

УДК 004.42:004.65

DOI: 10.20998/2078-9130.2026.1.357224

ДМИТРО БРЕСЛАВСЬКИЙ, ОЛЕКСІЙ БРОВАРНИК**ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ЗБИРАННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ДАНИХ ЩОДО РУХУ НАСЕЛЕННЯ**

Статтю присвячено опису розробленого програмного забезпечення для автоматизованого пошуку, збирання, валідації, структурування, геопросторової візуалізації та моделювання даних щодо руху населення різних країн, їхніх груп та об'єднань, яке може використовуватись для об'єктивного оцінювання розвитку територій, підготовки та обробки вхідних даних до математичного моделювання. Програмне забезпечення реалізовано у вигляді програмного комплексу, що має три основні частини. Обговорюється підходи до розробки кожної з них. Першу частину реалізовано на основі підходу, що поєднує вебскрапінг відкритих джерел (Python: requests, aiohttp, BeautifulSoup) та використання регулярних виразів для вилучення й первинного очищення інформації. Зібрані дані про населені пункти валідуються за географічними межами та хронологією, після чого зберігаються у форматі .csv. Для їх надійного зберігання та адміністрування спроектовано реляційну базу даних (PostgreSQL) із вебзастосунок на базі PHP-фреймворку Laravel, засоби управління якою складають другу частину програмного комплексу. Третю його частину, що забезпечує інтерактивну картографічну візуалізацію руху населення, виникнення міст та інших характеристик просторової соціальної динаміки, реалізовано у десктопному застосунку на базі PyQt5 з інтеграцією бібліотеки OSMnx. Аналізується та обговорюється архітектура програмних засобів. Розроблений програмний комплекс забезпечує повний цикл обробки даних з можливістю масштабування. Приклади роботи демонструються на задачах візуалізації розміщення поселень України та Канади. Розроблене програмне забезпечення якісно скорочує час на ручну обробку інформації та формує фактологічну базу для верифікації просторово-часових моделей, що є необхідним в різних областях наукових досліджень та народного господарства.

Ключові слова: аналіз, пошук, візуалізація, вебзастосунок, бази даних, програмне забезпечення, моделювання.

DMYTRO BRESLAVSKY, OLEKSII BROVARNYK**SOFTWARE FOR COLLECTING AND MODELING POPULATION MOVEMENT DATA**

The paper is devoted to the description of the developed software for automated search, collection, validation, structuring, geospatial visualization and modelling of data on the movement of the population of different countries, their groups and associations, which can be used for objective assessment of the development of territories, preparation and processing of input data for mathematical modelling. The software is implemented in the form of a software complex that has three main parts. The approaches to the development of each of them are discussed. The first part is implemented based on an approach that combines open source web scraping (Python: requests, aiohttp, BeautifulSoup) and the use of regular expressions for extraction and primary cleaning of information. The collected data on settlements are validated by geographical boundaries and chronology, and then stored in .csv format. For their reliable storage and administration, a relational database (PostgreSQL) with a web application based on the PHP framework Laravel has been designed, the management tools of which make up the second part of the software complex. Its third part, which provides interactive cartographic visualization of population movement, the emergence of cities and other characteristics of spatial social dynamics, is implemented in a desktop application based on PyQt5 with integration of the OSMnx library. The architecture of the software tools is analyzed and discussed. The developed software complex provides a full data processing cycle with the possibility of scalability. Examples of work are demonstrated on the tasks of visualization of the location of settlements in Ukraine and Canada. The developed software qualitatively reduces the time for manual information processing and forms a factual basis for verification of spatio-temporal models, which is necessary in various areas of scientific research and the national economy.

Key words: analysis, search, visualization, web application, databases, software, modeling.

Вступ. Об'єктивне прогнозування розвитку територій неможливе без оцінювання рухів населення. Такі дослідження вимагають поєднання великих масивів соціально-гуманітарних і економічних даних з методами комп'ютерного моделювання та інформаційними технологіями. Оскільки обсяги інформації постійно зростають, традиційні ручні методи збирання та обробки стають неефективними і потребують значних витрат часу. Існує потреба у спеціалізованому інструментарії для роботи з просторово-часовими показниками: від автоматизованого збирання, обробки, аналізу та подальшого моделювання. Відсутність рішень, що забезпечують повний цикл роботи з такими даними, гальмує формування фактологічної бази для подальших досліджень.

Задача, що поставлена у роботі, полягає у розробленні спеціалізованого інструментарію та алгоритмів для поетапної обробки неструктурованих масивів інформації з відкритих джерел.

Мета роботи – розробка програмного комплексу для пошуку, автоматизованого збирання, валідації, структурування, візуалізації та моделювання

просторово-часових даних щодо соціальної динаміки населення України.

Для досягнення мети поставлено такі завдання:

- 1) розробити алгоритми парсингу та алгоритмічної валідації геоданих із відкритих вебджерел;
- 2) спроектувати реляційну базу даних для надійного збереження зібраної соціально-економічної інформації;
- 3) створити програмні модулі для інтерактивної геопросторової візуалізації динаміки населення.

Наукова новизна роботи полягає у систематизації та поєднанні методів вебскрапінгу, багаторівневої програмної валідації та локального геопросторового рендерингу в єдиний комплекс програмних інструментів, об'єднаних спільними форматами даних, що суттєво автоматизує процеси формування та аналізу даних.

Огляд літератури. Ручних методів обробки даних сьогодні недостатньо для глибокого аналізу урбаністичного розвитку та соціальної динаміки. Оскільки історична та соціально-економічна

інформація в мережі переважно неструктурована, дослідники дедалі частіше використовують вебскрапінг [1]. Ці інструменти автоматизації інтегрують з аналітичними алгоритмами для формування просторових масивів на основі неформатованих джерел [1].

Для вилучення геопросторових ознак із вебджерел (наприклад, Вікіпедії) найчастіше застосовують Python. Парсинг за допомогою BeautifulSoup та регулярних виразів дозволяє виділяти текстові токени й конвертувати їх у структуровані просторові набори даних [2, 3]. Цей підхід ефективний і для збирання історичної просторової інформації, оскільки допомагає виявляти приховані географічні закономірності.

Надійне збереження зібраних та очищених масивів забезпечують реляційні СУБД, зокрема PostgreSQL. Ця система гарантує високу транзакційну надійність під час роботи з багатовимірними просторовими об'єктами [4]. Спеціалізовані просторові розширення гарантують сумісність із сучасними геоінформаційними застосунками. Для взаємодії з цими даними розробляють гнучкі серверні архітектури [5, 6]. Проектування RESTful API на базі фреймворків типу Laravel помітно знижує затримки мережесих запитів під час передачі даних до зовнішніх систем [6].

Певні результати в цьому напрямі було отримано при обробці даних для просторової економетрики [7, 8], у географічних дослідженнях [9, 10] та інших подібних дисциплінах.

Проте, незважаючи на розвиток зазначених технологій, спеціалізоване програмне забезпечення безпосередньо у галузі аналізу руху населення на сьогодні практично відсутнє або є суттєво фрагментованим. Наявні рішення орієнтовані на інші завдання і не пристосовані до специфіки масового збирання неструктурованих історико-географічних даних. Звідси випливає проблема, яку розв'язує ця робота: відсутність спеціалізованого програмного інструментарію для автоматизованого збирання, обробки та візуалізації даних щодо просторово-часової динаміки населення.

Окремим напрямком є просторова візуалізація, без якої на сучасному етапі не є можливим проводити ефективний аналіз отриманих даних. Оскільки веборієнтовані картографічні сервіси часто мають обмеження продуктивності під час рендерингу тисяч маркерів, доцільніше розробляти нативні десктопні застосунки (наприклад, із використанням PyQt5). Це дозволяє задіяти локальне апаратне прискорення [11 - 13]. Такий підхід дає змогу ефективно адаптувати можливості бібліотеки OSMnx для роботи з масштабними територіями. Хоча цей інструмент часто застосовують для аналізу міської морфології та інфраструктурних мереж [14], його інтеграція з базовими даними OpenStreetMap забезпечує швидку генерацію картографічної основи для великих географічних регіонів. Це дозволяє відображати населені пункти як точкові геопросторові об'єкти та досліджувати глобальні просторово-часові патерни розселення.

Математична обробка з використанням методів інтерполяції та апроксимації отриманих даних є важливою частиною розглянутих процесів та створення ефективного програмного забезпечення. При цьому використовуються як класичні підходи та методи [9, 10], так і метод скінченних елементів (МСЕ) [15].

Комплексне поєднання алгоритмів парсингу відкритих джерел, збереження даних у реляційних структурах (PostgreSQL), їхня необхідна апроксимація та локальна геопросторова візуалізація (PyQt5, OSMnx) формують надійний інструментарій для моніторингу динаміки населення територій, що розглядаються.

Архітектура. Для вирішення поставлених завдань спроектовано та реалізовано програмний комплекс, логічну структуру якого наведено на рис. 1. Система має модульну архітектуру, що забезпечує незалежність процесів збирання, збереження та візуалізації даних, і дозволяє легко масштабувати рішення. Комплекс складається з трьох ключових компонентів:

1) модуль автоматизованого збирання: парсинг відкритих джерел, очищення регулярними виразами та формування .csv-файлів;

2) модуль бази даних: PostgreSQL, інтегрований із вебзастосунком для адміністрування на базі PHP (Laravel);

3) модуль візуалізації: десктопний застосунок на Python (PyQt5) для картографічного відображення.

Автоматизоване збирання та валідація. Основною мовою розробки обрано Python завдяки її розвиненій системі для мережесих запитів та обробки геоданих. Для доступу до Української Вікіпедії та OpenStreetMap і завантаження HTML-контенту використані бібліотеки requests та aiohttp. Безпосереднє вилучення потрібної інформації реалізовано методами BeautifulSoup.

Екстракція даних із неструктурованих HTML-документів вимагає впровадження багаторівневих механізмів валідації для мінімізації помилок парсингу. Запропонований алгоритм виконує автоматизовану верифікацію вилучених атрибутів, зіставляючи їх із формальними специфікаціями типів даних. Окрема увага приділяється контролю граничних значень. Наприклад, просторові координати фільтруються шляхом перевірки на входження у полігони досліджуваних територій, тоді як хронологічні маркери (зокрема, роки заснування) підлягають логічній крос-перевірці щодо їхньої ймовірної належності до відповідних історичних періодів. Проміжне структурування та збереження очищених масивів реалізується засобами бібліотеки Pandas. Такий підхід дозволяє швидко трансформувати необроблені дані у датафрейми, оптимізовані для експорту та подальшого аналітичного оброблення.

Наразі дані з Вікіпедії використовуються переважно для тестування алгоритмів і формування базового масиву. Зважаючи на можливу суб'єктивність таких відкритих джерел, систему побудовано так, щоб у майбутньому легко інтегрувати перевірені дані з офіційних історичних архівів чи переписів населення.

Це забезпечить необхідну об'єктивність і наукову цінність фактологічної бази.

Архітектура збереження даних. Зібрані масиви структурованої інформації зберігаються та опрацьовуються в реляційній базі даних під управлінням PostgreSQL.

Архітектура бази даних розроблена з акцентом на глибоку деталізацію та можливість поступового масштабування. Її основу формують таблиці з просторовими даними - від загального рівня країн до конкретних населених пунктів. Проте самі лише географічні назви чи координати не дають повної картини для ретроспективного аналізу. Щоб компенсувати це, структуру розширено додатковими тематичними блоками. Вони дозволяють фіксувати соціально-економічний фон територій у його динаміці. Зокрема, виокремлено таблиці для збереження культурних, політичних, військових та релігійних характеристик. Такий підхід дає змогу відстежувати історичну еволюцію досліджуваних регіонів у різних вимірах.

Інтерфейси управління та візуалізації. Для взаємодії з базою даних (БД) створено вебзастосунок на фреймворку Laravel. Він надає зручний інтерфейс для перегляду, редагування та додавання записів про населені пункти. Його архітектура виходить за межі

звичайного адміністрування, фокусуючись на парадигмі спільної роботи (collaborative data management). Розподілений доступ дозволяє залучати до проекту незалежних експертів. Вони отримують змогу паралельно наповнювати, перевіряти та коригувати записи в режимі реального часу. Делегування модерації вузькопрофільним фахівцям, як правило, мінімізує кількість помилок під час ручного введення. У перспективі це сприяє формуванню значно надійнішої та валідної бази для подальшої роботи.

Геопросторову візуалізацію реалізовано в десктопному застосунку на Python. Графічний інтерфейс (GUI) розроблено за допомогою PyQt5, що забезпечує швидку локальну обробку масивів. Безпосередньо для картографії інтегровано бібліотеку OSMnx та дані OpenStreetMap.

Математичне моделювання просторового розподілу. Зібрана фактологічна база слугує основою для математичного моделювання соціодинамічних процесів. У рамках розробленого інструментарію динаміку чисельності населення та процеси виникнення поселень формалізовано як початково-крайову задачу. Для її вирішення застосовується диференціальне рівняння в частинних похідних. Розрахунковий модуль програмного комплексу використовує метод скінченних елементів.

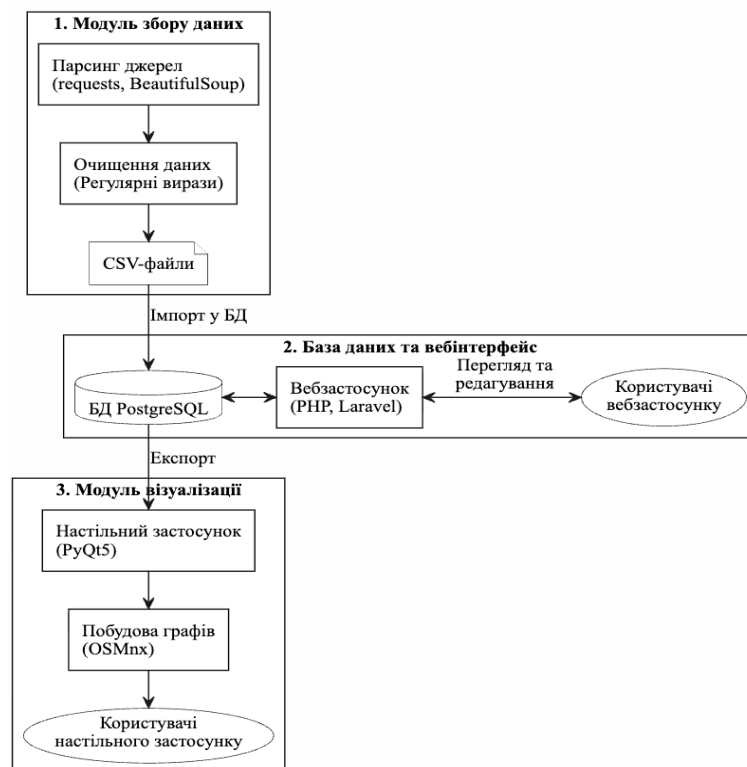


Рис. 1 – Архітектура програмного комплексу для автоматизованого збирання, збереження та візуалізації даних

Результати. У процесі розробки та впровадження програмного комплексу окрему увагу було приділено аналізу його експлуатаційної надійності під час моніторингу та парсингу відкритих масивів даних. Практичне тестування підсистеми збирання інформації

на великих обсягах сторінок Української Вікіпедії та даних OpenStreetMap продемонструвало стабільність роботи алгоритмів. Завдяки ітеративному виявленню та виправленню дефектів парсингу (пов'язаних переважно з нестандартним форматуванням джерел),

вдалося досягти високих показників безвідмовності системи. Зокрема, з кількох тисяч опрацьованих сторінок населених пунктів алгоритм успішно вилучив та валідував близько 95% записів. Це підтверджує готовність програмного забезпечення до тривалої автономної роботи зі збору великих наборів даних. За допомогою вебскрапінгу вдалося вилучити, очистити та структурувати розрізнені дані для різних країн та часових періодів. Первинна інформація (назви населених пунктів, координати, роки заснування) пройшла алгоритмічну валідацію і була збережена у форматі .csv. Це гарантувало коректний імпорт даних до створеної бази даних.

Для наочного відображення зібраних просторових даних розроблено кросплатформний десктопний застосунок, що використовує PyQt5. Такий підхід забезпечує високу швидкість рендерингу та стабільність локальної системи. Візуалізація геопросторової динаміки здійснюється за допомогою бібліотеки OSMnx, яка тісно інтегрується з відкритими даними OpenStreetMap.

На рис. 2 представлено вигляд графічного інтерфейсу програми під час візуалізації процесів виникнення населених пунктів України. Просторова динаміка відображається маркерами на карті. Їхня кольорна градація прив'язана до хронологічної шкали (років заснування населених пунктів), що дозволяє візуально відслідковувати історичні етапи урбанізації території.

Важлива експлуатаційна характеристика комплексу – його масштабованість. Гнучкість алгоритмів дозволяє системі працювати не лише з українськими даними, а й адаптуватися до нових географічних масивів. Для перевірки універсальності розробки було здійснено візуалізацію даних інших країн.

На рис. 3 як приклад показано інтерфейс програми, що демонструє один з моментів часу розвитку населених пунктів Канади. Успішна інтеграція та коректне хронологічне відображення цих даних підтверджують, що архітектура застосунку здатна працювати з новими масивами інформації без необхідності глибокої модифікації вихідного коду. Це відкриває перспективи використання програми для аналізу просторової динаміки як для окремих країн, так й для їхніх груп або об'єднань, наприклад Європейського союзу.

Важливим результатом роботи інструментарію стала можливість верифікації розроблених математичних моделей на основі реальних історичних даних. Завдяки зібраним масивам інформації підтверджено задовільну точність моделювання – розрахункові центри виникнення поселень просторово збігаються з їхніми історичними координатами на досліджуваних територіях, що доводить ефективність запропонованого підходу.

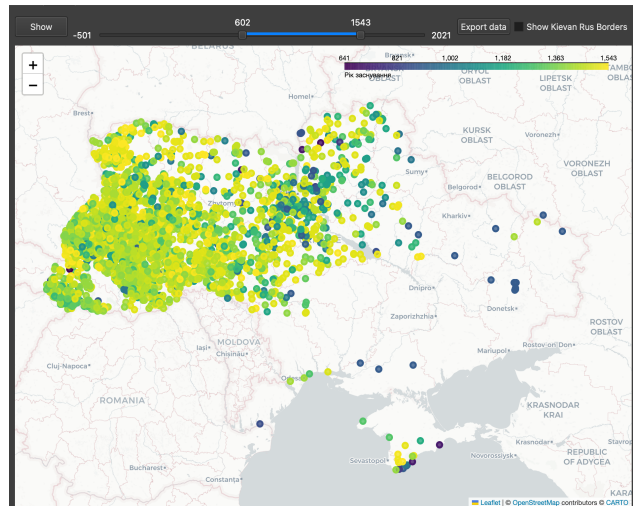


Рис. 2 – Графічний інтерфейс застосунку з відображенням карти України

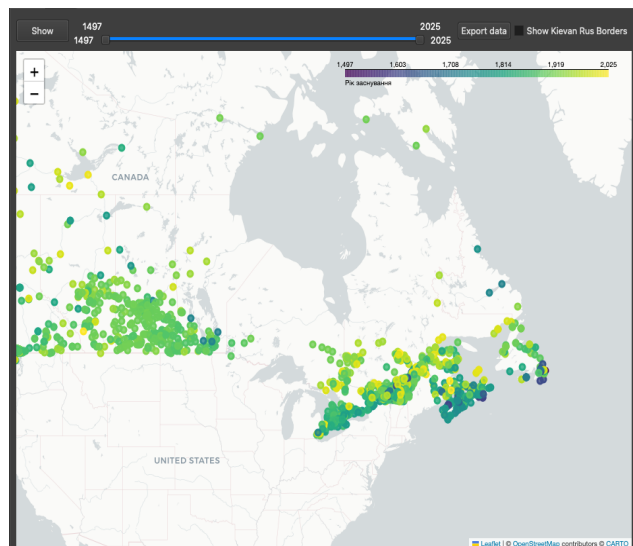


Рис. 3 – Графічний інтерфейс застосунку з відображенням фрагменту карти Канади

Висновки. Розроблено та успішно застосовано комплекс програмних інструментів для автоматизованого пошуку, збирання, валідації, структурування та візуалізації даних соціальної динаміки населення. Успішність його практичного застосування підтверджено під час збирання та обробки даних про населені пункти України та Канади на основі відкритих джерел. Основними показниками успішності стали стабільна робота алгоритмів парсингу під час аналізу тисяч сторінок Вікіпедії та масивів OpenStreetMap, коректна алгоритмічна валідація зібраних координат і дат.

Створений інструментарій охоплює поетапний цикл роботи з інформацією: від первинного парсингу вебджерел (Python) до надійного збереження масивів (PostgreSQL) та їх інтерактивного просторового відображення (PyQt5, OSMnx).

Практична цінність розробки полягає у суттєвому скороченні витрат часу та праці на пошук і систематизацію розрізненої інформації. Завдяки розробленим модулям сформовано надійну

фактологічну базу, яка слугуватиме підґрунтям для верифікації нових математичних моделей та подальших досліджень макропросторової динаміки

розселення, що може бути використано в різних галузях науки.



Інформація щодо наборів даних. Нові набори даних у рамках цього дослідження не створювалися.

Заява щодо фінансування та подяки. Це дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Заява щодо конфлікту інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Заява щодо використання інструментів штучного інтелекту. У процесі підготовки цієї роботи автори використовували Gemini з метою мовного редагування тексту, пошуку літератури. Весь згенерований контент було перевірено та відредаговано авторами. Автори несуть повну відповідальність за зміст публікації.

Список літератури

- [1] P. Ortiz, & L. Freitas, "Automated news scraping and AI-powered analysis for municipal crime mapping," In *Proceedings of the 17th International Conference on Agents and Artificial Intelligence*, 2025, pp. 742–749. SCITEPRESS, doi: <https://doi.org/10.5220/0013178200003890>.
- [2] P. Galvez-Hernandez, A. Gonzalez-Viana, L. Gonzalez-de Paz, K. Shankardass, and C. Muntaner, "Generating contextual variables from web-based data for health research: Tutorial on web scraping, text mining, and spatial overlay analysis," *JMIR Public Health and Surveillance*, 10, Article e50379, 2024 doi: <https://doi.org/10.2196/50379>.
- [3] S. Pant, E. N. Yadav, Milan, M. Sharma, Y. Bedi, and A. Raturi, "Web scraping using Beautiful Soup," In *2024 International Conference on Knowledge Engineering and Communication Systems (ICKECS)*, 2024 pp. 1–6. IEEE, doi: <https://doi.org/10.1109/ICKECS61492.2024.10617017>
- [4] M. Breunig, P. E. Bradley, M. Jahn, P. Kuper, N. Mazroob, N. Rösch, M. Al-Doori, E. Stefanakis, and M. Jadidi, "Geospatial data management research: Progress and future directions," *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(2), Article 95, 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/ijgi9020095>
- [5] J. P. Duque & M. A. Brovelli, "System architecture for geospatial virtual data integration in web-based applications," *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-1/W2-2023, 939–944, 2023, doi: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-1-W2-2023-939-2023>
- [6] L. Kaptsov, "RESTful API design for geospatial logistics platforms using Type Script and Laravel," *Journal of Information, Technology and Policy*, 3, 2025, doi: <https://doi.org/10.62836/jitp.2025.515>
- [7] L. Anselin, R. Florax and S. J. Rey, Ред., *Advances in spatial econometrics: Methodology, tools and applications*. Springer Science & Business Media, 2004, doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-05617-2>
- [8] J. H. Paelinck, L. H. Klaassen, J. P. Ancot, A. C. P. Verster and S. Wagenaar, *Spatial econometrics*. Saxon House, 1979.
- [9] R. Flowerdew and M. Green, "Areal interpolation and types of data," In A. S. Fotheringham and P. A. Rogerson, Ред., *Spatial analysis and GIS* Taylor and Francis, 1994, c. 121–145. doi: <https://doi.org/10.1201/9781482272468>.
- [10] L. Li, and P. Revesz, "Interpolation methods for spatio-temporal geographic data," *Computers, Environment and Urban Systems*, 28(3), 201–227, 2004, doi: [https://doi.org/10.1016/S0198-9715\(03\)00018-8](https://doi.org/10.1016/S0198-9715(03)00018-8)
- [11] R. Netek, T. Pohankova, O. Bittner, and D. Urban, "Geospatial analysis in web browsers—Comparison study on WebGIS process-based applications," *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12(9), Article 374, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/ijgi12090374>

- [12] J. M. Willman, *Modern PyQt: Create GUI applications for project management, computer vision, and data analysis*. Apress, 2021 doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-6603-8>
- [13] A. Ghaffari, H. Nguyen, L. Lovén, and E. Gilman, "STM-Graph: A Python framework for spatio-temporal mapping and graph neural network predictions," In *Proceedings of the 34th ACM International Conference on Information and Knowledge Management Association for Computing Machinery*, 2025, pp. 6377–6381, doi: <https://doi.org/10.1145/3746252.3761645>
- [14] G. Boeing, "Modeling and analyzing urban networks and amenities with OSMnx," *Geographical Analysis*, 57(4), 567–577, 2025, doi: <https://doi.org/10.1111/gean.70009>
- [15] Д. Бреславський, & О. Броварник, "Використання методу зважених відхилів у формі МСЕ для апроксимації двовимірних розподілів," *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Динаміка та міцність машин*, (1), 33–37, 2024, doi: <https://doi.org/10.20998/2078-9130.2024.1.309497>

References (transliterated)

1. P. Ortiz, & L. Freitas, "Automated news scraping and AI-powered analysis for municipal crime mapping," In *Proceedings of the 17th International Conference on Agents and Artificial Intelligence*, 2025, pp. 742–749. SCITEPRESS, doi: <https://doi.org/10.5220/0013178200003890>.
2. P. Galvez-Hernandez, A. Gonzalez-Viana, L. Gonzalez-de Paz, K. Shankardass, and C. Muntaner, "Generating contextual variables from web-based data for health research: Tutorial on web scraping, text mining, and spatial overlay analysis," *JMIR Public Health and Surveillance*, 10, Article e50379, 2024 doi: <https://doi.org/10.2196/50379>.
3. S. Pant, E. N. Yadav, Milan, M. Sharma, Y. Bedi, and A. Raturi, "Web scraping using Beautiful Soup," In *2024 International Conference on Knowledge Engineering and Communication Systems (ICKECS)*, 2024 pp. 1–6. IEEE, doi: <https://doi.org/10.1109/ICKECS61492.2024.10617017>
4. M. Breunig, P. E. Bradley, M. Jahn, P. Kuper, N. Mazroob, N. Rösch, M. Al-Doori, E. Stefanakis, and M. Jadidi, "Geospatial data management research: Progress and future directions," *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(2), Article 95, 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/ijgi9020095>
5. J. P. Duque & M. A. Brovelli, "System architecture for geospatial virtual data integration in web-based applications," *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-1/W2-2023, 939–944, 2023 doi: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-1-W2-2023-939-2023>
6. L. Kaptsov, "RESTful API design for geospatial logistics platforms using Type Script and Laravel," *Journal of Information, Technology and Policy*, 3, 2025 doi: <https://doi.org/10.62836/jitp.2025.515>
7. L. Anselin, R. Florax and S. J. Rey, (Eds.). *Advances in spatial econometrics: Methodology, tools and applications*. Springer Science & Business Media, 2004 doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-05617-2>
8. J. H. Paelinck, L. H. Klaassen, J. P. Ancot, A. C. P. Verster and S. Wagenaar, *Spatial econometrics*. Saxon House, 1979
9. R. Flowerdew and M. Green, "Areal interpolation and types of data," In A. S. Fotheringham & P. A. Rogerson, Eds., *Spatial analysis and GIS*, 1994, pp. 121–145. Taylor & Francis, doi: <https://doi.org/10.1201/9781482272468>
10. L. Li, and P. Revesz, "Interpolation methods for spatio-temporal geographic data," *Computers, Environment and Urban Systems*, 28(3), 201–227, 2004, doi: [https://doi.org/10.1016/S0198-9715\(03\)00018-8](https://doi.org/10.1016/S0198-9715(03)00018-8)
11. R. Netek, T. Pohankova, O. Bittner, and D. Urban, "Geospatial analysis in web browsers—Comparison study on WebGIS process-based applications," *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12(9), Article 374, 2023 doi: <https://doi.org/10.3390/ijgi12090374>
12. J. M. Willman, *Modern PyQt: Create GUI applications for project*

- management, computer vision, and data analysis*. Apress, 2021 doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-6603-8>
13. A. Ghaffari, H. Nguyen, L. Lovén, and E. Gilman, "STM-Graph: A Python framework for spatio-temporal mapping and graph neural network predictions," In *Proceedings of the 34th ACM International Conference on Information and Knowledge Management Association for Computing Machinery*, , 2025, pp. 6377–6381 doi: <https://doi.org/10.1145/3746252.3761645>
14. G. Boeing, "Modeling and analyzing urban networks and amenities with OSMnx," *Geographical Analysis*, 57(4), 567–577, 2025, doi: <https://doi.org/10.1111/gean.70009>
15. D. Breslavsky, and J. Brovarnyk, "Vykorystannia metodu zvaženykh vidkhyliv u formi MSE dlia aproksymatsii dvovymirnykh rozpodiliv" [Use of the weighted residuals method in the form of FEM for approximation of two-dimensional distributions], *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Dynamics and Strength of Machines*, (1), 33–37, 2024, doi: <https://doi.org/10.20998/2078-9130.2024.1.309497>

Надійшла (received) 10.04.2026

Прийнята до друку (accepted) 27.05.2026

Опублікована (published) 29.05.2026

Відомості про авторів та їх внесок / About The Authors And Their Contributions

Дмитро Бреславський (Dmytro Breslavsky) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри комп'ютерного моделювання процесів та систем; м. Харків, Україна; тел.: (057)-707-64-54; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3792-5504>; e-mail: Dmytro.Breslavsky@khp.edu.ua (перевірка результатів, написання тексту, рецензування та редагування)

Олексій Броварник (Oleksii Brovarnyk) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри комп'ютерного моделювання процесів та систем; м. Харків, Україна; тел.: (057)-707-64-54; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-9689-1850>; e-mail: Oleksii.Brovarnyk@infiz.khpi.edu.ua (збір та обробка даних, розрахунки, розробка підходів та програмного забезпечення, перевірка результатів, написання тексту)

Усі автори ознайомилися з остаточною версією рукопису та погодилися з її публікацією.