

**Ю.І. Мельнікова**

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна,  
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна  
e-mail: Melnikova.yu.i@ntu.one*

## Аналіз впливу параметрів на ефективність застосування генетичного алгоритму при вирішенні задачі синхронізації руху громадського транспорту

Стаття присвячена дослідженню функціональних особливостей генетичного алгоритму (ГА) як інструменту вирішення задачі синхронізації руху громадського транспорту.

Синхронізація руху є складною комбінаторною оптимізаційною задачею, що характеризується випадковими параметрами попиту на послуги громадського транспорту і великим розміром системи транспортної мережі. Тому для вирішення даної задачі найчастіше використовується генетичний алгоритм. Незважаючи на значний потенціал використання генетичного алгоритму для синхронізації графіків руху, досягнення оптимальних показників ефективності прямо залежить від обґрунтованого визначення параметрів ГА. Метою дослідження є підвищення ефективності застосування генетичного алгоритму для вирішення задачі синхронізації руху в пересадочному вузлі шляхом налаштування параметрів ГА.

В якості об'єкту дослідження було обрано наступні параметри генетичного алгоритму: розмір популяції, ймовірність кросинговеру, ймовірність мутації і кількість спроб мутацій.

На основі проведених досліджень представлено результати аналізу чутливості середнього часу очікування пасажирів до параметрів ГА, які дозволили прийти до висновку, що на якість синхронізації впливає розмір популяції та ймовірність кросинговеру, а ймовірність мутації і кількість спроб мутацій не мають статистично значущого впливу на результати роботи генетичного алгоритму в межах даного дослідження.

**громадський транспорт, управління автомобільними перевезеннями, синхронізація розкладів руху, генетичний алгоритм, параметри ГА**

**Постановка проблеми.** Для вирішення задачі типу синхронізації руху громадського транспорту базові інструменти оптимізації недоцільно застосовувати через великі масиви даних, які носять стохастичний характер. Для розв'язання поставленої задачі пріоритетними є евристичні та метаевристичні підходи, серед яких особливе місце посідає генетичний алгоритм як ефективний інструмент глобального пошуку. Популярність застосування ГА при вирішенні NP-складних задач практиками і науковцями доводить його ефективність, надійність і гнучкість. Попри доведену ефективність застосування генетичних алгоритмів у задачах синхронізації руху, результативність їх імплементації залежить від обґрунтованого вибору їх параметрів.

До параметрів, що можуть впливати на якість рішення поставленої задачі, відносяться розмір популяції, швидкість кросинговеру, швидкість мутації та інші. Некоректне параметричне налаштування генетичного алгоритму призводить до деградації пошукових можливостей ГА, вираженої у передчасній конвергенції або значному зростанні часових витрат на обчислення. Це, у свою чергу, зменшує практичну ефективність використання ГА для синхронізації розкладів руху.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Застосування ГА при вирішенні задачі синхронізації розкладів руху набуло популярності серед науковців [1-12]. Можна виділити два підходи:

- однокритеріальний [1-3], при якому метою вирішення задачі є мінімізація часу очікування пасажирів або загальних витрат.

- багатокритеріальний [4,5] підхід передбачає вирішення задачі з орієнтацією на мінімізацію незручностей для пасажирів і підвищення ефективності використання транспортних засобів або роботи транспортної мережі.

Більшість науковців визнають переваги ГА [6,7] за якістю отриманих рішень, однак автори [8] зазначили, що ГА вимагає значно більше часу на обчислення ніж Gray Wolf Optimizer.

Масштабність застосування та доведена дієвість ГА зумовлюють необхідність підвищення продуктивності даного методу. Ефективність евристичного методу та якісні показники отриманих результатів перебувають у прямій залежності від вибору параметрів алгоритму. Незважаючи на широку апробацію ГА, досліджень, що присвячені визначенню ролі параметрів при застосуванні ГА досить мало [11, 12]. Отже, проблема вибору евристичних параметрів для специфічних умов синхронізації розкладів громадського транспорту залишається недостатньо дослідженою і потребує детального вивчення.

Дане дослідження фокусується на аналізі недостатньо висвітленої в науковій літературі ролі обґрунтування параметрів ГА у процесі синхронізації графіків руху пасажирського транспорту.

**Постановка завдання.** Таким чином, метою дослідження є підвищення ефективності застосування генетичного алгоритму для вирішення задачі синхронізації руху в пересадочному вузлі шляхом налаштування параметрів ГА.

Для реалізації поставленої мети в роботі вирішуються наступні завдання:

1. Виявити наявність статистично значущого впливу між параметрами ГА (розмір популяції, ймовірність кросинговеру, ймовірність мутації і кількість спроб мутацій) і кінцевим результатом евристики (середнього часу очікування пасажирів);

2. Визначити характер впливу обраних параметрів ГА на ефективність його застосування в межах даного дослідження.

**Виклад основного матеріалу.** Основні етапи ГА включають оцінку поточних рішень за допомогою функції придатності, що застосовується до кожного індивіда популяції, відбір найбільш придатних індивідів для розмноження та сам процес розмноження, що включає оператори кросинговеру та мутації. Кожний етап ГА має параметри, які впливають на продуктивність його застосування. Наприклад, зростання такого параметру як розмір популяції підвищує ймовірність знаходження значення наближеного до оптимального, проте значно збільшує час обчислення на кожне покоління. Необхідно відмітити, що процес визначення параметрів ГА потребує індивідуального підходу в залежності від області і специфіки проблеми.

Для проведення експериментальних досліджень ГА застосовувався для розв'язання задачі синхронізації розкладів руху в пересадочному вузлі «Автовокзал» міста Верхньодніпровськ, що входить до складу Кам'янського району Дніпропетровської області. Він відіграє ключову роль у транспортній мережі міста через вигідну локацію, виконуючи роль початкового та кінцевого пункту всіх діючих п'яти маршрутів. Пересадочний вузол «Автовокзал» виступає головним хабом для перерозподілу пасажиропотоку між внутрішньоміськими та приміськими рейсами [13].

Вирішення проблеми синхронізації розкладу руху громадського транспорту у межах генетичного алгоритму здійснюється шляхом визначення часових зсувів початку обслуговування на кожному маршруті ( $\psi$ ). Ці зсуви кодуються у вигляді вектору, що стає генетичним фундаментом для формування популяції потенційних рішень.

За допомогою імітаційного моделювання проводиться розрахунок фітнес-функції для оцінки якості сформованих розкладів. Головним критерієм оптимізації є мінімізація загального часу очікування пасажирів ( $T^{(w)}$ ) у пересадочному вузлі.

Результати експериментальних досліджень представлені в роботі [13]. Застосування генетичного алгоритму дозволило отримати наступний вектор часових зсувів  $\psi = \{22, 17, 9, 18, 11\}$ , що призвело до скорочення загального часу очікування на 333 хвилини у ранкову годину пік. В цьому випадку реалізація генетичного алгоритму здійснювалась з наступними параметрами: кількість поколінь – 30; розмір популяції - 100; розмір хромосоми - 35 біт (по 7 біт на кожний маршрут); ймовірність кросинговеру - 0,5; кількість мутацій - 3; ймовірність мутації - 0,1; коефіцієнт виживання - 0,2.

На процес визначення параметрів ГА при синхронізації руху впливає специфіка досліджуваної області (загальна кількість маршрутів громадського транспорту в мережі, максимальний інтервал руху і т. д.).

Для аналізу ефективності синхронізації руху з використанням ГА нами було обрано наступні параметри ГА:

- розмір популяції ( $S_p$ ). Даний параметр визначає розмір охоплення простору рішень і впливає на обчислювальні витрати;
- ймовірність кросинговеру ( $p_c$ ), яка впливає на інтенсивність обміну успішними фрагментами розкладів між батьківськими особинами;
- ймовірність мутації ( $p_m$ );
- кількість спроб мутацій на одну хромосому ( $t_m$ ).

Останні два параметри визначають ефективність дослідження простору пошуку та ландшафту функції пристосованості.

Основним критерієм оцінки в побудованих моделях обрано середній час очікування пасажирів  $T^{(w)}$ . Даний показник дозволяє наочно відстежувати динаміку генетичного алгоритму: мінімізація цієї змінної свідчить про знаходження ефективних комбінацій часових зсувів. Для проведення детального аналізу було сформовано три типи лінійних моделей, кожна з яких фокусується на окремих аспектах еволюційного пошуку:

$$T^{(w)} = \beta_0 + \beta_s \cdot S_p, \quad (1)$$

$$T^{(w)} = \beta_0 + \beta_c \cdot p_c, \quad (2)$$

$$T^{(w)} = \beta_0 + \beta_m \cdot p_m + \beta_t \cdot t_m, \quad (3)$$

де  $\beta_0$  – коефіцієнт регресійної моделі, що встановлює базову лінію для прогнозованого середнього часу очікування, від якої потім додаються або віднімаються ефекти параметрів ГА;  $\beta_s$ ,  $\beta_c$ ,  $\beta_m$ ,  $\beta_t$  – коефіцієнти регресії, які кількісно визначають питомий вплив розміру популяції, ймовірності кросинговеру, ймовірності мутації та кількості поворотів мутації на хромосому відповідно на результати оптимізації.

Вільний член  $\beta_0$  у наведених моделях фіксує базовий рівень середнього часу очікування, що є точкою відліку для аналізу. Регресійні коефіцієнти  $\beta_s$ ,  $\beta_c$ ,  $\beta_m$ ,  $\beta_t$  дають змогу кількісно оцінити вплив кожного параметра: напрямок зміни часу очікування (за знаком) та ступінь вразливості системи до операторів алгоритму (за модулем). Такий підхід дозволяє перейти від емпіричного налаштування ГА до науково обґрунтованого проектування оптимальної пошукової стратегії для конкретної мережі громадського транспорту.

Для систематичної оцінки впливу параметрів ГА на ефективність застосування алгоритму в експериментальних дослідженнях, проведених в рамках даної наукової роботи, прийнято межі та розміри кроків для кожного з цих параметрів, які представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Границі варіювання параметрів ГА при проведенні експериментальних досліджень

Параметр евристики	Нижня границя	Верхня границя	Крок зміни значень
Розмір популяції	20	200	20
Ймовірність кросинговеру	0,1	1,0	0,1
Ймовірність мутації	0,05	0,5	0,05
Кількість мутацій	1	10	1

Джерело: розроблено автором

Для оцінки достовірності впливу кожного параметра генетичного алгоритму на ефективність синхронізації розкладів використовується аналіз довірчих інтервалів отриманих коефіцієнтів регресії. У межах даного дослідження встановлено стандартний для наукових розрахунків поріг значущості на рівні 5%. Ключовим критерієм значущості є відсутність нуля в межах розрахованого довірчого інтервалу для конкретного коефіцієнта  $\beta_0$ . Якщо інтервал не перетинає нульову позначку, це свідчить про наявність стійкого причинно-наслідкового зв'язку між налаштуванням алгоритму та кінцевим результатом. Такий статистичний висновок дозволяє з високим ступенем впевненості стверджувати, що варіація відповідного параметра ГА спричиняє прогнозовані та відтворювані зміни в ефективності оптимізації.

Застосування інструментарію статистичного аналізу та лінійної регресії дозволило отримати кількісні оцінки впливу розміру популяції, ймовірності кросинговеру та специфічних операторів мутації на середній час очікування пасажирів.

Результати експерименту представлені на рис. 1, де відображено емпіричну залежність середнього часу очікування пасажирів від розміру популяції. Побудовані лінії трендів на рисунку демонструють виражений негативний нахил, що є підтвердженням від'ємної кореляції між розміром популяції та значенням цільової функції. Таким чином, збільшення кількості особин в алгоритмі забезпечує покращення результатів синхронізації.

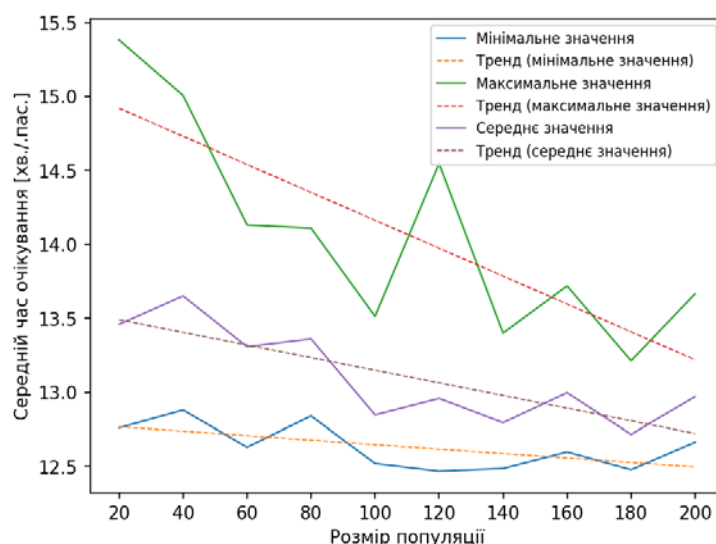


Рисунок 1– Залежність середнього часу очікування від розміру популяції для процедури синхронізації в пересадочному вузлі

Джерело: розроблено автором

Найменше значення часу очікування демонструє тенденцію до стабілізації на рівні близько 12,5-12,7 хв./пас. при досягненні популяцією розміру понад 100 одиниць, що вказує на поступове наближення алгоритму до оптимальних рішень. Водночас максимальні значення характеризуються суттєвою стохастичною мінливістю, проте їхній загальний тренд спрямований донизу, що свідчить про зростання здатності алгоритму уникати найменш ефективних рішень за умови залучення більшої кількості особин. Лінія середніх значень виступає інтегральним показником загальної продуктивності генетичного алгоритму, демонструючи покращення якості оптимізації розкладу зі зростанням  $S_p$ .

Об'єктивність візуальних спостережень, зафіксованих на рис. 1, повністю узгоджується з даними регресійного аналізу, наведеними у таблиці 2. Для всіх трьох рівнів  $T^{(w)}$  розрахований коефіцієнт регресії  $\beta_s$  має від'ємне значення, що підтверджує факт зниження часу очікування при збільшенні розміру популяції. Відсутність нуля в межах усіх зазначених довірчих інтервалів дозволяє стверджувати, що вплив розміру популяції на результати синхронізації є статистично значущим і прогнозованим для даної транспортної моделі.

Таблиця 2 – Вплив розміру популяції на ефективність ГА при синхронізації в пересадочному вузлі

Рівень вартостей $T^{(w)}$	Коефіцієнт регресії $\beta_s$	Довірчий інтервал	Значимість параметра
Найменший	-0,0015	(-0,0026; -0,0004)	Так
Найбільший	-0,0094	(-0,0153; -0,0036)	Так
Середній	-0,0043	(-0,0067; -0,0018)	Так

Джерело: розроблено автором

Результати емпіричного аналізу, наведені на рис. 2, розкривають характер впливу ймовірності кросинговеру ( $p_c$ ), на середній час очікування пасажирів  $T^{(w)}$ . Візуалізована залежність демонструє тренд до скорочення часових витрат пасажирів із зростанням інтенсивності оператора кросинговеру, що найбільш виражено для мінімальних та середніх значень цільової функції. Зокрема, при максимальній ймовірності кросинговеру показник стабілізується на відмітці нижче 12,5 хв. на особу. Отже, інтенсифікація обміну генетичним матеріалом сприяє ефективнішому виявленню оптимальних графіків руху. Проте велика амплітуда коливань максимальних значень вказує на обмежений вплив даного параметра на початковій невдалій ітерації алгоритму.

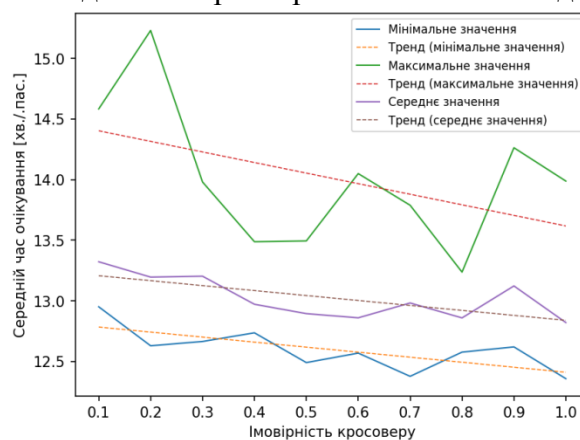


Рисунок 2 – Залежність середнього часу очікування від ймовірності кросинговеру для процедури синхронізації в пересадочному вузлі

Джерело: розроблено автором

Таблиця 3 – Вплив ймовірності кросинговеру на ефективність ГА при синхронізації в пересадочному вузлі

Рівень вартостей $T^{(w)}$	Коефіцієнт регресії $\beta_c$	Довірчий інтервал	Значимість параметра
Найменший	-0,415	(-0,738; -0,091)	Так
Найбільший	-0,872	(-2,293; 0,548)	Ні
Середній	-0,409	(-0,748; -0,070)	Так

Джерело: розроблено автором

Статистичні дані, наведені у таблиці 4, повністю підтверджують візуальні спостереження (рис. 3) щодо низької значущості ймовірності мутації. Ключовим моментом є те, що довірчі інтервали для всіх трьох представлених рівнів вартості  $T^{(w)}$  охоплюють нульове значення. Наявність нуля в межах довірчих інтервалів підтверджує, що в межах проведеного експерименту ймовірність мутації не має статистично значущого впливу на жоден із рівнів вартостей середнього часу очікування. Це дозволяє стверджувати, що для розглянутої задачі синхронізації у пересадочному вузлі коригування частоти мутацій не є дієвим інструментом підвищення операційної ефективності ГА.

Таблиця 4 – Вплив ймовірності мутації на ефективність ГА при синхронізації в пересадочному вузлі

Рівень вартостей $T^{(w)}$	Коефіцієнт регресії $\beta_m$	Довірчий інтервал	Значимість параметра
Найменший	0,0026	(-0,0071; 0,0124)	Ні
Найбільший	-0,0252	(-0,0771; 0,0267)	Ні
Середній	-0,0065	(-0,0199; 0,0069)	Ні

Джерело: розроблено автором

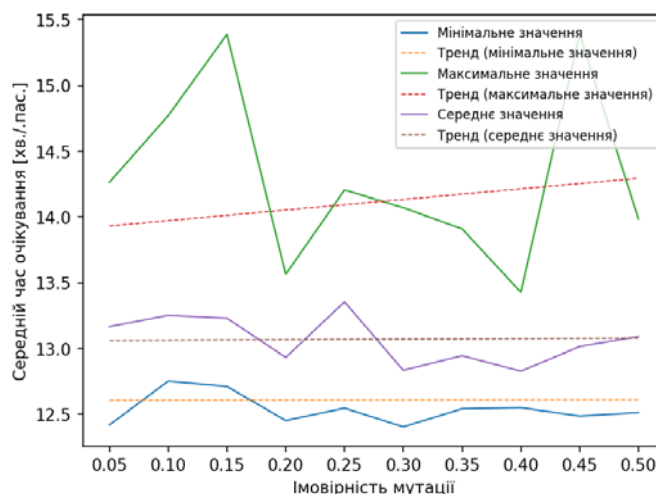


Рисунок 3 – Залежність середнього часу очікування від ймовірності мутації для процедури синхронізації в пересадочному вузлі

Джерело: розроблено автором

Графічна інтерпретація результатів дослідження на рис. 4 демонструє відносно стабільну динаміку всіх показників середнього часу очікування при зміні параметра  $t_m$  у діапазоні від 1 до 10. Лінії трендів для всіх рівнів мають майже горизонтальний

характер, що вказує на відсутність вираженої лінійної залежності між кількістю спроб мутацій та результативністю пошуку оптимального розкладу.

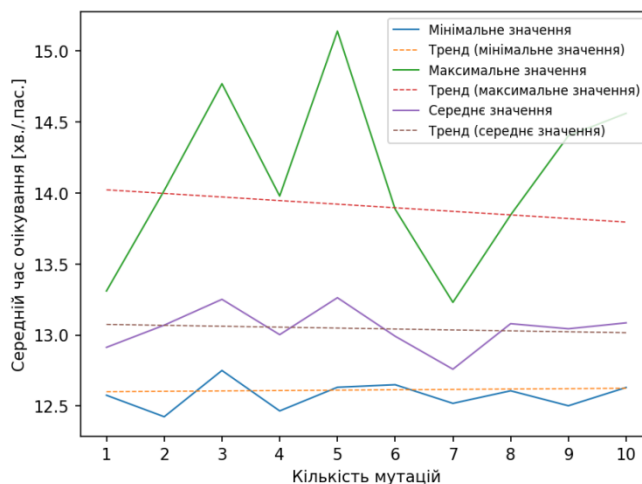


Рисунок 4 – Залежність середнього часу очікування від кількості мутацій для процедури синхронізації в пересадочному вузлі

Джерело: розроблено автором

На основі результатів дослідження, які представлені у таблиці 5, можна зробити висновок, що всі рівні довірчих інтервалів охоплюють нуль. Отже, статистично значущий вплив кількості спроб мутацій на результати роботи генетичного алгоритму відсутній в межах даного дослідження.

Таблиця 5 – Вплив кількості мутацій на ефективність ГА при синхронізації в пересадочному вузлі

Рівень вартостей $T^{(w)}$	Коефіцієнт регресії $\beta_i$	Довірчий інтервал	Значимість параметра
Найменший	0,0077	(-0,1873; 0,2027)	Ні
Найбільший	0,8052	(-0,2330; 1,8435)	Ні
Середній	0,0420	(-0,2266; 0,3106)	Ні

Джерело: розроблено автором

Отже, здійснений аналіз дозволяє зробити висновок про доцільність встановлення високих значень розміру популяції і ймовірності кросинговеру для підвищення загальної операційної ефективності генетичного алгоритму. Таке налаштування забезпечує стабільніше досягнення цілей оптимізації та дозволяє суттєво знизити очікувані витрати часу пасажирів у пересадочному вузлі. Однак інтенсифікація оператора мутації через збільшення кількості спроб на кожну хромосому і ймовірності мутації не є критичним фактором для досягнення цілей мінімізації часу очікування пасажирів.

**Висновки.** В результаті здійснених досліджень були отримані наступні висновки:

1. Встановлено наявність статистично значущого позитивного впливу розміру популяції та ймовірності кросинговеру на якість синхронізації розкладів руху і відсутність статистично значущого впливу ймовірності мутації і кількості спроб мутацій на результати роботи генетичного алгоритму в межах даного дослідження.

2. Зростання значень розміру популяції і ймовірності кросинговеру забезпечує підвищення загальної операційної ефективності генетичного алгоритму при вирішенні задачі синхронізації розкладів руху громадського транспорту.

Отримані висновки даного дослідження можуть стати орієнтиром для науковців і практиків, які воліють ефективно використовувати ГА для вирішення задачі синхронізації руху.

Для підвищення застосовності отриманих результатів роботи подальші дослідження повинні бути присвячені тестуванню запропонованої процедури ГА та перевірці виявлених закономірностей параметрів у різних мережах громадського транспорту.

## Список літератури

1. Wu J., Liu M., Sun H., Li T., Gao Z., Wang D. Equity-based timetable synchronization optimization in urban subway network. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2015. № 51. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2014.11.001>
2. Tuzun A., Yılmaz, S. Transit coordination with heterogeneous headways. *Transportation Planning and Technology*. 2014. № 37(5). <https://doi.org/10.1080/03081060.2014.912419>
3. Naumov V., Samchuk G. Class library for simulations of passenger transfer nodes as elements of the public transport system. *Procedia Engineering*. 2017. № 187, p. 77-81. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.352>
4. Ataeian S., Solimanpur M., Amiripour S., Shankar R. Synchronized timetables for bus rapid transit networks in small and large cities. *Scientia Iranica*. 2021. № 28(1), p. 477-491. <https://doi.org/10.24200/sci.2019.51501.2220>
5. Naeini H., Shafahi Y., Taherkhani M. Optimizing and synchronizing timetable in an urban subway network with stop-skip strategy. *Journal of Rail Transport Planning & Management*. 2022. №22. <https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2022.100301>
6. Kang L., Wu J., Sun H., Zhu X., Wang B. A practical model for last train rescheduling with train delay in urban railway transit networks. *Omega*. 2015. № 50. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.07.005>
7. Cao Z., Ceder A., Li D., Zhang S. Optimal synchronization and coordination of actual passenger-rail timetables. *Journal of Intelligent Transportation Systems*. 2019. p. 231-249. <https://doi.org/10.1080/15472450.2018.1488132>
8. Wang Y., Li D., Cao Z. Integrated timetable synchronization optimization with capacity constraint under time-dependent demand for a rail transit network. *Computers & Industrial Engineering*. 2020. 142. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106374>
9. Chen Y., Mao B., Bai Y., Ho T., Li Z. Timetable synchronization of last trains for urban rail networks with maximum accessibility. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2019. № 99(2), p. 110-129. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.01.003>
10. Kapica D., Melnikova Y., Naumov V. Synchronization in public transportation: A review of challenges and techniques. *Future Transportation*. 2025. №5(1), p. 6. <https://doi.org/10.3390/futuretransp5010006>
11. Бугаєва І. Г. Аналіз параметрів генетичного алгоритму розв'язання двовимірної задачі упаковки. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2025. № 2(2). С. 49–55. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.2.2.6>
12. Y. Pyrih, M. Klymash, Y. Pyrih, O. Lavriv. Genetic algorithm as a tool for solving optimisation problems/ *Information and communication technologies, electronic engineering*. 2023. Vol. 3, no. 2. P. 95–107. DOI: <https://doi.org/10.23939/ictee2023.02.095>
13. Синхронізація розкладів руху міського громадського транспорту у пересадочному вузлі з використанням генетичних алгоритмів/ Ю. І. Мельнікова та ін. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2024. № 2 (23). С. 180–187. DOI: 10.36910/automash.v2i23.1540

## References

1. Wu, J., Liu, M., Sun, H., Li, T., Gao, Z., & Wang, D. (2015). Equity-based timetable synchronization optimization in urban subway network. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 51. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2014.11.001>
2. Tuzun, A., & Yılmaz, S. (2014). Transit coordination with heterogeneous headways. *Transportation Planning and Technology*, 37(5). <https://doi.org/10.1080/03081060.2014.912419>
3. Naumov, V., & Samchuk, G. (2017). Class library for simulations of passenger transfer nodes as elements of the public transport system. *Procedia Engineering*, 187, 77-81. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.352>

4. Ataeian, S., Solimanpur, M., Amiripour, S., & Shankar, R. (2021). Synchronized timetables for bus rapid transit networks in small and large cities. *Scientia Iranica*, 28(1), 477-491. <https://doi.org/10.24200/sci.2019.51501.2220>
5. Naeini, H., Shafahi, Y., & Taherkhani, M. (2022). Optimizing and synchronizing timetable in an urban subway network with stop-skip strategy. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 22. <https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2022.100301>
6. Kang, L., Wu, J., Sun, H., Zhu, X., & Wang, B. (2015). A practical model for last train rescheduling with train delay in urban railway transit networks. *Omega*, 50. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.07.005>
7. Cao, Z., Ceder, A., Li, D., & Zhang, S. (2019). Optimal synchronization and coordination of actual passenger-rail timetables. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 231-249. <https://doi.org/10.1080/15472450.2018.1488132>
8. Wang, Y., Li, D., & Cao, Z. (2020). Integrated timetable synchronization optimization with capacity constraint under time-dependent demand for a rail transit network. *Computers & Industrial Engineering*, 142. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106374>
9. Chen, Y., Mao, B., Bai, Y., Ho, T., & Li, Z. (2019). Timetable synchronization of last trains for urban rail networks with maximum accessibility. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 99(2), 110-129. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.01.003>
10. Kapica, D., Melnikova, Y., & Naumov, V. (2025). Synchronization in public transportation: A review of challenges and techniques. *Future Transportation*, 5(1), 6. <https://doi.org/10.3390/futuretransp5010006>
11. Buhaieva, I. H. (2025). Analysis of genetic algorithm parameters for solving the two-dimensional packing problem. *Herald of Kherson National Technical University*, 2(2), 49–55. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.2.2.6>
12. Pyrih, Y., Klymash, M., Pyrih, Y., & Lavriv, O. (2023). Genetic algorithm as a tool for solving optimisation problems. *Information and Communication Technologies, Electronic Engineering*, 3(2), 95–107. DOI: <https://doi.org/10.23939/ict2023.02.095>
13. Melnikova, Yu. I., Naumov, V. S., Taran, I. O., & Bovin, D. P. (2024). Synchronization of urban public transport schedules in a transfer hub using genetic algorithms. *Modern Technologies in Mechanical Engineering and Transport*, (2), 180–187. DOI: 10.36910/automash.v2i23.1540

#### **Yuliia Melnikova**

*Kharkiv National Automobile and Highway University, Senior Lecturer of Transport Management Department Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine*

#### **Analysis the Impact of Parameters on the Effectiveness genetic Algorithm Application in Solving Synchronizing Public Transport Schedules**

The research is devoted to the study of the genetic algorithm's (GA) functional features as a tool for solving the synchronizing public transport schedules problem.

Timetable synchronization is a complex combinatorial optimization problem characterized by random parameters of public transport demand and the large size of the transport network system. Therefore, heuristic and metaheuristic methods are most often used to solve this problem, one of which is a genetic algorithm. Despite the significant potential of using a genetic algorithm for synchronizing traffic schedules, achieving optimal performance indicators directly depends on the reasonable determination of GA parameters. The use of suboptimal parameters can lead to an unreasonable increase in computation time and premature convergence, which reduces the practical usefulness of synchronizing public transport schedules based on a genetic algorithm.

The purpose of the study is to improving the effectiveness of the genetic algorithm for solving the problem of traffic synchronization at transfer node by GA parameters settings.

The following GAs parameters were selected as the object of study: population size, crossover rate, mutation rate, and selection mechanisms The analysis of the impact of GA parameters on the quality of the schedule was carried out using a simulation model. The Avtovakzal transfer node in the city of Verkhnodniprovsk, Dnipropetrovsk region, Ukraine, was used to apply the simulation model.

The results researchof the analysis the sensitivity of the average passenger waiting time to GA parameters are presented. It was concluded that the quality of synchronizing schedules is influenced by the population size and crossover probability, while the mutation probability and number of mutation attempts do not have a statistically significant impact on the results of the genetic algorithm within the scope of this study.

**public transport, transport management, synchronizing public transport schedules, genetic algorithm, GA parameters**

*Одержано (Received) 26.01.2026*

*Прорецензовано (Reviewed) 23.02.2026*

*Прийнято до друку (Approved) 12.03.2026*