

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ДИНАМІЧНОЇ 2D-ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ПАСАЖИРОПОТОКІВ МАРШРУТІВ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

Юрій Мацелюх¹, Мирослава Бублик², Вікторія Висоцька^{1,3}

¹ Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра інформаційних систем та мереж, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна

² Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра менеджменту і міжнародного підприємництва, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна

³ Університет Оснабрюка, Інститут комп’ютерних наук, вул. Фрідріха Янсена, 1, Оснабрюк, Німеччина

E-mail: Yurii.R.Matseliukh@lpnu.ua, ORCID: [0000-0002-1721-7703](https://orcid.org/0000-0002-1721-7703)

E-mail: Myroslava.I.Bublyk@lpnu.ua, ORCID: [0000-0003-2403-0784](https://orcid.org/0000-0003-2403-0784)

E-mail: Victoria.A.Vysotska@lpnu.ua, ORCID: [0000-0001-6417-3689](https://orcid.org/0000-0001-6417-3689)

© Мацелюх Ю. Р., Бублик М. І., Висоцька В. А., 2023

З метою підвищення привабливості роботи громадського транспорту для мешканців міст для компаній-перевізників створено програмний продукт, який, візуалізуючи пасажиропотоки, сприяє поліпшенню якості наданих послуг громадських перевезень у межах міста. У роботі проаналізовано наявні та актуальні наукові розробки та літературні джерела, в яких наведено переваги на недоліки численних алгоритмів та способів, різних підходів та методів для вирішення проблем 2D-візуалізації пасажиропотоків на громадських маршрутах міста. У результаті досліджень встановлено стійкі зв’язки між факторами та критеріями, причетними до оцінювання якості транспортних послуг із перевезення пасажирів. Виконано системний аналіз проєктованої системи, створено приклади структури інтелектуальної системи 2D-візуалізації пасажиропотоків. Проаналізовано, які зв’язки система має із важливими елементами зовнішнього світу. Для візуального представлення створено діаграми варіантів використання, класів, послідовності, станів та діяльності відповідно до нотації UML. Створено власні, унікальні алгоритми для відображення візуалізації у двох різних режимах: схематичному та “на карті”. У режимі “на карті” успішно застосовано спосіб обчислення даних про переміщення транспортних одиниць на маршруті для 2D-візуалізації на екрані з урахуванням реальних значень географічних координат у світі. Це дало змогу уникнути деяких помилок та неточностей під час обчислень. Розроблено штучну нейронну мережу, яка функціонує за допомогою алгоритму навчання RMSprop. Штучна нейронна мережа передбачає, як зміняться значення пасажиропотоків у разі коригування розкладу руху транспортної одиниці на маршруті. Отримані результати дають змогу сформулювати розклад транспортного засобу, що курсує на маршруті, та обґрунтувати доцільність його зміни з метою ефективнішого використання перегонів у час пік.

Ключові слова: інтелектуальна система; штучна нейронна мережа; пасажиропотік; візуалізація; громадський транспорт; якість пасажирських перевезень.

Вступ

Проблема динамічної 2D-візуалізації пасажиропотоків безпосередньо пов’язана з розробленням інтелектуальних систем (ІС), що сприятимуть розвитку та упровадженню сучасних

інформаційних технологій (ІТ) у сферу громадського транспорту [1–5]. В умовах збільшення великих міст застосування сучасних технологій потребує створення таких засобів та інструментів, які покращуватимуть обмін даними між важливими структурними елементами ІС, що використовують для надання транспортних послуг у громадських перевезеннях [6–12].

Основним із завдань успішного господарювання в умовах ринкової економіки є поліпшення якості наданих послуг [13–20]. У громадському транспорті головними показниками якості послуг є вчасність перевезення пасажирів відповідно до розкладу, відсутність переповнення транспорту в час пік. Ці характеристики пов'язані із пасажиропотоками на перегонах та пасажирообміном на зупинках. Основною ланкою пасажиропотоку є пасажир, який переміщується у часі та просторі, а зі зростанням кількості пасажирів підвищуються і вимоги до якості громадських перевезень. Чітка взаємодія між факторами та критеріями, за якими оцінюють якість транспортних послуг з перевезення пасажирів, вказує на *актуальність вибраної теми роботи*.

Метою роботи є підвищення привабливості громадського транспорту для мешканців міст завдяки поліпшенню якості перевезень пасажирів через управління пасажиропотоками. Впливають із поставленої мети та потребують вирішення такі завдання:

1. Дослідити та проаналізувати наявні та відомі алгоритми та методи, підходи та засоби для вирішення проблем 2D-візуалізації пасажиропотоків у містах.
2. Сформулювати досліджувану проблему 2D-візуалізації пасажиропотоків, навести її обґрунтування та виконати системний аналіз визначеного об'єкта дослідження.
3. Вибрати та обґрунтувати методи та засоби, які будуть відповідними для вирішення проблеми 2D-візуалізації і прогнозування зміни пасажиропотоків у разі зміни графіка руху.
4. Вибрати програмні засоби реалізації 2D-візуалізації пасажиропотоків.
5. Описати роботу програмного продукту, розкривши склад та зміст функцій його роботи.
6. Здійснити аналіз отриманих результатів на основі контрольного прикладу працездатності розробленого програмного продукту.

Об'єкт дослідження – процес 2D-візуалізації пасажиропотоків на маршрутах громадського транспорту. *Предметом дослідження* є методи та засади 2D-візуалізації та прогнозування пасажиропотоків на міських маршрутах. *Наукову новизну* визначають такі результати:

- вперше запропоновано штучну нейронну мережу для передбачення величини пасажиропотоків у разі зміни розкладу руху транспортного засобу, яка ґрунтується на формі повнозв'язних шарів із використанням алгоритму RMSprop;
- удосконалено структуру даних щодо управління пасажиропотоками на маршрутах громадського транспорту у межах міста, котрі, на відміну від реальних, доповнені спеціальними даними для розрахунку показників пасажирообміну;
- удосконалено візуальну модель для імітації зміни пасажиропотоків із метою удосконалення розкладів руху транспортних одиниць на маршрутах, котра від відомих сьогодні відрізняється тим, що під час їх передбачення бере за основу результати функціонування розробленої штучної нейронної мережі;
- удосконалено метод візуалізації маршрутів, який, на відміну від інших, дає змогу використовувати реальну карту міста як основу для відображення на ній динамічної зміни кількості пасажирів у транспортних засобах разом із можливістю керування швидкістю зміни часу;
- у запропонованій інтелектуальній системі набув подальшого розвитку метод зміни розкладу руху транспортних засобів на маршрутах, відмінною рисою якого є урахування пасажирообміну на зупинках;
- набув подальшого розвитку метод обчислення набору показників пасажирообміну на зупинках та пасажиропотоків на перегонах, який відрізняється від відомих урахуванням у розрахунках тривалості обідньої перерви.

Розроблена інтелектуальна система динамічної 2D-візуалізації пасажиропотоків маршрутів громадського транспорту на основі OpenGL на практиці дає змогу:

- визначити критичні відрізки маршруту за показниками та їх візуальним відображенням;
- встановити ключові зупинки з максимальними значеннями пасажирообігу на маршруті;
- створити умови для прийняття ефективних управлінських рішень щодо покращення якості пасажирських перевезень громадським транспортом;
- передбачити обсяги пасажиропотоків у разі зміни розкладу руху транспортного засобу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

У зв'язку із розвитком та поглибленням глобалізації світу постає важлива проблема візуалізації наявних даних для їх аналізування та формування відповідних висновків. Це підвищує необхідність і актуальність створення та розвитку візуалізацій пасажиропотоків громадських перевезень у містах та між ними. Автори у роботах [21–22] виконали дослідження щодо впливу різних затримок руху та розкладу транспортних засобів для перевезення пасажирів і виразили їх у вигляді імітаційної моделі, яка у динамічний спосіб відображає розподіл пасажиропотоків у мережах, де відбуваються перевезення. Цей алгоритм в [21] використано для візуалізації пасажиропотоків поїздів. Автори отримали певні статистичні показники, до яких належать базові параметри оцінки пасажиропотоків, котрі анімовано візуалізують відповідними засобами програмного забезпечення (ПЗ). Наведена модель візуалізує якісну та кількісну структуру наведеного прикладу роботи запропонованого ПЗ.

Важливо, що спосіб, наведений у [22], стосується створення моделі реальної продуктивності та якості управлінського рішення і сконцентрований на досягненні оптимальності теоретичної функції мети, хоча це і відбувається навпаки, на протигагу основному визначеному зв'язку між оптимізацією та імітацією, що уможливорює покращення функції мети. Цей визначений підхід до вирішення поставленої проблеми обґрунтовує не тільки необхідність виконання пошуку щоразу нових і кращих варіантів та способів, а ще й створення ефективніших розробок, застосовуваних у реальному світі, де сучасні математичні моделі слугуватимуть основою для оптимізації. Автори змогли визначити та встановити взаємозв'язок між розробленими математичними моделями і реальним позитивним результатом, отриманим завдяки реалізації удосконаленої функції мети. Для підтвердження отриманих результатів всіх процесів автори наводять велику кількість прикладів застосування розробленої моделі. Автори створили таке ПЗ, яке за допомогою унікального способу візуалізації та симуляції дає можливість використовувати справжню мапу. На цій карті також здійснюється зміна позицій об'єктів транспорту зі зміною у часі. Крім цього є також можливість керувати швидкістю здійснення визначеної візуалізації.

Автор статті [23] надає опис базових засад стандартної теорії руху. Ця теорія пояснює, чим зумовлені та для чого призначені поїздки різних видів у містах та їх районах. Дослідник бере за основу три базові поняття, а саме: частоту поїздок пасажирів, види транспорту для переміщення та конкретно місця посадки та висадки пасажирів.

Робота [24] зосереджена на визначенні розмірності районів, де відбувається транспортування (відправка та прибування) користувачів перевезення. Враховано ще й величину транзитних пасажиропотоків, спрямованих тільки на транзит, а не в райони транспортування. Створено спосіб, що передбачає правильний та якісний розподіл міських районів на транспортні райони, що не завжди просто на практиці, оскільки не збігаються їхні межі, а розміри самих міст великі. Вирішення проблем за такого поділу ускладнено неможливістю отримання точних даних про об'єкти, біля яких спостерігаються основні скупчення людей, які бажають переміститися. Ці місця позначено як місця роботи мешканців міста, місця їх проживання та навчання. У роботі наведено багато прикладів.

Розумне місто, на засадах якого в [25] розглядають базис теорії менеджменту транспорту, взято за основу побудови прогнозів досліджуваних пасажиропотоків. Отримані результати становлять фундамент керування міським транспортом. Прогнозування пасажиропотоків виконано на основі LSTM – довгої короточасної пам'яті, що ґрунтується на архітектурі штучних нейронних мереж

(ШНМ) із повторенням, тобто рекурентних. Наведено докази того, що збільшення продуктивності ШНМ досягає рівня 4–20 %, якщо порівняти її з негібридними моделями. Це свідчить, що ця модель гібридна з оптимізацією. Цей факт допомагає отримати підтвердження, що раціональність використання запропонованої моделі мережі LSTM висока, особливо якщо оцінювання виконується за допомогою Nadam – швидкого адаптаційного моменту Нестерова у поєднанні із SGD-алгоритмом стохастичного градієнтного спуску для створення моделей пасажиропотоків.

Автори в роботі [26] розробили математичну модель, що дає змогу визначити тип функції зацікавленості пасажирів у певному маршруті переміщення у межах міста, але лише у випадку, коли є нескінченна кількість способів створення маршрутів у цьому місті.

У науковій розвідці [27] наведено результати дослідження того, яким способом пасажирів вибирають зі списку різних способів та маршрутів саме той, який найкраще перемістить їх з початкового пункту до кінцевого. У дослідженнях враховано, що на деяких маршрутах доведеться зробити пересадку, та наявність у деяких прямого сполучення. Встановлено також, як на такий вибір впливають умови та якість самих поїздок. У результаті створено модель, яка дає змогу узагальнити створення проектів мережі громадського транспорту в межах міста.

Праця [28] розглядає насамперед проблематику оцінювання перевезень пасажирів міським транспортом з погляду якості надавання послуг. Автори здійснили аналітичну оцінку поточних методів та їх параметрів, за допомогою яких виконується визначення якості громадського транспорту і, на підставі отриманих результатів визначили серед них основні фактори, за якими варто виконувати таке оцінювання, а саме: час очікування пасажирів на зупинці, тривалість самої поїздки у транспорті, динамічний коефіцієнт пасажировмістності транспортної одиниці та переміщення пішоходів до та від зупинок. Створено імітаційну модель, яка дала змогу визначити, що існує стійка взаємозалежність між тим, наскільки якісною вважається поїздка громадським транспортом і кількістю транспортних одиниць, які перебувають в активній фазі руху на маршруті. Це в підсумку створило передумови для визначення тієї кількості одиниць транспорту на маршруті, яка б була максимально ефективною для підтримання високого рівня якості здійснених перевезень.

Чимало робіт [29–34] стосується способів створення набору показників для визначення ефективності методів, які використовують для оцінювання якості перевезень у громадському транспорті. Це вказує на високу актуальність цієї проблематики. Автори статті [35] вже використовують знання нормативних та законодавчих основ, в яких передбачено визначення якості надання послуг міського перевезення пасажирів у транспорті, а також визначають фактори, що істотно впливають на визначення якості наданих послуг. Викладено основні способи та методи поліпшення якості надання населенню послуг перевезення міськими транспортними засобами.

У статтях [29, 33] визначено головні фактори та критерії, за якими можна виконати оцінку якості послуг: час очікування пасажирів на зупинці, час проїзду пасажирів у транспорті, змінний коефіцієнт місткості транспорту, мінімальні за часом та реальні дані часу проїзду громадським транспортом, час, який витрачають пасажирів, перебуваючи у ролі пішоходів, переміщуючись до зупинок транспорту, самі маршрути такого пересування до зупинок та загальна кількість пересадок для досягнення пункту призначення.

Автори роботи [34] переконані, що для справжньої та адекватної оцінки якості наданих пасажирів послуг дослідникам потрібно використати спеціальні методи SP, зокрема дискретну модель визначення, яка стане базою для створення оцінки індексу SQL.

У статтях [31, 32, 36] досліджено потреби та очікування, які висловлюють користувачі громадського транспорту під час подорожей, а також вплив цих особливостей на поведінку самих пасажирів і загалом вплив на якість послуг, які надають перевізники у цій сфері. Для того, щоб загалом зробити певні правильні висновки, автори праць [30, 36] надають перевагу моделі SERVQUAL. Ця модель використовується не тільки для оцінювання міського пасажирського транспорту, вона підходить для міжміських маршрутів перевезення. Для моделі SERVQUAL встановлено п'ять основних показників, які дали змогу визначити взаємозв'язок між можливостями,

щоб збільшити задоволеність користувачів громадського транспорту, та реальними і дієвими способами підвищення ефективності курсування міського транспорту. До визначених факторів належать такі: співпереживання та відчуття, чуйність, впевненість та надійність. У роботі [30] розроблено шкалу SERVQUAL, яку можна вже використовувати у багатьох випадках, щоб зрозуміти, як споживачі сприймають поточну якість послуг, що надають перевізники на маршрутах міського громадського транспорту. У результаті можна вважати, що перевізники надаватимуть високоякісні послуги перевезень, що істотно впливатиме на збільшення попиту на цей вид послуги, та загалом збільшить пасажиропотік. Тому важливими ланками є і пасажир, тобто ті, хто користується послугами, а також перевізники, які мають змогу і бажання надавати такі послуги. У статті [37] наведено цікаві висновки про те, що доцільно починати вивчати реакцію та настрій пасажирів ще протягом їх очікування на зупинці на громадський транспорт, оскільки від цього залежить вибір маршруту для пасажира. Автори також вважають, що існує залежність між реакцією пасажира під час очікування та певним вибором маршруту. У науковій розвідці [38] дослідники визначили, що середня відстань, на яку переміщується пасажир у громадському транспорті, закономірно зв'язана зі зміною значення показника роботи транспорту міських перевезень. Крім цього, у роботі ще й обчислено, що розмірність матриці перевезення пасажирів впливає на середню відстань, на яку переміщується пасажир у середині транспортної мережі міста.

Правильне використання громадської мережі перевезення пасажирів і управління нею тісно пов'язані із керуванням всією транспортною галуззю, яка теж істотно впливає загалом на економічну сферу в усій країні та є фактором стабільності у соціальному секторі.

Наукова робота [39] досліджує способи здійснення оптимізації та налагодження мереж громадського транспорту в містах та міських районах. Деякі автори таких робіт також зазначають, що використання трьох головних засад доцільне для вироблення систематичного підходу в транспортній сфері, серед яких: декомпозиція, стратифікація та вказування цілей. Загальною метою є створення такої мережі міського пасажирського транспорту, який був би максимально оптимізований із використанням важливих значень матриць кореспонденцій.

У роботі [41] проведено дослідження, у результаті яких уможливлено створення моделі для оптимізації мережі автобусів, яка ґрунтується на транспортно-дорожній мережі. Ця оптимізація, здебільшого, сфокусована на найменших затратах для перевезення і максимізації пасажиропотоку на одиницю відстані, порівнюючи із загальною довжиною маршруту та швидкістю транспорту, що визначається нелінійно.

Авторам робіт [40, 42] вдалося визначити основні способи обчислення матриць трудових кореспонденцій за допомогою використання математичних моделей, що входить у визначення концепції інтервалів під час створення моделей наявності попиту на перевезення у містах. У роботі [42] конкретніше розглянуто способи для знаходження проміжних станів у побудованих матрицях кореспонденцій. Крім того, описано створення окремого алгоритму для визначення станів ще й для матриці пасажирських кореспонденцій. Загалом згадані дослідження ґрунтуються на даних, які отримані з е-карт, що відображають пасажирообіг на станціях відправлення та прибуття міжміських та приміських сполучень.

У праці [43] автори проявляють цілеспрямовану зацікавленість саме автобусними перевезеннями в міському громадському транспорті. Тому вони подали власний варіант побудови мережі автобусних маршрутів, у якому також враховано можливі основні наслідки створення, модернізації та планування автобусних маршрутів для більшості з чотирьох етапів.

В роботі [39] автори змогли не тільки створити певний алгоритм, який допоможе вирішити проблему маршрутизації транспортних одиниць, а ще й і оптимізувати його. Цей алгоритм вміє керувати даними про кількість транспортних одиниць на маршруті та їх розподіл за кластерами. За основу досліджень взято мінімізацію негативних наслідків, які виникають у містах на маршрутах громадського транспорту, та одночасне збільшення привабливості для пасажирів таких маршрутів.

Методи, застосовані в роботі [44], дають змогу сформулювати мережі громадського транспорту у

межах міста, а також визначити недоліки сучасних підходів. Дослідники зазначають, що ці недоліки поширюються і на транспортні мережі автобусного типу у великих містах. Автори створили модель для розроблення та оптимізації мереж громадського транспорту, яка ґрунтується на SPASA, що розшифровується як “Coarse-grain Parallel Ant Colony Algorithm” і названа “алгоритмом мурашиних колоній”. Цей алгоритм націлений на максимізацію кількості безпересадкових пасажирів на транспортну одиницю, тобто враховує показник прямої щільності пасажиропотоку.

Зміни у світовій системі господарювання, які спричинив Covid-19, зумовили потребу пристосування до нових тенденцій, максимізацію можливої вигоди та мінімізацію негативних проявів. У серії робіт [45, 46] автори розглядають якість обслуговування та задоволеність споживачів як критичні складові ефективного й успішного ведення будь-якого бізнесу. Дослідивши вплив якості обслуговування в аеропортах на бажання пасажирів користуватися їхніми послугами, вчені встановили позитивний і значний зв'язок між якістю обслуговування в аеропорту та бажанням витратити гроші в ньому. Велике значення має також трансформація транспортної системи громадських перевезень, оскільки системи громадського транспорту є важливими елементами в містах, бо забезпечують просторову мобільність принаймні половини жителів міста, які не можуть користуватися індивідуальним транспортом. Запропоновані рекомендації органам місцевого управління дадуть змогу зменшити субсидування збиткових перевізників, трансформувати роботу збиткових маршрутів, здійснити повну трансформацію системи транспортного обслуговування міста. Дослідники стверджують, що проведені дослідження дадуть органам влади теоретичну та емпіричну основу для розгляду численних факторів, які пасажирів шукають у послугах або можуть шукати в майбутньому, які поки що є незрозумілими та неоднозначними через Covid-19.

Серед авторів [47], які досліджували планування міського транспорту з метою поліпшення якості надання послуг, є прихильники використання матриці попиту походження – призначення для моделювання подорожей та планування транспорту. Оцінюючи міську мобільність, автори враховують легкодоступні й безкоштовні соціально-економічні змінні. Запропонована методика передбачає автоматичний вибір ознак, щоб визначити найрелевантніші соціально-економічні змінні, відкидаючи нерелевантні. Для оцінювання мобільності між попередньо визначеними зонами дослідники використовували моделі машинного навчання (МН), ШНМ та регресію опорного вектора для перевірки та порівняння використання найрелевантніших змінних як вхідних даних. Запропонована у цій роботі методологія може бути перспективним та доступним альтернативним методом для оцінювання матриць попиту походження – призначення, значно зменшуючи витрати та час виконання, а також допомагаючи та покращуючи планування міського транспорту.

У низці статей [48, 49] наведено огляд та аналіз найчастіше використовуваних методів і технологій, а також їх конструкцій, за допомогою яких здійснюється підрахунок пасажирів на борту транспортних засобів громадського міського маршруту. Автори вважають, що використання сенсорної технології забезпечує додаткову цінність для вже створеної системи, а запропонований огляд різноманітних систем автоматичного підрахунку пасажирів у міському транспорті показує, наскільки цьому сприяють певні конструкції, методи та технології. Крім того, виконано огляд характеристик певних технологій на основі наявних відповідних досліджень, у яких здійснено різні вимірювання точності, тобто точності певних конструкцій. Ураховано таку інформацію, як завантаженість транспортного засобу за кількістю пасажирів, переміщення пасажирів на зупинках міського пасажирського транспорту загального користування та завантаженість на певних транспортних лініях, які можна отримати за допомогою системи автоматичного підрахунку пасажирів. У наукових працях з метою підвищення точності прогнозування пасажиропотоку автобусів автори пропонують модель ISTL-LSTM, яка поєднує процедуру декомпозиції за сезонними тенденціями на основі локально зваженої регресії (STL), кількох функцій і трьох ШНМ довгострокової пам'яті (LSTM). Метод ISTL-LSTM, який запропонували дослідники, складається з чотирьох процедур; прогнозні значення генеруються у моделях LSTM і об'єднуються в кінцеве значення прогнозу. Розроблені моделі перевірено на прикладі прогнозу щоденного автобусного

пасажиропотоку в Пекіні під час пандемії. Наведена низка досліджень заповнює прогалини в прогнозуванні пасажиропотоку громадського транспорту.

У роботі [50] досліджено просторово-часові моделі, які формуються через транспортні потоки і дають змогу зрозуміти вплив транспортної системи на результати очікуваної міської діяльності. На прикладі дослідження міста Сеул проаналізовано погодинні дані про населення на основі записів про місцезнаходження мобільних телефонів у поєднанні з кількома індикаторами системи сеульського метро. За допомогою кластеризації та аналізу основних компонентів автори встановили, що просторовий розподіл населення класифікується відповідно до часу доби, тобто ночі, дня та вечора, варіації в яких відображають морфологію землекористування.

У статті [51] проаналізовано просторово-часові характеристики пасажиропотоку, на основі яких дослідники будують спрямовані зважені тимчасові мережі міської мобільності (TUMN), де вузлами є станції, а зважені зв'язки представляють кількість поїздок між вузлами. Отримані результати дослідження відкривають шлях до розширеного спектра складних реальних мереж і корисні для планування транспортної інфраструктури міських перевезень.

У роботі [52] запропоновано підсистему продажу та контролю пасажирських квитків за допомогою використання технології RFID. Дослідники вважають, що застосування технології RFID пришвидшує посадку пасажирів, зменшуючи затори, унеможливаючи посадку пасажирів на неправильну лінію та значно зменшує використання готівкових розрахунків.

Автори статей [53, 54] проаналізували статичний розподіл пасажиропотоків, довівши, що просторово-часові характеристики пасажирів відіграють вирішальну роль під час оцінювання важливості станції. Розроблений новий метод оцінювання, названий центральністю топології потоку, враховує динаміку пасажирських потоків. Розглядають мережу як сукупність завантаження вузлів, а навантаження вузлів використовують для описання змінних у часі характеристик пасажиропотоків. Результати експерименту дають змогу визначити важливість станцій за динамічною зміною пасажиропотоків, особливо коли пасажиропотоки різко коливаються. Щоб уникнути переповненості станцій, запропоновано нову модель багатопозиційного спільного контролю, завдяки якому можна досягти усіх обмежень безпеки в ключових зонах пересадкової станції та підвищити ефективність пасажирських перевезень. Запропоновані моделі використовують встановлені маршрути руху пасажиропотоків. Описано імітаційні експерименти для станцій в пекінському метро.

Проблему візуалізації пасажиропотоків у сфері громадського транспорту поки що недостатньо охоплено у наукових працях та у розробленні ІС. Зі зростанням викликів у сучасному світі розроблення інтелектуальної системи візуалізації пасажиропотоків (ІСВП) потребує оригінальних підходів до вирішення проблеми поліпшення якості пасажирських перевезень у містах.

Формулювання мети та постановка задачі

Головне призначення проєктованої ІСВП полягає у поліпшенні якості надавання послуг перевезення на маршрутах громадського транспорту в різних населених пунктах, урахувавши великі й малі міста. Вона ґрунтується на тому, що основним елементом всіх міських перевезень є пасажир. Сукупність пасажирів, які переміщуються у транспорті, утворює пасажиропотоки. Від правильності оцінювання та аналізування пасажиропотоків, тобто від того, наскільки порожніми чи переповненими їздять транспортні засоби, наскільки детально і зручно побудований графік руху транспорту і наскільки, взагалі, його дотримуються, залежать фінансово-економічні успіхи компаній. Навіть якщо неможливо дотримуватися зазначеного розкладу, потрібно надати доступ до повідомлень і свовістити потенційних пасажирів про динамічні зміни у графіку руху.

Проектовану ІСВП пропонуємо застосовувати не тільки у державних, комунальних транспортних підприємствах, а й у звичайних приватних, які мають у своєму розпорядженні лише декілька маршрутів, проте бажають їх максимально покращити з погляду і якості послуг, надаваних клієнтам, і фінансової вигоди для самої компанії-перевізника.

Обґрунтування потреби цієї ІСВП урахує декілька аспектах, починаючи з того, що досліджувана галузь досі недостатньо охоплена. Це зумовлено тим, що існують лише кілька дуже

великих компаній, що або надають такі послуги, або володіють спеціалізованими ПЗ, які можуть продати на ринку. Ціни на пропоновані ІСВП неймовірно високі. В наших реаліях, зазвичай, коли неможливо передбачити вагомий, значний прибуток від застосування передбачених у ІСВП можливостей щодо покращення керування пасажиропотоками, нерідко значно простіше і дешевше не робити нічого, взагалі не чіпати і не здійснювати ніяких змін, бо система якось працює, хоч і не завжди приносить прибутки. Пропонована ІСВП покликана виправити цей недолік, оскільки дає змогу вносити зміни в маршрути поступово, без необхідності врахування додаткових ризиків через неочікувані ефекти. Хоч проєктована ІСВП не може надати максимальний набір всього можливого функціоналу, який пропонують компанії з багаторічним досвідом роботи на ринку ІСВП, проте прогнозована ціна в десятки чи сотні разів менша. Це дасть змогу компаніям-перевізникам без вагань успішно оцінювати якість наданих послуг, враховуючи реальні події у світі.

Наступним кроком, необхідним, щоб підтвердити потребу в такій ІСВП, є те, що якість обслуговування громадським транспортом безпосередньо впливає на відчуття комфортності не тільки жителів міста, але й туристів. Це допоможе легко і просто добратися до тих пунктів, де бажають відпочити туристи. Погана якість надання таких послуг: переповненість транспортних засобів, їх нерегулярний рух чи неможливість отримати інформацію про зміни в графіку, невідповідна кількість транспорту на маршруті, що породжує порожні маршрути, мало кому потрібні, та інші фактори підштовхують населення до купівлі власних транспортних засобів. З часом це спричиняє у транспортній системі міста все більше проблем, спричинених заторами та потребою у зростанні кількості паркувальних місць. У підсумку це ще більше знижує можливість налагодити курсування громадського транспорту та побудувати ефективні транспортні мережі із сучасними дорожніми розв'язками.

Після успішного впровадження ІСВП транспортні компанії зможуть належно оцінювати маршрути громадського транспорту, визначити їх ефективність, використовуючи цю систему, на основі візуальних, графічних та числових даних про пасажиропотоки на перегонах між зупинками та пасажирообіг на зупинках. Це дасть змогу визначеним компаніям, що володіють таким ПЗ, наочно простежити, що відбувається на їхніх маршрутах, яка наповненість транспортних засобів, де розташовані найважливіші посадкові та висадкові вузли для пасажирів, а також оцінювати цю інформацію на карті з прив'язками до важливих інфраструктурних об'єктів, біля яких містяни використовують громадський транспорт дуже часто. Концептуальну схему проєктованої ІСВП можна подати у вигляді сукупності опису вхідних та вихідних даних, додаткових формальних, функцій та структури, вимог чи узагальнити у вигляді моделі.

Оскільки в сучасному світі дуже важливі інтерактивність й універсальність ІСВП, необхідно, щоб ІС могла підтримувати дані, наведені за міжнародними стандартами. Як не дивно, нарешті в системі транспорту створено формат, який використовують компанії всього світу для подання опису маршрутних систем міст разом із графіком їх роботи та іншими істотними можливостями. Такий міжнародний формат даних має назву "General Transit Feed Specification" (GTFS). Це загальнодоступний формат для наведення не тільки розкладу руху громадського транспорту, а ще й супутньої географічної інформації, такої як координати зупинок і маршрутів. Це надає можливість успішно використовувати вказаний формат даних на картах. Спочатку цей продукт розробляла компанія Google, а пізніше, коли він набув статусу міжнародного, перша буква G у назві вже означала General, а не Google. Для подання даних про пасажиропотоки, які компанія-перевізник може отримати різними шляхами, спочатку треба вибрати найуніверсальніший формат, який дозволив би об'єднати можливості експорту з різноманітних систем підрахунку, як автоматичних, так і з ручним введенням даних споглядачами на зупинках. Для задоволення визначених потреб вибрано найпопулярнішу програму табличних редакторів Excel, ураховуючи сумісні програми відкритого розповсюдження, які підтримують цей формат. Спеціально для цього проєктована ІСВП створюватиме шаблон, який нескладно заповнити працівникові компанії. Саме так запропоновано універсально вирішити проблему через неможливість передбачити, які способи використовуватиме

компанія-перевізник для підрахунку кількості пасажирів. Це дасть змогу забезпечити такий формат подавання даних, який можна було б отримати за допомогою усіх способів збирання інформації.

Основним завданням проєктованої ІСВП є надання кваліфікованих та природно зрозумілих способів візуалізації пасажиропотоків. Для забезпечення цих можливостей спеціально заплановано розробити різні схеми подавання візуалізованих даних. Як приклад розглянуто спосіб подання всього маршруту разом із зупинками і динамічним наповненням транспортних засобів безпосередньо на карті міста. Такий тип подання дасть змогу наочно оцінити, на яких зупинках найбільший пасажирообмін, на яких перегонах спостерігаються переповнення або недостатнє наповнення рухомого складу маршруту, а також визначити, чи ці зупинки є пересадковими станціями, чи хабами із високою концентрацією людей. У схематичному режимі подання більший акцент варто зробити на великій кількості супровідних статистичних даних, які мають подаватись сумісно зі схематичним зображенням маршруту та надавати можливість ще й кількісно оцінити стан справ на конкретних ділянках у конкретний час доби. Також із подібним за змістом і суттю способом подання у схематичному режимі будуть застосовуватись різні графіки, на яких наводитиметься статистична інформація з необхідними обчисленими показниками та характеристиками вибраного маршруту, ділянки чи зупинки.

Структура ІСВП ґрунтуватиметься на визначених потребах реалізації. Для роботи з БД, де зберігатимуться всі зчитані та опрацьовані GTFS дані, заплановано створити окрему системну одиницю, а також окремо підсистему, що уможливіть зчитування GTFS даних та їх записування у БД. Кожна така структурна одиниця, як маршрут, зупинка, точка, лінія, теж будуть реалізовані як окремі об'єкти, що дасть змогу їх об'єднувати у складніші структурні одиниці. Щодо функцій, які заплановано використовуватись, то це обов'язково мають бути функції для роботи з системою координат і подальшим перетворенням цих даних на площинні варіанти подання на екрані. Загальні вимоги до ІСВП доволі прості. Має бути забезпечене точне опрацювання GTFS даних та даних у форматі Excel, успішне створення всіх структурних об'єктів, ці об'єкти мають бути заповнені відповідними даними для їх візуалізації.

ІСВП повинна уможливлювати візуалізацію у кількох режимах, насамперед на карті та у схематичному, з додатковим виведенням графіків. Результат роботи з ШНМ теж має подаватись у вигляді схематичного режиму для оцінювання загальних результатів.

Узагальнену модель проєктованої ІСВП можна подати у вигляді розробленого способу взаємодії користувача із самою ІС. Спочатку система повинна надавати користувачу можливість вибрати файл-архів із файлової системи з даними у форматі GTFS. Після цього повинно здійснюватися перетворення цих даних з текстових файлів формату CSV, які є вимогою для цього стандарту, на дані в форматі бази даних. Очікується, що це буде база SQLite. Після цього опрацювання даних користувачеві необхідно надати можливість завантажити повний та доступний список маршрутів і вибрати з нього той, який він оцінюватиме та аналізуватиме.

Відтак потрібно забезпечити можливість завантажити карти для фону в режимі "на карті". Для продовження роботи користувачу має бути запропонована можливість завантажити дані конкретно про вибраний маршрут. Як тільки цей етап буде виконаний, тоді для користувача має бути доступне створення файла у форматі Excel за шаблоном, із заповненням його даними про посадку і висадку пасажирів. Успішно заповнивши цей файл, користувач матиме можливість вибрати тип візуалізації: схематичний чи "на карті". А схематичний режим має передбачати виведення всієї доступної інформації як про весь маршрут, так і про конкретно вибрану зупинку чи перегін. Також необхідно передбачити можливість подати ці дані у вигляді графіків, які будуть викликатися з цього режиму роботи. Передбачається лінійне горизонтальне виведення вигляду маршруту з його структурними елементами, які можна прокручувати коліщатком мишки. Режим "на карті" повинен надавати можливість відображати у динаміці зміни часу переміщення транспортних засобів за маршрутом разом із посадкою і висадкою пасажирів на зупинках. Має бути доступною можливість зміни масштабу зображення та швидкості відображення. Окремо передбачено можливість навчання ШНМ на основі завантажених даних про маршрут і створення файла для нового розкладу транспорту, який користувач заповнюватиме тепер лише даними про новий графік руху. Після успішного МН мережі

та коли користувач заповнить новий файл у форматі Excel, з'являтиметься можливість здійснити прогнозування за допомогою навченої ШНМ, а відтак візуалізацію змінених даних про пасажиропотоки у схематичному режимі. Це дасть змогу наочно оцінити, чи така зміна графіку руху транспорту забезпечить більше переваг, чи недоліків.

Виклад основного матеріалу

Для правильної реалізації розроблюваної ІСВП спочатку необхідне якісне і ґрунтовне проектування вигляду розроблюваної ІС. Для цього необхідно визначити саму ІСВП, її взаємодію із зовнішнім середовищем та проаналізувати елементи ІСВП, основні бізнес-процеси та потоки даних. Для реалізації таких відображень у цій роботі використано нотацію UML, створену за допомогою відповідних спеціалізованих ПП. Для першочергового подання проекрованої ІСВП створено діаграму варіантів використання (рис. 1). Визначено трьох основних акторів, які взаємодіятимуть: користувач, ШНМ та система візуалізації. Також на схемі визначено основні варіанти використання (прецеденти), які описують фрагменти поведінок сутностей, але не розкривають їхньої внутрішньої структури. Окремо для роботи із вхідними даними створено два інтерфейси “Структура Excel файла” та “Структура файла розкладу транспорту”, що визначають шаблони, яким мають відповідати сформовані дані. Для уточнення розуміння діаграми (рис. 1) застосовано примітку до варіанта використання “Зберегти навчену мережу”, яка допомагає конкретніше зрозуміти вкладену ідею. Під час проектування використано множинні відношення типів включення “include” та розширення “extend”. Як приклад відношення розширення можна навести варіант використання “Візуалізувати пасажиропотоки”, до якого цим зв'язком зараховано варіанти використання “Візуалізувати у схематичному режимі” та “Візуалізувати на карті”, що можуть виконуватися тільки окремо. Загалом ця діаграма варіантів використання дає змогу зрозуміти, які загальні вимоги до поведінки у функціональному аспекті визначено для проекрованої ІСВП. За допомогою термінології класів об'єктно-орієнтованого програмування створено діаграму, яка відображає постійне структурне подання моделі ІСВП (рис. 2). Для повноцінного зображення загальної структури проекрованої ІСВП створено подання, яке містить п'ять загальних класів: “Користувач”, “Нейронна_Мережа”, “Система_Візуалізації”, “Схематична_Візуалізація” та “Візуалізація_на_карті”, причому два останні класи “Схематична_Візуалізація” та “Візуалізація_на_карті” з'єднані з класом “Система_Візуалізації” за допомогою відношення узагальнення (наслідування). У цьому відношенні клас “Система_Візуалізації” виступає як загальний елемент (клас-предок), а два інші як більш часткові, тобто класи-нащадки. Кожен клас має чітко визначені набори функцій, які можуть бути і закритими (private), і загальнодоступними (public). Поділ атрибутів у кожному класі такий самий. Клас “Нейронна_Мережа” з'єднаний з класом “Система_Візуалізації” за допомогою відношення композиції, де частиною, яка не може бути представлена окремо, є “Нейронна_Мережа”, а так звані “цілим”, до якого вона належить, є “Система_Візуалізації”. Це означає, що клас “Нейронна_Мережа” не може працювати окремо від “Система_Візуалізації”, що вважається логічним, тому що в цей час повинен відбуватися взаємний обмін даними між зазначеними класами. Клас “Користувач” має відношення асоціації з класом “Система_Візуалізації”. Це вказує на те, що користувач безпосередньо взаємодіє із системою візуалізації, може нею керувати та працювати з відповідними даними. За допомогою діаграми послідовностей (рис. 3) можна одержати загальне уявлення про часові особливості передавання повідомлень між об'єктами та їх отримання. На діаграмі (рис. 3) зображені лише ті об'єкти ІСВП, котрі беруть неопосередковану участь у зв'язках, але не відображають статичні пов'язування із іншими об'єктами. Найважливіше, що цей тип подання дає змогу бачити в динаміці взаємодію між об'єктами зі змінами в часі. Для подання цієї моделі використано три основні об'єкти класів: “Користувач”, “Система_Візуалізації” та “Нейронна_Мережа”. Кожен із них має свою лінію життя, на якій і відбувається їхня взаємодія у динаміці зміни часу. На діаграмі видно, що під час роботи між об'єктами передаються повідомлення таких типів: виклик процедури, потік асинхронного керування, асинхронне повідомлення та повернення з виклику процедури.

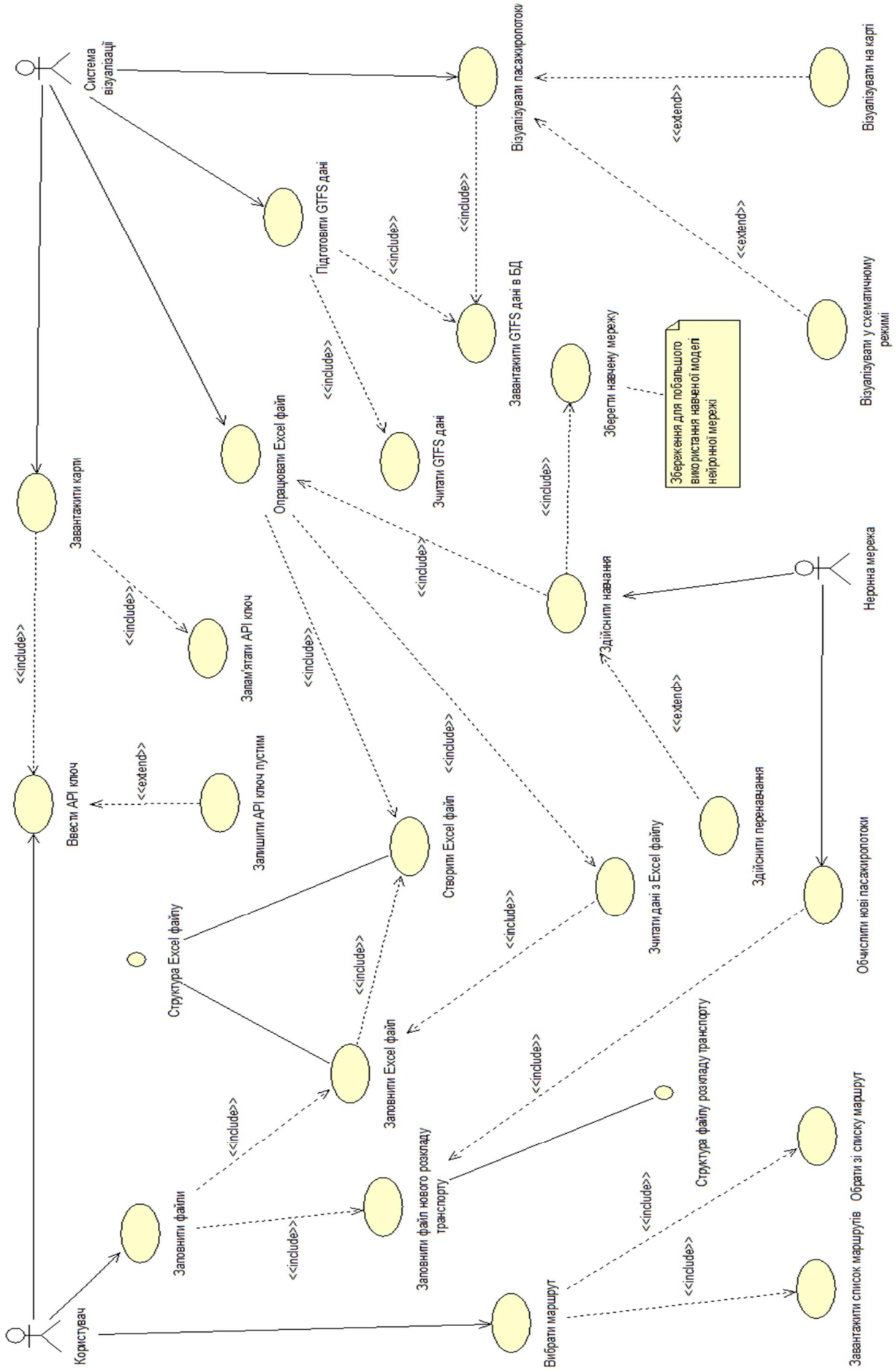


Рис. 1. Діаграма варіантів використання ІСВП

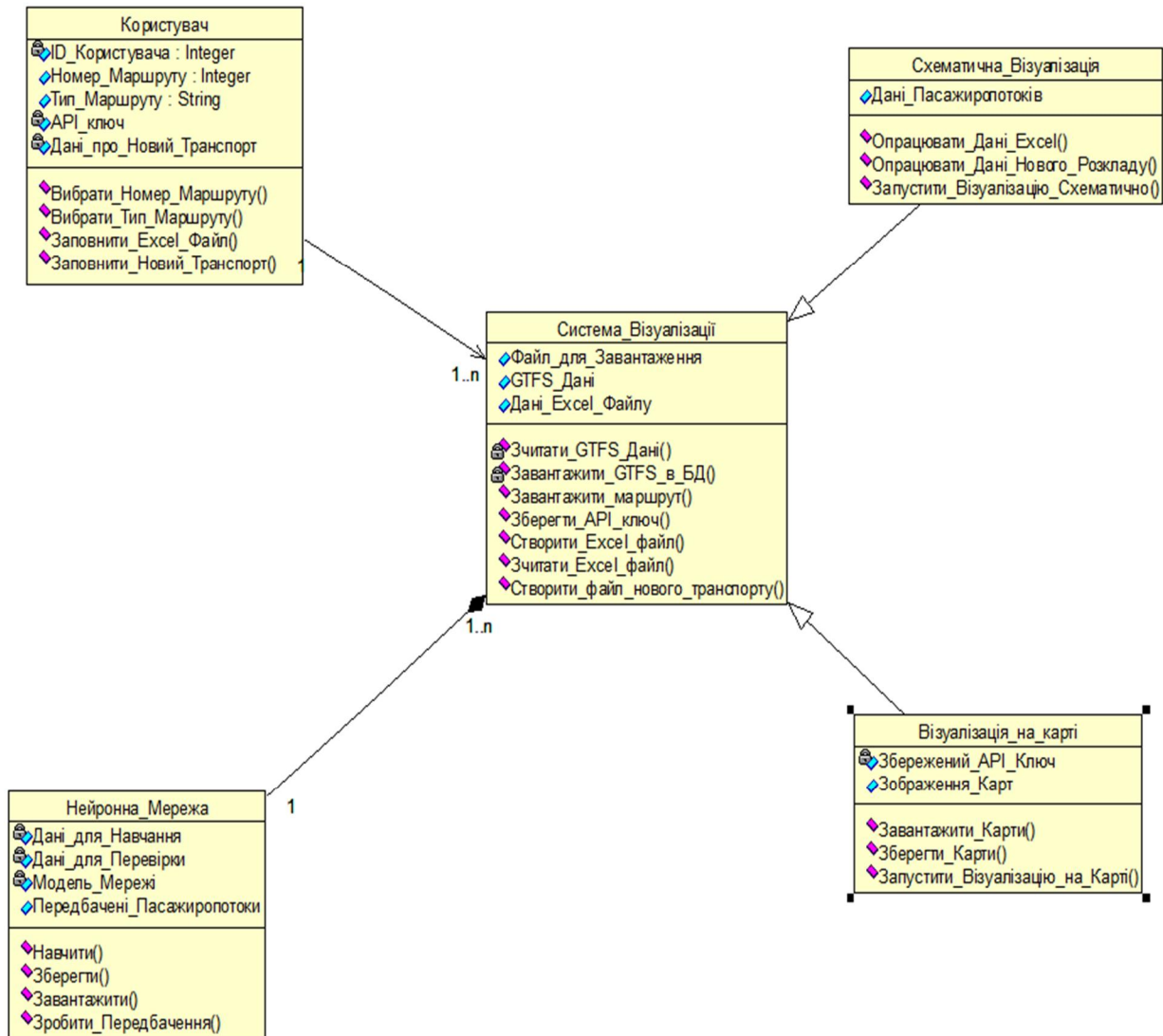


Рис. 2. Діаграма класів ІСВП

Повідомлення, які є певним визначеним фрагментом інформації і відправляються від одного об'єкта до іншого, можуть бути також рефлексивними, тобто пересланими самому собі. Загалом, за допомогою двох вимірів, тобто передавання повідомлень між об'єктами та вертикальної часової лінії, ця діаграма дає змогу оцінити проєктовану ІСВП у динаміці. Після реалізації діаграми послідовностей логічним є перехід до моделювання у вигляді діаграми станів (рис. 4), що являє собою певний автомат і наводиться у формі графа спеціального виду, який відображає певну поведінку структурних частин моделі та повністю всю ІСВП. У цій моделі подання основним елементом є стан, який може мати дві унікальні форми, а саме: початковий стан та кінцевий стан. Ці стани є окремими випадками і не можуть містити жодних внутрішніх дій. Ці умови, звісно, дотримано і на вищенаведеній діаграмі. Між станами будуються певні відношення, ці зв'язки називають переходами. Переходи можуть мати так звані сторожові умови, тобто правила, які вказують, де може відбутися цей перехід. У решті випадків просто вказана дія, яка відбувається у разі спрацювання визначеного переходу з попереднього у наступний стан. Як видно з рис. 4, кожен перехід має відповідний підпис, котрий і вказує, чи відбувається спрацювання сторожової умови, чи просто перехід з дією. Основною перевагою цієї діаграми станів є можливість створити модель, яка у формі змін визначених станів системи зможе передати умовний характер варіантів використання.

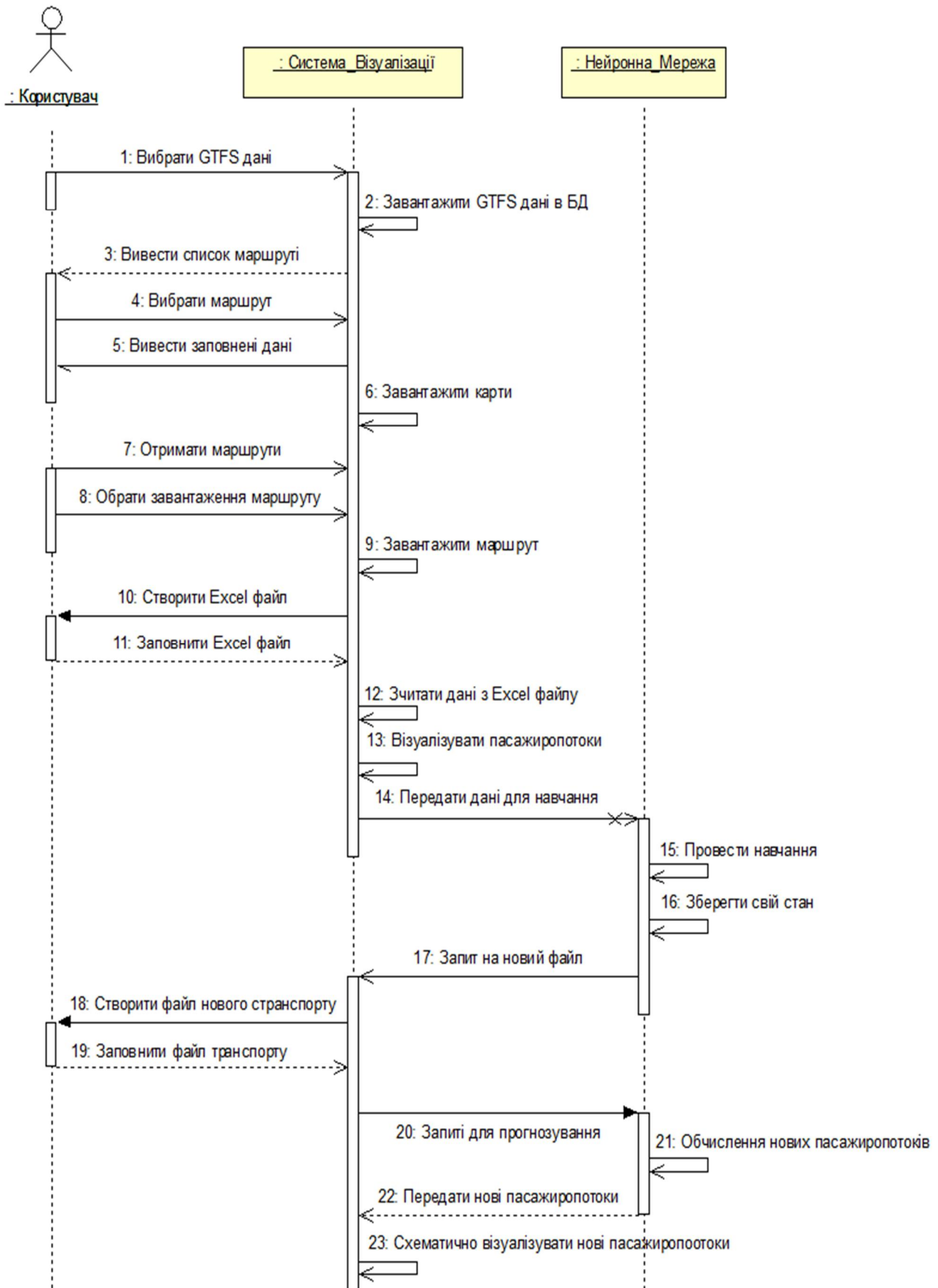


Рис. 3. Діаграма послідовності

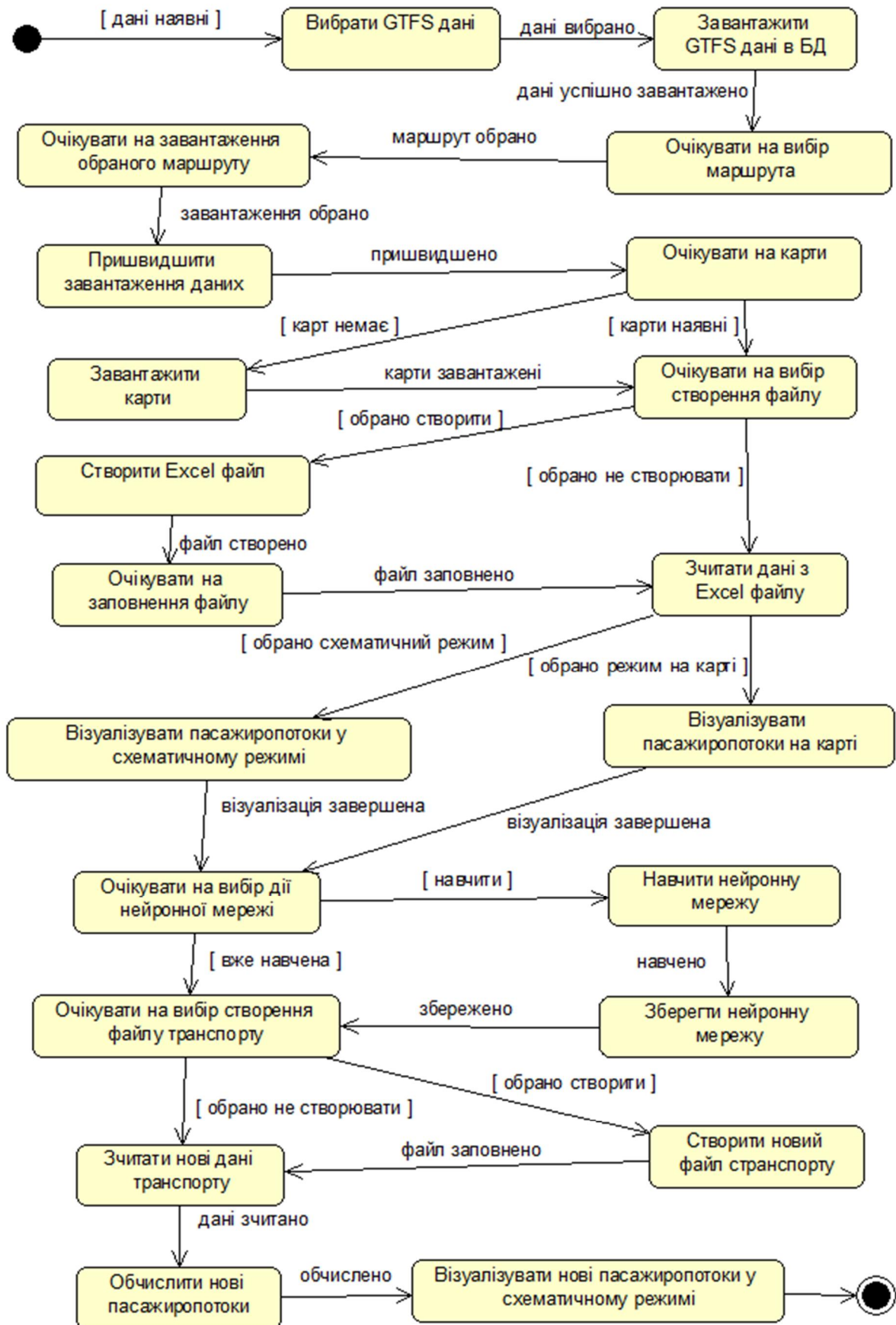


Рис. 4. Діаграма станів

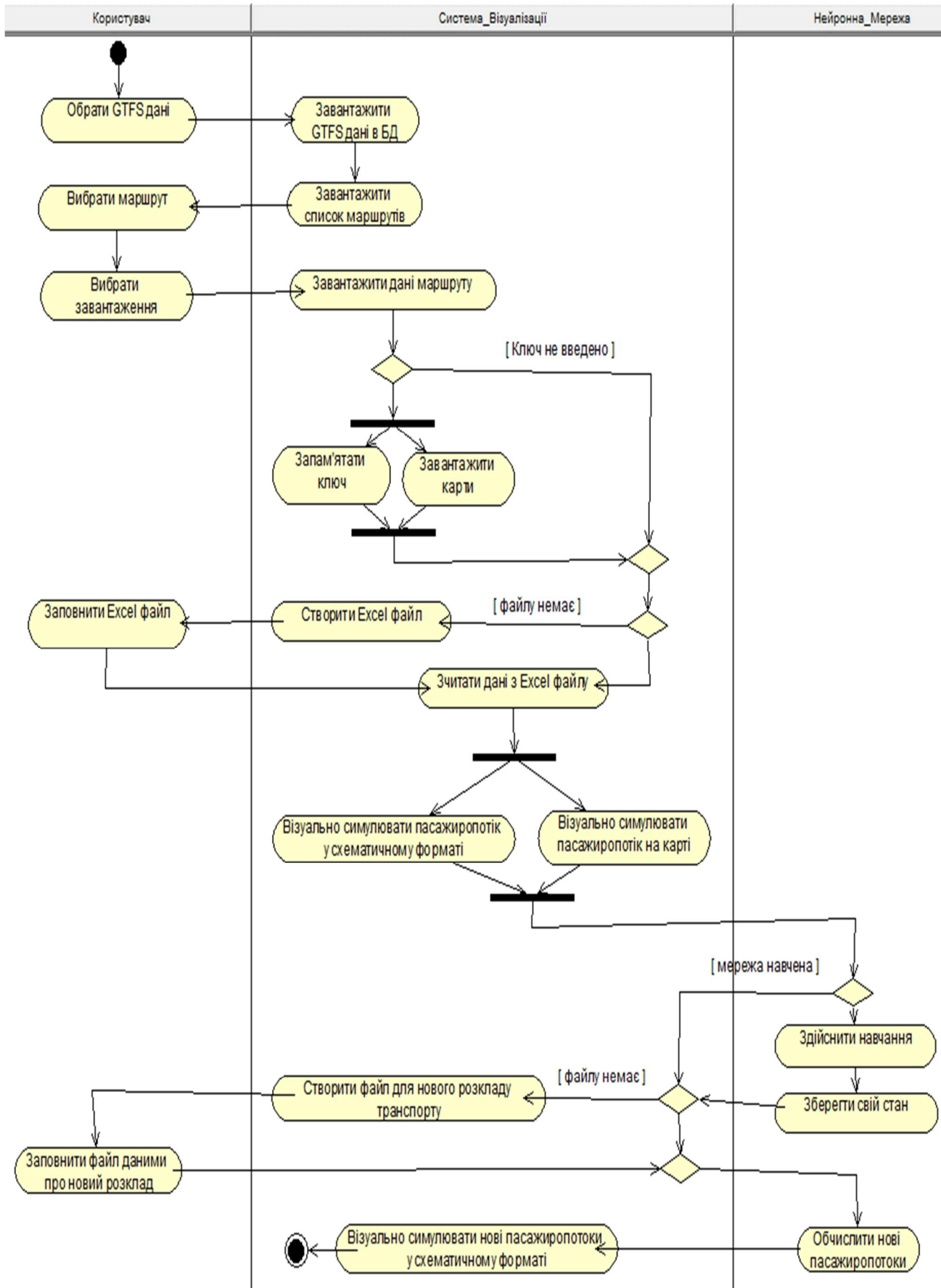


Рис. 5. Діаграма діяльності

Для створення повноцінної картини використано і альтернативу діаграми станів, яка називається діаграмою діяльності та подана на рис. 5. У цьому випадку основним об'єктом на діаграмі є не статичний стан, а дія. Під час проєктування визначено стани дій, в яких записано вирази дій, що мають принаймні один вихід. Для відображення всіх можливостей на діаграмі використано також розгалуження, де вказано умови переходу за певним зв'язком.

Ще одною унікальною особливістю діаграми діяльності є можливість наведення поділу та злиття паралельних потоків, котрі на рис. 5 подано у двох місцях. Зауважимо, що за такого паралельного виконання дії мають можливість впливати одна на одну. Вся діаграма поділена на доріжки, що вказують на те, який об'єкт та яку конкретну дію здійснює, щоб уникнути заплутаності. Ця діаграма діяльності є різновидом діаграми станів, але з певними особливостями, які допомагають зрозуміти суть паралельних дій, а не станів, у яких перебуває система.

Продовжуючи розроблення діаграми діяльності, можна перейти до схеми подання бізнес-процесів. Діаграму зображено на рис. 6. Для правильного відображення усіх бізнес-процесів спочатку встановлено доріжки. Кожна із наведених доріжок на діаграмі визначає певну зону відповідальності за виконання визначених діяльностей у межах створеної моделі бізнес-процесів.

Потік об'єктів є невід'ємною частиною діаграми і визначає, як передаються окремі об'єкти по напрямках, які наведені стрілками взаємодії із діяльностями на схемі. Важливість побудови цієї діаграми полягає у тому, що саме вона одна із найважливіших для правильного документування усіх бізнес-процесів, які плануються у розроблювальній ІСВП.

Для вирішення поставленої проблеми в розроблюваному проєкті використано методи, вибрані завдяки їх універсальності та ефективності. Основний акцент зроблено на здійсненні правильного вибору методів роботи з геоданими та їх перетвореннями. У роботі використано метод перетворення координат зі світової геодезичної системи World Geodetic System (скорочено WGS), а саме з найновішої версії WGS84, на "світові" координати. "Світові" координати однозначно посилаються на точку, розміщену на карті, та на так звані "піксельні" координати, які посилаються на певний піксель на карті на площині із визначеним рівнем масштабування. Отримують "світові" координати з формату версії WGS84 за наведеним нижче методом, де x та y якраз і є нові координати:

```
sin_y = math.sin(self.lat * math.pi / 180)
sin_y = min(max(sin_y, -0.9999), 0.9999)
x = self.TILE_SIZE * (0.5 + self.lon / 360)
y = self.TILE_SIZE * (0.5 - math.log((1 + sin_y) / (1 - sin_y)) / (4 * math.pi))
```

Подальше перетворення із "світових" координат на "піксельні" координати виконують за допомогою формули (1):

$$pixelCoordinate = worldCoordinate * 2^{zoomLevel}, \quad (1)$$

де $worldCoordinate$ – x та y , які отримані вище; $zoomLevel$ – масштаб відображення карти.

Щодо методів, які використовують для створення візуалізації, то це метод перетворення діапазону чисел в інший діапазон зі збереженням співвідношення між числами. Наприклад, цей метод у проєкті використовують для визначення розмірів схематичного позначення лінії під час відображення пасажиропотоків, розміру зупинок у разі визначення обсягу пасажирообігу. У режимі "на карті" в реальному часі відбувається обчислення переміщення транспорту відповідно до заданого розкладу. Тому для створення такого переміщення транспорту на маршруті використано власний метод, який складається із кількох інших методів, а саме:

1. Метод проєкції (project) – повертає відстань уздовж визначеного геометричного об'єкта, яким у цьому випадку є лінія між координатами маршруту транспортного засобу, до точки, найближчої до іншої точки маршруту, до якої здійснюють вимірювання.
2. Метод інтерполяції (interpolate) – повертає точку на вказаній відстані вздовж визначеної у минулому методі лінії між координатами точок маршруту транспортної одиниці. Якщо така точка, отримана в результаті виконання цього складеного методу, не належить визначеному відрізу між координатами маршруту, то цей метод повторюватиметься з наступними відтинками шляху маршруту доти, доки не буде знайдено відрізок, якому точка належатиме.

Оскільки у ПП відбувається прогнозування пасажиропотоків, то для цього створена ШНМ. Для навчання цієї ШНМ, яка виконує передбачення у разі зміни графіку руху, використовується алгоритм RMSprop (середньоквадратичне поширення кореня). Основний зміст методу RMSprop такий:

- здійснити підтримку ковзної (зниженої) середньої квадрата градієнтів;
- виконати поділ градієнта на корінь із визначеного середнього значення.

У цьому випадку метод RMSprop використовує не імпульс Нестерова, а звичайний імпульс. Також центрована версія додатково виконує підтримку ковзного середнього градієнтів і використовує знайдене середнє для оцінки самої дисперсії. Відповідно до методів для ШНМ необхідно зарахувати метод для підрахунку помилок. У цьому разі використано метод підрахунку середньоквадратичної похибки, достатньо точний та якісний відносно заданих потреб.

Для вирішення поставленої проблеми 2D-візуалізації пасажиропотоків використано Python, що класифікується як об'єктно орієнтована мова високого рівня. Це дає змогу використовувати об'єкти класів та самі класи для грамотної побудови структури розроблюваного ПЗ. За класифікацією ця мова належить до інтерпретованих мов, які не потребують компіляції перед виконанням коду, тому розроблений код виконується відразу. Однією з переваг Python, з погляду власне написання коду, можна вважати чистий синтаксис, у якому для виокремлення функціональних частин коду використовують відступи. Щодо переваг мови, то зазначимо, що саме для розроблення цього ПП можна не тільки використовувати готові модулі, які постачаються у звичайній збірці чи від інших розробників, а самостійно розробляти власні модулі, які можна буде універсалізувати для багатьох потреб. Третьою важливою перевагою є можливість редагувати та удосконалювати вже наявні модулі, що є важливим пунктом ще на стадії проектування розроблюваної ІСВП. У стандартній збірці дистрибутиву Python є багато корисних модулів, які можна використовувати для вирішення поставленої проблеми. На рис. 7 подано модулі для зберігання та пакування даних, а саме: `shelve` та `pickle`. Також використано модуль для роботи з базою даних – `sqlite3`.

- **Data Persistence**
 - `pickle` — Python object serialization
 - `copyreg` — Register pickle support functions
 - `shelve` — Python object persistence
 - `marshal` — Internal Python object serialization
 - `dbm` — Interfaces to Unix “databases”
 - `sqlite3` — DB-API 2.0 interface for SQLite databases

Рис. 7. Модулі у стандартній збірці для зберігання даних

Більшість математичних задач, обчислень та розрахунків з даними виконано за допомогою стандартних наборів модулів, використано також вбудований модуль для роботи з часом та часовими мітками `datetime` та додатковий модуль `dateutil`, який допомагав конвертувати формати часу в інші форми подання. Загалом, ці засоби використано тому, що вони найбільше підходять для вирішення поставлених завдань. Важливо, що значною перевагою завдяки вибору Python була наявність дуже надійного та високопродуктивного модуля `sqlite3` для роботи з базами даних SQLite. Цей модуль (рис.7) входить у список вбудованих програмних компонентів, які постачаються разом зі стандартним пакетом Python. Модуль TensorFlow – це ключовий та найважливіший модуль для ШНМ та МН. Його постійна підтримка з боку розробників та постійне удосконалення також сприяли вибору мови Python для запланованого проекту. На рис. 8 наведена частина документації модуля TensorFlow, в якій вказано, що код ядра модуля та моделі `tf.keras` “прозорі” працюватимуть на одному графічному процесорі без будь-яких змін коду. Ця можливість надзвичайно важлива, оскільки може зменшити навантаження на процесор комп'ютера, дозволивши використовувати його для інших ресурсомістких завдань під час роботи ПЗ. Це, залежно від потужності графічного процесора, дасть змогу пришвидшити МН до кількох разів.

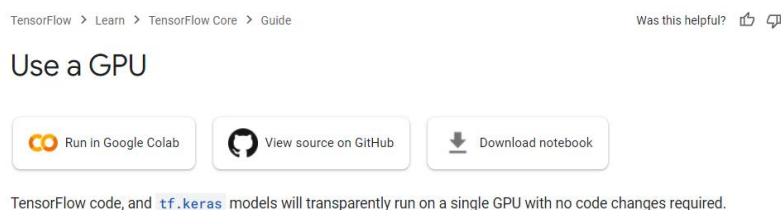


Рис. 8. Документація TensorFlow для графічного процесора

Для розроблення ІСВП використано версію 3.9 мови Python. Нині вже є і новіша версія, а саме Python 3.10, проте розроблення програм займає тривалий час і завжди повинно ґрунтуватися на найстабільнішій версії мови програмування. І найважливіше, що підтримка всіх необхідних модулів для нових версій проявляється не завжди одночасно, а зазвичай поступово, що унеможлиблює будь-яке розроблення ПП відразу на найновіших збірках версій мови. Для прикладу на рис. 9 подано витяг зі сторінки модуля TensorFlow на момент початку розроблення ПП, де зазначено, що найновішою версією була лише 3.9. Мова Python, яка належить до класу об'єктно-орієнтованих мов програмування високого рівня. Основною відмінною характеристикою вибраної мови вважається інтерпретація коду, замість компіляції перед його виконанням, хоча останній фактор наявний у багатьох інших мовах високого рівня. Також цікавою додатковою перевагою є наявність окремих модулів або цілих великих пакетів модулів, які поставляються і у стандартному наборі, й від інших третіх незалежних джерел розробників.

Install TensorFlow 2

TensorFlow is tested and supported on the following 64-bit systems:

- Python 3.6–3.9
- macOS 10.12.6 (Sierra) or later (no GPU support)
- Ubuntu 16.04 or later
- Windows 7 or later (with C++ redistributable)

Рис. 9. Документація модуля TensorFlow версій Python 3.6-3.9

Важливо зазначити, що Python вважається мовою для найоптимальнішого виконання статистичних та аналітичних аналізів чи досліджень наборів даних. Це перевага використовується як для опрацювання великих наборів даних, так і просто для оцінювання цих самих наборів. Завдяки переліченим особливостям цієї мови програмування вдалось вирішити основне завдання розроблюваного продукту: створення 2D-візуалізації даних про пасажиропотоки на прикладі міського транспорту. Загалом, вказані вище важливі особливості мови Python дали змогу зробити вибір на користь використання саме цієї мови, а згрупована загальна характеристика переваг та недоліків наведена у табл. 1.

Таблиця 1

Переваги та недоліки мови Python

Переваги	Недоліки
Значна кількість модулів	Не завжди найвища швидкодія
Можливість розширювання	Малоприсадачена для мобільних додатків чи браузерів
Висока продуктивність у роботі з великими даними	Не найоптимальніше використання оперативної пам'яті
Об'єктна орієнтованість	Часткова обмеженість в архітектурі
Інтерпретація коду	Складніший процес дебагінгу

За основні структурні частини розроблюваної ІСВП відповідають основні модулі, які можуть використовуватися разом з цією мовою. За їх допомогою відбувається побудова відповідних

конструкцій та реалізацій необхідних функцій для коректної роботи. Інтерфейс ІСВП розроблений за допомогою того ж модуля, що і основні процеси візуалізації. Це дало змогу зменшити потребу в реалізації додаткових функцій та методів взаємодії між модулями різних розробників, які зазвичай не можуть працювати разом без специфічних налаштувань для кожного окремого випадку. Тому для цього використано модуль The Python Arcade Library (скорочено arcade). Цей модуль використовує бібліотеку OpenGL версії 3.3 і вище для базового відтворення всіх примітивів на екрані у користувача. Використання OpenGL уможлиблюється тільки тоді, коли ще один модуль pygame створить вікно для відображення вмісту. Щодо інтерфейсу, то для специфічної функції вибору файлів з файлової системи також застосовується частково модуль Tkinter, який і створює вікно вибору файлів. У решті випадків для відображення всієї візуалізації використовується лише arcade, оснований на OpenGL з метою відображення графічних примітивів, навіть у інтерфейсі користувача.

Таблиця 2

Порівняння частини модуля arcade для інтерфейсу з Tkinter

Особливість	arcade	Tkinter
Поєднання	Вбудоване об'єднання із візуалізацією	Не поєднується із візуалізацією
Окреме створення інтерфейсів	Немає	Немає
Вигляд інтерфейсу	Сучасний	Застарілий
Гнучке програмування	Множинні можливості подій	Немає
Модуль вбудований у звичайну збірку	Ні	Так
API	Наявне	Наявне
Документація	Недостатня	Проста у вивченні
Ціна	Безкоштовний	Безкоштовний

Частина інформації, яка подається на вхід програмі, передається у міжнародному форматі GTFS для маршрутів громадського транспорту. Для прикладу, на рис. 10 наведено зображення можливої структури подання набору файлів разом із прикладом заповнення файла stops.txt даними про зупинки. Для перетворення формату даних GTFS у формат, який зберігатиметься у базі даних SQLite і буде придатним для подальшого опрацювання у програмі, використано єдиний робочий модуль, який є у вільному доступі, з назвою pygtfs. Інші модулі, які теж є у відкритому доступі, аж ніяк не можуть забезпечити необхідний набір функцій.

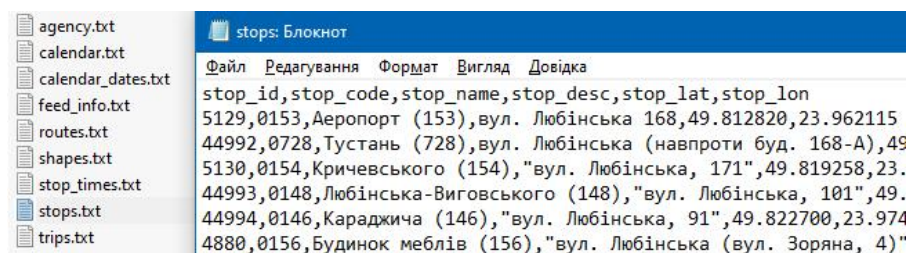


Рис. 10. Формат представлення даних GTFS

Тому вибір модуля для виконання цього конкретного підзавдання у ПЗ був доволі простим і однозначним на користь цього модуля. Для наочного відображення роботи модуля pygtfs на рис. 11 наведено його загальну структуру разом із поясненням збоку, що саме виконує і за що відповідає кожна структурна одиниця.

Як зазначено вище стосовно способів опрацювання вхідної інформації, ще одним поданням даних на вхід ІСВП від користувача є формат файла Excel. Цей файл користувач може редагувати як офіційним продуктом від компанії Microsoft, так і будь-яким іншим редактором, який сумісний з файлами цього розширення. Для роботи з цим типом файлів у ПЗ використовується спеціальний модуль orepruhl. Він уможлиблює не тільки читання готових файлів, а й їх створення, що дає змогу

розробити необхідний шаблон для заповнення даними про пасажирообмін на зупинках маршруту для користувача. Загальну схему взаємодії користувача і підсистеми роботи з Excel файлами наведено на рис. 12.

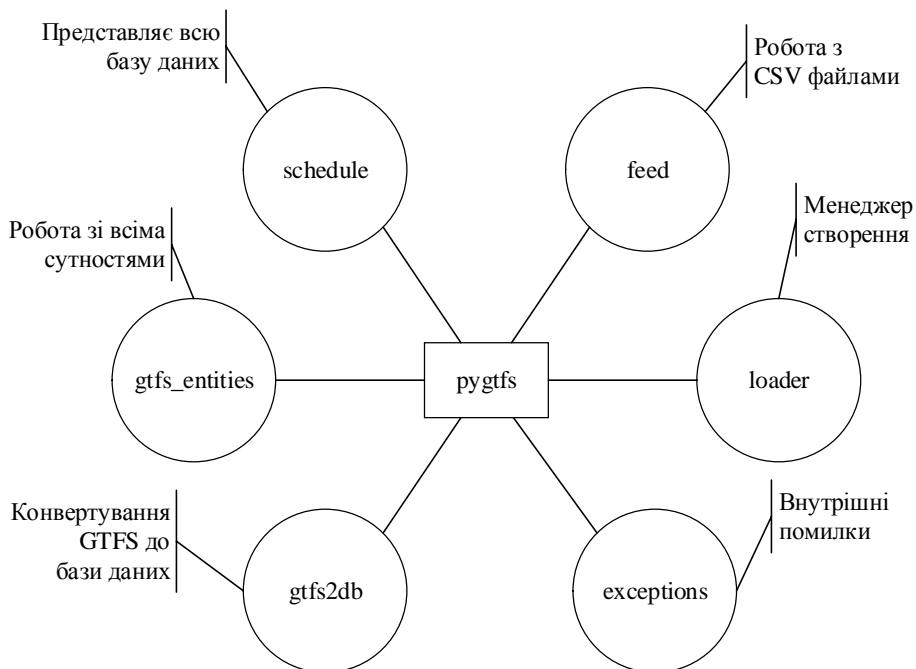


Рис. 11. Структурні частини модуля pygtfs



Рис. 12. Взаємодія модуля orepruxl із користувачем

Для виконання основного завдання, а саме візуалізації усіх пасажиропотоків у схематичному режимі й у режимі “на карті” теж використано модуль arcade. Цей модуль, як і модуль pygame, є бібліотеками мови Python, які полегшують створення 2D-ігор. А pygame ґрунтується на растровому типі графіки. Модуль pygame дуже швидко керує окремими пікселями і може працювати (запускатися) майже на будь-якому пристрої. Але особливістю і перевагою arcade є те, що він використовує специфікацію OpenGL. Стандарт OpenGL дуже швидко вміє відрисовувати спрайти та надає можливість розвантажувати такі складні функції, як обертання та прозорість для процесора відеокарти. Цей модуль, згідно із його описом в офіційній документації, призначений для створення та розроблення платформерів або подібних ігор. Найважливішим чинником стало саме те, що модуль arcade використовує бібліотеку OpenGL. Основним конкурентом під час остаточного вибору модуля візуалізації був модуль pygame, який використовується зазвичай для простіших проєктів, без такої великої кількості анімацій та можливостей. Порівняльний список параметрів цих двох модулів наведено в табл. 3.

Порівняльний список параметрів модулів arcade та pygame

Особливість	arcade	pygame
Внутрішній графічний двигун	OpenGL 3.3+ та Pyglet	SDL 2
Примітиви підтримують обертання	Так	Ні
Спрайти підтримують обертання	Так	Ні
Спрайти підтримують масштабування	Так	Ні
Підтримка камери	Так	Ні
Двигун фізики	Simple, platformer, та PyMunk	Відсутній

Модуль arcade спеціально розроблено для простішого створення ігор за допомогою бібліотеки OpenGL і має багато вузькоспрямованих функцій та методів для цього. Особливістю цього модуля є таке поняття, як “спрайт”, що є окремим об’єктом, який можна використовувати у розроблених проєктах для відображення власних графічних примітивів, ефективніше, з більшими можливостями. Тому, враховуючи всі особливості цього проєкту, arcade є найкращою основою для розроблення графічного відображення 2D-візуалізації пасажиропотоків з використанням бібліотеки OpenGL. Розроблена ІСВП також виконує прогнозування значення пасажиропотоків у разі зміни розкладу руху транспортного засобу, для цього використано ШНМ, яку ми створили. ШНМ створено за допомогою модуля TensorFlow. Розробник цього модуля з відкритим програмним кодом – компанія Google. Хоча спочатку Google створювала цей продукт для власного приватного використання у цілях розвитку МН, та тепер це один з найбільших та найякісніших способів розроблення штучного інтелекту, зокрема побудови та навчання ШНМ. Блок-схему взаємодії модуля TensorFlow з користувачем наведено на рис. 13.



Рис. 13. Блок-схема взаємодії модуля TensorFlow із користувачем

Для взаємодії з БД під час розроблення ІСВП використано вбудований у стандартний репозиторій мови Python модуль sqlite3. Цей модуль дає змогу найпростішим та найефективнішим способом взаємодіяти із базою даних SQLite. Його можливостей достатньо для задоволення всіх потреб у взаємодії із модулем pygame, який теж використовує SQLite як основу для зберігання інформації. Загальні приклади використання двох найважливіших конкурентів – баз даних наведено в табл. 4.

Приклад застосування баз даних

SQLite	MySQL
--------	-------

Розроблення малих застосунків	Вебзастосунки
Проекти без великої масштабованості	Доступ для багатьох користувачів
Читання і писання відбувається з одного фізичного диска	Кращий для розподілених великих систем
Простіше тестування у ході розроблення	Потреба у великих за розміром базах даних
Потреба у портативності програми	Потреба у високій безпеці та аутентифікації

На підставі порівняння у табл. 4 можна зробити висновок, що SQLite ідеально підходить для розроблюваної ІСВП. А MySQL зазвичай необхідний для створення дуже великих проєктів зі значною кількістю даних. Нижче подано опис реалізації завдання 2D-візуалізації пасажиропотоків, який оформлений відповідно до норм та вимог міжнародних стандартів.

1. *Загальні відомості.* ІСВП має повну назву: “Візуалізації пасажиропотоків”. Для того, щоб ІСВП коректно працювала, необхідно користуватися операційною системою Windows, мати встановлений інтерпретатор Python та набір відповідних модулів. Ця ІСВП створена за допомогою мови програмування Python, а для взаємодії із БД застосовано SQL запити.

2. *Функціональне призначення.* Розроблена ІСВП, переважно, виконує функцію 2D-візуалізації пасажиропотоків пасажирського транспорту в місті. Передбачено два типи подання візуальних даних: схематичний режим (із виведенням додаткових графіків) та режим “на карті”. Для прикладу, на рис. 14 наведено вигляд відображення маршруту на карті з динамічним переміщенням транспорту. Ця ІСВП також дає змогу здійснювати передбачення нових пасажиропотоків у разі зміни розкладу поточної схеми руху транспортних засобів. Це відбувається за допомогою ШНМ. Нові дані, створені ШНМ, відображаються у схематичному режимі подання даних (приклад відображення схематичного режиму наведено на рис. 15). Стиль подання маршрутів не змінюється, змінюються лише числові показники пасажиропотоків. Єдиним функціональним обмеженням є можливість зміни графіка руху тільки для одного транспортного засобу за один раз.

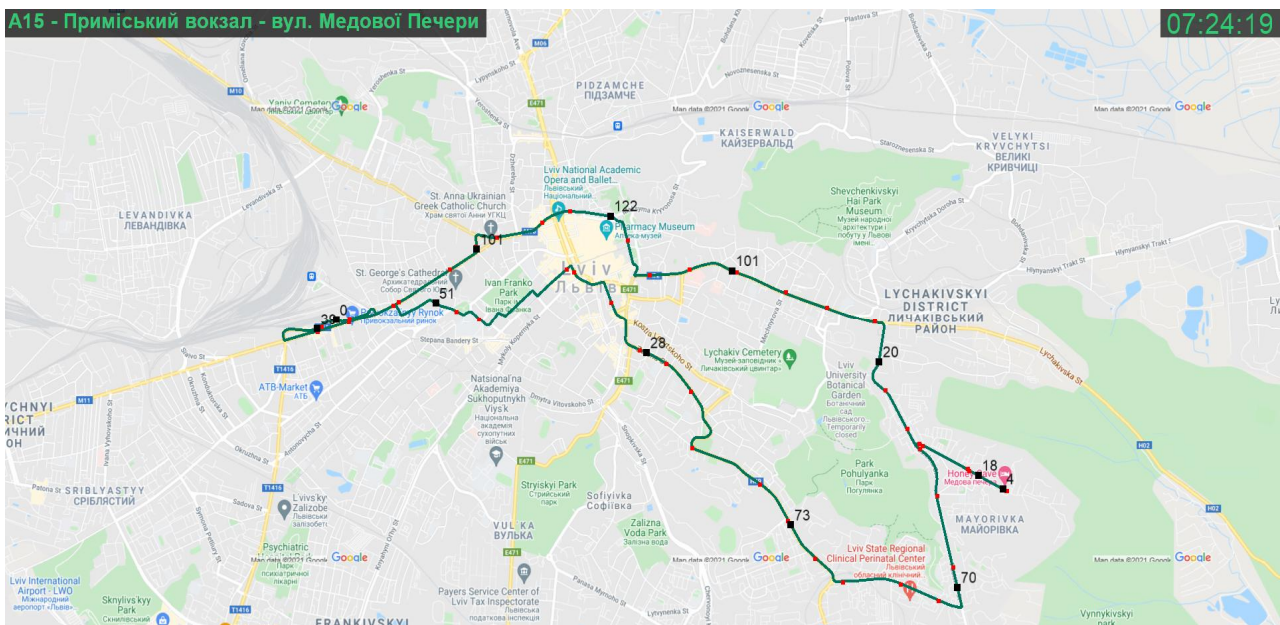


Рис. 14. Візуалізація режиму “на карті”

3. *Опис логічної структури.* Для розроблення використано значну кількість загальновідомих алгоритмів. Деякі з них більше налаштовані для роботи з конкретними, необхідними задачами проєкту, а деякі використано без змін. Для того, щоб перетворити дані GTFS формату на відповідні конструкції для використання в ІСВП, розроблено власний алгоритм, описаний у блок-схемі на рис. 16, а. Схему розробленої ШНМ подано на рис. 16, б. Цей алгоритм дає змогу спочатку отримати точки вибраного маршруту, потім точки зупинок на ньому й об'єднати ці дані, щоб зупинки були вже

на маршруті, а не окремо. Він також дає можливість позбутися зайвих точок і створити лінії геоданих для подальшого використання із метою обчислення 2D-візуалізації руху транспортних засобів на маршруті. Приклад вигляду описаного алгоритму у кодї наведеної нижче:

```

route.add_points(directions)
route.add_stops(stops)
route.make_stops_on_points()
self._combine_points()
self._combine_stops()
self._delete_same_points()
self._create_for_render()
self._create_geo_lines()
self._create_indexes_and_shortcuts()

```

Для відображення основних структурних елементів візуалізації існують три головні класи, а саме: Stop (зупинка), Line (перегін) та Vehicle (транспортний засіб). Усі ці класи успадковують батьківський клас Sprite (спрайт), модуля arcade. Відповідне успадкування дало змогу отримати всі необхідні можливості для відображення цих елементів на екрані. Його схему наведено на рис. 17.



Рис. 15. Візуалізація схематичного режиму ІСВП

Прогнозування нових пасажиропотоків відбувається за допомогою ШНМ, яка побудована на повнозв'язних шарах із використанням алгоритму RMSprop для здійснення МН. Розмір та склад ШНМ є сталим і не залежить від розмірності набору даних, на якому здійснюється МН. Наведений нижче уривок коду створює таку мережу:

```

model.add(keras.layers.Dense(24, input_dim=4, activation="relu"))
model.add(keras.layers.Dense(48, activation="relu"))
model.add(keras.layers.Dense(96, activation="relu"))
model.add(keras.layers.Dense(192, activation="relu"))
model.add(keras.layers.Dense(384, activation="relu"))
model.add(keras.layers.Dense(192, activation="relu"))
model.add(keras.layers.Dense(96, activation="relu"))
model.add(keras.layers.Dense(48, activation="relu"))
model.add(keras.layers.Dense(24, activation="relu"))
model.add(keras.layers.Dense(2))

```

Для зберігання GTFS даних у ІСВП використовується окрема БД. Чітко визначена структура та архітектура цієї БД дає змогу надійно і коректно зберігати формат даних GTFS із можливістю

подальшої швидкої взаємодії під час роботи ІСВП. Приклад побудови структури наведено на рис. 18, де зображено головні таблиці, наявні у стандарті типу подавання даних GTFS.

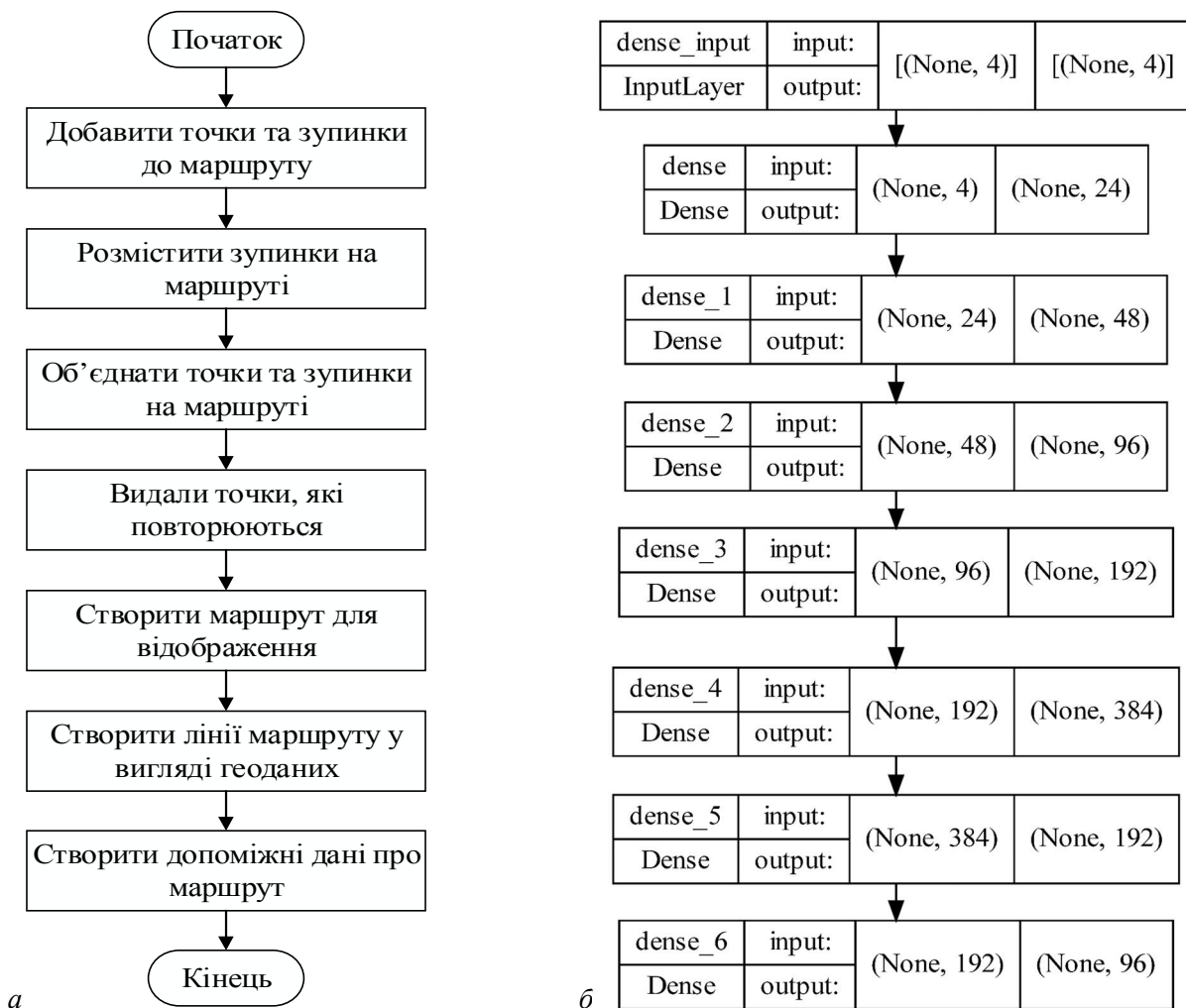


Рис. 16. Схеми: алгоритму роботи з GTFS даними (а); структури нейронної мережі (б)

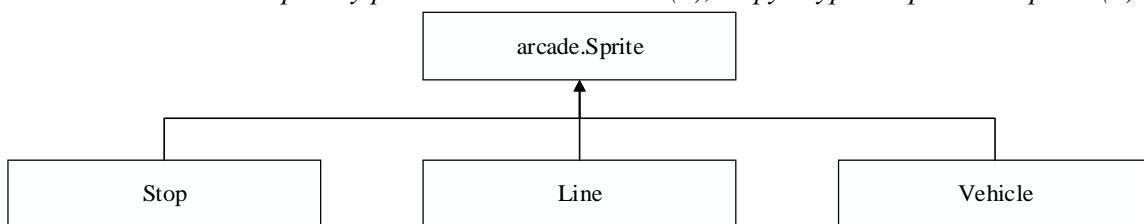


Рис. 17. Відображення успадкування класу Sprite

4. Використовувані технічні засоби. Цю ІСВП розроблено на платформі Windows із процесором Intel Core i5-6500. Можна використовувати або еквівалентний процесор іншого виробника або трохи менший за потужністю процесор, оскільки продуктивність цього процесора вибрано із запасом. У цьому випадку із помітних проблем може бути тільки збільшення часу для обчислення деяких підготовчих етапів роботи із даними. Для прикладу, у табл. 5 наведено кількість кадрів у разі довгого використання ПЗ, і як видно з табл. 5, ніякого витоку пам'яті чи втрати продуктивності немає.

Кількість кадрів протягом довготривалої роботи

Час від моменту запуску, хв	Кількість кадрів
0	522
5	501
10	518
15	506
20	509
25	495
30	507

5. Виклик і завантаження. ІСВП має можливість запускатися способом вибору виконуваного файла або, якщо користувач це зробить, то і ярлика ІСВП. Під час відкриття користувач завжди бачить головне меню ІСВП, яке виводитиметься у повноекранному режимі роботи.

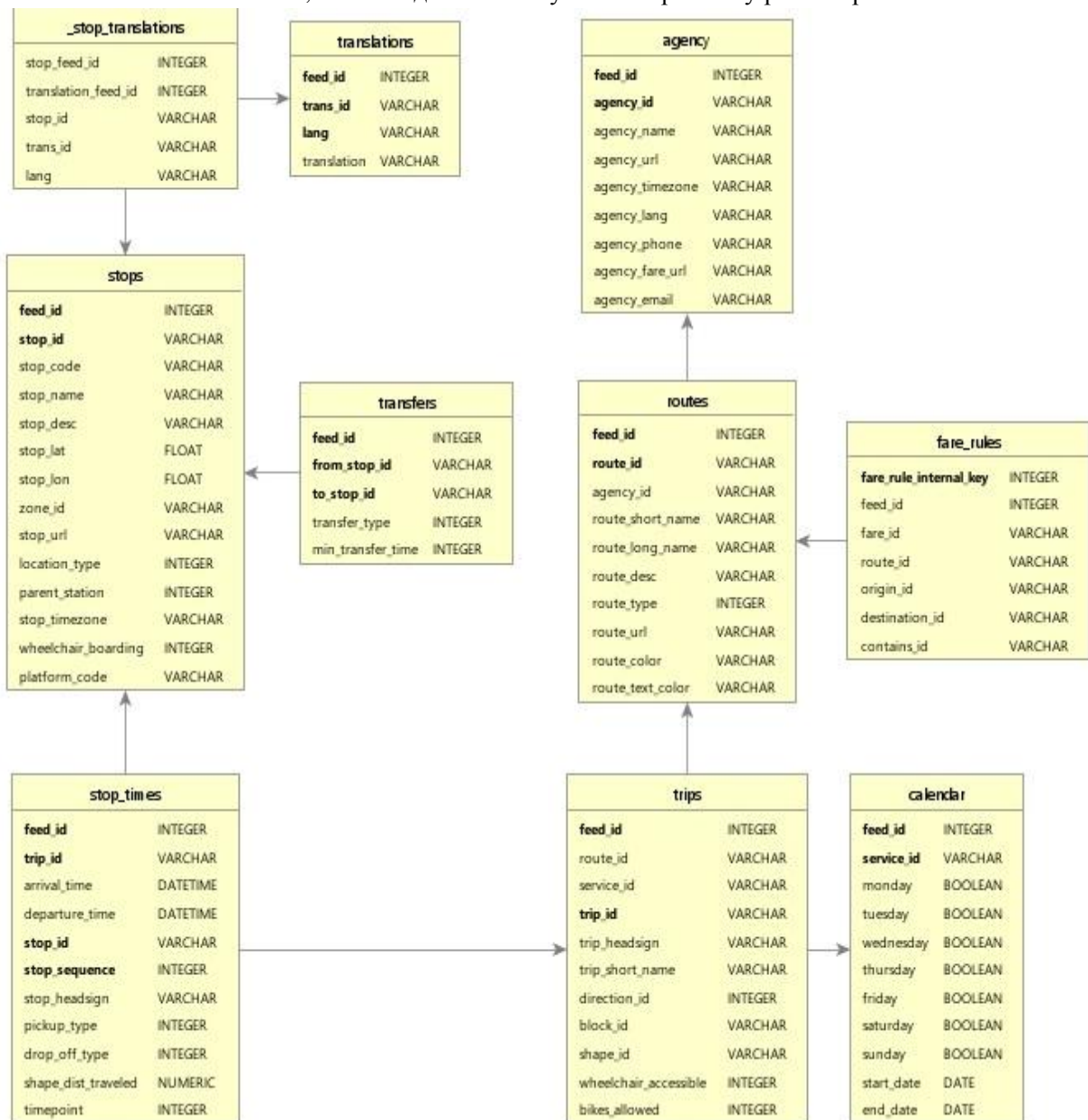


Рис. 18. Схема GTFS бази даних

6. Вхідні дані. Вхідні дані, які подають для цієї ІСВП, мають два загальні види. До першого

виду належать дані про маршрути транспортних засобів, їх початковий розклад та зупинки, які наводять у стилі міжнародного стандарту GTFS. Другий формат даних, у якому подаються дані про кількість пасажирів, – формат файлів Excel. Цей формат вибрано, оскільки форми просто заповнити, в принципі, будь-якому персоналу, який отримуватиме чи збиратиме дані. Для введення інформації про змінений розклад маршруту теж використовується подання даних у форматі Excel. Формат GTFS зберігається в архів з розширенням zip, а файли із даними у цьому архіві у форматі CSV із розширенням txt. Excel файли, звісно, мають власне розширення xls абоxlsx.

7. *Вихідні дані.* Загалом, ІСВП створює вихідні дані у двох виглядах. Перший – це тимчасовий шаблон для заповнення даних про пасажиропотоки у форматі Excel, а другий – візуальний вигляд подання, де використовується схематичний режим та режим “на карті”. А в схематичному режимі також є можливість створити додаткове відображення у формі різноманітних графіків. Після запуску ІСВП користувач бачить повноекранний інтерфейс, на якому розміщені основні засоби (кнопки) для взаємодії. Вигляд основного екрана наведено на рис. 19, а. Користувач відразу отримує доступ до послідовного використання меню програми для запуску візуалізації. На першому етапі користувач може вибрати архів з даними в форматі GTFS. Після цього з’явиться назва вибраного файла та можливість завантажити ці дані в ІСВП, а надалі ці дані будуть збережені та не потребуватимуть постійного завантаження, а лише у разі їх зміни. На рис. 19, б, для прикладу, наведено вибраний файл для завантаження у ІСВП. Наступним кроком після натискання клавіші “Завантажити GTFS дані” з’являється анімація завантаження даних, яка допомагає користувачеві зрозуміти, що відбувається процес і необхідно дочекатися, поки він успішно завершиться. Тобто користувач впевнений, що ІСВП не зависла, а працює нормально. Приклад відображення анімації наведено на рис. 20, а. Після успішного завантаження усіх даних можна скористатися кнопкою “Отримати маршрути”. Ця дія дасть змогу ІСВП завантажити наявний список усіх маршрутів і відразу вибере перший з них.

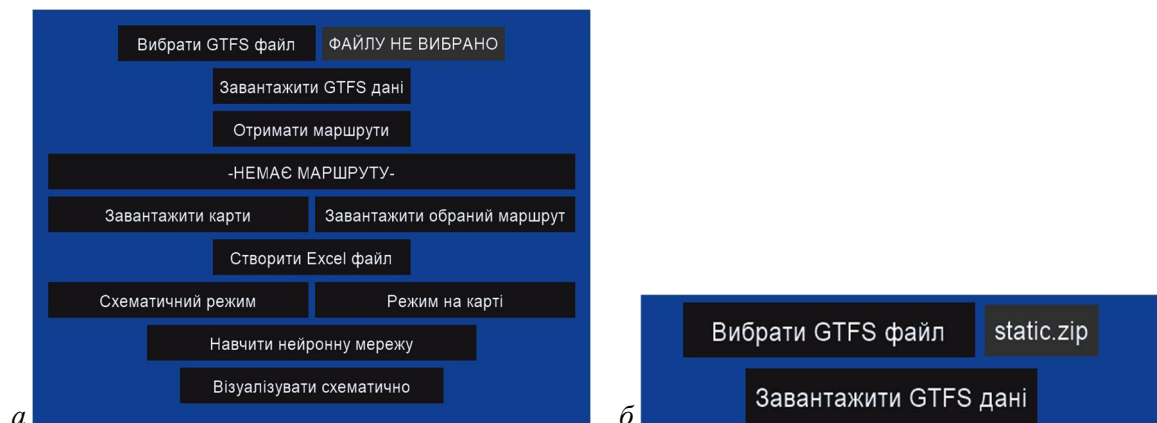


Рис. 19. Основний інтерфейс програми(а), вибраний файл для завантаження формату GTFS (б)

Також на екрані як текст розміщена повна назва цього маршруту, у кнопці замість напису “-НЕМАЄ МАРШРУТУ-”. Для кращого наочного сприйняття ця зміна після використання кнопки зображена на рис. 20, б. Після натискання кнопки, яка тепер відображає назву певного маршрут (для прикладу, вибрано маршрут “А01 – м. Дубляни – пл. Галицька”), відкриється повний список маршрутів. Цей список можна прокручувати коліщатком мишки для вибору потрібного маршруту.

Діалогове вікно, що містить повний список маршрутів, які можна вибрати, наведено на рис. 21, а. Кнопка “Завантажити карти” дає змогу здійснити завантаження карти для відображення на фоні у режимі роботи візуалізації “на карті”. Загалом ІСВП подає карти для м. Львова. Тому така дія може й оновити ці карти, якщо з’явиться така необхідність. Наступним кроком для користувача є можливість за допомогою кнопки “Завантажити обраний маршрут” виконати опрацювання даних вибраного маршруту для подальшого використання. Оскільки це відбувається теж не моментально, під час цього завантаження також відображається анімація цього процесу, наведено на рис. 21, б. Це триває недовго, максимум до декількох десятків секунд. Після успішного завантаження даних

конкретного вибраного маршруту користувач може вибрати можливість створити Excel файл, щоб заповнити його даними про пасажиропотоки на вибраному маршруті. У результаті натискання кнопки “Створити Excel файл” буде створено файл з назвою вибраного маршруту, наприклад, для маршруту A15 на рис. 22 – файл “A15.xlsx”. Після цього користувач заповнює цей файл відповідними пасажиропотоками для їх подальшої візуалізації. Фрагмент заповненого файла наведено на рис. 23.



Рис. 20. Завантаження GTFS файлів (а), відображення одного із отриманих маршрутів (б)

Натиснувши кнопку “Візуалізація на карті”, отримаємо на екрані відповідну візуалізацію маршруту з рухомими транспортними засобами (рис. 23). У цьому режимі можна вибрати зупинки та транспортні одиниці, що дасть змогу відкрити додаткову інформацію (рис. 24 та рис. 25). У режимі “на карті” зупинки позначаються малими червоними квадратами, а транспортні засоби, які переміщуються за маршрутом, більшими чорними квадратами. Біля позначки транспортного засобу виводиться числове значення кількості пасажирів у салоні. Цей спосіб візуалізації пасажиропотоків дає змогу збільшувати і зменшувати масштаб відображення маршруту та транспортних засобів. Для прикладу найменший масштаб наведено на рис. 26, а найбільший масштаб візуалізації пасажиропотоків на карті на рис. 27. Варто зазначити, що у правому верхньому куті екрана візуалізації є годинник, що вказує, у який момент відбувається сама візуалізація (рис. 28, а). У програмі за замовчуванням виставлено швидкість візуалізації переміщення транспортних засобів на маршруті: 1 секунда реального часу дорівнює 1 хвилині (60 секунд) часу програми. Її можна збільшувати або зменшувати, приклад наведено на рис. 28, б–в. Після натискання кнопки “Схематичний режим” користувач отримує на екрані схематичну візуалізацію маршруту, де зупинки зображені у вигляді кругових діаграм, а перегони – широкими смугами (рис. 29).

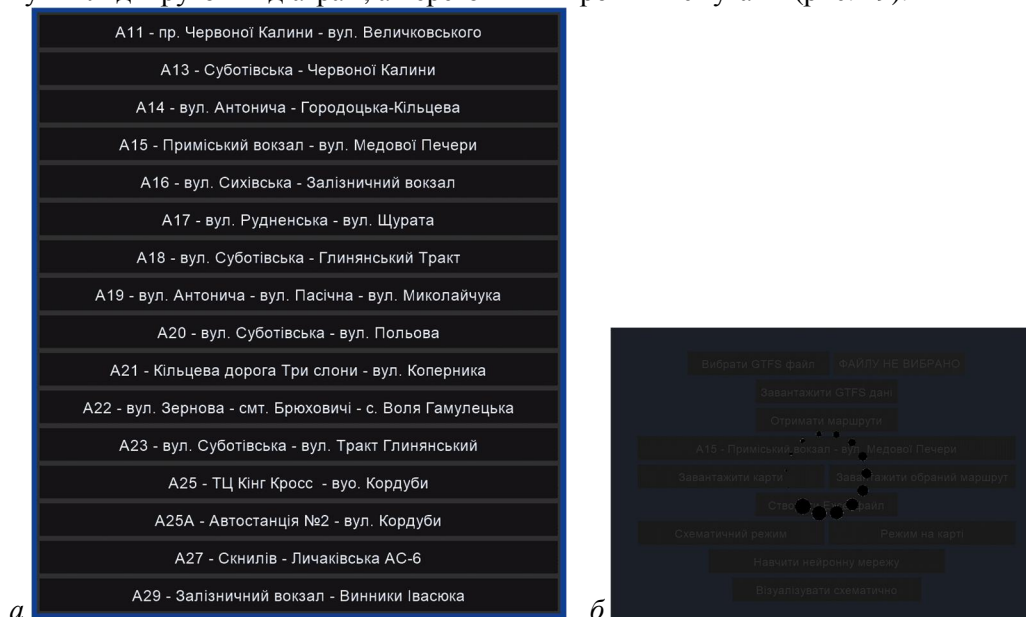


Рис. 21. Відображення повного списку маршрутів (а), завантаження конкретного маршруту (б)

	A	B	C	D	E	F
1	Зупинка	Час прибуття	Час відправлення	Перерва	Увійшло	Вийшло
2	Приміський вокзал (111) - 4848	06:29:45	06:30:15		39	0
3	Скриня (494) - 4703	06:32:49	06:33:11		3	0
4	Привокзальний ринок (749) - 44814	06:35:50	06:36:10		11	4
5	Кропивницького (18) - 4628	06:37:45	06:38:15		10	8
6	Собор Святого Юра (70) - 44238	06:39:47	06:40:05		15	11

Рис. 22. Фрагмент заповненого файлу з пасажиробміном

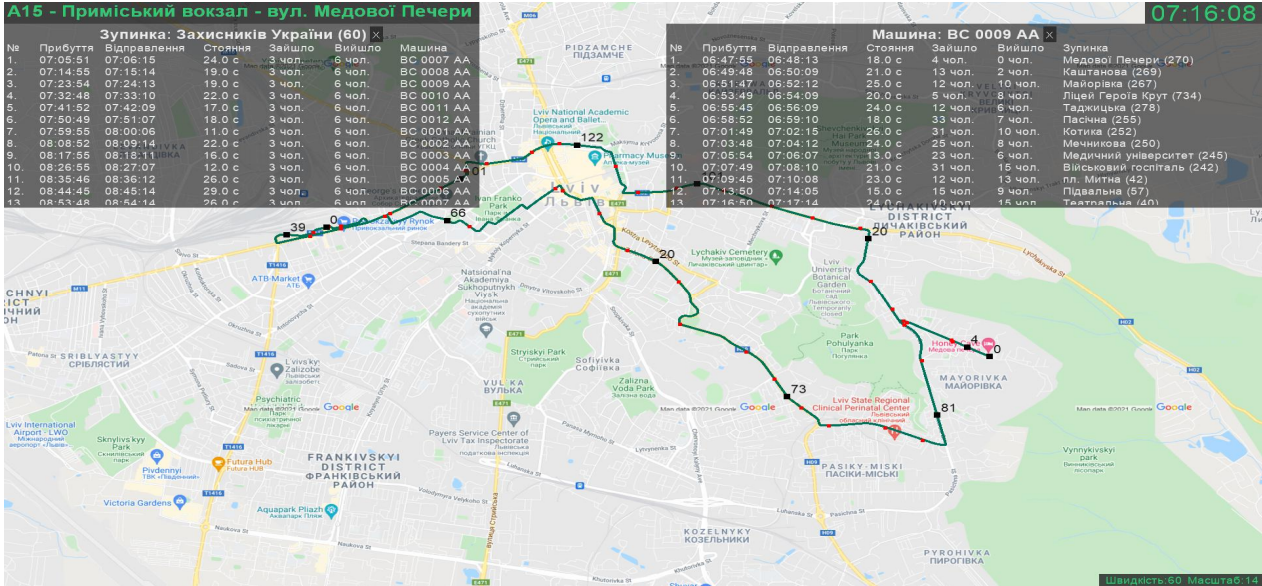


Рис. 23. Приклад вигляду візуалізації “на карті”

A15 - Приміський вокзал - вул. Медової Печери						
Зупинка: Захисників України (60)						
№	Прибуття	Відправлення	Стояння	Зайшло	Вийшло	Машина
1.	07:05:51	07:06:15	24.0 с	3 чол.	6 чол.	BC 0007 AA
2.	07:14:55	07:15:14	19.0 с	3 чол.	6 чол.	BC 0008 AA
3.	07:23:54	07:24:13	19.0 с	3 чол.	6 чол.	BC 0009 AA
4.	07:32:48	07:33:10	22.0 с	3 чол.	6 чол.	BC 0010 AA
5.	07:41:52	07:42:09	17.0 с	3 чол.	6 чол.	BC 0011 AA
6.	07:50:49	07:51:07	18.0 с	3 чол.	6 чол.	BC 0012 AA
7.	07:59:55	08:00:06	11.0 с	3 чол.	6 чол.	BC 0001 AA
8.	08:08:52	08:09:14	22.0 с	3 чол.	6 чол.	BC 0002 AA
9.	08:17:55	08:18:11	16.0 с	3 чол.	6 чол.	BC 0003 AA
10.	08:26:55	08:27:07	12.0 с	3 чол.	6 чол.	BC 0004 AA
11.	08:35:46	08:36:12	26.0 с	3 чол.	6 чол.	BC 0005 AA
12.	08:44:45	08:45:14	29.0 с	3 чол.	6 чол.	BC 0006 AA
13.	08:53:48	08:54:14	26.0 с	3 чол.	6 чол.	BC 0007 AA

Рис. 24. Інформаційне вікно щодо вибраної зупинки

A15 - Приміський вокзал - вул. Медової Печери						
Машина: BC 0009 AA						
№	Прибуття	Відправлення	Стояння	Зайшло	Вийшло	Зупинка
1.	06:47:55	06:48:13	18.0 с	4 чол.	0 чол.	Медової Печери (270)
2.	06:49:48	06:50:09	21.0 с	13 чол.	2 чол.	Каштанова (269)
3.	06:51:47	06:52:12	25.0 с	12 чол.	10 чол.	Майорівка (267)
4.	06:53:49	06:54:09	20.0 с	5 чол.	8 чол.	Ліцей Героїв Крут (734)
5.	06:55:45	06:56:09	24.0 с	12 чол.	6 чол.	Таджицька (278)
6.	06:58:52	06:59:10	18.0 с	33 чол.	7 чол.	Пасічна (255)
7.	07:01:49	07:02:15	26.0 с	31 чол.	10 чол.	Котика (252)
8.	07:03:48	07:04:12	24.0 с	25 чол.	8 чол.	Мечникова (250)
9.	07:05:54	07:06:07	13.0 с	23 чол.	6 чол.	Медичний університет (245)
10.	07:07:49	07:08:10	21.0 с	31 чол.	15 чол.	Військовий госпіталь (242)
11.	07:09:45	07:10:08	23.0 с	12 чол.	13 чол.	пл. Митна (42)
12.	07:13:50	07:14:05	15.0 с	15 чол.	9 чол.	Підвальна (57)
13.	07:16:50	07:17:14	24.0 с	10 чол.	15 чол.	Театральна (40)

Рис. 25. Інформаційне вікно щодо вибраного транспортного засобу

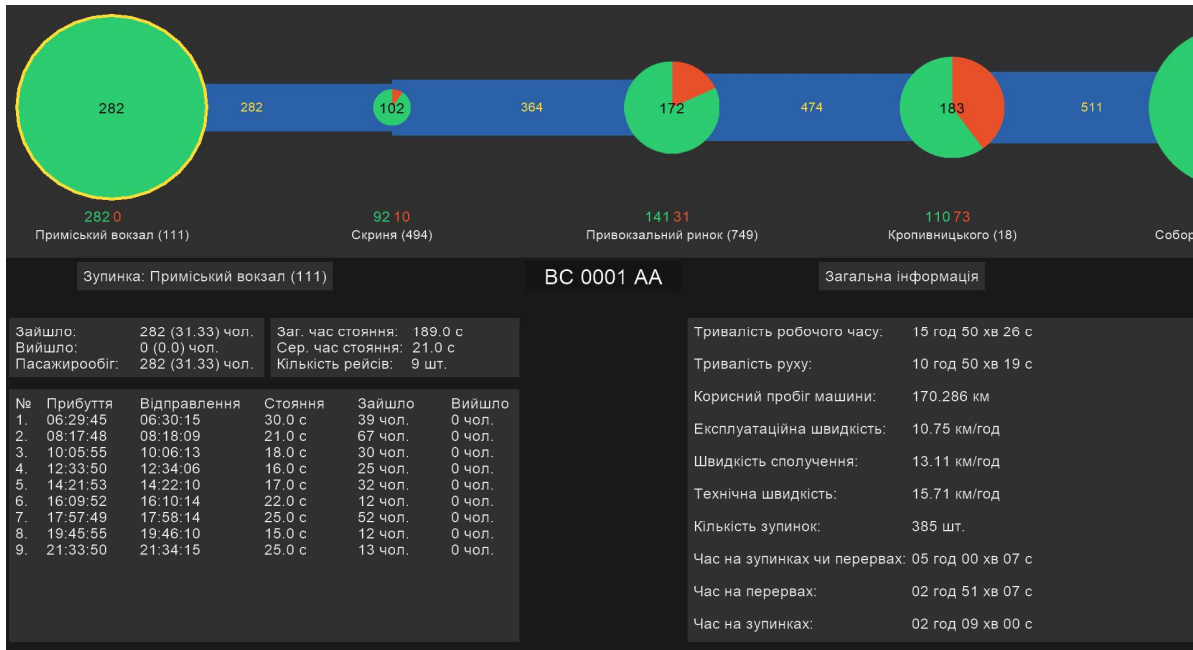


Рис. 29. Загальний вигляд схематичного режиму візуалізації пасажиропотоків



Рис. 30. Лінія маршруту

Зеленим кольором на круговій діаграмі зупинки (рис. 30) позначено кількість пасажирів, які увійшли в транспортний засіб, а червоним – які вийшли, щодо загального значення пасажирообороту. Розмір кола кожної зупинки обчислено для найбільшого пасажирообміну на маршруті. Перегін позначено синьою смугою між зупинками (рис. 30), на якій виведено числове значення пасажиропотоку. Ширина смуги залежить від співвідношення значення поточного пасажиропотоку та максимального його значення на всьому маршруті. Другим елементом інтерфейсу схематичного режиму є детальна інформація про зупинку, яку вибрав користувач (рис. 31, а) чи перегін (рис. 31, б). Верхня частина інтерфейсу містить назву зупинки та її код. Нижче, зліва, розташовані дані про кількість пасажирів, які увійшли та вийшли на вибраній зупинці, та загальний пасажирообіг. У дужках вказано середнє значення кожного параметра відносно кількості разів, коли цей транспортний засіб виконував зупинку протягом робочого дня. Справа від нього наведено блок з інформацією про загальний час стояння транспортного засобу на цій зупинці за весь робочий час на маршруті, середній час стоянки та кількість виконаних рейсів. Нижче поміщено блок з детальним розшифруванням даних щодо кожного здійсненого рейсу. Інтерфейс перегону виконано за схожою структурою (рис. 31, б). Він містить назву перегону зверху блоків, нижче зліва блок, який вказує на загальний пасажиропотік за робочий день, середній пасажиропотік щодо кількості виконаних рейсів та довжину шляху перегону. Блок правіше відповідає за відображення інформації про загальний час, який витратив транспортний засіб, щоб проїхати цей перегін, середній час проїзду на цьому перегоні та кількості виконаних рейсів. Великий блок знизу детально описує кожен із виконаних рейсів, додаючи такий показник, як середня швидкість, із якою рухався транспортний засіб на цьому перегоні.

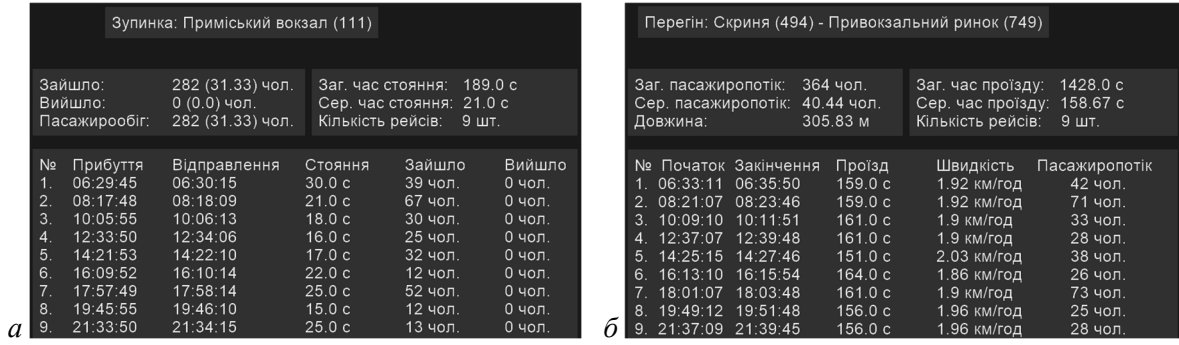


Рис. 31. Блоки з інформацією про вибрану зупинку (а) та вибраний перегін (б)

Третім елементом загального інтерфейсу схематичного режиму є загальна інформація про увесь маршрут (рис. 32) вибраного транспортного засобу: тривалість робочого часу водіїв, тривалість руху (тривалість перебування транспортного засобу в русі), корисний пробіг машини, експлуатаційна швидкість, швидкість сполучення, технічна швидкість, кількість зупинок, які зробив транспортний засіб на маршруті, час, проведений на зупинках чи перервах, час, відведений суто на перерви, та час очікування на зупинках. Якщо натиснути мишкою на два верхні блоки, зображені на рис. 31, б, відкриються графіки пасажирообігу на вибраній зупинці. Перший блок відкриє графік пасажирообігу для кожного рейсу (рис. 33, а), що має вигляд стовпчикових діаграм із позначенням штрихованою лінією середніх значень кожного із показників.

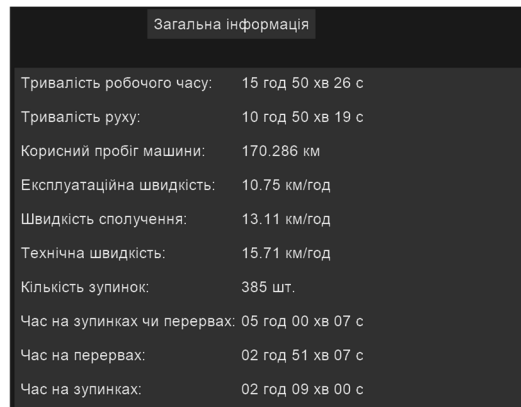


Рис. 32. Блок із загальною інформацією про маршрут

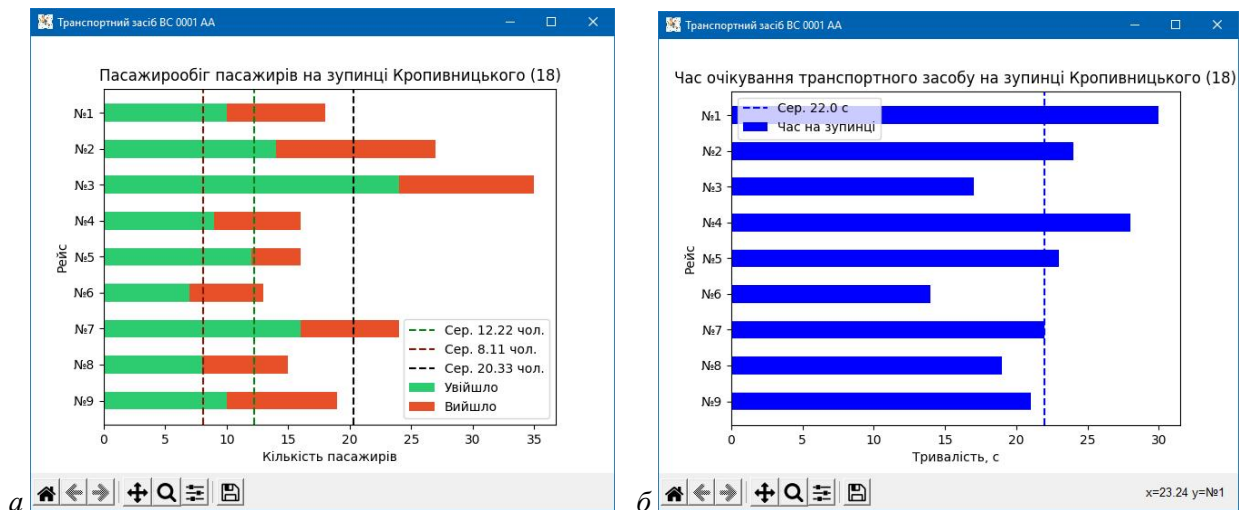


Рис. 33. Графік пасажирообігу на зупинці (а) та очікування транспортного засобу на зупинці (б)

Для простішого розуміння графіка на ньому відображається легенда із поясненням. Другий блок відкриває діаграму часу, проведеного транспортним засобом на зупинці протягом кожного рейсу (рис. 33. б), зі штрихованою лінією середнього значення. Вона дає змогу оцінити, на яких зупинках транспортна одиниця затримується. Відповідні графіки також викликають із тих самих блоків тільки для даних перегону (рис. 31. б). Це зображено на рис. 34. а та б. Функцію прогнозування реалізовано за допомогою ШНМ. Для її активації користувачеві необхідно натиснути на кнопку “Навчити нейронну мережу”. Програма перейде у режим МН, а користувачеві відобразиться екран завантаження. Після цього створюється файл (у цьому прикладі для вибраного раніше маршруту) “A15_new.xlsx”. Це файл користувач заповнює новим розкладом транспортного засобу (рис. 35).

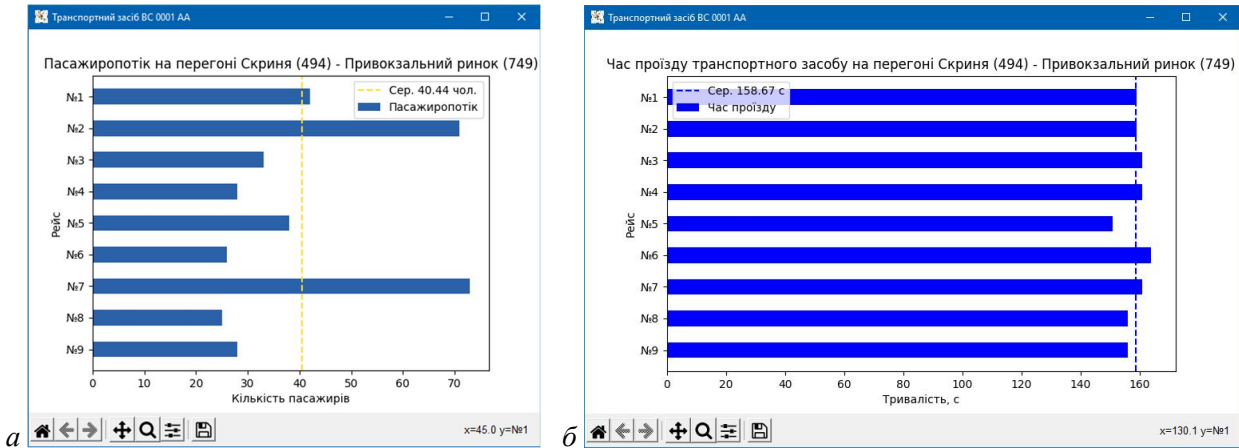


Рис. 34. Графік пасажиропотоку на перегоні (а) та часу проїзду транспортним засобом перегону (б)

	A	B	C	D
1	Зупинка	Час прибуття	Час відправлення	Перерва
2	Приміський вокзал (111) - 4848	07:29:50	07:30:10	
3	Скриня (494) - 4703	07:32:50	07:33:10	
4	Привокзальний ринок (749) - 44814	07:35:50	07:36:10	
5	Кропивницького (18) - 4628	07:37:50	07:38:10	
6	Собор Святого Юра (70) - 44238	07:39:50	07:40:10	

Рис. 35. Заповнений файл із новим розкладом

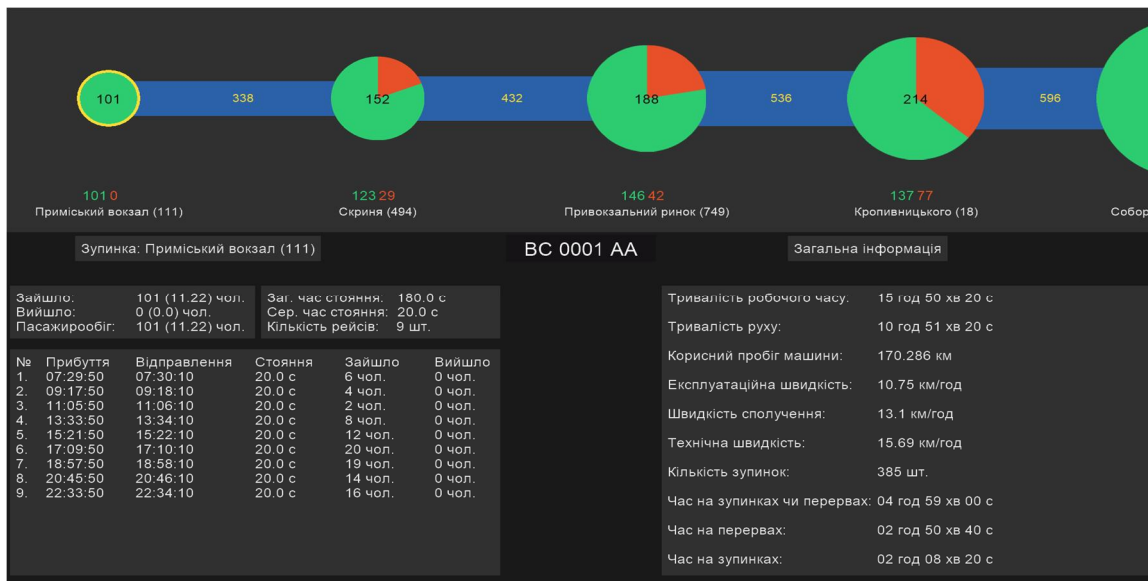


Рис. 36. Вигляд схематичного режиму із прогнозованими даними

Після заповнення файлу користувач має можливість вибрати кнопку “Візуалізувати схематично”. Згодом, після нетривалого завантаження, відбудеться прогнозування даних і відобразиться новий вигляд схематичного режиму з усіма описаними вище функціями (рис. 36).

Діаграму зміни пасажиропотоків у зв’язку із коригуванням розкладу маршруту зображено на рис. 37. Оранжевою лінією позначено прогнозовані пасажиропотоки, а синьою – фактичні. Це подання даних дає змогу оцінити, чи буде зміна розкладу сприятливою з погляду збільшення кількості перевезених пасажирів.

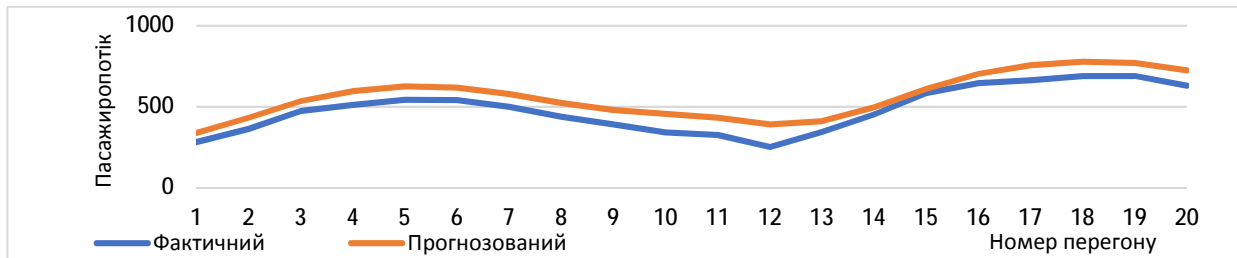


Рис. 37. Графік зміни пасажиропотоків

Висновки

Проблема динамічної 2D-візуалізації пасажиропотоків в умовах розвитку сучасного суспільства набула значної актуальності під час розроблення ІСВП, які спрямовані на модернізацію транспортних технологій сфери громадських перевезень. Щоб зробити роботу громадського транспорту зручнішою для мешканців міст, створено ІСВП, яка дає змогу візуалізувати пасажиропотоки, що сприятиме поліпшенню якості перевезень пасажирів у межах міста. Для досягнення поставленої мети у роботі вирішено завдання, спрямовані на створення такої ІСВП, яка б покращувала надання транспортних послуг із громадських перевезень. Вивчено та проаналізовано доступні та відомі наукові розробки та літературні джерела, у яких висвітлено переваги та недоліки різноманітних алгоритмів та методів, підходів та засобів для вирішення проблем 2D-візуалізації пасажиропотоків у містах. У результаті досліджень виявлено чіткий взаємозв’язок між факторами та критеріями, за якими можна здійснювати оцінку якості транспортних послуг із перевезення пасажирів. Це і вказує на актуальність вибраної теми роботи. Однак на вивчення пасажиропотоків науковців звертали недостатньо уваги, а ще на порядок менше – на візуалізацію громадських перевезень. Встановлено, що поняття пасажиропотоків є агрегацією таких понять, як пасажирообмін на зупинках та пасажиропотоки на перегонах. У результаті виконання системного аналізу проєктованої ІСВП у статті запропоновано структуру ІС 2D-візуалізації пасажиропотоків, а також визначено, який зв’язок ІСВП встановила із елементами зовнішнього світу. Для наочного відображення створено діаграми варіантів використання, класів, послідовності, станів та діяльності відповідно до нотації UML.

Для вирішення проблеми 2D-візуалізації пасажиропотоків сформовано набір вимог до ІСВП. Визначено, для чого інформаційна система необхідна, у чому полягає суть покращення якості надання послуг перевезення пасажирів на громадських маршрутах у містах. Обґрунтовано, що цільовими стейкхолдерами для упровадження ІСВП є державні, комунальні, приватні компанії та підприємства, що надають послуги громадських перевезень. Для пасажирів запропоновано інтелектуальну систему, яка сприяє зменшенню переповненості транспортних засобів, покращує розклад руху транспортних одиниць. Оскільки аналіз пасажиропотоків є нетривіальним завданням транспортних перевезень, на стадії ІСВП успішно вирішено найважливіші проблеми, пов’язані з вибором мови програмування, відповідних допоміжних бібліотек та ефективних БД. Обґрунтовано доцільність вибору мови програмування Python із основними модулями arcade, geopy, matplotlib, multiprocessing, openpxl, pygifs, tensorflow для 2D-візуалізації пасажиропотоків. За допомогою OpenGL забезпечено низькорівневий зв’язок із відрисовуванням графічних елементів. Ґрунтовно проаналізовано інші модулі та відібрано лише ті, які забезпечують найвищу ефективність для

створеної системи. Особливу роль у роботі ІСВП відведено використанню формату GTFS, що є міжнародно визнаним стандартом для форми подання даних маршрутів громадського транспорту. Це дало змогу зробити створений ІСВП універсальнішим. Розроблено унікальні власні алгоритми для створення візуалізації у двох режимах: схематично та “на карті”. У другому режимі також успішно реалізовано спосіб обчислення даних переміщення транспортних засобів для візуалізації на площині екрана, враховуючи справжні значення географічних координат у реальному світі, що дало змогу уникнути зайвих похибок та заокруглень у розрахунках. Описано функціонування розробленого ІСВП для здійснення 2D-візуалізації пасажиропотоків, що відповідає структурі, визначеній міжнародними стандартами опису ПЗ. Виконання контрольного прикладу 2D-візуалізації пасажиропотоків у динамічній моделі на основі OpenGL підтвердило працездатність розробленого ІСВП та довело відповідність результатів поставленим завданням. Створено ШНМ з використанням алгоритму навчання RMSprop, що прогнозує, як зміняться обсяги пасажиропотоків у разі зміни розкладу руху транспортного засобу на маршруті. Отримані результати дають змогу обґрунтувати доцільність корегування розкладу транспортного засобу, який перебуває на маршруті, для ефективнішого використання ділянок маршруту в час пік.

Список літератури

1. Matseliukh, Y., Vysotska, V., Bublyk, M. (2020). Intelligent System of Visual Simulation of Passenger Flows. *CEUR workshop proceedings*. Vol. 2604. P. 906–920.
2. Matseliukh, Y., Bublyk, M., Vysotska, V. (2021). Development of intelligent system for visual passenger flows simulation of public transport in Smart City based on neural network. *CEUR Workshop Proceedings*. Vol. 2870. P. 1087–1138.
3. Bublyk, M., Matseliukh, Y., Motorniuk, U., Terebukh, M. (2020). Intelligent System of Passenger Transportation by Autopiloted Electric Buses in Smart City. *CEUR workshop proceedings*. Vol. 2604. P. 1280–1294.
4. Литвин, В. В., Бублик, М. І., Висоцька, В. А., Мацелюх, Ю. Р. (2021). Технологія візуальної симуляції пасажиропотоків у сфері громадського транспорту Smart City. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. Вип. 4 (59). С. 106–121. DOI: 10.15588/1607-3274-2021-4-10.
5. Matseliukh, Y., Vysotska, V., Bublyk, M., Kopach, T., Korolenko, O. (2021). Network Modelling of Resource Consumption Intensities in Human Capital Management in Digital Business Enterprises by the Critical Path Method. *CEUR Workshop Proceedings*. Vol. 2851. P. 366–380.
6. Bublyk, M., Zahreva, Y., Vysotska, V., Matseliukh, Y., Chyrun, L., Korolenko, O. (2022). Information system development for recording offenses in smart city based on cloud technologies and social networks. *Webology*. Vol. 19(2). P. 1870–1898.
7. Bublyk, M., Kalynii, T., Varava, L., Vysotska, V., Chyrun, L., Matseliukh, Y. (2022). Decision support system design for low voice emergency medical calls at smart city based on chatbot management in social networks. *Webology*. Vol. 19(2). P. 2135–2178.
8. Kubinska, S., Vysotska, V., Matseliukh, Y. (2021). User mood recognition and further dialog support. *Computer science and information technologies : proceedings of IEEE 16th International conference, Lviv, Ukraine, 22–25 September, 2021*. P. 34–39. DOI: 10.1109/CSIT52700.2021.9648610.
9. Krislata, I., Katrenko, A., Lytvyn, V., Vysotska, V., Burov, Y. (2020). Traffic flows system development for smart city. *CEUR Workshop Proceedings*. Vol. 2565. P. 280–294.
10. Katrenko, A., Krislata, I., Veres, O., Oborska, O., Basyuk, T., Vasyliuk, A., Rishnyak, I., Demyanovskyi, N., Meh, O. (2020). Development of Traffic Flows and Smart Parking System for Smart City. *CEUR workshop proceedings*. Vol. 2604. P. 730–745.
11. Boreiko, O. Y., Teslyuk, V. M., Zelinskyy, A., Berezsky, O. (2017). Development of models and means of the server part of the system for passenger traffic registration of public transport in the “smart” city. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. No. 1(2-85). P. 40–47.
12. Boreiko, O., Teslyuk, V. (2017). Model of data collection controller of automated processing systems for passenger traffic public transport smart city based on petri nets. *Advanced Information and Communication Technologies, AICT 2017 : proceedings International Conference*. P. 62–65. DOI: 10.1109/AICT.2017.8020066.
13. Boreiko, O., Teslyuk, V. (2016). Structural model of passenger counting and public transport tracking

system of smart city. *Perspective Technologies and Methods in MEMS Design*, MEMSTECH 2016: proceedings of 12th International Conference. P. 124–126. DOI: 10.1109/MEMSTECH.2016.7507533.

14. Litvinenko, V., Savina, N., Krejci, J., Voronenko, M., Yakobchuk, M., Kryvoruchko, O. (2019). Bayesian Networks' Development Based on Noisy-MAX Nodes for Modeling Investment Processes in Transport. *CEUR workshop proceedings*. Vol. 2386. P. 1–10.

15. Shynkarenko, V., Zhuchyi, L. (2021). Ontological Harmonization of Railway Transport Information Systems. *CEUR Workshop Proceedings*. Vol. 2870. P. 541–554.

16. Shpak, N., Mykytiuk, O., Dvulit, Z., Maznyk, L., Horbal, N. (2021). Simulation the Attractiveness of Transport Services as a Tool for Assessing Consumer Loyalty in the Digital Epoch. *CEUR Workshop Proceedings*. Vol. 2870. P. 1500–1510.

17. Mochurad, L., Boyko, N., Bortnikova, M. (2020). Parallel Approach of the Algorithm of Finding the Optimal Solution of the Transport Problem by the Method of Potentials. *CEUR workshop proceedings*. Vol. 2604. P. 952–963.

18. Fomenko, A., Vyshnia, V. (2019). Specialized Automated System for Control and Support of Rail Cargo Transportation. *International Journal of Computing*. Vol. 18(2). P. 191–200. DOI: doi.org/10.47839/ijc.18.2.1417.

19. Basto, V., Freitas, V. (2005). Distributed QoS multimedia transport. *Distributed Frameworks for Multimedia Applications: proceedings First International Conference, DFMA '05*. P. 15–21. DOI: 10.1109/DFMA.2005.25.

20. Basto, V., Freitas, V., (2005). A QoS distributed transport service. *Computer Systems and Applications: 3rd ACS/IEEE International Conference*. P. 921–926. DOI: 10.1109/AICCSA.2005.1387155.

21. Li, W., Zhu, W. (2016). A dynamic simulation model of passenger flow distribution on schedule-based rail transit networks with train delays. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*. Vol. 3(4). P. 364–373. DOI: 10.1016/j.jtte.2015.09.009.

22. Bachelet ,B., Yon, L. (2005). Enhancing theoretical optimization solutions by coupling with simulation. *1st open international conference on modeling and simulation (OICMS)*. Clermont-Ferrand. P. 331–342.

23. Voorhees, A. M. (2013). General Theory of Traffic Movement. *Transportation*. Vol. 40(6). P. 1105–1116.

24. Горбачев, П. Ф., Любый, Е. В., Полад, А. Д. (2016). К вопросу об определении ёмкости высших транспортных районов по прибытию и отправлению пассажиров. *Наукові нотатки: міжвуз. зб.* № 56. С. 47–54.

25. Han, Y., et al. (2019). Short-Term prediction of bus passenger flow based on a hybrid optimized LSTM network. *ISPRS international journal of geo-information*. Vol. 8(9). P. 366. DOI: doi.org/10.3390/ijgi8090366.

26. Горбачев, П. Ф. (2007). Методика определения вида функции привлекательности пути следования в городе. *Автомобильный транспорт*. № 20. С. 122–124.

27. Нефедов, Н. А., Альберт, А. Дж. (2014). Экспериментальное исследование вероятности выбора пассажиром маршрута следования. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. Т. 2 С. 40–41.

28. Чумаченко, И. В. и др. (2017). Оценка качества перевозки пассажиров городским транспортом при различном количестве транспортных средств, работающих на маршруте. *Наука и техника*. Т. 16, № 5. С. 415–421.

29. Cronin, J. J., Taylor, S. A. (1992). Measuring service quality: a reexamination and extension. *Journal of marketing*. Vol. 56(3). P. 55–68. DOI: 10.2307/1252296.

30. Parasuraman, A., Zeithaml, V. A., Berry, L. L. (1988). SERVQUAL: a multiple item scale for measuring consumer perceptions of service quality. *Journal of retailing*. Vol. 64(1). P. 12–37.

31. Beirão, G., Cabral S. (2006). Enhancing service quality in public transport systems. *Faculty of engineering. XII: urban transport and the environment in the 21st century*. P. 837–845.

32. Friman, M., Fellesson, M. (2009). Service supply and customer satisfaction in public transportation: the quality paradox. *Journal of public transportation*. Vol. 12(4). P. 57–69. DOI: 10.5038/2375-0901.12.4.4.

33. Давідіч, Н. В., Чумаченко, І. В. (2016). Моніторинг впливу параметрів системи міського пасажирського транспорту на якість обслуговування населення. *Комунальне господарство міст*. № 128. С. 89–93.

34. Marcucci, E., et al. (2011). Local public transport, service quality and tendering contracts in Venezia.

Urban sustainable mobility, Milan. P. 1–14.

35. Стригунова, М. Н., Никитюк, М. А. (2011). Причинно-следственный анализ факторов, влияющих на качество пассажирских автотранспортных услуг. *Якість технологій та освіти*. № 2. С. 14–18.
36. Ojo, T. K., Mireku, D. O., Dauda, S. (2014). Service quality and customer satisfaction of public transport on cape coast-acra route, ghana. *Developing country studies*. Vol. 4(18). P. 142–149.
37. Горбачов, П. Ф., Копитков, Д. М. (2008). Оцінка реакції пасажира на час очікування міського пасажирського транспорту. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. № 31. С. 40–42.
38. Россолов, А. В. (2013). Закономерности формирования спроса на услуги городского пассажирского транспорта. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. Т. 4, № 3. С. 8–10.
39. Nallusamy, R., Duaiswamy, K., Dhanalaksmi, R. (2009). Optimization of multiple vehicle routing problems using approximation algorithms. *International journal of engineering science and technology*. Vol. 1(3). P. 129–135.
40. Горбачев, П. Ф., Россолов, А. В., Костенко, К. В. (2011). Интервальное моделирование спроса на трудовые передвижения в крупнейших городах. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. № 159. С. 248–253.
41. Yu, B., Yang, Z. (2005). Optimizing bus transit network with parallel ant colony algorithm. *Proceedings of the eastern asia society for transportation studies*. No. 5. P. 374–389.
42. Горбачев, П. Ф., Крикун, В. И., Полад, А. Д. (2013). Моделирование спроса на перевозку пассажиров в пригородном сообщении. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. Т. 2, № 3. С. 12–15.
43. Afandizadeh, S., Khaksar, H., Kalantari, N. (2012). Bus fleet optimization using genetic algorithm a case study of Mashhad. *International journal of civil engineering*. Vol. 11. P. 43–52.
44. Yang, Z., Yu, B., Cheng, C. (2007). A parallel ant colony algorithm for bus network optimization. *Computer-Aided civil and infrastructure engineering*. Vol. 22(1). P. 44–55. DOI: 10.1111/j.1467-8667.2006.00469.x.
45. Kour, P., Jasrotia, A., Gupta S. (2020). Understanding the impact of airport service quality on passengers' revisit intentions amidst Covid-19 pandemic. *Enlightening tourism: a pathmaking journal*. Vol. 10(2). P. 358–386. DOI: 10.33776/et.v10i2.4943.
46. Petrov, A. I., Petrova, D. A. (2021). Open business model of COVID-19 transformation of an urban public transport system: the experience of a large russian city. *Journal of open innovation: technology, market, and complexity*. Vol. 7(3). P. 171. DOI: 3390/joitmc7030171.
47. Rodríguez-Rueda, P. J., et al. (2021). Origin-Destination matrix estimation and prediction from socioeconomic variables using automatic feature selection procedure-based machine learning model. *Journal of urban planning and development*. Vol. 147(4). P. 04021056. DOI: 10.1061/(asce)up.1943-5444.0000763.
48. Grgurević, I., Juršić, K., Rajič, V. (2021). Review of automatic passenger counting systems in public urban transport. *5th EAI international conference on management of manufacturing systems*. Cham, P. 1–15. URL: DOI: 10.1007/978-3-030-67241-6_1.
49. Jiao, F., et al. (2021). An improved STL-LSTM model for daily bus passenger flow prediction during the COVID-19 pandemic. *Sensors*. Vol. 21(17). P. 5950. DOI: 10.3390/s21175950.
50. Lee, J.-H., et al. (2021). Spatiotemporal distributions of population in Seoul: joint influence of ridership and accessibility of the subway system. *EPJ data science*. Vol. 10 (1). DOI: 10.1140/epjds/s13688-021-00298-3.
51. Zhang, Y., Ng, S. T. (2021). Unveiling the rich-club phenomenon in urban mobility networks through the spatiotemporal characteristics of passenger flow. *Physica A: statistical mechanics and its applications*. Vol. 584. P. 126377. DOI: 10.1016/j.physa.2021.126377.
52. Ristov, P., et al. (2015). Information system supported by RFID technology in the process of sale and control of the tickets in ship's passenger traffic. *Naše more*. Vol. 62(1). P. 8–15. DOI: 10.17818/nm.1.9.2015.
53. Gao, C., et al. (2021). A novel method to identify influential stations based on dynamic passenger flows. *SCIENTIA SINICA Informationis*. Vol. 51(9). P. 1490-1506. DOI: 10.1360/ssi-2020-0303.
54. Wang, Y., et al. (2021). Multiposition joint control in transfer station considering the nonlinear characteristics of passenger flow. *Journal of transportation engineering, part A: systems*. Vol. 147(10). P. 04021068. DOI: 10.1061/jtepbs.0000564.

References

1. Matseliukh, Y., Vysotska, V., Bublyk, M. (2020). Intelligent System of Visual Simulation of Passenger Flows. *CEUR workshop proceedings*, Vol. 2604, 906–920.
2. Matseliukh, Y., Bublyk, M., Vysotska, V. (2021). Development of intelligent system for visual passenger flows simulation of public transport in Smart City based on neural network. *CEUR Workshop Proceedings*, Vol. 2870, 1087–1138.
3. Bublyk, M., Matseliukh, Y., Motorniuk, U., Terebukh, M. (2020). Intelligent System of Passenger Transportation by Autopiloted Electric Buses in Smart City. *CEUR workshop proceedings*, Vol. 2604, 1280–1294.
4. Lytvyn, V. V., Bublyk, M. I., Vysotska, V. A., Matseliukh, Yu. R. (2021). Technology of visual simulation of passenger flows in the field of Smart City public transport. *Radio electronics, informatics, management*, No. 4(59), 106–121. DOI: 10.15588/1607-3274-2021-4-10.
5. Matseliukh, Y., Vysotska, V., Bublyk, M., Kopach, T., Korolenko, O. (2021). Network Modelling of Resource Consumption Intensities in Human Capital Management in Digital Business Enterprises by the Critical Path Method. *CEUR Workshop Proceedings*, Vol. 2851, 366–380.
6. Bublyk, M., Zahreva, Y., Vysotska, V., Matseliukh, Y., Chyrun, L., Korolenko, O. (2022). Information system development for recording offenses in smart city based on cloud technologies and social networks. *Webology*, Vol. 19(2), 1870–1898.
7. Bublyk, M., Kalynii, T., Varava, L., Vysotska, V., Chyrun, L., Matseliukh, Y. (2022). Decision support system design for low voice emergency medical calls at smart city based on chatbot management in social networks. *Webology*, Vol. 19(2), 2135–2178.
8. Kubinska, S., Vysotska, V., Matseliukh, Y. (2021). User mood recognition and further dialog support. *Computer science and information technologies : proceedings of IEEE 16th International conference, Lviv, Ukraine, 22–25 September, 2021*, 34–39. DOI: 10.1109/CSIT52700.2021.9648610.
9. Krislata, I., Katrenko, A., Lytvyn, V., Vysotska, V., Burov, Y. (2020). Traffic flows system development for smart city. *CEUR Workshop Proceedings*, Vol. 2565, 280–294.
10. Katrenko, A., Krislata, I., Veres, O., Oborska, O., Basyuk, T., Vasyliuk, A., Rishnyak, I., Demyanovskyi, N., Meh, O. (2020). Development of Traffic Flows and Smart Parking System for Smart City. *CEUR workshop proceedings*, Vol. 2604, 730–745.
11. Boreiko, O. Y., Teslyuk, V. M., Zelinskyy, A., Berezsky, O. (2017). Development of models and means of the server part of the system for passenger traffic registration of public transport in the “smart” city. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, No. 1(2–85), 40–47.
12. Boreiko, O., Teslyuk, V. (2017). Model of data collection controller of automated processing systems for passenger traffic public transport smart city based on petri nets. *Advanced Information and Communication Technologies, AICT 2017: proceedings International Conference*, 62–65. DOI: 10.1109/AIACT.2017.8020066.
13. Boreiko, O., Teslyuk, V. (2016). Structural model of passenger counting and public transport tracking system of smart city. *Perspective Technologies and Methods in MEMS Design, MEMSTECH 2016: proceedings of 12th International Conference*, 124–126. DOI: 10.1109/MEMSTECH.2016.7507533.
14. Litvinenko, V., Savina, N., Krejci, J., Voronenko, M., Yakobchuk, M., Kryvoruchko, O. (2019). Bayesian Networks' Development Based on Noisy-MAX Nodes for Modeling Investment Processes in Transport. *CEUR workshop proceedings*, Vol. 2386, 1–10.
15. Shynkarenko, V., Zhuchyi, L. (2021). Ontological Harmonization of Railway Transport Information Systems. *CEUR Workshop Proceedings*, Vol. 2870, 541–554.
16. Shpak, N., Mykytiuk, O., Dvulit, Z., Maznyk, L., Horbal, N. (2021). Simulation the Attractiveness of Transport Services as a Tool for Assessing Consumer Loyalty in the Digital Epoch. *CEUR Workshop Proceedings*, Vol. 2870, 1500–1510.
17. Mochurad, L., Boyko, N., Bortnikova, M. (2020). Parallel Approach of the Algorithm of Finding the Optimal Solution of the Transport Problem by the Method of Potentials. *CEUR workshop proceedings*, Vol. 2604, 952–963.
18. Fomenko, A., Vyshnia, V. (2019). Specialized Automated System for Control and Support of Rail Cargo Transportation. *International Journal of Computing*, Vol. 18(2), 191–200. DOI: doi.org/10.47839/ijc.18.2.1417.
19. Basto, V., Freitas, V. (2005). Distributed QoS multimedia transport. *Distributed Frameworks for Multimedia Applications: proceedings – First International Conference, DFMA '05*, 15–21. DOI: 10.1109/DFMA.2005.25.

20. Basto, V., Freitas, V., (2005). A QoS distributed transport service. *Computer Systems and Applications: 3rd ACS/IEEE International Conference*, 921–926. DOI: 10.1109/AICCSA.2005.1387155.
21. Li, W., Zhu, W. (2016). A dynamic simulation model of passenger flow distribution on schedule-based rail transit networks with train delays. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, Vol. 3(4), 364–373. URL: DOI: 10.1016/j.jtte.2015.09.009.
22. Bachelet, B., Yon, L. (2005). Enhancing theoretical optimization solutions by coupling with simulation. *1st open international conference on modeling and simulation (OICMS)*. Clermont-Ferrand, 331–342.
23. Voorhees, A. M. (2013). General Theory of Traffic Movement. *Transportation*, Vol. 40(6), 1105–1116.
24. Gorbachev, P. F., Lyubiy, E. V., Polad, A. D. (2016). To the question of determining the capacity of higher transport areas upon arrival and departure of passengers. *Interuniversity collection "Scientific Notes"*, No. 56, 47–54.
25. Han, Y., et al. (2019). Short-Term prediction of bus passenger flow based on a hybrid optimized LSTM network. *ISPRS international journal of geo-information*, Vol. 8(9), 366. DOI: doi.org/10.3390/ijgi8090366.
26. Gorbachev, P. F. (2007). The method of determining the type of attractiveness function of the route in the city. *Automobile transport*, No. 20, 122–124.
27. Nefedov, N. A., Albert, A. J. (2014). Experimental study of the probability of a passenger choosing a route. *Eastern European journal of advanced technologies*, No. 2(3), 40–41.
28. Chumachenko, I. V., et al. (2017). Assessment of the quality of passenger transportation by city transport with different numbers of vehicles operating on the route. *Science and technology*, No. 16(5), 415–421.
29. Cronin, J. J., Taylor, S. A. (1992). Measuring service quality: a reexamination and extension. *Journal of marketing*, Vol. 56(3), 55–68. DOI: 10.2307/1252296.
30. Parasuraman, A., Zeithaml, V. A., Berry, L. L. (1988). SERVQUAL: a multiple item scale for measuring consumer perceptions of service quality. *Journal of retailing*, Vol. 64(1), 12–37.
31. Beirão, G., Cabral S. (2006). Enhancing service quality in public transport systems. *Faculty of engineering. XII: urban transport and the environment in the 21st century*, 837–845.
32. Friman, M., Fellesson, M. (2009). Service supply and customer satisfaction in public transportation: the quality paradox. *Journal of public transportation*, Vol. 12(4), 57–69. DOI: 10.5038/2375-0901.12.4.4.
33. Davidich, N. V., Chumachenko, I. V. (2016). Monitoring the influence of parameters of the urban passenger transport system on the quality of public service. *Communal management of cities*, No. 128, 89–93.
34. Marcucci, E., et al. (2011). Local public transport, service quality and tendering contracts in Venezia. *Urban sustainable mobilità*, Milan, 1–14.
35. Strygunova, M.N., Nikityuk, M.A. (2011). Causal-investigative analysis of factors influencing the quality of passenger transport services. *Quality of technology and education*, No. 2, 14–18.
36. Ojo, T. K., Mireku, D. O., Dauda, S. (2014). Service quality and customer satisfaction of publictransport on cape coast-accra route, ghana. *Developing country studies*, Vol. 4(18), 142–149.
37. Gorbachev, P. F., Kopytkov, D. M. (2008). Evaluation of the passenger's reaction to the waiting time of city passenger transport. *Eastern European journal of advanced technologies*, No. 31, 40–42.
38. Rossolov, A. V. (2013). Patterns of formation of demand for urban passenger transport services. *Eastern European journal of advanced technologies*, No. 4(3), 8–10.
39. Nallusamy, R., Duaiswamy, K., Dhanalaksmi, R. (2009). Optimization of multiple vehicle routing problems using approximation algorithms. *International journal of engineering science and tecnologia*, Vol. 1(3), 129–135.
40. Gorbachev, P. F., Rossolov, A. V., Kostenko, K. V. (2011). Interval modeling of demand for labor movements in the largest cities. *Bulletin of the Eastern Ukrainian National*, No. 159, 248–253.
41. Yu, B., Yang, Z. (2005). Optimizing bus transit network with parallel ant colony algorithm. *Proceedings of the eastern asia society for transportation studies*, No. 5, 374–389.
42. Gorbachev, P. F., Krykun, V. I., Polad, A. D. (2013). Modeling of demand for passenger transportation in suburban traffic. *Eastern European journal of advanced technologies*, No. 2(3), 12–15.
43. Afandizadeh, S., Khaksar, H., Kalantari, N. (2012). Bus fleet optimization using genetic algorithm a case study of Mashhad. *International journal of civil engineering.*, Vol. 11, 43–52.
44. Yang, Z., Yu, B., Cheng, C. (2007). A parallel ant colony algorithm for bus network optimization. *Computer-Aided civil and infrastructure engineering*, Vol. 22(1), 44–55. DOI: 10.1111/j.1467-8667.2006.00469.x.
45. Kour, P., Jasrotia, A., Gupta S. (2020). Understanding the impact of airport service quality on passengers'

revisit intentions amidst covid-19 pandemic. *Enlightening tourism: a pathmaking journal*, Vol. 10(2), 358–386. DOI: 10.33776/et.v10i2.4943.

46. Petrov, A. I., Petrova, D. A. (2021). Open business model of COVID-19 transformation of an urban public transport system: the experience of a large russian city. *Journal of open innovation: technology, market, and complexity*, Vol. 7(3), 171. DOI: 3390/joitmc7030171.

47. Rodriguez-Rueda, P. J., et al. (2021). Origin–Destination matrix estimation and prediction from socioeconomic variables using automatic feature selection procedure-based machine learning model. *Journal of urban planning and development*, Vol. 147(4), 04021056. DOI: 10.1061/(asce)up.1943-5444.0000763.

48. Grgurević, I., Juršić, K., Rajič, V. (2021). Review of automatic passenger counting systems in public urban transport. *5th EAI international conference on management of manufacturing systems*, Cham, 1–15. URL: DOI: 10.1007/978-3-030-67241-6_1.

49. Jiao, F., et al. (2021). An improved STL-LSTM model for daily bus passenger flow prediction during the COVID-19 pandemic. *Sensors*, Vol. 21(17), 5950. URL: <https://doi.org/10.3390/s21175950>.

50. Lee, J.-H., et al. (2021). Spatiotemporal distributions of population in Seoul: joint influence of ridership and accessibility of the subway system. *EPJ data science*, Vol. 10 (1). DOI: 10.1140/epjds/s13688-021-00298-3.

51. Zhang, Y., Ng, S. T. (2021). Unveiling the rich-club phenomenon in urban mobility networks through the spatiotemporal characteristics of passenger flow. *Physica A: statistical mechanics and its applications*, Vol. 584, 126377. DOI: 10.1016/j.physa.2021.126377.

52. Ristov, P., et al. (2015). Information system supported by RFID technology in the process of sale and control of the tickets in ship's passenger traffic. *Naše more*, Vol. 62(1), 8–15. DOI: 10.17818/nm.1.9.2015.

53. Gao, C., et al. (2021). A novel method to identify influential stations based on dynamic passenger flows. *SCIENTIA SINICA Informationis*, Vol. 51(9), 1490–1506. DOI: 10.1360/ssi-2020-0303.

54. Wang, Y., et al. (2021). Multiposition joint control in transfer station considering the nonlinear characteristics of passenger flow. *Journal of transportation engineering, part A: systems*, Vol. 147(10), 04021068. DOI: 10.1061/jtepbs.0000564.

INTELLIGENT SYSTEM OF PASSENGER FLOWS DYNAMIC 2D-VISUALIZATION FOR PUBLIC TRANSPORT ROUTES

Yurii Matseliukh¹, Myroslava Bublyk², Victoria Vysotska^{1,3}

¹ Lviv Polytechnic National University, Information Systems and Networks Department,
12, S. Bandera str., Lviv, Ukraine

² Lviv Polytechnic National University, Department of Management and International Entrepreneurship, 12, S.
Bandera str., Lviv, Ukraine

³ Osnabrück University, Institute of Computer Science, 1, Friedrich-Janssen-Str., Osnabrück, Germany

E-mail: Yurii.R.Matseliukh@lpnu.ua, ORCID: [0000-0002-1721-7703](https://orcid.org/0000-0002-1721-7703)

E-mail: Myroslava.I.Bublyk@lpnu.ua, ORCID: 0000-0003-2403-0784

E-mail: Victoria.A.Vysotska@lpnu.ua, ORCID: 0000-0001-6417-3689

© Matseliukh Y., Bublyk M., Vysotska V., 2023

In order to increase the attractiveness of public transport for urban residents, a software product has been created for transport companies that, by visualizing passenger traffic, helps to improve the quality of public transport services provided within the city. The paper analyses existing and current scientific developments and literature sources, which show the advantages and disadvantages of a large number of different algorithms and methods, approaches, and methods for solving problems of 2D-visualization of passenger flows on public routes. As a result of the research, stable connections have been established between the factors and criteria involved in assessing the quality of passenger transport services. The system analysis of the designed system is executed, and examples of the structure of an intelligent system of 2D visualization of passenger flows are created. The connections of the system with the essential elements of the external world are analysed. For a visual representation, diagrams of usage

variants, classes, sequences, states, and activities are created according to UML notation. Our own unique algorithms have been created for displaying visualizations in two different modes: schematic and “on the map”. In the “on the map” mode, a method of calculating data on the movement of transport units on the route was successfully applied for 2D visualization on the screen, taking into account the absolute values of geographical coordinates in the world. This avoids unnecessary errors and inaccuracies in the calculations. An artificial neural network has been developed that operates using the RMSprop learning algorithm. The artificial neural network predicts how the values of passenger traffic will change when adjusting the schedule of the transport unit on the route. The obtained results make it possible to form and substantiate the expediency of changing the schedule of the vehicle running on the route in order to make more efficient use of resources during peak times.

Key words: intelligent system; artificial neural network; passenger flows; visualization; public transport; passenger traffic quality.