

*С. М. Турпак, С. В. Грицай, О. О. Острогляд,
 Л. О. Васильєва, І. О. Свиницька*

Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3200-8448> – С. М. Турпак

<https://orcid.org/0000-0001-7055-6977> – С. В. Грицай

<https://orcid.org/0000-0002-8496-3271> – О. О. Острогляд

<https://orcid.org/0000-0002-4029-3851> – Л. О. Васильєва



sergeyturpak@gmail.com

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАСАЖИРІВ АЕРОПОРТУ В ПРОЦЕСІ ВЗАЄМОДІЇ ПОВІТРЯНОГО, АВТОМОБІЛЬНОГО ТА ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Анотація. Розглянуто питання взаємодії видів транспорту для обслуговування пасажирів в аеропорту (на прикладі міжнародного аеропорту міста Запоріжжя). Виконано аналіз наукових праць, які стосуються організації обслуговування пасажирів в транспортному вузлі. Зазначено, що ефективність пасажирських авіаційних перевезень значно підвищується при скороченні часу доставки пасажирів з міст в аеропорту. Досягти цього можливо тільки завдяки взаємодії повітряного з наземними видами транспорту. Актуальність проблематики підтверджується положеннями Транспортної стратегії України. В статті проведено дослідження параметрів функціонування реальної транспортної системи взаємодії повітряного та наземних видів транспорту під час обслуговування пасажирів. Встановлено, що існуюча система доставки пасажирів, незважаючи на близько розташовані автомобільний шлях високої пропускної спроможності та залізничну колію «Укрзалізниці», використовує лише тупикову автомобільну дорогу місцевого значення в місці розташування аеропорту. Для вирішення проблеми транспортного обслуговування авіаційних пасажирів з урахуванням стохастичного характеру пасажиропотоків, дослідження проводилось методом імітаційного моделювання. Створена імітаційна модель ґрунтується на функціонуванні системи міського автомобільного транспорту із залученням залізничного, що діє в районі аеропорту. Ключовими елементами досліджуваної системи є пункти пересадки пасажирів на залізничній станції та в аеропорту. Розроблена імітаційна модель передбачає можливість перемикання існуючої та запропонованої схем руху автобусного маршруту, яка реалізується в транспортній мережі моделі. Було проведено ряд експериментів в умовах варіювання часу затримки автобуса на станції Запоріжжя-2 в очікуванні пересадки пасажирів з поїздів на автомобільний транспорт, або навпаки – при здійсненні руху у зворотному напрямку. На основі проведених експериментів запропоновано змінити один з автобусних маршрутів таким чином, щоб пасажирів мали можливість скористатись можливістю зручної пересадки на приміські поїзди на станції Запоріжжя-2. Проаналізовані перспективні можливості залучення залізничного транспорту, як більш потужного, ніж автомобільний, для транспортного обслуговування аеропорту. Завдяки моделюванню отримані ефективні рекомендації щодо транспортного обслуговування міжнародного аеропорту Запоріжжя.

Ключові слова: взаємодія видів транспорту, пасажирські перевезення, імітаційне моделювання.

S. Turpak, S. Hrytsai, O. Ostrohliad,

L. Vasylieva, I. Svintsytska

National University «Zaporizhzhia Polytechnic», Zaporizhzhia, Ukraine

IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE AIRPORT PASSENGER SERVICE SYSTEM IN THE PROCESS OF INTERACTION OF AIR, ROAD AND RAIL TRANSPORT

Abstract. The issue of the interaction of modes of transport for passenger service at the airport was considered (in the example of the international airport of the city of Zaporizhzhia). The analysis of scientific works related to the organisation of passenger service in the transport hub was carried out. It is noted that the efficiency of passenger air

transportation is significantly increased by reducing the time it takes to deliver passengers from cities to airports. It is possible to achieve this only through the interaction of air and ground modes of transport. The relevance of the issue is confirmed by the provisions of the Transport Strategy of Ukraine. The article examines the parameters of the functioning of the real transport system of the interaction of air and ground modes of transport when serving passengers. It was established that the existing system of passenger delivery, despite the nearby high-capacity road and the Ukrzaliznytsia railway, uses only a dead-end road of local importance at the location of the airport. To solve the problem of transport service for air passengers, taking into account the stochastic nature of passenger flows, the study was carried out by the method of simulation modelling. The created simulation model is based on the functioning of the urban road transport system with the involvement of the railway operating in the area of the airport. The key elements of the studied system are passenger transfer points at the railway station and airport. The developed simulation model provides the possibility of switching the existing and proposed schemes of the bus route, which is implemented in the transport network of the model. Some experiments were conducted under the conditions of varying the delay time of the bus at the Zaporizhzhia-2 station while waiting for passengers to transfer from trains to road transport, or vice versa - when moving in the opposite direction. Based on the conducted experiments, it is proposed to change one of the bus routes in such a way that passengers have the opportunity to take advantage of the convenient opportunity to transfer to suburban trains at the Zaporizhzhia-2 station. Prospective opportunities for the involvement of railway transport, as more powerful than road transport, for airport transport service, are analysed; thanks to modelling, effective recommendations were obtained regarding the transport service of Zaporizhzhia International Airport.

Keywords: interaction of modes of transport, passenger transportation, simulation modelling.

Вступ. Сучасний стан міських пасажирських перевезень у значній мірі залежить від організації обслуговування пасажирів у транспортному вузлі при використанні для поїздки різних видів транспорту.

Серед основних вимог розвитку аеропортів [1] виділяється транспортна доступність, в першу чергу, для населення регіону, де він розташований. Головною перевагою повітряного транспорту є швидкість, яка повинна враховувати тривалість часу доставки пасажирів до аеропорту. Тому необхідно приділяти більшу увагу заходам забезпечення надійного транспортного зв'язку аеропорту з регіоном обслуговування. Транспортні системи аеропорт-місто різняться залежно від стану інфраструктури, географічного положення аеропорту тощо. Для підвищення ефективності пасажирських авіаперевезень шляхом скорочення часу доставки пасажирів з міст в аеропорти, повітряний транспорт повинен здійснювати тісну взаємодію з наземними видами транспорту [2].

На сьогодні [3] відмічено низькі темпи удосконалення транспортних технологій та використання системного підходу при забезпеченні взаємодії різних видів пасажирського транспорту. Тому підвищення ефективності обслуговування пасажирів в транспортних вузлах є актуальною науково-практичною задачею.

З огляду на загальний характер публікацій [1,2,3], підтвердження важливості цієї проблематики на державному рівні [4,5] дослідження параметрів функціонування реальної транспортної системи взаємодії повітряного та наземних видів транспорту під час обслуговування пасажирів із розробкою методології покращення показників її роботи є актуальним.

В [6] розглянуті організаційні та технологічні проблеми планувальної структури розподілу пасажиропотоків повітряного транспорту під час пересадки авіаційних пасажирів з одного виду транспорту на інший в межах інфраструктури аеропортів та прилеглих територій. Авторами [7] проведено дослідження та визначено основні критерії для вибору транспортного сполучення між Києвом та аеропортом Бориспіль. Ці публікації підтверджують актуальність обраного напрямку дослідження та дослідження можливості використання інших методів, наприклад, імітаційного моделювання.

Зазвичай [8], в якості основи для моделі пасажирських перевезень використовують дані кореспонденцій пасажиропотоків, при організації взаємодії різних видів транспорту застосовується логістичний підхід, використовуються сучасні оптимізаційні методи [9-12].

Для ефективного планування й оптимізації обслуговування аеропортів наземними видами транспорту, зокрема, залізничним та автомобільним, рекомендується застосовувати систематичний збір статистичних даних інтенсивності пасажиропотоків [13]. Для дослідження транспортних процесів у складних та великих системах в умовах значного впливу стохастичних параметрів транспортних потоків доцільно використовувати метод імітаційного моделювання [14].

Ефективність організаційних заходів під час взаємодії різних видів транспорту при обслуговуванні аеропортів можлива, насамперед, завдяки суміщенню переваг потужної пропускну здатності приміського та маневреності міського транспорту [15].

Як правило, аеропорти майже всюди розташовані на значній відстані від центру міст. Це викликає переважаність автомобільних

доріг та негативно впливає на екологію регіону. З урахуванням цих факторів саме залізничний транспорт є найбільш раціональним засобом вирішення проблеми транспортних зв'язків великих міст з аеропортами.

На прикладі роботи Запорізького міжнародного аеропорту (ЗМА) на початку 2022 року вирішується питання удосконалення його транспортного обслуговування міським та іншими видами транспорту.

На цей час транспортне обслуговування ЗМА забезпечується чотирма автобусними маршрутами, які з'єднують аеропорт з різними районами міста, розташованими на лівому березі частині [16, 17]. Аналіз існуючих автобусних маршрутів доводить, що переміщення пасажирів з правобережної частини міста та прилеглих до неї населених пунктів області міським транспортом не є достатньо комфортним.

Територіально ЗМА розташований на невеликій відстані від траси Запоріжжя – Донецьк та залізничної лінії напрямку з півдня на північ. Але, прямого виходу на залізницю аеропорт не має. Раніше було розроблено проект руху рейкового автобусу з правобережної частини міста Запоріжжя до аеропорту, який би з'єднав обидва береги Дніпра без «пробок» та заторів. Однак до реалізації таких планів діло поки що не дійшло, петиції авторів не набрали достатньої кількості голосів для розгляду.

З урахуванням пропозицій з транспортного обслуговування ЗМА, можна сформулювати концепцію розвитку транспортної системи міста в цьому напрямку. Наявність шляхів залізничного сполучення у безпосередній близькості до аеропорту (близько 250 метрів) є перевагою перед іншими аналогічними об'єктами. В Україні вже реалізовано таку систему перевезення пасажирів: з Києва до аеропорту Бориспіль.

Проведений аналіз системи транспортного обслуговування Запорізького міжнародного аеропорту показав її недоліки, а саме:

- система доставки пасажирів, незважаючи на близько розташовані автомобільний шлях високої пропускної спроможності (траса Запоріжжя-Донецьк) та залізничну колію «Укрзалізниця», використовує лише тупикову автомобільну дорогу місцевого значення в місці розташування ЗМА;

- не зважаючи на потенціал аеропорту щодо можливості зростання пасажиропотоку, зміни

інфраструктури, яка призначена для обслуговування ЗМА, не плануються (проблеми вирішені створенням додаткового автобусного маршруту, що, очевидно, є тимчасовим результатом);

- наявні петиції, які підтримані певною кількістю мешканців Запоріжжя, та, хоча й не набрали потрібної кількості голосів для розгляду, наголошують на необхідності формування комплексного підходу до вирішення задачі транспортного обслуговування ЗМА з огляду на перспективи його розвитку.

Методи досліджень. Дослідження транспортного обслуговування Запорізького міжнародного аеропорту виконувалося на основі системного підходу шляхом застосування методу імітаційного моделювання; аналітичний метод використовувався для аналізу імітаційної моделі взаємодії повітряного транспорту з автомобільним та залізничним в системі обслуговування.

Результати досліджень. Проведений аналіз залізничних шляхів приміського сполучення та напрямків руху приміських поїздів дає підставу для можливості використання станції Запоріжжя-2 для пропонованої системи пасажирського обслуговування міжнародного аеропорту.

Для удосконалення транспортного обслуговування пасажирів аеропорту пропонується: розробити імітаційну модель взаємодії повітряного транспорту з автомобільним та залізничним в системі обслуговування ЗМА; проаналізувати перспективні можливості залучення залізничного транспорту, як більш потужного, ніж автомобільний; провести експерименти із застосуванням імітаційного моделювання. На підставі аналізу отриманих результатів експериментів розробити рекомендації з удосконалення технології транспортного обслуговування ЗМА.

На рисунку 1 наведена концептуальна модель взаємодії різних видів пасажирського транспорту. Ключовими елементами представленої системи є пункти пересадки пасажирів на залізничній станції та аеропорту.

Розробка моделі проводилася в програмному середовищі Енілоджік. Цей інструмент моделювання використовує об'єктно-орієнтований підхід, що дає змогу відтворювати систему будь-якої складності з різним рівнем деталізації процесів. Імітаційна модель ґрунтується на функціонуванні системи міського автомобільного транспорту, яка діє в районі аеропорту. У попередніх дослідженнях встановлено, що громадський транспорт виконує близько 60% перевезень в розглядуваній системі.

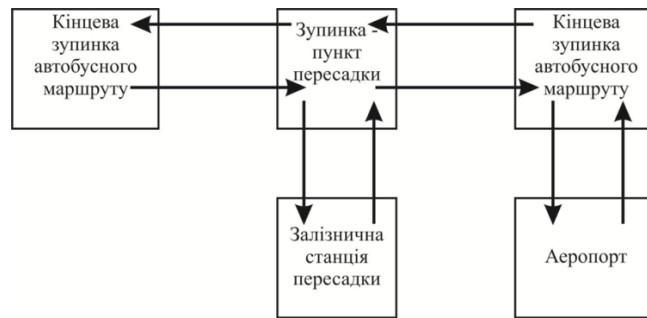


Рисунок 1 – Концептуальна модель взаємодії повітряного транспорту із залізничним та автомобільним

В ході дослідження було встановлено, що діючі автобусні маршрути охоплюють залізничну станцію Запоріжжя-1, в той час як станцію Запоріжжя-2 оминають. Саме останню станцію здійснюється рух залізничного транспорту до правобережної частини міста та області. Тому

було запропоновано змінити рух одного з автобусних маршрутів. На рисунку 2 наведені існуюча та пропонована схеми руху обраного автобусного маршруту. Новий маршрут прокладений з урахуванням безпеки дорожнього руху, та оминає небезпечні місця руху.

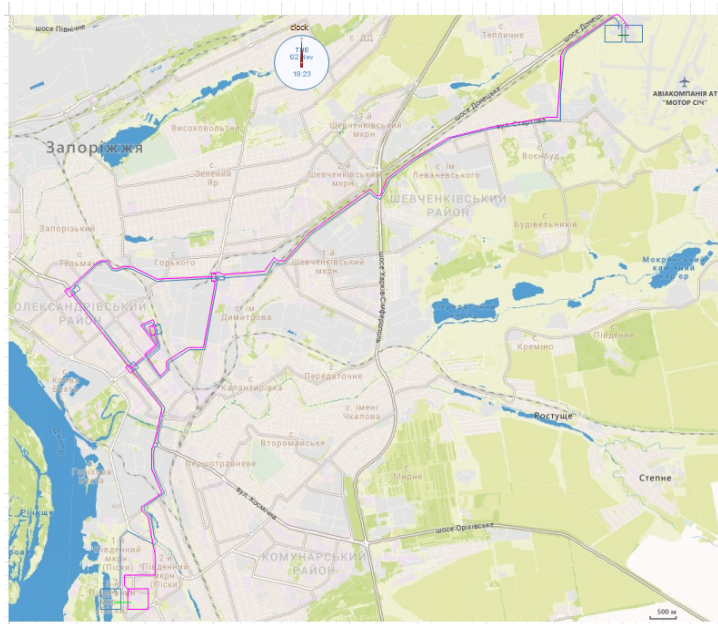


Рисунок 2 – Схема маршруту руху автомобільного транспорту

Розроблена імітаційна модель передбачає можливість «перемикання» існуючої та пропонованої схем маршруту руху автобуса, що було реалізовано в транспортній мережі моделі.

На рисунку 3 наведена ділянка з місцями зміни маршрутів руху (маршрути виділені різними кольорами). Також створено елемент, що відображає роботу пункту пересадки.

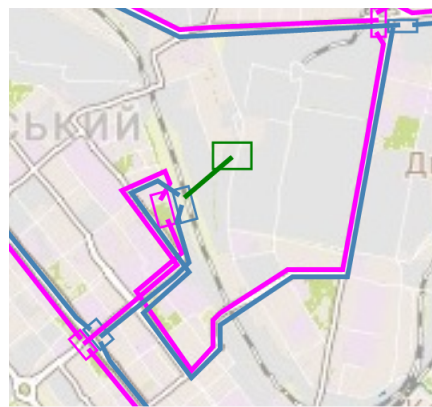


Рисунок 3 – Місця переходу на різні варіанти маршруту руху з пунктом пересадки на залізничний транспорт

Заявки в моделі викликаються за допомогою елемента типу «подія». Цей елемент генерує замовлення на перевезення згідно з графіком, що задається елементом «таблична функція». Коректна робота функції забезпечується за

допомогою введення додаткових змінних. На рисунку 4 наведена логіка блоку моделі руху автобусів з аеропорту до кінцевої зупинки «Південний» з урахуванням можливості «перемикання» маршруту

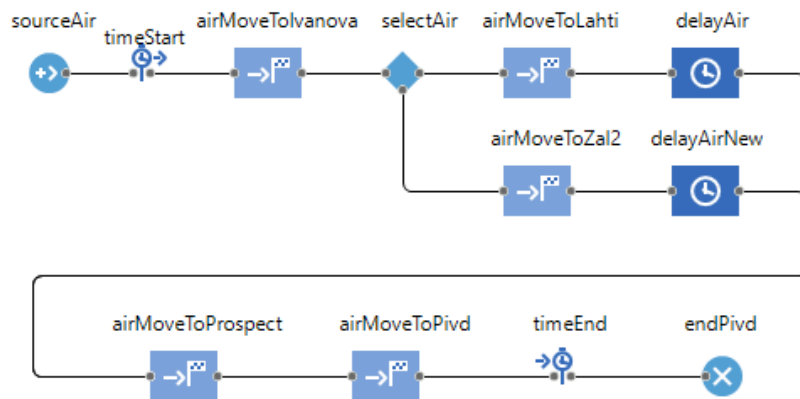


Рисунок 4 – Блок моделювання вибору маршруту руху

Створення заявок відбувається в об'єкті «sourceAir», управління яким здійснює елемент події «eventAir». Рух заявок за маршрутом реалізується за допомогою елементів типу «moveTo». Вибір маршруту руху автобуса відбувається в об'єкті «selectAir». Цей елемент скеровує потік замовлень в один зі своїх виходів залежно від значення змінної «Marshrut», що задається дослідником. Елементи типу «delay» імітують затримку замовлень відповідно до реальних умов руху транспортних засобів через затори. Об'єкти «timeStart» «timeEnd» фіксують моменти часу входу та виходу заявки з моделі, що дозволяє відстежувати статистику результатів моделювання.

Аналогічно було створено блок моделі, що відображає рух автобусів у зворотному напрямку.

Імітація роботи пункту пересадки пасажирів на станції Запоріжжя-2 із залізничного транспорту на автомобільний виконана окремим блоком. Зв'язки блоків моделі, що взаємодіють між собою в процесі запуску, реалізовано через елементи *delayPivdNew*, *sourceZal_u_Air* та *stop_pislya_prib_Zal* (рис. 5). В елементі *delayPivdNew* основного блоку за допомогою методу *inject* здійснюється виклик нового замовлення в елементі *sourceZal_u_Air*. Одразу після створення замовлення розблоковується рух заявок у ланцюгу (елемент *stop_pislya_prib_Zal*), що імітує переміщення пасажирів, які очікували автобус до аеропорту.

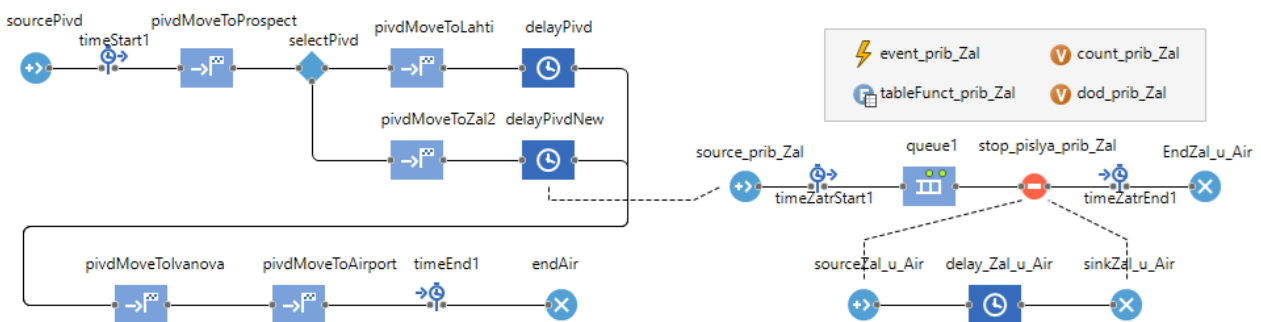


Рисунок 5 – Блок моделювання пересадки пасажирів із залізничного на автомобільний транспорт

Після виходу замовлень через елемент *sinkZal_u_Air*, блокування відновлюється, таким чином імітуючи затримку пасажирів з моменту їх прибуття на залізничний вокзал в очікуванні автобуса до аеропорту.

Після виходу заявок у ланцюгу (елемент *stop_pislya_prib_Zal*), що імітує переміщення пасажирів, які очікували автобус до аеропорту.

Створення замовлень в системі здійснюється елементом типу «подія» *event_prib_Zal*. Період виклику замовлення визначається табличною

функцією *tableFuncnt_prib_Zal* згідно з графіком прибуття поїздів. У функції задано змінні *dod_prib_Zal*, що використовується для переходу на нову добу та *count_prib_Zal*, яка визначає наступне значення функції.

Аналогічним чином доопрацьовано блок моделі, що імітує рух автобусів з аеропорту до залізничної станції Запоріжжя-2 з пересадкою на

приміські поїзди (рис.6). Відмінність логіки полягає у тому, що у зворотному русі

пасажирів затримуються не в очікуванні автобуса, а навпаки – в очікуванні поїзда.

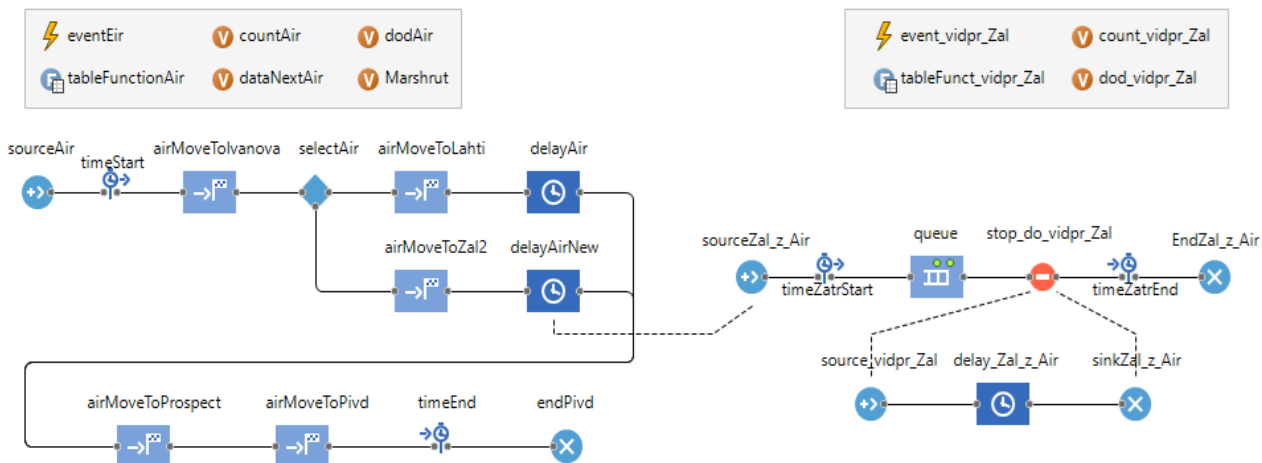


Рисунок 6 – Блок імітації руху пасажирів з аеропорту за автобусним маршрутом до залізничної станції Запоріжжя-2

На створеній моделі було проведено ряд експериментів в умовах варіювання часу затримки автобуса на станції Запоріжжя-2 в очікуванні пересадки пасажирів з поїздів, що надійшли на станцію. Тривалість моделювання встановлено на один календарний місяць. Одиниці модельного часу

– хвилини. Збір даних щодо результатів роботи моделі реалізовано за допомогою елементів «гістограма» та «дані гістограми».

На рисунку 7 наведені результати роботи моделі в існуючих умовах, без додаткової затримки автобуса.

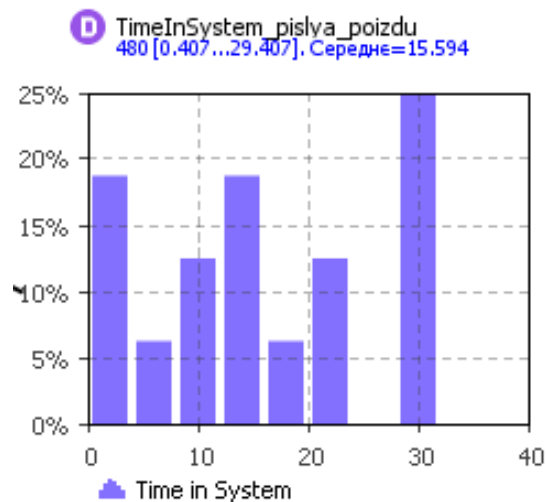


Рисунок 7 – Розподіл щільності ймовірності часу очікування автобуса пасажирями на зупинці біля станції Запоріжжя-2 без додаткової затримки

Затримка автобуса на 1 хвилину не мала особливого впливу на ситуацію, тому далі цей варіант не розглядається. При встановленні додаткового часу затримки автобуса на 2, 3 та 4 хвилини отримані гістограми розподілу суттєво не відрізнялися одна від одної. За умови такої тривалості затримки спостерігається зменшення часу очікування пасажирями автобуса в

середньому на 3 хвилини. Результати порівняння отриманих розподілів випадкової величини із вихідною гістограмою наведені на рис. 8. Очевидно, що ймовірність очікування пасажирями в межах 30 хв значно знизилася (різницю показано білим кольором), у той час як кількість пасажирів, що майже не очікуватиме автобус зростає (темно-синій колір).

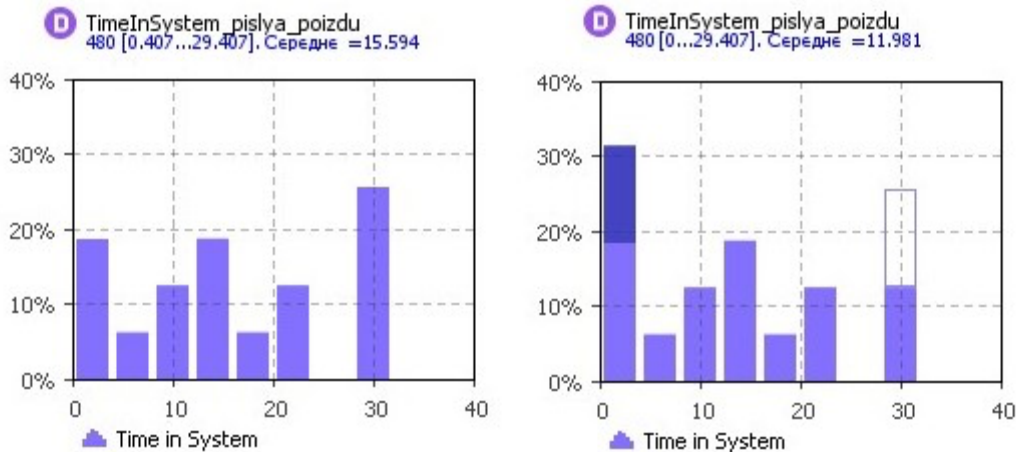


Рисунок 8 – Розподіл щільності ймовірності при додатковій затримці автобуса від 2 до 4 хвилин

При додатковій затримці автобуса на 5 хвилин спостерігаються незначні зміни в розподілі відносно попередньої гістограми

(рис. 9). Середній час очікування пасажирів транспорту дорівнює близько 10 хвилин.

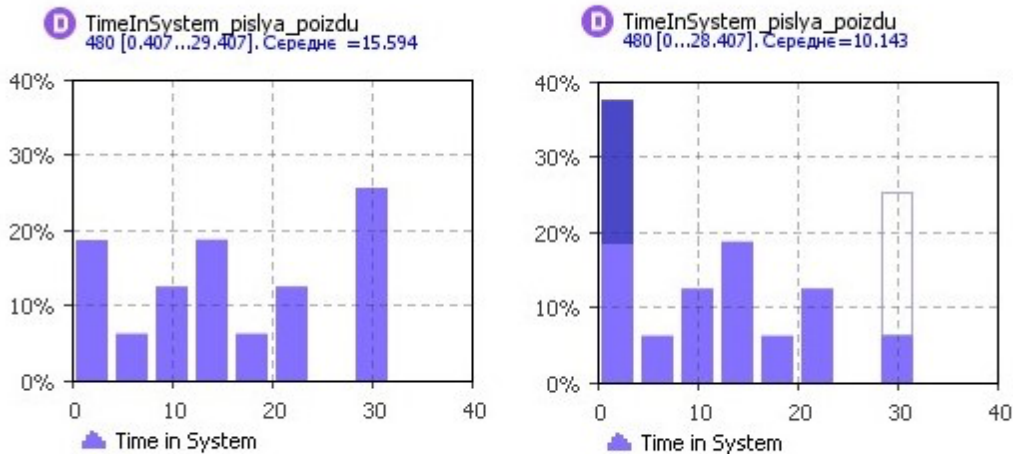


Рисунок 9 – Розподіл щільності ймовірності при додатковій затримці автобуса 5 хвилин

Отже, можна зробити висновок щодо доцільності затримки автобуса тривалістю 2 хвилини. Це забезпечить пересадку до нього більшої кількості пасажирів та не матиме суттєвого впливу на тривалість обороту автобуса.

Обговорення результатів досліджень. В ході дослідження розроблено імітаційну модель взаємодії повітряного, автомобільного та залізничного транспорту. На основі проведених експериментів запропоновано змінити один з автобусних маршрутів таким чином, щоб пасажирів мали можливість скористатись зручною можливістю пересадки на приміські поїзди на станції Запоріжжя-2. Протяжність маршруту скорочується на 0,1 км, автобус уникає найбільш проблемних ділянок з насиченим потоком руху транспортних засобів, особливо – у час пік. Завдяки цьому з'являється можливість збільшення часу затримки автобуса в очікуванні пасажирів на зупинці біля станції Запоріжжя-2

при русі до аеропорту, що сприяє наповнюваності автобуса. Середню тривалість очікування автобусу при пересадці з залізничного транспорту скорочено з 14 до 12 хвилин. При цьому відсоток пасажирів, які будуть очікувати автобус до 5 хвилин збільшено з 18% до 32%, а відсоток тих, хто очікує до 30 хвилин, навпаки, зменшено з 25% до 13%. Було розроблено нові зручні процедури аналізу роботи пункту пересадки.

Висновки. В статті досліджено транспортну систему обслуговування пасажирів Запорізького міжнародного аеропорту в процесі взаємодії повітряного, автомобільного та залізничного транспорту. Встановлено, що існуюча система доставки пасажирів, незважаючи на близько розташовані автомобільний шлях високої пропускної спроможності та залізничну колію «Укрзалізниці», використовує лише тупикову в місці розташування ЗМА автомобільну дорогу місцевого значення. Не зважаючи на потенціал

аеропорту щодо можливості зростання пасажиропотоку, зміни інфраструктури, яка призначена для обслуговування ЗМА, не плануються. Очевидна необхідність формування комплексного підходу до вирішення задачі транспортного обслуговування ЗМА з огляду на перспективи його розвитку. Для цього була розроблена імітаційна модель взаємодії повітряного транспорту з автомобільним та залізничним в системі обслуговування ЗМА; проаналізовані перспективні можливості залучення залізничного транспорту, як більш потужного, ніж автомобільний, для транспортного обслуговування аеропорту; завдяки моделюванню отримані ефективні рекомендації щодо транспортного обслуговування ЗМА.

Список літератури:

1. Бугайко Д. О., Терещенко А.В. Взаємодія суб'єктів транспортного ринку в міжнародних аеропортах. Наукоємні технології, 2009. № 2. С. 29-32.
2. Манівчук В. В. Інноваційні технології пасажирських перевезень – основа розвитку інтермодальних транспортних систем. Українські залізниці, 2014. № 11 (17). С. 30-33.
3. Аксенов И. М., Разумова Е. Н. Решение проблем в системе «пассажи́рские перевозки» на основе коэволюционной стратегии. Проблемы підвищення ефективності інфраструктури, 2014. Вип. 39. С. 11-18.
4. 4. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року. Розпорядження КМ України від 23.05.2018 р. № 430-р : Офіційний сайт. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text>.
5. Програма розвитку та вдосконалення пасажирського транспорту в місті Запоріжжі на 2021-2023 роки. Затверджено рішенням Запорізької міської Ради від 23.04.2021 р. № 67 : Офіційний сайт. URL: <https://zp.gov.ua/uk/sessions/114/resolution/45901>.
6. Агеева Г. М. Наземна складова організації транспортного обслуговування авіаційних пасажирів. Проблеми організації перевезень та управління на повітряному транспорті : Зб. матер. міжнар. наук.-практ. конф. К.: НАУ, 2021. С. 345-347.
7. Осетрін М. М., Рябченко Т. О. Вибір транспортного засобу для обслуговування пасажироперевезень між містом та аеропортом (на прикладі аеропорту «Бориспіль» м. Київ). Сучасні проблеми архітектури та містобудування, 2010. Вип.24. С. 257-263.
8. Вакарчук І.М., Корітчук С.О. Удосконалення пасажирських перевезень при взаємодії видів транспорту. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, 2017. Вип.102. С. 193 – 203.
9. Ceder A., Golany B., Tal O. Creating bus time table with maximal synchronization. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2001. vol. 35. no 10. pp. 913 – 920. DOI: 10.1016/S0965-8564(00)00032-X.
10. Abdolmaleki M., Masoud N., Yin Y. Transit timetable synchronization for transfer time minimization. Transportation Research Part B: Methodological, 2019. vol.131. pp.143-159. DOI: 10.1016/j.trb.2019.12.002.
11. Ning J., Peng Q., Zhu Y., Jiang Y., Nielsen O. A. A Bi-objective optimization model for the last train timetabling problem. Journal of Rail Transport Planning & Management, 2022. vol. 23. 100333. DOI: 10.1016/j.jrtpm.2022.100333.
12. Massobrio R., Neschachnow S., Muraña J., Dorronsoro B. Learning to optimize timetables for efficient transfers in public transportation systems. Applied Soft Computing, 2022. vol.119. 108616. DOI: 10.1016/J.ASOC.2022.108616.
13. Ломотько Д. В., Філіпський О. В., Кравченко Д. М. Удосконалення роботи транспортно-пересадочних вузлів під час мультимодальних пасажирських перевезень за участю залізниць та автотранспорту. Наукові праці ВНТУ, 2019. №4. С. 1 - 12.
14. Турпак С. М., Васильєва Л. О., Харченко Т. В., Веремеєнко Л. А., Гришко В. В. Підвищення ефективності взаємодії залізничного та водного транспорту визначенням раціональних розмірів руху. Вчені записки Таврійського нац. ун-ту ім. В.І.Вернадського. Серія : Технічні науки. – Київ. 2020. Том 31 (70). № 2. Ч. 2. С. 175-181.
15. Турпак С. М., Лебідь Г. О., Падченко О. О. Підвищення ефективності технології взаємодії міського та приміського залізничного пасажирського транспорту. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2011. № 1(4). С. 13-15.
16. Кузькін О. Ф. Аналіз маршрутної системи міського громадського транспорту Запоріжжя. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, 2018. № 2. С. 132-139.
17. Кузькін О. Ф. Аналіз розвитку та рівня якості послуг громадського транспорту Запоріжжя. Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки, 2018. Том 29 (68). № 2. С. 307-313.

References:

1. Buhaiko, D. O., and Tereshchenko A.V. (2009). «Interaction of transport market subjects at international airports», Naukojemni tehnologiyi, no 2. pp. 29-32.

2. Manivchuk, V. V. (2014), «Innovative technologies of passenger transport are the basis of the development of intermodal transport systems», *Ukrayinski zalznici*, no 11 (17). pp. 30-33.
3. Aksenov, Y. M., and Razumova E. N. (2014). «Solving problems in the "passenger transportation" system based on a co-evolutionary strategy», *Problemi pidvishhennya efektyvnosti infrastrukturi*, iss. 39. pp. 11-18.
4. National transport strategy of Ukraine for the period until 2030. Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine of May 23.05.2018, No. 430-r: Official site. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text>. (accessed , May 23, 2022).
5. Program for the development and improvement of passenger transport in the city of Zaporizhzhia for 2021-2023. – Approved by Zaporizhzhya City Council decision No. 67 dated 04/23/2021: Official site: URL: <https://zp.gov.ua/uk/sessions/114/resolution/45901>. accessed , May 23, 2022).
6. Aheieva, H. M. (2021). «The ground component of the organization of transport services for air passengers», *Zbirnik materialiv mizhnarodnoyi naukovo-praktichnoyi konferenciyi «Problemi organizaciyi perevezen ta upravlinnya na povitryanomu transporti»*. Kyiv: NAU, pp. 345-347.
7. Osietrin, M. M., and Riabchenko T. O. (2010). «The choice of a vehicle for servicing passenger transportation between the city and the airport (on the example of Boryspil airport, Kyiv)», *Suchasni problemi arhitekturi ta mistobuduvannya*, iss. 24. pp. 257-263.
8. Vakarchuk, I. M., and Koritchuk S. O. (2017). «Improvement of passenger transportation with the interaction of modes of transport», *Avtomobilni dorogi i dorozhnye budivnictvo*, iss. 102. pp. 193-203.
9. Ceder, A., Golany, B., Tal, O. (2001). «Creating bus time table with maximal synchronization», *Transp. Res. Part A: Policy and Practice*, vol. 35, no 10, pp. 913 – 920. DOI: 10.1016/S0965-8564(00)00032-X.
10. Abdolmaleki, M., Masoud, N., Yin, Y. (2019). «Transit timetable synchronization for transfer time minimization», *Transportation Research Part B: Methodological*, vol.131, pp.143-159. DOI: 10.1016/j.trb.2019.12.002.
11. Ning, J., Peng, Q., Zhu, Y., Jiang, Y., Nielsen, O. A. (2022). «A Bi-objective optimization model for the last train timetabling problem», *Journal of Rail Transport Planning & Management*, vol.23, 100333. DOI: 10.1016/j.jrtpm.2022.100333.
12. Massobrio, R., Nesmachnow, S., Muraña, J., Dorronsoro, B. (2022). «Learning to optimize timetables for efficient transfers in public transportation systems», *Applied Soft Computing*, vol.119, 108616. DOI: 10.1016/J.ASOC.2022.108616.
13. Lomotko, D. V., Filipyskyi O. V., and Kravchenko D. M. (2019). «Improving the operation of transport and transfer hubs during multimodal passenger transportation involving railways and motor vehicles», *Naukovi praci VNTU*, no 4. pp. 1-12.
14. Turpak, S. M., Vasyliieva L. O. , Kharchenko T. V. , Veremeienko L. A., Hryshko V. V. (2020). «Increasing the efficiency of the interaction of railway and water transport by determining the rational dimensions of traffic», *Vcheni zapiski Tavrijskogo nac. un-tu im. V.I.Vernadskogo. Seriya: Tehnichni nauki*. Kyiv, vol. 31 (70), no 2. part 2. pp. 175-181.
15. Turpak, S. M., Lebid H. O., and Padchenko O. O. (2011). «Increasing the efficiency of the technology of interaction of urban and suburban railway passenger transport», *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij*. no 1(4). pp. 13-15.
16. Kuzkin, O.F. (2018). «Analysis of the route system of Zaporizhzhia city public transport», *Visnik Shidnoukrayinskogo nacionalnogo universitetu imeni Volodimira Dalya*, no.2. pp. 132-139.
17. Kuzkin, O.F. (2018). «Analysis of the development and level of quality of public transport services in Zaporizhzhia», *Vcheni zapiski Tavrijskogo nac. un-tu im. V.I.Vernadskogo. Seriya : Tehnichni nauki*. Kyiv, vol. 29 (68), no 2. pp. 307-313.

© С. М. Турпак, С. В. Грицай, О. О. Острогляд,
Л. О. Васильева, І. О. Свинцицька, 2022.

Науково-методична стаття.

Надійшла до редакції 02.08.2022.

Прийнято до публікації 12.12.2022.