

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Савченка Іллі Олександровича

«Інструментарій освоєння підземного простору мегаполісів на основі
модифікованого методу морфологічного аналізу»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 01.05.04 – Системний аналіз і теорія оптимальних рішень.

Актуальність обраної теми дисертації. Середній рівень урбанізованості в багатьох розвинених країнах сягає понад 70%, в тому числі і в Україні. Захищеність і здоров'я міського населення значною мірою визначається техногенною та екологічною безпекою урбаністичного простору. Серед найбільш характерних загроз міського середовища є забруднення повітря викидами автомобільного транспорту, динамічні та шумові прояви, негативні впливи промислових зон, сховищ відходів і сміття, прориви в системах каналізації, водотока енергопостачання, перевантаженість очисних споруд, транспортні аварії та дорожні затори. Зменшення шкідливого впливу цих проблем стає все більш актуальною на сьогоднішню задачу, яка не має чіткого і однозначного розв'язку.

Одним із шляхів пом'якшення гострих проблем урбанізації є раціональне використання підземного простору міст, який може взяти на себе функції найбільш небезпечних та ризикованих поверхневих об'єктів і комунікацій. Розумна експлуатація підземного простору, гармонізація наземної і підземної забудови може стати рушієм трансформації міст до людиноцентричних, кліматично нейтральних осередків людської активності. Освоєння підземного простору також є надзвичайно актуальною проблемою саме для українських міст, які потерпають від повітряних атак внаслідок військової агресії росії, оскільки підземні об'єкти можуть виконувати подвійну функцію як укриття і забезпечувати додатковий захист критичної інфраструктури.

Водночас проблема раціонального освоєння підземного простору вимагає застосування системного підходу, адаптації і створення нових підходів і методів системного аналізу, сценарного аналізу, підтримки прийняття рішень, оскільки ця задача є складно формалізованою, інформації щодо об'єктів дослідження притаманний ряд характеристик (неточність, неповнота, протирічність, нечіткість, недостовірність тощо), які унеможливають їх аналіз методами традиційними дослідження операцій. Задача освоєння підземного простору мегаполісів також супроводжується швидкою генерацією надвеликих масивів даних і знань, обробка яких виходить за межі можливостей людини; крім того, в цій задачі взаємодіє значна кількість сутностей із суттєвою невизначеністю.

Відповідно, створення інструментарію освоєння підземного простору мегаполісів, здатного розв'язувати і надавати підтримку прийняття рішень в сфері підземної урбаністики, є надзвичайно важливою і актуальною на сьогоднішню задачу.

Модифікація методу морфологічного аналізу, що використовує математичний апарат для системного оцінювання множини варіантів об'єкта на основі морфологічної таблиці, і конструювання рішення, які доцільно приймати в

умовах невизначеності конфігурації об'єкта, була успішно використана для ряду задач, а отримані результати показали, що метод є дуже корисним аналітичним інструментом в задачах підтримки прийняття рішень, сценарного аналізу, дослідження стратегій. Водночас можливості модифікованого методу морфологічного аналізу (МММА) є недостатньо дослідженими, і має широкий потенціал для використання в різних галузях людської діяльності. Запропоноване автором використання МММА в якості основи інструментарію освоєння підземного простору мегаполісів видається раціональним і обґрунтованим, і при цьому несе виклики адаптації і вдосконалення методу для розв'язання цієї складної, важко формалізованої задачі. Розвиток методології модифікованого морфологічного аналізу також є актуальною задачею, що представляє значний науковий інтерес через широкі можливості її використання в практичних задачах різноманітного характеру.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тематика роботи і отримані результати безпосередньо пов'язані з науково-дослідними роботами, темами, що виконувались в НН ІПСА КПІ ім. Ігоря Сікорського з 2012 р. Це фундаментальні теми НАНУ 2263-ф "Розробка теоретичних засад прийняття рішень на основі методології передбачення" (№д/р 0112U000558), 2287-ф "Розроблення теоретичних засад сценарного аналізу на основі великих обсягів слабкоструктурованої інформації" (№д/р 0117U002150), 2305-ф "Розробка моделей та методів розв'язання задач передбачення на основі великих обсягів слабкоструктурованої інформації в умовах невизначеності" (№д/р 0122U000671), а також ряд прикладних досліджень за темами МОНУ, грантом НФДУ, грантом NATO Science for Peace and Security, грантом HORIZON: 2523-п "Розробка інформаційної системи супроводження процесу передбачення" (№д/р 0112U003164), 2727-п "Розробка інформаційно-експертної системи передбачення з урахуванням поглибленої аналітики неструктурованих даних" (№д/р 0114U001533), 2914-п "Побудова інформаційно-аналітичної системи передбачення соціальних лих, викликаних катастрофами і тероризмом" (№д/р 0116U003772), 2008-п "Розвиток підземної урбаністики як системи освоєння георесурсів великих міст" (№д/р 0117U002414), 2118-п "Побудова інформаційно-аналітичної платформи сценарного аналізу на основі великих обсягів слабкоструктурованої інформації" (№д/р 0118U003779), 2706-п "Моделювання ризиків та захист від критичних впливів споруд міської підземної інфраструктури та цивільного захисту" (№д/р 0124U000912), "Modeling and Mitigation of Social Disasters Caused by Catastrophes and Terrorism" (NATO), "Інструментарій планування підземної інфраструктури великих міст для забезпечення мінімізації екологічних і техногенних ризиків урбаністичного простору на основі системної методології" (НФДУ, №д/р 0120U104941, 0121U111131), "Ukraine towards Carbon Neutrality (U_CAN)" (Horizon Europe Framework Programme).

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації та їх достовірність. Обґрунтованість отриманих здобувачем результатів забезпечується використанням надійної методологічної бази системного аналізу, застосуванням розробленого інструментарію до ряду реальних практичних задач українських міст, з отриманням результатів, що узгоджуються з практикою і уявленнями дослідників експертів у галузі підземного будівництва. Достовірність результатів підтверджується також використанням методів, процедур, прийомів урахування недосконалостей вхідних даних, які показали відсутність суттєвого впливу неточності або протирічності вхідних даних на результат.

Отримані наукові положення та результати розв'язання практичних задач опубліковані в рецензованих фахових виданнях, пройшли апробацію на авторитетних наукових конференціях і семінарах, підтверджені актами впровадження в навчальний процес НН ІПСА і практичну діяльність ТОВ «Геоінжиніринг компанії».

Структура та зміст дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел з 176 найменувань, та додатків. Загальний обсяг роботи становить 332 сторінки, із яких 320 сторінок основного тексту.

У вступі поставлена наукова проблема, мета і завдання дослідження, вказано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, наведено наукову новизну і практичну значимість результатів, інформацію про публікації і апробацію результатів дослідження, дана стисла характеристика розділів роботи.

У першому розділі проведено аналіз публікацій, дотичних до тематики дослідження, розглянуто актуальні проблеми і концепції освоєння підземного простору мегаполісів, різноманіття підходів і способів розв'язання цієї задачі, в тому числі з використанням методів системного аналізу. Обґрунтовано використання МММА для цієї задачі, і наведено системний підхід до створення інструментарію на його основі.

В другому розділі були запропоновані прийоми, процедури, алгоритми визначення проявів впливу неточності, неповноти, протирічності, нечіткості, недостовірності для задач, що розв'язуються за допомогою МММА, а також нові способи і модифікації методу, що дозволяють зменшувати наслідки цих невизначеностей, і отримувати адекватні результати навіть в умовах недосконалих вхідних даних. Створені процедури оцінювання чутливості моделі, що створює механізм протидії неточності вхідних даних за рахунок перевірки можливості впливу похибки на результат, і визначення найбільш критичних елементів вхідних даних, на які слід звернути особливу увагу. Розроблено прийоми використання МММА в умовах неповноти вхідних даних, процедуру виявлення протирічності вхідних даних, нечітку модифікацію методу морфологічного аналізу, процедуру аналізу упередженості моделі для оцінювання можливої її недостовірності.

В третьому розділі наводяться розроблені спеціальні інструменти для

інтеграції МММА у процес передбачення, які використовують результати обробки великих масивів даних: інтерактивні людино-машинні процедури напівавтоматизованого видобування морфологічних таблиць із семантичних мереж для трьох типів морфологічного опису; а також процедури оцінювання вхідних даних в МММА на основі використання результатів текстової аналітики великих обсягів неструктурованої інформації.

Четвертий розділ присвячено масштабуванню МММА для складних системних задач, в яких взаємодіє значна кількість сутностей, на основі методики побудови, оцінювання і використання мереж морфологічних таблиць. Розроблений апарат було продемонстровано на прикладі задачі моделювання і пом'якшення наслідків соціальних лих, викликаних катастрофами і тероризмом

В *п'ятому розділі* описується розроблене програмне забезпечення на базі SAS Studio з користувацькими модулями мовою C#, які відповідають базовим крокам МММА: конструювання морфологічних таблиць; оцінювання морфологічних таблиць; оцінювання матриць взаємозв'язків і зв'язків; розрахунок оцінок альтернатив параметрів для одноетапної та двоетапної процедур морфологічного аналізу; виведення і візуалізація результатів. Формат розробленого програмного забезпечення дозволяє компонувати модулі у різних конфігураціях для розв'язання задач різної природи і складності.

В *шостому розділі* наводиться стратегія використання різних процедур МММА в процесі сценарного аналізу, що деталізує способи і рамки застосування розроблених елементів методу в залежності від поставлених задач, характеристик вхідних даних, а також побудовано ряд моделей з використанням розроблених вдосконалень МММА: модель для порівняння ділянок потенційного підземного будівництва на передпроектній стадії на основі аналізу інженерно-геологічних факторів; моделі, в яких присутні як інженерно-геологічні фактори, так і структурно-функціональні фактори, для оцінювання пріоритетності побудови підземних споруд конкретного призначення (зокрема, паркінгів і автомобільних тунелів); прототип моделі на основі двоетапного МММА для порівняння урбаністичних об'єктів з точки зору їх протидії небажаним подіям; мережа морфологічних таблиць оцінювання потенціалу території підземного будівництва, яка синтезує функціонально-планувальну організацію міського простору та інженерно-геологічні фактори геологічного середовища для територій, що розглядаються.

Сьомий розділ присвячено застосуванню розроблених моделей в практичних задачах. Модель для порівняння ділянок потенційного підземного будівництва була випробувана на 4 реальних ділянках м. Києва, проаналізовано перспективи будівництва на кожній із ділянок з урахуванням отриманих результатів. Проведений аналіз упередженості моделі і процедура виявлення протиріч для підвищення довіри до результатів. Модель оцінювання пріоритетності будівництва паркінгів використана для двох ділянок м. Києва, сформульовано висновки щодо переваги однієї з ділянок над іншою. Модель оцінювання впливів будівництва автомобільних тунелів на фактори ризику була використана для аналізу тунелів, будівництво яких передбачене Генеральним планом м. Києва. На

основі отриманих результатів обґрунтовано пріоритетність будівництва певних тунелів порівняно з іншими. Комбінована модель на основі МММА і методу аналізу ієрархій підтвердила результати, отримані з використанням МММА окремо, і також продемонструвала гнучкість використання при експертному підході до оцінювання критеріїв відповідно до пріоритетів особи, що приймає рішення. Модель оцінювання структурно-функціональних факторів було адаптовано до задачі порівняння двох альтернативних ділянок потенційного будівництва Одеського метрополітену, з точки зору їх впливу на ряд факторів – вирішення транспортних проблем, сприяння розвитку міста і туристично-рекреаційному потенціалу, забезпечення цивільного захисту, тощо. Для цієї задачі також було проведено аналіз чутливості, який показав, що результати розв'язання є достатньо стійкими і слабо залежать від зміни окремих оцінок вхідних даних. Модель для порівняння урбаністичних об'єктів з точки зору їх протидії небажаним подіям була застосована для порівняння системи каналізаційних труб, що проходять по дну р. Дніпро, і підземного дюкера, що використовується з тією ж метою. Результати аналізу показали суттєву перевагу підземного дюкера, що дозволяє рекомендувати його в якості пріоритетного проєкту. Також ця модель була використана для порівняння мостового і тунельного переходів р. Дніпро, також підтверджуючи перевагу підземного будівництва з точки зору протидії несприятливим факторам. Для обох задач аналіз проводився як для множини несприятливих подій, так і для конкретних сценаріїв небажаних подій.

У розділі висновків узагальнюються і наводяться в доступній формі отримані результати дисертаційного дослідження, наводяться шляхи їх використання і подальшого вдосконалення розробленого інструментарію.

Додатки містять перелік публікацій, що відображають основний зміст дисертації, а також додаткову числову інформацію, і документи, що підтверджують впровадження результатів дисертаційної роботи.

Наукова новизна отриманих в роботі результатів, сформульованих положень та висновків полягає в наступному:

1. Розроблено системний підхід до застосування модифікованого методу морфологічного аналізу в проблемах освоєння підземного простору мегаполісів, що відрізняється розглядом запланованих об'єктів у комплексі наземної та підземної урбаністичних систем, врахуванням невизначеностей різного роду та багатфакторних ризиків.

2. Вперше запропоновано підходи, методи, прийоми, алгоритми роботи з різними типами невизначеностей вхідної інформації у модифікованому методі морфологічного аналізу, що враховують характер цієї невизначеності, а саме: неточність, неповнота, нечіткість, протирічність, недостовірність вхідної інформації.

3. Вперше запропоновано шляхи узгодження МММА з етапом збору даних у процесі передбачення: прийоми отримання морфологічних таблиць на основі семантичних мереж, і оцінювання вхідних даних у МММА на основі результатів

аналізу великого обсягу неструктурованої інформації, що відрізняються більшим ступенем автоматизації і зменшенням суб'єктивності отриманої інформації.

4. Розроблено методологічний і математичний апарат побудови і оброблення мереж морфологічних таблиць для складних системних задач, що відрізняється можливістю включати в процес морфологічного дослідження множину об'єктів, що взаємодіють між собою, і надавати підтримку прийняття рішень щодо всієї системи.

5. Вперше побудовано ряд моделей на основі МММА для підтримки прийняття рішень щодо практичних задач підземної урбаністики, що враховують взаємодію з іншими урбаністичними об'єктами і системами, невизначеності та багатфакторні ризики:

- модель для оцінювання ділянок будівництва підземних об'єктів на передпроектній стадії;

- модель для оцінювання пріоритетності побудови підземних об'єктів конкретного типу – паркінгів, тунелів, з урахуванням інженерно-геологічних, структурно-функціональних, безпекових факторів;

- модель для оцінювання пріоритетності розвитку альтернативних ділянок метрополітену;

- модель для оцінювання небажаних подій для урбаністичних об'єктів.

На основі розроблених моделей розв'язано ряд практичних задач для українських міст.

6. Розроблено узагальнену модель на основі мережі морфологічних таблиць для підтримки структурно-функціонального планування підземного простору і оцінювання потенціалу території підземного будівництва, що відрізняється синтезом функціонально-планувальної організації міського простору та інженерно-геологічних факторів геологічного середовища для територій, що розглядаються.

Практичне значення дисертаційної роботи полягає в наступному:

1. Розроблено інструментарій освоєння підземного простору мегаполісів на основі модифікованого методу морфологічного аналізу, що може бути використаний для розв'язання практичних задач, пов'язаних із освоєнням підземного простору великих міст, застосований для порівняння об'єктів інфраструктури і формування основ системної стратегії розвитку міського підземного простору з метою мінімізації військових, техногенних і природних загроз. Це дає в руки муніципалітетів, міських державних адміністрацій, інвестиційних груп і суспільних організацій, які опікуються розвитком міст, ефективний інструмент управління ризиками та інвестиціями при освоєнні підземного простору мегаполісів.

2. За допомогою розробленого інструментарію розв'язано ряд практичних задач освоєння підземного простору українських міст, зокрема проведено аналіз інженерно-геологічних факторів 4 реальних ділянок м. Києва; модель оцінювання пріоритетності будівництва паркінгів використана для 2 реальних ділянок м. Києва, що дозволило сформулювати висновки щодо переваги однієї з ділянок над

іншою; оцінено і обґрунтовано пріоритетність будівництва тунелів, передбачених Генеральним планом м. Києва; порівняно дві альтернативні ділянки потенційного будівництва Одеського метрополітену з точки зору їх впливу на ряд ключових для розвитку міста факторів; проаналізовано ступінь протидії несприятливим факторам для системи каналізаційних труб, що проходять по дну р. Дніпро, і підземного дюкера, що використовується з тією ж метою, за рахунок чого надано рекомендації підземного дюкера в якості пріоритетного проєкту.

3. Сформульовано «Рекомендації з мінімізації екологічних і техногенних ризиків при плануванні урбаністичного простору м. Києва», затверджені рішенням вченої ради Навчально-наукового Інституту прикладного системного аналізу 22.11.2021 р., які були передані зацікавленим організаціям, і впроваджені ТОВ «Геоінжиніринг компанії».

4. Результати досліджень використовуються в навчальному процесі кафедри математичних методів системного аналізу НН ІПСА КПІ ім. Ігоря Сікорського, зокрема при викладанні дисциплін «Основи системного аналізу», «Моделювання складних систем».

Повнота викладення і апробації основних результатів дисертаційної роботи у наукових публікаціях. Результати дисертації в повній мірі відображені у 35 публікаціях, з них 2 монографії (в т.ч. одна англійською мовою, проіндексована в наукометричній б.д. Scopus); 1 розділ у колективній монографії, проіндексований в наукометричній б.д. Scopus; 16 статей у фахових виданнях, включаючи 8 статей у виданнях, що індексуються в наукометричних б.д. Scopus та/або WoS (в т.ч. 2 статті у виданнях Q2 і 2 статті у виданнях Q3 відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank), 7 статей у періодичних фахових виданнях України, віднесених до категорії «Б» або з переліку МОНУ наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора наук, кандидата наук та ступеня доктора філософії (до 2019 року), 1 стаття у періодичному фаховому закордонному виданні; 16 опублікованих доповідей на всеукраїнських і міжнародних конференціях (в т.ч. 5 у виданнях, що індексуються в наукометричних б.д. Scopus та/або WoS).

Таким чином, кількість опублікувань результатів роботи та їх повнота і якість відповідає встановленим вимогам до докторських дисертацій.

Мова та стиль дисертації та реферату. Робота написана грамотно, державною мовою. Тексту рукопису притаманна цілісність та логічність викладення матеріалу. Термінологія дисертаційної роботи є загальновизнаною. Словосполучення, які часто зустрічаються в тексті, виокремлено в переліку умовних позначень та скорочень на початку дисертації. Матеріал належним чином проілюстровано достатньою кількістю таблиць і рисунків.

Оформлення як дисертаційної роботи, так і реферату відповідає вимогам. Реферат стисло передає зміст дисертації і не містить наукових висновків, які відсутні в дисертації. З тексту реферату зрозуміла наукова і практична значущість

роботи та особистий внесок здобувача. Зміст реферату та основні положення дисертаційної роботи є ідентичними.

Відповідність теми і змісту дисертації паспорту спеціальності, за якою вона подана на захист. Тема дисертації та її зміст відповідають формулі й галузі досліджень, відповідно до положень, що викладені в паспорті спеціальності 01.05.04 – Системний аналіз і теорія оптимальних рішень.

Дискусійні положення та зауваження щодо дисертаційної роботи.

1. Визначення наукової проблеми в контексті освоєння підземного простору мегаполісів дещо занижує очікування можливості застосування створеного інструментарію на основі модифікованого методу морфологічного аналізу.
2. В дисертації не достатньо уваги приділено питанню виділення найбільш суттєвих параметрів (визначальних факторів), на основі яких будуються морфологічні таблиці. Для цього було б доцільним застосування підходів, пов'язаних виконанням групових декомпозицій та експертних оцінювань, можливо, з використанням засобів штучного інтелекту.
3. Сприйняття тексту дисертаційного дослідження було б суттєво легшим, якщо б у описовій формі був би долучений матеріал, викладений в кандидатській дисертації здобувача, а саме, сутність модифікацій методу морфологічного аналізу та результати порівняння даного методу з іншими підходами.
4. В наведеній методиці виявлення і побудови морфологічних таблиць на основі семантичної мережі не вказані чіткі вимоги до семантичних мереж, які використовуються в задачі. Було б доцільно зазначити рекомендовану структуру мережі, типи зв'язків у ній, джерело походження.
5. В дисертаційній роботі наведені вхідні дані, отримані від експертів, але при цьому не зазначаються опитувальні форми, або вигляд питань до експертів, що використовувались для побудови моделей практичних задач. Слід було б навести приклади таких форм, і способи переведення інформації в чисельний вигляд.
6. Модель структурно-функціонального планування підземного простору мегаполісів з використанням мережі морфологічних таблиць представляє суттєвий практичний інтерес, однак, при цьому, виглядає достатньо витратною з точки зору експертного часу на проведення оцінювання. Було б доцільно провести аналіз витрат на експертизу і, можливо, пошукати шляхи зменшення експертного навантаження при роботі з цією моделлю.
7. Ієрархія, запропонована на рис. 6.2 для гібридної моделі на основі модифікованого методу морфологічного аналізу і методу аналізу ієрархій, може бути також використана для розв'язання аналогічної задачі звичайним методом аналізу ієрархій. З дисертаційної роботи незрозуміло, чи розглядалась можливість використання такого підходу, і чи є у комбінованого підходу переваги порівняно зі звичайним методом аналізу ієрархій.

Наведені зауваження не носять визначальний характер, і жодним чином не знижують позитивне враження про роботу, її наукову новизну та практичну значущість результатів.

Загальний висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам. Вважаю, що дисертаційна робота Савченка Іллі Олександровича на тему «Інструментарій освоєння підземного простору мегаполісів на основі модифікованого методу морфологічного аналізу», є завершеною науковою працею, виконаною на високому науковому і методичному рівнях, в якій представлені нові наукові результати, спрямовані на вирішення важливої науково-технічної проблеми створення системної методології, що формує комплексне бачення підземного будівництва з урахуванням невизначеностей і багатофакторних ризиків.

Вважаю, що за актуальністю обраної теми, обсягом та рівнем теоретичних та практичних досліджень, достовірністю та обґрунтованістю висновків, науковою новизною та практичною цінністю, змістом та оформленням, дисертаційна робота повністю відповідає вимогам п. 7, 8, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого Постановою Кабінету міністрів України від 17.11.2021 №1197, а її автор, Савченко Ілля Олександрович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.04 – Системний аналіз і теорія оптимальних рішень.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
завідувач відділу інтелектуальних технологій
підтримки прийняття рішень
Інституту проблем реєстрації інформації
НАН України



Віталій ЦИГАНОК



Ілля Савченко