропоновано підхід до підвищення спостережуваності параметрів транспортної мережі шляхом їх визначення з використанням геоінформаційних технологій; [6] – охарактеризовано стан та перспективи впровадження результатів дисертації у сфері управління станом річкових систем та водного господарства в Україні; [7] – запропоновано інформаційну модель інформаційної технології аналізу та оптимізації топологічної спостережуваності БГС; [8] – запропоновано інформаційну технологію аналізу та оптимізації топологічної спостережуваності БГС з різними математичними моделями процесів у ній; [10] – здійснено формалізацію розподіленої моделі гідрологічних процесів у БГС типу «опадистік» на заданому водозборі «ТОРКАРІ-ІРММС» для аналізу та оптимізації топологічної спостережуваності; [11, 12] – запропоновано систему правил перетворення ГПП у БГ для методу аналізу та оптимізації топологічної спостережуваності БГС; [13] – запропоновано деякі удосконалення комп'ютеризованої підсистеми оцінювання викидів автомобільного транспорту, який рухається по транспортній мережі; [14] – розроблено методику побудови та алгоритм функціонування програмного забезпечення для реалізації інформаційної технології аналізу та оптимізації топологічної спостережуваності БГС.

Апробація результатів дисертації

Результати, одержані в дисертаційній роботі, пройшли апробацію на таких 10-ти наукових конференціях: 10-й Міжнародній науково-практичній

конференції «Інтернет-Освіта-Наука» («ІОН-2014»), (м. Вінниця, 2014 р.); 13-й Міжнародній науково-технічній конференції «Контроль і управління в складних системах» («КУСС-2014») (м. Вінниця, 2014 р.); XIV Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» (м. Київ, 2015); 2-й Міжнародній науково-практичній конференції "Summer InfoCom 2016" (м. Київ, 2016); IV, V Всеукраїнських з'їздах екологів з міжнародною участю (м. Вінниця, 2013 р., 2015 р.); Науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету за участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств міста Вінниці та області (м. Вінниця, 2013 р., 2014 р., 2015 р., 2016 р.).

Публікації. Всього за тематикою дослідження опубліковано 14 наукових праць, в тому числі: 5 статей у наукових фахових виданнях, з яких одна стаття – у виданні, яке входить ще й у міжнародну наукометричну базу даних Scopus; 1 стаття у виданні, що не входить до наукових фахових видань; 7 тез та матеріалів доповідей на наукових конференціях; свідоцтво про реєстрацію авторських прав на комп'ютерну програму.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел (143 найменування) та додатків. Основний зміст викладено на 120 сторінках друкованого тексту, містить 40 рисунків, 9 таблиць. Загальний обсяг дисертації 149 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, описано зв'язок роботи із науковими темами і планами, сформульовано мету, задачі та методи дослідження, а також охарактеризовано наукову новизну, практичне значення, апробацію та публікації результатів дисертації.

У **першому розділі** визначено поняття спостережуваності системи як можливості визначати змінні стану за вхідними параметрами. Приділено увагу поняттю топологічної спостережуваності БГС та розглянуто метод її визначення на основі спеціально побудованого за математичними моделями біхроматичного графу системи на основі пошуку максимальних паросполучень. Цей метод полягає у знаходженні множини з максимальною кількістю ребер утвореного графу, що не мають попарно спільних вершин. Як відомо, якщо існує паросполучення, де кожна змінна, що описує стан системи, відповідає сильному реброві, тобто такому, що входить в максимальне паросполучення, то система, що описується заданими рівняннями – повністю топологічно спостережувана.

Проведено аналіз підходів до формалізації моделей багатозв'язних геоінформаційних систем.

Охарактеризовано формалізацію математичних моделей шляхом їх інтегрування (інтеграції) з ГІС й технологію формалізації математичних

моделей систем з геометричними мережами у геоінформаційному просторі параметрів цих систем. Проведений аналіз показав, що існує технологічний відрив між процесом формалізації математичних моделей та процесом аналізу їх топологічної спостережуваності. Відзначено необхідність створення нових методів, алгоритмів, програмно-технічних засобів та, в цілому, інформаційної технології аналізу та оптимізації топологічної спостережуваності БГС, яка дозволить підвищувати рівень цієї спостережуваності більш швидко та ефективно.

У **другому розділі** розроблено метод оптимізації топологічної спостережуваності БГС.

Запропоновано вдосконалення системи понять топологічної спостережуваності моделей БГС. При аналізі топологічної спостережуваності БГС важливо враховувати не тільки просторовий, а й часовий аспект, оскільки в одних часових інтервалах система може бути повністю спостережуваною а в інших – частково чи не повністю або це визначити неможливо. Реальні природні чи техногенні системи, як правило, є нелінійними багатозв'язними просторово-розподіленими системами, тому умови спостережуваності для них можуть виконуватись тільки за певних обмежень вхідних змінних і змінних стану, в часі та у просторі. Пропонується розрізняти такі види та рівні топологічної спостережуваності для БГС та їх ділянок (об'єктів, підсистем): повна; часткова; повна (часткова) на ділянці; повна (часткова) у просторі; часткова у просторі на h відсотків (коли усі початкові змінні стану БГС, представленої на карті сукупністю з N об'єктів чи ділянок, відтворюються тільки на $hN/100 = M$ об'єктах чи ділянках); повна (часткова) у часовому інтервалі; часткова у часі на h відсотків (коли усі початкові змінні стану системи серед усіх N часових інтервалів відтворюються тільки в $hN/100 = M$ інтервалах).

Запропоновано обчислювати рівень J топологічної спостережуваності БГС як відношення кількості n_c вершин-змінних, яким відповідає вершина-залежність (тобто кожна така вершина-змінна входить хоча б в одне «сильне» ребро), до загальної кількості n_z вершин-змінних у заданому біхроматичному графі:

$$J = \frac{n_c}{n_z}. \quad (1)$$

Аналіз показує, що рівень J набуває значень $[0, 1]$, що робить його зручним для використання в якості критерію оптимальності методу та інформаційної технології оптимізації топологічної спостережуваності БГС, які пропонуються. При $J = 1$ система – повністю топологічно спостережувана, а при $J = 0$ – система є повністю топологічно неспостережуваною.



Однією з основних проблем застосування математичного апарату методу оптимізації топологічної спостережуваності моделей БГС є задача побудови відповідного біхроматичного графу. Особливо ця задача ускладнюється, якщо

процеси у БГС описуються не тільки аналітично, а й алгоритмічно, а системи складаються з великої кількості підсистем чи їх окремих ділянок, для кожної з яких записується своя математична модель і структура цієї моделі ще й може змінюватись у певні моменти часу чи за різних умов.

У першому розділі було відзначено, що однією з найбільш ефективних технологій формалізації математичних моделей у геоінформаційних системах, яка дозволяє зберігати ці моделі у форматі тієї ж ГС, якої вона стосується, є технологія формалізації моделей у ГПП системи. Однак, хоча модель у ГПП теж має вигляд біхроматичного графа (є вершини-змінні двох типів), але він є відмінним від того класичного біхроматичного графа, за яким здійснюється аналіз моделей БГС на топологічну спостережуваність. Отже, для оптимального вирішення поставленого у даній роботі завдання з побудови єдиної технології формалізації моделі БГС та її перевірки на спостережуваність пропонується поєднання методу формалізації моделі БГС у ГПП з методом аналізу та оптимізації цих БГС на топологічну спостережуваність. Але принцип побудови та позначення дещо відрізняються у біхроматичних графах цих двох методів. Отже, необхідно розробити алгоритм та правила трансформації одного типу графу в інший для поєднання усіх переваг обох цих методів.

Порівняння особливостей формалізації графа моделі системи, формалізованої у ГПП, з формалізацією вище згаданого класичного біхроматичного графу системи, який використовується для визначення її топологічної спостережуваності, представлено у табл. 1.

Таблиця 1 – Відмінності між формалізацією математичної моделі у вигляді графа у ГПП та у вигляді біхроматичного графа

Елемент моделі	Формалізація у вигляді графа у ГПП	Формалізація у вигляді біхроматичного графа
Змінна P_i	Виділяють впливові і залежні вершини	Тип 1 вершин графа  P_i
Залежність між змінними $f(P_j)$	Ребро графа	Тип 2 вершин графа  $f(P_j)$

З таблиці 1 видно, що для перетворення першого графу в другий необхідно вершини-змінні трансформувати у вершини першого типу, а ребра графа – у вершини другого типу. І, якщо перетворення вершин-змінних першого графу на множину вершин типу 1 – це проста процедура, то перетворення ребер першого графу у вершини другого потребує більш детального вивчення.

Запропоновано систему правил, подану у табл. 2, для трансформації ребер моделі, формалізованої у ГПП, у вершини другого типу біхроматичного графу.

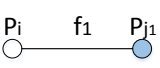
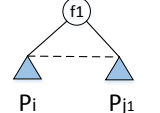
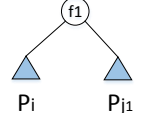
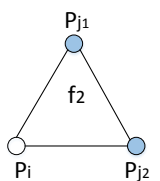
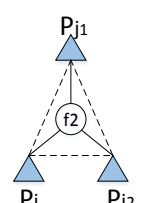
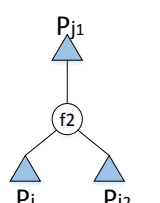
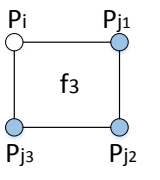
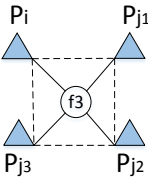
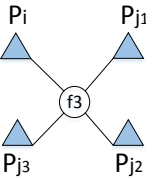
У випадку, якщо модель, формалізована у ГПП, має форму геометричної фігури, вибирається її центр, що перетворюється на вершину-залежність.

Якщо ж модель, формалізована у ГПП, має вигляд ребра, тоді воно перетворюється на вершину-залежність, яка пов'язується іншими ребрами з вершинами-змінними цього ж ребра. Побудувавши у такий спосіб біхроматичний граф, можна застосовувати до нього типові методи для визначення по ньому спостережуваності системи.

Для розв'язання поставленої задачі запропоновано такий алгоритм:

1. Формалізувати модель у ГПП.
2. Трансформувати моделі, формалізовані у ГПП, у біхроматичний граф за допомогою системи правил (див. табл. 2).

Таблиця 2 – Система правил для трансформації моделі, формалізованої у ГПП, у вершини другого типу біхроматичного графу

Вид залежності	Формалізація у ГПП	Правила трансформації залежностей із ГПП у біхроматичний граф	Формалізація у біхроматичному графі
$P_i = f_1(P_{j_1})$			
$P_i = f_2(P_{j_1}, P_{j_2})$			
$P_i = f_3(P_{j_1}, P_{j_2}, P_{j_3})$			

3. Знайти максимальні паросполучення у синтезованому біхроматичному графі.

4. Оптимізувати біхроматичний граф.

5. Трансформувати біхроматичний граф у геоінформаційний простір параметрів.

6. Вибрати оптимальну модель за J -критерієм.

Запропоновано два варіанти постановки задачі оптимізації топологічної спостережуваності багатозв'язних просторово-розподілених систем:

Варіант 1. Із множини можливих математичних моделей процесів у БГС, ув'язаних з її ГС та БД, знайти таку, яка максимізує критерій оптимізації J за (1). Решта моделей може бути ранжована за цим критерієм, що дозволяє вибрати певну кількість моделей з рівнем топологічної спостережуваності, наприклад не нижче заданого.

Варіант 2. Знайти між якими змінними слід ідентифікувати залежності у заданій математичній моделі процесів БГС, ув'язаних з її ГС та БД, що дозволить зробити цю БГС повністю спостережуваною. Для розв'язання такої задачі важлива швидкість обробки інформації за запропонованим методом, оскільки процес оптимізації біхроматичного графу має багато варіантів рішень, але слід знайти такий, для якого вдасться ідентифікувати адекватну математичну модель з усіма залежностями між усіма змінними, які зроблять БГС повністю спостережуваною. Однак, процес пошуку такої моделі для різних варіантів оптимізації БГ може бути багатоітераційним.

Наведено приклад застосування методу для варіанту 2 задачі оптимізації на прикладі відомої моделі нормалізації мікроклімату в шахті (рис. 1).

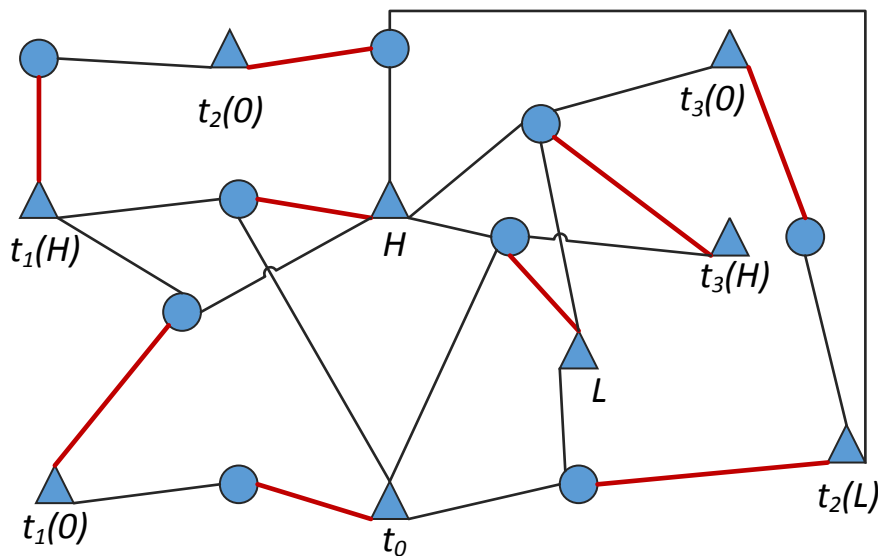


Рисунок 1 – Оптимізований біхроматичний граф для моделі нормалізації мікроклімату в шахті

У **третьому розділі** розроблено інформаційну технологію аналізу та оптимізації топологічної спостережуваності БГС.

Інформаційна технологія аналізу та оптимізації топологічної спостережуваності БГС поєднує наступні складові:

1. ІТ інтегрування математичних моделей та ГС.

У базі даних зберігаються параметри та вхідні дані математичних моделей процесів в об'єктах та ГС цих об'єктів (БГС). ІТ інтегрування математичних моделей та ГС дозволяє побудувати інтегровану ГС, в якій можна забезпечити автоматизовану ідентифікацію усіх параметрів за певними співвідношеннями та алгоритмами (за математичними моделями) за наявною атрибутивною (у базі даних) та просторовою (у шарах ГС) інформацією.

2. ІТ формалізації математичних моделей БГС у ГПП.

ІТ формалізації математичних моделей БГС у геоінформаційному просторі параметрів дозволяє у зручному для обробки вигляді у системному шарі чи шарах ГІС зберігати різні комбінації параметрів та структури можливих співвідношень (моделей) між усіма параметрами системи. Розроблена інформаційна технологія аналізу та оптимізації топологічної спостережуваності БГС на основі ГПП перетворює граф моделі, формалізованої у ГПП, у біхроматичний граф, на основі якого здійснюється подальша перевірка та, за необхідності, – оптимізація топологічної спостережуваності системи.

Реалізацію розробленої інформаційної технології аналізу та оптимізації топологічної спостережуваності БГС за варіантом задачі 2 для однієї ділянки (чи об'єкту) системи та одного часового інтервалу пропонується здійснювати за такими етапами (рис. 2).

На рисунку описано наступні етапи:

Етап 1. Збирання вхідних даних про систему, створення та наповнення бази даних, вибір БД і ГІС.

Етап 2. Вибір математичної моделі, що описує функціонування досліджуваної системи (для розв'язання задачі за варіантом 1 – вибір множини математичних моделей).

Етап 3. Ідентифікація та інтегрування математичної моделі та ГІС. Забезпечується автоматизована ідентифікація параметрів системи за певними співвідношеннями та алгоритмами (за математичними моделями) за наявною атрибутивною (у базі даних) та просторовою (у шарах ГІС) інформацією, налагодження зв'язку між параметрами математичної моделі та елементами і даними БД і ГІС.

Етап 4. Формалізація математичної моделі у ГПП, що являє собою, системний шар БГС та відображає наявні зв'язки між параметрами досліджуваної системи.

Етап 5. Трансформація ГПП у біхроматичний граф (БГ). Перетворення проводяться за системою правил, описаною вище.

Етап 6. Аналіз топологічної спостережуваності досліджуваної системи – пошук максимального паросполучення на біхроматичному графі. Якщо максимальне паросполучення не забезпечує повної топологічної спостережуваності, тоді – перехід до етапу 7.

Етап 7. Оптимізація топологічної спостережуваності на основі біхроматичного графу.

Також відбувається проведення перевірки достатності вхідних даних та наявних залежностей між параметрами системи. Якщо наявних вхідних даних та залежностей недостатньо, тоді – перехід до етапу 1 для доповнення змінних та залежностей, що описують систему, а якщо наявних даних достатньо – перехід до етапу 8.

Етап 8. Трансформація оптимізованого біхроматичного графу у ГПП.

Етап 9. Оптимізація математичної моделі.

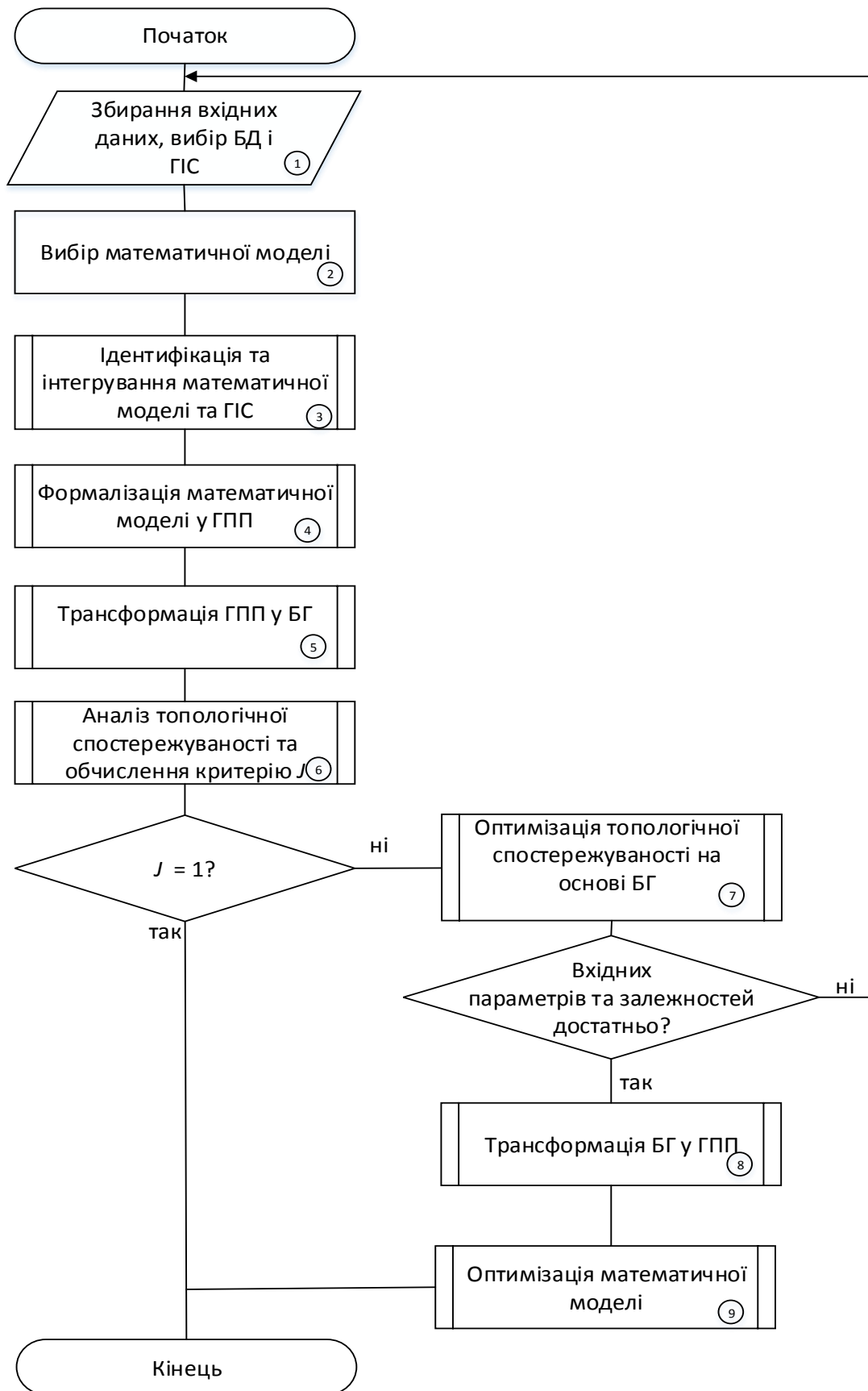


Рисунок 2 – Алгоритм роботи запропонованої інформаційної технології аналізу та оптимізації топологічної спостережуваності БГС за варіантом 2 задачі для однієї ділянки (чи об'єкту) системи та одного часового інтервалу

Після аналізу топологічної спостережуваності системи за алгоритмом на рис. 1 для усіх ділянок (чи об'єктів) та усіх інтервалів часу, здійснюється перевірка того, чи є спостережуваною уся система на заданій кількості ділянок та в заданих часових інтервалах. Технологічно, такий аналіз можна проводити з використанням паралельних обчислень. У разі, якщо система не є спостережуваною на усіх заданих ділянках та в усьому діапазоні часу, тоді слід повернутись на етап збирання вхідних даних чи на етап вибору математичної моделі і провести усі розрахунки заново.

Алгоритм запропонованої інформаційної технології для варіанту задачі 1, тобто за наявності вже ідентифікованих та інтегрованих з ГІС математичних моделей, буде містити тільки етапи 4-6, після чого буде здійснюватись ранжування обчислених значень J за зменшенням і вибір заданої кількості перших із них, тобто найбільш спостережуваних. У разі, якщо ці моделі будуть відрізнятись для різних ділянок (чи об'єктів) та інтервалів часу, тоді обчислення J проводиться окремо для кожної з таких ділянок (чи об'єктів) та інтервалів часу, потім ці значення J додаються і ранжуються вже їх суми – оптимальною є математична модель, яка є найбільш топологічно спостережуваною в якомога більшій (в ідеалі – в усіх) кількості ділянок (об'єктів) та інтервалах часу.

Відповідно до алгоритму роботи розроблено концептуальні моделі інформаційної технології: UML-діаграму варіантів використання, UML-діаграму діяльності та UML-діаграму компонентів.

Здійснено формалізацію усіх етапів розробленої технології.

Важливим є підготовлення вхідних даних, математичних моделей, баз даних та ГІС до застосування розробленої інформаційної технології.

Вхідними даними, є по-перше, реальна ГІС у певному форматі, в системному шарі якої зберігатимуться усі залежності між змінними (параметрами чи атрибутами усіх просторових об'єктів у множині). У класифікаторі ГІС формалізовані усі можливі для неї просторові об'єкти з умовними позначеннями та можливими для них атрибутами (позначимо множину усіх можливих атрибутів вже наявних у класифікаторі просторових об'єктів R). По-друге, це – множина математичних моделей (у т.ч. алгоритмічних), які пов'язують ці змінні. Важливо, що технологія, яка пропонується, дозволяє легко розширювати множину таких моделей на будь-якому етапі моделювання. І так само можна додавати нові шари та атрибути до класифікатору R ГІС.

Для побудови ГПП аналізується множина усіх вхідних даних U усіх моделей, усіх змінних стану X , тобто таких, які визначаються із вхідних змінних за певними моделями, та усіх вихідних змінних Y і відбирається така множина змінних Λ , які не є атрибутами наявних у класифікаторі ГІС просторових об'єктів:

$$\Lambda = (U \cup X \cup Y) \cap G. \quad (2)$$

Ці атрибути мають бути віднесені до самого регіону дослідження (фон карти) – область, країна, басейн річки та ін. Результатом аналізу буде те, що усі атрибути моделей отримують просторове подання та відповідне місце у базі даних ГІС.

Проводиться класифікація математичних моделей і для кожного типу моделей розробляється свій модуль їх автоматизації (ГІС-модель, у т.ч. атрибути для збереження параметрів, алгоритм та програмний модуль для обробки цих атрибутів, умовне позначення для візуалізації). Усі типи моделей утворюють множину T . Налагоджується система умовних позначень у класифікаторі, яка кожному типу можливих математичних моделей ставить у відповідність певний вид умовного позначення (у багатьох ГІС-пакетах цей етап можна автоматизувати шляхом використання формалізації математичних моделей або в обчислювальних пакетах програм, або з використанням XML-мов, наприклад MathML чи ін.).

Математичні моделі перетворюються на такі співвідношення (передбачається, що кожна змінна стану x_i може описуватись багатьма варіантами моделей на різних ділянках та у різних часових інтервалах):

$$x_i = F_{ij}(U, X, K, \gamma_{ij}), \quad (3)$$

$$y_k = \Psi_{kp}(U, X, K), \quad (4)$$

$$x_i \in X, \quad y_i \in Y, \quad F \in T, \quad \Psi \in T, \quad i = \overline{1, N}, \quad j = \overline{1, M_i}, \quad k = \overline{1, \Omega}, \quad p = \overline{1, \Theta_k},$$

де F_{ij} – функціональна чи алгоритмічна залежність між змінною стану x_i та вхідними змінними із множини U , іншими змінними стану із множини X з параметрами із множини K з можливими змінами у структурі, які описуються множиною з M_i варіантів γ_{ij} ; Ψ_{kp} – функціональна чи алгоритмічна залежність між вихідною змінною y_k та вхідними змінними із множини U , іншими змінними стану із множини X з параметрами із множини K ; N – кількість змінних стану; M_i – кількість моделей різної структури для кожної i -ої змінної стану (у т.ч. для різних ділянок чи об'єктів та різних інтервалів часу); Ω – кількість вихідних змінних; Θ_k – кількість моделей різної структури для кожної k -ої вихідної змінної.

Зі співвідношень (3) та (4) і впливає обмеження для розробленої інформаційної технології – її не можна застосовувати для математичних моделей, які не можна записати у вигляді (3) та (4), наприклад системи диференціальних рівнянь, з яких для кожної змінної не можна виділити окремих вираз в аналітичному чи алгоритмічному вигляді.

У певний спосіб формалізуються усі моделі (рівняння, алгоритми тощо) в Matlab, Mathcad, MS Excel, з використанням MathML тощо.

У системному шарі ГІС (тобто шарі, який є видимим тільки за певних умов, але за замовчуванням – невидимий) визначається центр регіону, який є фоном (максимально узагальненим об'єктом дослідження). Саме навколо цього центру і буде будуватись ГПП. Цей центр є просторовою візуалізацією усіх

вхідних змінних, які відносяться до множини Λ . В околі цього центру слід нанести таку кількість точок, яка відповідає кількості об'єктів у цій множині.

Для кожної моделі (3) та (4) аналізується кожна змінна множин U, X, Y і здійснюється їх геокодування (нанесення об'єкта на карту) у системному шарі ГПС, якщо вона ще не була геокодована, одним із двох способів:

- шукається реальний об'єкт на карті, в атрибутах якого вже є необхідна змінна, і копіюється у системний шар;
- якщо об'єкта на карті ще немає, тоді із заданою відстанню між колом точок та центром наноситься об'єкт з класифікатору R , в атрибутах якого є відповідна змінна, рівновіддалена від центру регіону, по колу: одна модель – одне коло точок.

Приклад візуалізації математичної моделі у ГПП БГС подано на рис. 3.

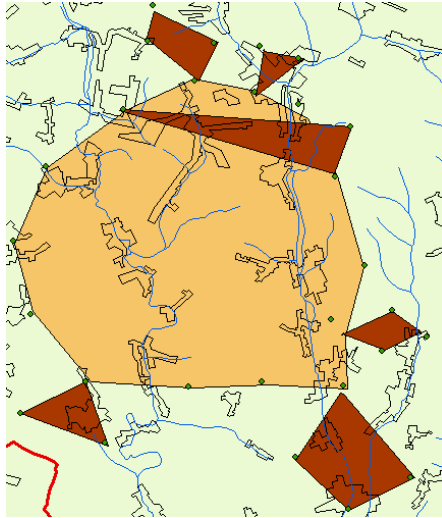


Рисунок 3 – Приклад візуалізації математичної моделі у ГПП БГС

Трансформація ГПП у біхроматичний граф (БГ) за розробленими правилами:

$$F_{ij} \rightarrow F_{rq}^*, \quad \Psi_{kp} \rightarrow \Psi_{kp}^*, \quad z_r = F_{rq}^*(U, X, K, \Omega_{rq}^z), \quad y_k = \Psi_{kp}^*(U, X, Z, \Omega_{kp}^y),$$

$$z_i \in Z, \quad Z \in \Lambda^*, \quad y_k \in Y, \quad F_{rq}^* \subset T, \quad \Psi_{kp}^* \subset T, \quad \Lambda^* = (U \cup X \cup Z \cup Y) \cap G, \quad (5)$$

$$i = \overline{1, N}, \quad j = \overline{1, M}, \quad r = \overline{1, \Theta}, \quad q = \overline{1, Q_q}, \quad k = \overline{1, \Omega}, \quad p = \overline{1, \Theta_k},$$

де F_{ij}^* – функціональна чи алгоритмічна залежність між змінною z_i , що є вузлом біхроматичного графу, та вхідними змінними із множини U , змінними стану із множини X та змінними, що є іншими вузлами біхроматичного графу із множини Z , з параметрами із множини K з можливими змінами у структурі, які описуються множиною з Q_q варіантів Ω_{rq}^z ; Ψ_{kp}^* – функціональна чи алгоритмічна залежність між вихідною змінною y_k та вхідними змінними із множини U , змінними стану із множини X та іншими змінними, що є вузлами біхроматичного графу із множини Z , з параметрами із множини K з можливими змінами у структурі, які описуються множиною з Θ_k варіантів Ω_{kp}^y ; Θ – кількість змінних z_r ; Q_q – кількість моделей різної структури для кожної r -ої

змінної z_r . У системному шарі ГІС здійснюється геокодування нових змінних множини Λ^* .

Інші етапи вже охарактеризовані вище.

Визначення ефективності E аналізу та оптимізації топологічної спостережуваності БГС запропоновано здійснювати на основі такого критерію:

$$E = \omega_1 K_A + \omega_2 K_O, \quad \omega_1 + \omega_2 = 1, \quad (6)$$

де K_A і K_O – коефіцієнти ефективності етапу проведення аналізу та етапу оптимізації БГС, відповідно; ω_1 та ω_2 – вагові коефіцієнти цих етапів в загальній ефективності усієї інформаційної технології:

$$K_A = \sqrt{\omega_{11} T_{A1} \cdot \omega_{12} T_{A2}}, \quad K_O = \sqrt[3]{\omega_{21} T_{O1} \cdot \omega_{22} T_{O2} \cdot \omega_{23} J}, \quad (7)$$

де ω_{ij} – вагові коефіцієнти окремих характеристик етапів технології аналізу та оптимізації, $\sum \omega_{ij} = 1$; T_{A1} , T_{O1} – характеристики тривалості підготовчих операцій на етапі аналізу та на етапі оптимізації, відповідно (дорівнює L_{A1}/τ_{A1} та L_{O1}/τ_{O1} , відповідно, тобто відношенню спеціального коефіцієнту для узгодження розмірності та тривалості відповідних операцій); T_{A2} , T_{O2} – характеристики тривалості проведення аналізу та оптимізації БГС, відповідно (дорівнює L_{A2}/τ_{A2} та L_{O2}/τ_{O2} , відповідно, тобто відношенню спеціального коефіцієнту для узгодження розмірності та тривалості відповідних операцій); J – рівень спостережуваності БГС після проведення оптимізації.

У **четвертому розділі** здійснено практичну реалізацію інформаційної технології аналізу та оптимізації топологічної спостережуваності багатозв'язних просторово-розподілених систем. Продемонстровано ефективність розробленої інформаційної технології на прикладі декількох задач, пов'язаних із БГС. Проведено аналіз та оптимізацію топологічної спостережуваності річкової системи в задачі побудови водогосподарського балансу. Продемонстровано яким чином можна визначити різні у просторовому відношенні рівні спостережуваності цієї БГС за запропонованими співвідношеннями та запропоновано удосконалення методики побудови водогосподарського балансу річкової системи, яке дозволяє підвищити рівень спостережуваності цієї БГС, та продемонстровано приклад їх застосування для басейну річки Південний Буг.

Математичні моделі формування річкового стоку (або моделі гідрологічних процесів типу “опад-стік”) є надзвичайно важливими для вивчення, оскільки дають можливість проведення розрахунків стоку з водозборів, й, відповідно, розробки та запровадження ефективних протипаводкових заходів, у разі потреби, тому наведено приклад аналізу та оптимізації до рівня повної топологічної спостережуваності моделі гідрологічних процесів «ТОРКАРІ-IPMMS» («опад-стік»).

Для задач керування дорожнім рухом міста та оптимізації параметрів транспортної БГС здійснено аналіз відомих моделей процесів у такого роду БГС, у т. ч. поширення забруднень в атмосферному повітрі від викидів автотранспорту. Вибрано оптимальну з них за критерієм рівня топологічної спостережуваності шляхом побудови та аналізу відповідного біхроматичного графу (рис. 4).

Приділено увагу питанню удосконалення цієї спостережуваності з використанням геоінформаційних технологій, що дозволить підвищити точність моделювання та обґрунтованості заходів, які необхідно вжити першочергово для зниження негативного впливу викидів на населення та на вразливі природні об'єкти чи локальні екосистеми міст.

У додатках наведено визначення та класичний математичний апарат спостережуваності і керованості динамічних систем, документи та відомості про впровадження результатів, що отримані в дисертації.

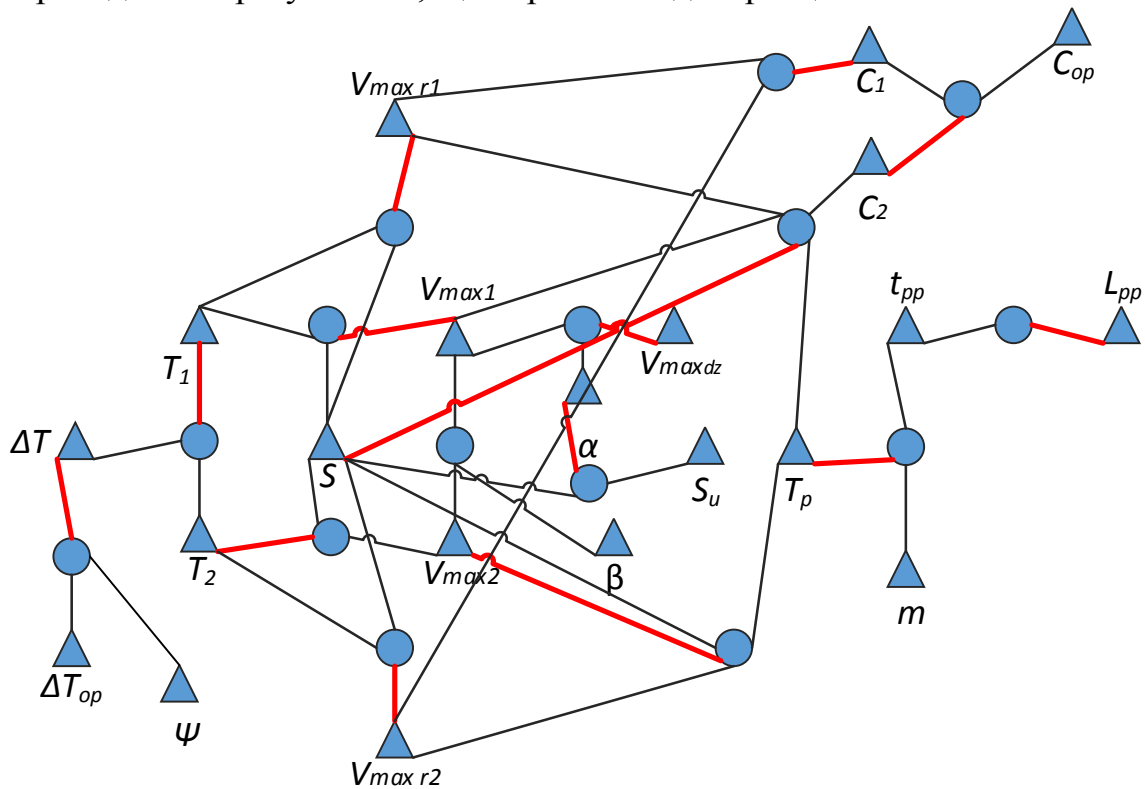


Рисунок 4 – Результат аналізу топологічної спостережуваності біхроматичного графа ділянки вулиці транспортної БГС

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі проведено теоретичне узагальнення та вирішення актуальної науково-прикладної задачі, пов'язаної з розробкою інформаційної технології аналізу та оптимізації топологічної спостережуваності багатозв'язних геоінформаційних систем за їх математичними моделями та інформаційними складовими для підвищення рівня топологічної

спостережуваності багатозв'язних геоінформаційних систем та швидкості й ефективності її оптимізації.

Основні наукові та практичні результати дисертаційного дослідження зводяться до наступного.

1. Проблема підвищення топологічної спостережуваності багатозв'язних систем розглядалася багатьма науковцями, однак, на даний час залишилися мало вивченими питання автоматизації процесів аналізу та оптимізації топологічної спостережуваності не тільки багатозв'язних систем загалом, а й багатозв'язних геоінформаційних систем, зокрема, шляхом оптимізації математичних моделей процесів з урахуванням наявних даних у різних форматах у базах даних та ГІС. Аналіз методів та інформаційних технологій аналізу та оптимізації топологічної спостережуваності БГС показав, що для формалізації та інтегрування математичних моделей процесів у ГІС існує ряд методів та технологій, але існує певний технологічний відрив між процесом формалізації математичних моделей та процесом аналізу їх топологічної спостережуваності. Розвинено поняття топологічної спостережуваності з урахуванням специфіки інформаційних моделей БГС, що дозволяє врахувати особливості спостережуваності їх параметрів у просторі та в часі і визначити які саме ділянки БГС та в які періоди часу потребують оптимізації їх топологічної спостережуваності. У процесі аналізу характеристик біхроматичного графу було запропоновано обчислювати рівень топологічної спостережуваності БГС як відношення кількості вершин-змінних, яким відповідає вершина-залежність, до загальної кількості вершин-змінних.

2. Удосконалено метод формалізації аналітичних та алгоритмічних залежностей між параметрами багатозв'язної геоінформаційної системи шляхом поєднання технології інтегрування математичних моделей процесів з геоінформаційними системами та технології формалізації таких залежностей у геоінформаційному просторі параметрів цих систем, що дозволяє прискорити процес їх формалізації в єдиній геоінформаційній моделі.

3. Вперше розроблено метод оптимізації топологічної спостережуваності багатозв'язної геоінформаційної системи, формалізованої в її геоінформаційному просторі параметрів (ГПП), шляхом створення системи правил перетворення ГПП у класичний біхроматичний граф (БГ), проведення по цьому графу аналізу та оптимізації рівня топологічної спостережуваності та його зворотної трансформації в математичну модель БГС, що дозволяє більш швидко вибрати оптимальну математичну модель та інформаційні складові БГС, які забезпечать її задану, у т.ч. повну, топологічну спостережуваність.

4. Вперше розроблена інформаційна технологія аналізу та оптимізації топологічної спостережуваності багатозв'язної геоінформаційної системи, яка дозволяє визначити та підвищити рівень топологічної спостережуваності цієї системи і дозволяє більш швидко та ефективно вибрати математичну модель та інформаційні складові БГС, які забезпечать цей рівень її топологічної спостережуваності. Запропонована технологія відрізняється від існуючих, по-перше, більш автоматизованою побудовою моделей цієї системи,

ідентифікованих для окремих ділянок (підсистем) та в окремі інтервали часу, у вигляді спеціальних біхроматичних графів, для яких існує відома технологія аналізу та оптимізації топологічної спостережуваності, та, по-друге, системою правил трансформації цих оптимізованих графів в математичні моделі, одразу інтегровані у ГІС.

5. Розроблено алгоритмічне і типове програмне забезпечення за запропонованими методом та алгоритмом аналізу та оптимізації топологічної спостережуваності БГС. У пакеті для роботи з ГІС «ArcGIS» (США) створено типовий інструментарій для ефективної формалізації математичних моделей у вигляді геоінформаційного простору параметрів системи, з подальшим перетворенням у біхроматичний граф та оптимізацією топологічної спостережуваності цієї системи. На це програмне забезпечення отримано свідоцтво про реєстрацію авторських прав на комп'ютерну програму. Продемонстровано працездатність розробленої інформаційної технології для ряду задач з управління водними ресурсами і господарством, з контролю стану повітря уздовж транспортних мереж та у підземних комунікаціях. Результати роботи впроваджені у Вінницькому регіональному управлінні водних ресурсів, у ТОВ «Аналітика» та у навчальний процес Вінницького національного технічного університету, що підтверджується актами впровадження.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Мокін В. Б. Інформаційна технологія побудови топологічно спостережуваної багатозв'язної аналітичної геоінформаційної системи зі змінною структурою / В. Б. Мокін, І. В. Варчук, Є. М. Крижановський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2016. – № 5. – С. 24-31.

2. Варчук І. В. Технологія синтезу геоінформаційної моделі розподіленої системи за математичними моделями процесів у ній / Ілона Вячеславівна Варчук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2016. – № 2. – С. 20-25.

3. Mokin V. B. Method For Determining And Optimization Of Observability Of Multivariable Spatially Distributed Systems Using Geoinformation Parameter Space / V. B. Mokin, I. V. Varchuk // Scientific Bulletin of National Mining University. – 2015. – Issue 5. – Pages 105-111. (Scopus).

4. Біліченко В. В. Вибір оптимальної математичної моделі для моделювання перенесення забруднення автомобільного транспорту в атмосфері / В. В. Біліченко, В. В. Варчук, І. В. Варчук // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2013. – № 12 (194). – Ч.2 – С. 48-52.

5. Мокін В. Б. Моделювання поширення забруднювальних речовин у повітрі міста з використанням геоінформаційних технологій / В. Б. Мокін, І. В. Варчук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2013. – № 5. – С. 13-18.

6. Мокін В. Б. Створення та впровадження обласних геоінформаційних систем для моніторингу стану та управління водними ресурсами з використанням басейнового принципу / В. Б. Мокін, Є. М. Крижановський, Л. М. Скорина, І. В. Варчук // Водне господарство України. – 2015. – № 3 (117). – С. 39-44.

7. Геоінформаційна технологія оптимізації топологічної спостережуваності багатозв'язних просторово-розподілених систем / В. Мокін, І. Варчук // Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції "Summer InfoCom Advanced Solutions 2016", 1-3 червня 2016 року, м. Київ. – С. 37-39.

8. Варчук І. В. Технологія ідентифікації та оптимізації топологічної спостережуваності багатозв'язних просторово-розподілених систем за їх математичними та геоінформаційними моделями [Електронний ресурс] / І. В. Варчук, В. Б. Мокін // XLV Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області, електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 23-24 березня 2016. – Режим доступу: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/10598/858.pdf>

9. Варчук І. В. Метод визначення топологічної спостережуваності моделей екологічних систем з використанням геоінформаційного простору параметрів / Варчук І. В. // V-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю. – Вінниця, 2015. – С. 91.

10. Мокін В. Б. Формалізація розподіленої моделі гідрологічних процесів «ТОРКАРІ-IPMMS» («опади-стік») у геоінформаційному просторі її параметрів / В. Б. Мокін, І. В. Варчук // XIV Міжнародна науково-практична конференція: Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: 5-9 жовтня 2015 р. – Київ, 2015. – С. 116-120.

11. Варчук І. В. Новий підхід до визначення топологічної спостережуваності багатозв'язних просторово-розподілених систем на основі їх моделей у геоінформаційному просторі параметрів / І. В. Варчук, В. Б. Мокін // Збірник праць XII міжнародної конференції "Контроль і управління в складних системах (КУСС-2014)", Вінниця, 14-16 жовтня 2014 р. – Вінниця: ВНТУ, 2014. – С. 16.

12. Варчук І. В. Визначення топологічної спостережуваності транспортної мережі міста на основі її моделі у геоінформаційному просторі параметрів / І. В. Варчук, В. Б. Мокін // Збірник праць IX міжнародної конференції "Інтернет-Освіта-Наука-2014 (ІОН-2014)", Вінниця, 14-16 жовтня 2014 р. – Вінниця: ВНТУ, 2014. – С. 278-279.

13. Мокін В. Б. Розробка підсистеми комп'ютеризованої системи екологічного моніторингу викидів автомобільного транспорту міста / В. Б. Мокін, І. В. Варчук // IV-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю. – Вінниця, 2013. – С. 228-230.

14. Мокін В. Б. Комп'ютерна програма «Моделювання та оптимізація параметрів багатозв'язної просторово-розподіленої системи на основі її геоінформаційної системи» / В. Б. Мокін, Є. М. Крижановський, І. В. Варчук // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 68451. – К.: Державний департамент інтелектуальної власності України. – Дата реєстрації: 18.07.2016 р.

АНОТАЦІЯ

Варчук І. В. Інформаційна технологія аналізу та оптимізації топологічної спостережуваності багатозв'язних геоінформаційних систем. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2017.

Метою дисертаційної роботи є підвищення рівня топологічної спостережуваності багатозв'язних геоінформаційних систем та швидкості її оптимізації.

Для досягнення даної мети у дисертаційній роботі вперше розроблена інформаційна технологія аналізу та оптимізації топологічної спостережуваності багатозв'язної геоінформаційної системи, яка дозволяє визначити та підвищити рівень топологічної спостережуваності цієї системи і дозволяє більш швидко та ефективно вибрати математичну модель та інформаційні складові БГС, які забезпечать цей рівень її топологічної спостережуваності. Запропонована технологія відрізняється від існуючих, по-перше, більш автоматизованою побудовою моделей цієї системи, ідентифікованих для окремих ділянок (підсистем) та в окремі інтервали часу, у вигляді спеціальних біхроматичних графів, для яких існує відома технологія аналізу та оптимізації топологічної спостережуваності, та по-друге, системою правил трансформації цих оптимізованих графів у математичні моделі, одразу інтегровані у ГІС.

Розроблено алгоритмічне і типове програмне забезпечення запропонованої інформаційної технології, яке впроваджено у Вінницькому регіональному управлінні водних ресурсів, у ТОВ «Аналітика» та у навчальному процесі Вінницького національного технічного університету.

Ключові слова: інформаційна технологія, топологічна спостережуваність, біхроматичний граф, геоінформаційна технологія, багатозв'язна геоінформаційна система.

ABSTRACT

Varchuk I. Information technology for analysis and optimization of topological observability of multiply connected geoinformation systems. – On the rights of the manuscript.

Thesis for the scientific degree of the Candidate of Technical Sciences in speciality 05.13.06 – information technologies. – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2017.

The aim of the thesis is to increase topological observability multiply GIS and its speed optimization.

To achieve this goal in the thesis first developed information technology analysis and optimization of topological observability multiply geographic information system, which allows you to define and improve the observability of the system topology and allows more quickly and effectively select the mathematical model and components multiply geographic information system information that will provide this level its topological observability. The proposed technology differs from existing in the first place, more automated construction of models of the system identified for specific areas (subsystems) and in some intervals, as special bichromatic graphs for which there is a known technology analysis and optimization of topological observability and continue second, the system transformation rules in these graphs optimized mathematical model, once integrated into the GIS.

Developed typical algorithmic and software offered by information technology, which is implemented in the Vinnytsia regional management of water resources, of "analytics" and in the educational process Vinnytsia National Technical University.

Keywords: Information technologies, topological observability, bichromatic graph, GIS technology, multiply GIS.

АННОТАЦИЯ

Варчук И. В. Информационная технология анализа и оптимизации топологической наблюдаемости многосвязных геоинформационных систем. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Винницкий национальный технический университет, Винница, 2017.

Проведено анализ известных методов и информационных технологий формализации многосвязных геоинформационных систем (МГС), а также анализа и оптимизации их топологической наблюдаемости.

Развито понятие топологической наблюдаемости с учетом специфики информационных моделей МГС, что позволяет учесть особенности наблюдаемости их параметров в пространстве и во времени и определить, какие именно участки МГС, и в какие периоды времени требуют оптимизации топологической наблюдаемости. В процессе анализа характеристик бихроматического графа было предложено вычислять уровень топологической наблюдаемости МГС как соотношение количества вершин-переменных, которым соответствует вершина-зависимость, к общему количеству вершин-переменных.

Усовершенствован метод формализации аналитических и алгоритмических зависимостей между параметрами многосвязных геоинформационных систем путем сочетания технологии интеграции математических моделей процессов с геоинформационными и технологии формализации таких зависимостей в геоинформационном пространстве

параметров этих систем, что позволяет ускорить процесс их формализации в единой геоинформационной модели.

Впервые разработан метод оптимизации топологической наблюдаемости моделей многосвязных геоинформационных систем, формализованных в их геоинформационном пространстве параметров (ГПП), построенном в ГИС на основе математической модели зависимостей между параметрами МГС, путем создания системы правил преобразования ГПП в классический бихроматический граф, проведения по этому графу анализа и оптимизации уровня топологической наблюдаемости с помощью поиска максимального паросочетания и осуществления обратной трансформации этого графа в математическую модель МГС, что позволяет более быстро выбрать оптимальную математическую модель и информационные составляющие МГС, которые обеспечат ее заданную, в т.ч. полную, топологическую наблюдаемость.

Впервые разработана информационную технологию анализа и оптимизации топологической наблюдаемости многосвязной геоинформационной системы, позволяющую определить и повысить уровень топологической наблюдаемости этой системы и позволяющую более быстро выбрать математическую модель и информационные составляющие МГС, которые обеспечат этот уровень ее топологической наблюдаемости. Предложенная технология отличается от существующих, во-первых, более автоматизированной идентификацией моделей этой системы, идентифицированных для отдельных участков (подсистем) и в отдельные интервалы времени, в виде специальных бихроматических графов, для которых существует известная технология анализа и оптимизации топологической наблюдаемости, а, во-вторых, системой правил трансформации этих оптимизированных графов в математические модели, сразу интегрированные в ГИС.

Разработано алгоритмическое и типовое программное обеспечение предложенного метода и алгоритма анализа и оптимизации топологической наблюдаемости МГС. На это программное обеспечение получено свидетельство о регистрации авторских прав на компьютерную программу.

Продемонстрировано работоспособность разработанной информационной технологии для ряда задач по управлению водными ресурсами и хозяйством, по контролю состояния воздуха вдоль транспортных сетей и в подземных коммуникациях.

Результаты этой работы внедрены в Винницком региональном управлении водных ресурсов, ООО «Аналитика» и в учебный процесс Винницкого национального технического университета, что подтверждается актами внедрения.

Ключевые слова: информационная технология, топологическая наблюдаемость, бихроматический граф, геоинформационная технология, многосвязная геоинформационная система.

Підписано до друку 04.04.2017 р. Формат 29,7×42 ¼

Наклад 100 прим. Зам. № 2017-051.

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі

Вінницького національного технічного університету

м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95. Тел.: 59-87-38

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

серія ДК №3516 від 01.07.2009 р.