

УДК 656.072

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2021.3.6>

Л.А. ТАРАНДУШКА

Черкаський державний технологічний університет
ORCID: 0000-0002-1410-9088

Н.Л. КОСТЬЯН

Черкаський державний технологічний університет
ORCID: 0000-0002-1599-4007

М.П. РУДЬ

Черкаський державний технологічний університет
ORCID: 0000-0002-8936-6812

Д.В. ВАСИЛЕНКО

Черкаський державний технологічний університет
ORCID: 0000-0003-2596-0676

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ НА ЗУПИННИХ ПУНКТАХ МІСЬКИХ МАРШРУТІВ

В роботі досліджується проблема оптимізації руху громадського транспорту на основі імітаційного моделювання. Метою роботи є оцінювання операційних характеристик системи організації міського громадського транспорту для задоволення транспортних потреб мешканців міста. Побудовано дискретну імітаційну модель організації руху пасажирів та маршрутних транспортних засобів на зупинному пункті. Транспортний засіб у сукупності з зупинним пунктом розглядається як багатоканальна система масового обслуговування з відмовами. Розроблено алгоритм визначення середнього часу очікування пасажирів в черзі та алгоритм визначення раціонального інтервалу часу між маршрутними транспортними засобами, що прибувають на зупинний пункт. Кількість вільних місць в транспортному засобі задається як випадкова величина. Алгоритми базуються на використанні динамічних структур даних, зокрема черги обмеженої довжини. Крім максимальної та поточної довжини до структури черги входить масив, елементами якого є часові інтервали між появою пасажирів на зупинному пункті. При цьому проміжки між додаванням чергового пасажирів до черги змінюються залежно від часу доби. Модель реалізована на прикладі зупинних пунктів на одному з автобусних маршрутів м. Черкаси із застосуванням об'єктно-орієнтованої парадигми програмування. Програмний проект виконано із використанням мови C++ в повнофункціональному середовищі розробки програмних додатків Visual Studio 2019. Застосування запропонованої моделі при реорганізації руху громадського транспорту дозволило скоротити середній час очікування пасажирів з 11 хв до 9 хв та розробити рекомендації щодо шляхів вирішення проблеми переповнення зупинних пунктів у години «пік», що є особливо актуальним в період карантинних обмежень у зв'язку з поширенням Covid-19.

Ключові слова: система масового обслуговування, громадський транспорт, імітаційна модель

Л.А. ТАРАНДУШКА

Черкаський державний технологічний університет
ORCID: 0000-0002-1410-9088

Н.Л. КОСТЬЯН

Черкаський державний технологічний університет
ORCID: 0000-0002-1599-4007

М.П. РУДЬ

Черкаський державний технологічний університет
ORCID: 0000-0002-8936-6812

Д.В. ВАСИЛЕНКО

Черкаський державний технологічний університет
ORCID: 0000-0003-2596-0676

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПАСАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА НА ОСТАНОВОЧНЫХ ПУНКТАХ ГОРОДСКИХ МАРШРУТОВ

В работе исследуется проблема оптимизации движения общественного транспорта на основе имитационного моделирования. Целью работы является оценка операционных характеристик системы организации городского общественного транспорта для удовлетворения транспортных потребностей жителей города. Построена дискретная имитационная модель организации движения пассажиров и маршрутных транспортных средств на остановочном пункте. Транспортное средство в совокупности с остановочным пунктом рассматривается как многоканальная система массового обслуживания с отказами. Разработан алгоритм определения среднего времени ожидания пассажиров в очереди и

алгоритм определения рационального интервала времени между маршрутными транспортными средствами, прибывающими на остановочный пункт. Количество свободных мест в транспортном средстве задается как случайная величина. Алгоритмы основаны на использовании динамических структур данных, в частности очереди ограниченной длины. Кроме максимальной и текущей длины в структуру очереди входит массив, элементами которого являются временные интервалы между появлением пассажиров на остановочном пункте. При этом промежутки между добавлением очередного пассажира в очередь меняются в зависимости от времени суток. Модель реализована на примере остановочных пунктов на одном из автобусных маршрутов г. Черкассы с применением объектно-ориентированной парадигмы программирования. Программный проект выполнен с использованием языка C++ в полнофункциональном среде разработки приложений Visual Studio 2019. Применение предложенной модели при реорганизации движения общественного транспорта позволило сократить среднее время ожидания пассажиров с 11 мин до 9 мин и разработать рекомендации относительно путей решения проблемы переполнения остановочных пунктов в часы «пик», что особенно актуально в период карантина в связи с распространением Covid-19.

Ключевые слова: система массового обслуживания, общественный транспорт, имитационная модель

L.A. TARANDUSHKA

Cherkasy State Technological University
ORCID: 0000-0002-1410-9088

N.L. KOSTIAN

Cherkasy State Technological University
ORCID: 0000-0002-1599-4007

M.P. RUD

Cherkasy State Technological University
ORCID: 0000-0002-8936-6812

D.V. VASYLENKO

Cherkasy State Technological University
ORCID: 0000-0003-2596-0676

COMPUTER MODELING OF THE MOVEMENT OF PASSENGER TRANSPORT AT CITY BUS STOPS

The paper investigates the problem of optimization of public transport traffic based on simulation. The aim of the work is to assess the operational characteristics of the urban public transport organization system to meet the transport needs of city residents. A discrete simulation model for organizing the movement of passengers and route vehicles at a bus stop has been built. The vehicle in conjunction with the bus stop is considered as a multi-channel queuing system with failures. An algorithm for determining the average waiting time of passengers in a queue and an algorithm for determining a rational time interval between route vehicles arriving at a bus stop have been developed. The number of free seats in the route vehicle is set as a random variable. The algorithms are based on the use of dynamic data structures, in particular, queues of limited length. In addition to the maximum and current length, the queue structure includes an array whose elements are the time intervals between the appearance of passengers at the stopping point. In this case, the intervals between the addition of the next passenger to the queue change depending on the time of day. The model is implemented on the example of stopping points on one of the bus routes in Cherkassy using an object-oriented programming paradigm. The software project was executed using the C++ language in the fully functional Visual Studio 2019 application development environment. The application of the proposed model in the reorganization of public transport allowed to reduce the average waiting time for passengers from 11 minutes to 9 minutes and to develop recommendations on how to solve the problem of overcrowding at stop points during peak hours, which is especially important during the quarantine period due to the spread of Covid-19.

Keywords: queuing system, public transport, simulation model.

Постановка проблеми

Вдосконалення громадського міського транспорту є на сьогодні одним з найважливіших напрямів розвитку міст в розвинутих країнах світу. Причиною значної уваги до громадських видів міського транспорту є необхідність покращення екологічного стану міст, зменшення вуглецевого сліду людини, підвищення комфорту та швидкості переміщення пасажирів. Ці завдання стають все більш актуальними в умовах стабільного росту частки міського населення у всьому світі [1,2]. Окрім того, прогнозується, що до кінця поточного десятиліття близько третини приросту міського населення становитимуть міста з населенням більше мільйона жителів.

Сучасні урбаністичні дослідження проблем переміщення населення в межах міста [3,4]

приділяють значну увагу питанням максимальної відмови від автомобілів особистого користування на користь інших засобів переміщення. Зокрема, значна увага приділяється підвищенню пішої доступності для об'єктів міста в межах 30 хвилин ходьби, розвитку велоінфраструктури для поїздок на відстані до 10 км та вдосконаленню громадського транспорту, який повинен забезпечувати швидке та комфортне переміщення на більші відстані.

Водночас на цьому фоні особливо стають помітними проблеми громадського транспорту в більшості міст України. Слід відзначити фактичну відсутність довгострокової стратегії його розвитку як на національному, так і на місцевому рівнях. Формально у 2010 році була прийнята «Транспортна стратегія України на період до 2020 року» [5], в якій було визначено шляхи реформування міського транспорту. Проте, прийнята в ній стратегія не була практично реалізована в повній мірі. У 2018 році урядом була прийнята нова «Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року» [6], в якій були оновлені напрями реформування міського громадського транспорту відповідно до сучасних світових тенденцій. Зокрема, значний акцент зроблено на розвитку громадського міського транспорту (в першу чергу електротранспорту) та розвитку системи мережі паркувальних зон і пасажирських терміналів для пересадки з індивідуального транспорту на міський. Враховуючи низький рівень доходів населення та недостатнє бюджетне фінансування громадського транспорту, якість транспортних послуг постійно зменшується. Це призводить до тенденцій, протилежних світовим, коли в українських містах зростає кількість заторів, збільшується забруднення, спостерігаються проблеми з паркуванням в центрах притягання поїздок, що в свою чергу ще більше погіршує умови роботи міського транспорту. Вирішення означених проблем потребує побудови покрокової і різнопланової стратегії розвитку громадського транспорту, в тому числі і на місцевому рівні.

Задачу розвитку і поступового збільшення частки громадського міського транспорту за рахунок зменшення використання приватного транспорту слід розглядати комплексно. Як у напрямку підвищення якості транспортних послуг, так і у напрямку популяризації, серед найбільш економічно активного населення, яке схильне надавати перевагу особистому транспорту. В розвинених країнах останньому аспекту приділяється значна увага. Проте, важливим аспектом, що впливає на рівень задоволення вимог неспільгових категорій населення щодо якості надання транспортних послуг, є передбачуваність часу поїздки міським транспортом. Відповідно до зазначеного, найбільш непередбачуваною складовою такої поїздки є час очікування на зупинних пунктах міського транспорту. З іншого боку, для транспортних операторів важливим є визначення періодичності руху, за якої досягається максимальне завантаження маршрутного транспортного засобу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питанням визначення часу очікування на зупинних пунктах міського транспорту приділялась увага значної кількості дослідників. Класичною вважається формула радянського інженера А.Х. Зільбертала, запропонована у 1932 році [7].

$$M(W) = \frac{I}{2} + \frac{\sigma_I^2}{2 \cdot I},$$

де $M(W)$ – математичне очікування випадкової величини часу очікування пасажиром маршрутного транспортного засобу на зупиночному пункті;

I – плановий інтервал руху транспортного засобу на маршруті;

σ_I – середньоквадратичне відхилення фактичного інтервалу руху ТЗ на маршруті.

Ця формула використовувалась у багатьох ранніх дослідженнях закордонних авторів [8], виходячи з припущення про випадковий час прибуття пасажирів на зупинку транспорту незалежно від графіку його роботи. Однак, в подальших дослідженнях було показано, що таке припущення не відповідає реальній поведінці пасажирів. Особливо це стало помітно з розвитком інформаційних технологій.

У працях зарубіжних вчених значна увага приділяється питанню дослідження суб'єктивного сприйняття пасажиром часу проведеного на зупинці та впливу відчуттів пасажира на прийняття рішення при виборі виду переміщення. Зокрема в роботі [9] робиться припущення, що люди часто при виборі виду транспорту користуються не стільки об'єктивними даними, а суб'єктивним сприйняттям. Для перевірки висунутої гіпотези було проведено анкетування мешканців міста на зупинних пунктах, що містять засоби надання населенню інформації у режимі реального часу про фактичний час очікування, та тих, які не оснащені інформаційними табло. Результати дослідження показали, що пасажирів, які не мають точної інформації при фактичному очікуванні від 3 до 15 хвилин, схильні до перебільшення оцінки часу очікування на 0,84 хвилини. Скорочення часу очікування потенційно може бути переведено на зменшення експлуатаційних витрат або збільшення задоволеності пасажирів та збільшення їх кількості у громадському транспорті, залежно від політики, прийнятої перевізником. В роботі [10] шляхом анкетування та статистичної обробки отриманих даних на автобусному маршруті м. Інсбрук, Австрія підтверджено негативний вплив часу очікування на сприйняття громадського транспорту та надано рекомендації щодо облаштування зупинних пунктів мультимедійними інформаційними

системами, які сприяють підвищенню привабливості громадського транспорту в порівнянні з індивідуальними транспортними засобами.

Важливим фактором, який підвищує можливості дослідження проблем громадського міського транспорту, стало активне впровадження в розвинених країнах систем автоматизованого контролю руху транспортних засобів з використанням супутникової навігації, систем автоматичної електронної оплати за проїзд та General feed transit specification (GTFS) – специфікації даних, що дозволяє агентствам громадського транспорту публікувати свої дані про транспорт в форматі, який може використовуватися широким спектром програмних додатків. Дану інформацію пасажирів можуть отримувати через персональні гаджети та через інформаційні табло, що розміщені на зупинках. Автоматично зібрані дані були використані в роботі [11] для вимірювання часу очікування пасажирів на маршруті aBRT (arterial Bus Rapid Transit, магістральний швидкісний автобус) у місті Сент-Пол, штат Міннесота, США. Для аналізу даних використано гамма-розподіл та визначено розподіл часу очікування пасажирів залежно від різних чинників. Встановлено, що найбільш значущими для часу очікування є розташування зупинного пункту на лінії (для кінцевих та інших зупинних пунктів значення суттєво відрізнялись), час доби та відхилення транспортного засобу від графіку.

Останнім часом з'явилося багато робіт вітчизняних вчених, в яких досліджуються аспекти оптимізації мережі громадського транспорту, зокрема пов'язані з зупинними пунктами [12]. В роботі [13] проведено аналітичне моделювання середнього часу очікування пасажирів за умови детермінованих інтервалів часу між транспортними засобами та за умови їх випадкового прибуття на зупинку. В роботі [14] цією ж групою авторів була розроблена аналітична залежність, яка дозволяє розрахувати середнє значення часу очікування для маршрутної системи міста у випадку, коли пасажиром не відомий розклад руху транспорту на маршруті, та для пересування до цілі поїздки наявні як мінімум два маршрути. Наявність дублюючих маршрутів з одного боку збільшує варіативність поїздок для пасажирів, а з іншого ускладнює процес моделювання таких поїздок та збільшує непередбачуваність часу очікування.

В роботі [15] досліджується можливість оптимізації мережі транспорту загального користування шляхом зменшення кількості дублюючих маршрутів виходячи з припущення, що пасажирів не знають розкладу руху транспортних засобів на маршруті, момент їх прибуття на зупинку випадковий і описується стаціонарним потоком; інтервал прибуття транспортних засобів на зупинку має закон розподілу Ерланга.

В роботі [16] в процесі оптимізації руху міського пасажирського транспорту модель маршрутних транспортних засобів являє собою багатоканальну систему масового обслуговування. Вихідними даними за моделлю є інтенсивності потоку пасажирів та транспортних потоків. При цьому враховуються втрати пасажирів та вартість проїзду. Цільова функція являє собою втрати системи «місто» що прямує до мінімуму.

Формулювання мети дослідження

Метою даної роботи є оцінювання операційних характеристик системи організації міського громадського транспорту для задоволення транспортних потреб мешканців міста.

Викладення основного матеріалу дослідження

Будемо розглядати маршрутні транспортні засоби, що прямують транспортною мережею міста, у комбінації з зупинними пунктами на маршруті як багатоканальні системи масового обслуговування. Дослідження черг в зазначених системах дозволяє визначити критерії функціонування системи, серед яких найбільш значимими є середній час очікування в черзі та довжина черги. Довжина черги системи визначається за кількістю пасажирів на окремому зупинному пункті, що очікують прибуття конкретного транспортного засобу. Якщо зупинний пункт має обмеження за кількістю місць, тобто довжина черги не може перевищувати певного значення, що задається розмірами даного зупинного пункту, то досліджувана транспортна система є системою масового обслуговування з відмовами.

Дослідження організації руху маршрутних транспортних засобів здійснено із застосуванням побудованої дискретної імітаційної моделі на прикладі автобусного маршруту №31 м. Черкаси. Для визначення середнього часу очікування пасажирів на зупинному пункті запропоновано алгоритм, блок-схему якого представлено на рис. 1.

Алгоритм базується на використанні динамічних структур даних, зокрема черги обмеженої довжини. Для зазначеної структури розроблено основні підпрограми роботи з чергою: перевірки наповненості черги, визначення поточної кількості людей в черзі, додавання в чергу та вилучення пасажирів з черги, отримання інтервалів часу появи окремих пасажирів на зупинному пункті, перегляд поточного стану черги.

Алгоритм моделює рух пасажирів та транспортних засобів на зупинному пункті протягом доби. На етапах 1-6 здійснюється введення вихідної статистичної інформації: максимальної кількості людей на зупинному пункті (відповідає максимальній довжині черги), що визначається з розрахунку 1 м^2 на пасажирів [17], середнього часу між появою пасажирів на зупинному пункті в години «пік» та в інші часи доби, середнього часового інтервалу між маршрутними транспортними засобами, типу зупинного пункту

(кінцевий чи некінцевий). На етапі 7 формується черга, що на початку алгоритму є порожньою. Лічильнику пасажирів, що здійснили посадку у транспортний засіб, на початку нової доби присвоюється нульове значення.

Лічильник циклу (етап 9) приймає значення поточного часу доби від початку до закінчення руху у хвиликах. Рух за досліджуваним маршрутом триває 18 годин (з 5:00 до 23:00). На кожній ітерації циклу перевіряється, до якого періоду доби відноситься поточний час (етап 10), а також виконання умов прибуття нового пасажирів (етап 13) та маршрутного транспортного засобу (етап 15) на зупинний пункт. Якщо умови 15 та 19 виконано, то перший за порядком пасажир вилучається з черги (етап 20) та розраховується сумарний час очікування всіх пасажирів, що скористалися транспортним засобом (цикл 22), за формулою (1):

$$WaitTime = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^L Wait_{jk}, \quad (1)$$

де N – кількість пасажирів, що отримали транспортні послуги, тому вилучаються з черги;

L – поточна довжина черги;

$Wait_{jk}$ – інтервал прибуття між пасажирами, що знаходяться у черзі після j -ї людини.

Таким чином, час очікування кожного пасажирів визначається як сума часових інтервалів між прибуттям тих мешканців міста, що встигли підійти до зупинного пункту за даним пасажиром до моменту його посадки у маршрутний автобус. Кількість вільних місць в маршрутному транспортному засобі визначається за допомогою генератора випадкових чисел.

Алгоритмом передбачено перегляд поточного стану системи обслуговування пасажирів на зупинному пункті з кроком у 30 хв. При реалізації імітаційної моделі за розглянутим алгоритмом для зупинного пункту «Азот» маршруту автобусу №31 отримано наступні результати (табл. 1).

Таблиця 1

Динаміка стану системи обслуговування пасажирів на зупинці «Азот» м Черкаси

№ ітерації i	Час доби	Довжина черги	№ ітерації i	Час доби	Довжина черги	№ ітерації i	Час доби	Довжина черги
0	5:00	0	360	11:00	0	720	17:00	13
30	5:30	20	390	11:30	1	750	17:30	14
60	6:00	17	420	12:00	0	780	18:00	19
90	6:30	10	450	12:30	2	810	18:30	2
120	7:00	9	480	13:00	0	840	19:00	0
150	7:30	20	510	13:30	4	870	19:30	2
180	8:00	15	540	14:00	0	900	20:00	2
210	8:30	17	570	14:30	2	930	20:30	4
240	9:00	0	600	15:00	1	960	21:00	0
270	9:30	1	630	15:30	2	990	21:30	4
300	10:00	0	660	16:00	0	1020	22:00	0
330	10:30	2	690	16:30	10	1050	22:30	2
Сумарний час очікування: 3454 хв.								
Кількість пасажирів, що скористались громадським транспортом: 393 пас.								
Середній час очікування пасажирів на зупинному пункті: 11 хв.								

Сумарний час очікування визначено за наступних статистичних даних: максимальна кількість людей на зупинному пункті – 20 чол., тип зупинки – некінцева, середній час між прибуттям маршрутних автобусів на зупинний пункт – 20 хв, середній час між появою нового пасажирів на зупинному пункті у години «пік» – 1,5 хв, в інші години – 7 хв.

Алгоритм визначення раціонального інтервалу часу між прибуттям маршрутних транспортних засобів наведено у вигляді блок-схеми на рис. 2.

За вказаної вище статистичної інформації рекомендований інтервал між приїздом маршрутних автобусів на зупинний пункт визначався як середнє значення відповідних інтервалів протягом доби та склав 17 хв. Мінімальний інтервал, якого було б достатньо для того, щоб зупинний пункт «Азот» не був переповнений дорівнює 2 хв.

Результати роботи останнього з двох розглянутих алгоритмів доцільно використовувати для коригування вхідних даних першого алгоритму. Так, якщо за інтервал руху автобусів прийняти 17 хв, то час очікування пасажирів на маршрутний транспорт зменшиться до 9 хв. Раціональний інтервал руху транспортних засобів на всьому маршруті визначається за формулою (2):

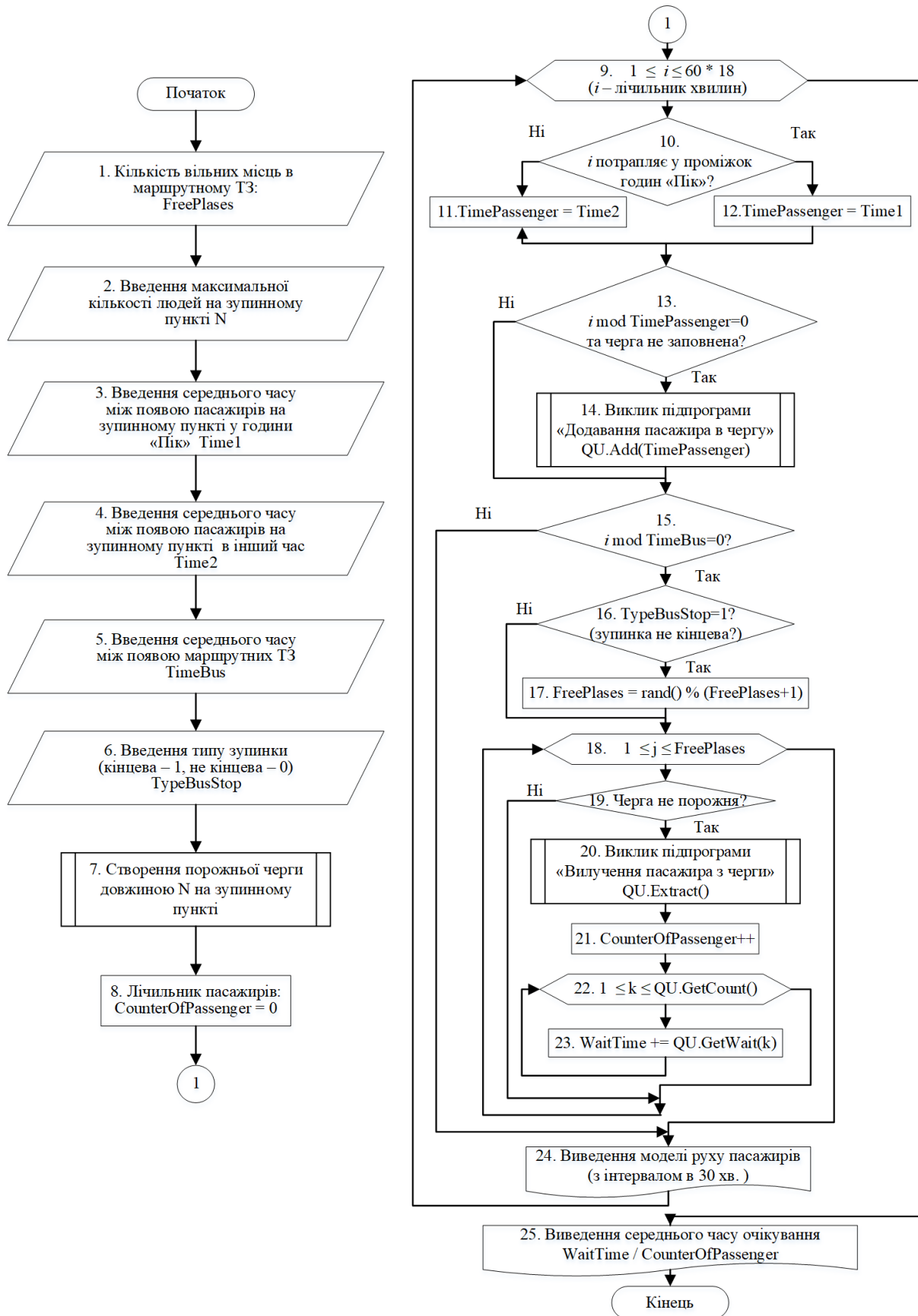


Рис. 1. Алгоритм визначення середнього часу очікування пасажирів на зупинному пункті

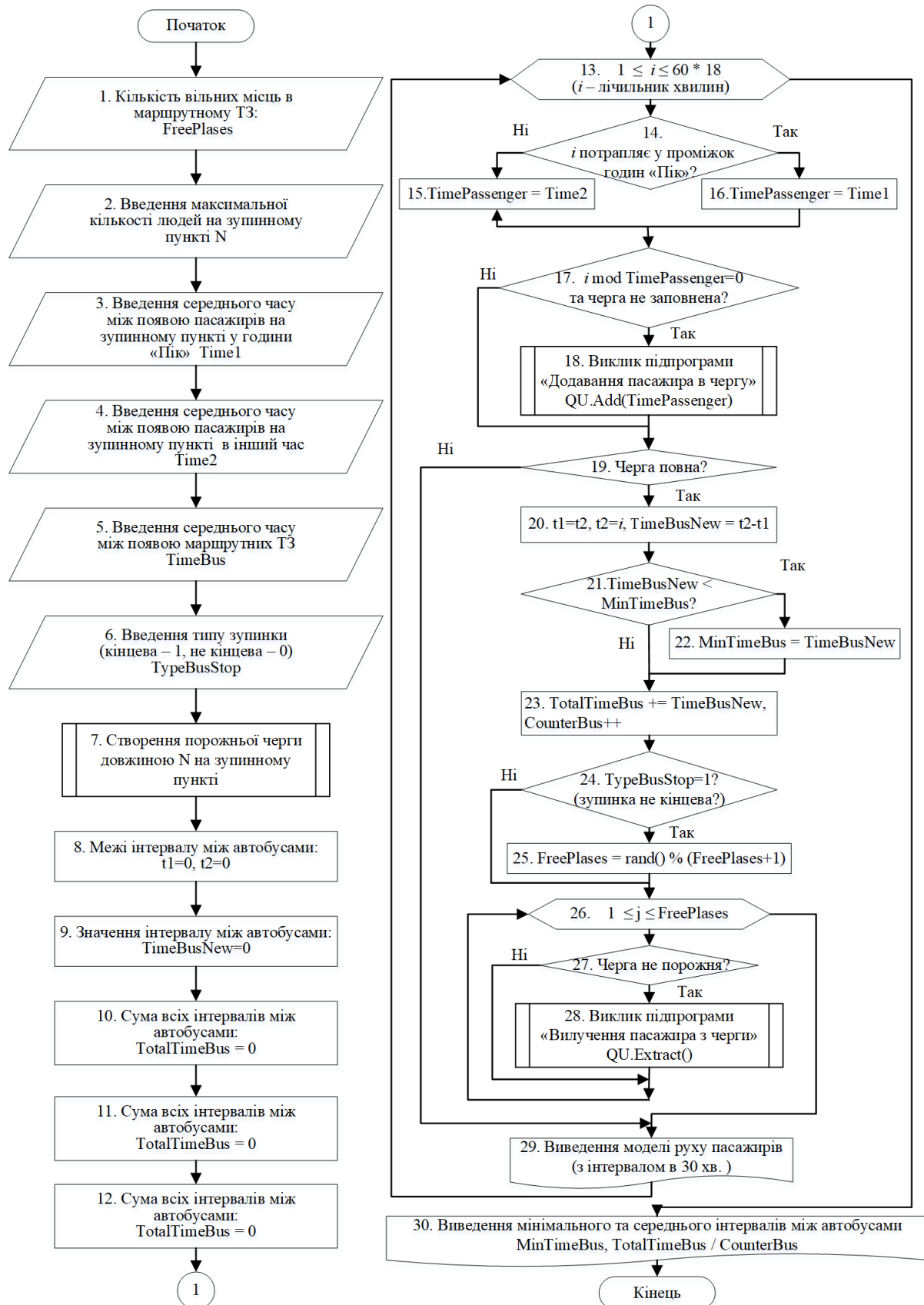


Рис. 2. Алгоритм визначення раціонального інтервалу часу між прибуттям маршрутних транспортних засобів

$$TimeRational = \min_i (AvgTimeBus_i), i = \overline{1, l}, \quad (2)$$

де l – кількість зупинних пунктів на даному маршруті;
 $AvgTimeBus_i$ – середній інтервал руху автобусів, що є достатнім для забезпечення потреб населення в громадському транспорті за даним маршрутом.

Програмна реалізація імітаційної моделі організації руху на зупинному пункті виконана із використанням мови с++, що підтримує об'єктно-орієнтовану парадигму програмування, в повнофункціональному середовищі розробки програмних додатків Visual Studio 2019.

Висновки

Таким чином, в результаті імітаційного моделювання руху транспорту та пасажирів на прикладі автобусного маршруту №31 м. Черкаси визначено середній час очікування мешканців міста на зупинному пункті, що складає 11 хв. Розраховано раціональний інтервал руху автобусів за даним маршрутом, на основі чого пропонується зменшити інтервал між прибуттям транспорту на зупинні пункти з 20 хв до 17 хв. Це дозволить скоротити середній час очікування пасажирів з 11 хв до 9 хв та розробити рекомендації щодо вирішення проблеми переповнення зупинних пунктів у години «пік», що є особливо актуальним в період карантинних обмежень у зв'язку з поширенням Covid-19. Отримані результати доцільно використовувати в процесі оцінювання показників мереж громадського пасажирського транспорту в умовах міської мобільності. Подальші дослідження будуть спрямовані на визначення показників транспортної мережі на маршрутах автобусів, ділянки яких дублюються.

Список використаної літератури

1. Map: Lisa Charlotte Rost, Datawrapper Source: UN Data Created with Datawrapper [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.datawrapper.de/_4fjdQ/.
2. World Cities Report 2020: The Value of Sustainable Urbanization [Електронний ресурс] // UN-Habitat. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://unhabitat.org/World%20Cities%20Report%202020>
3. Glaeser E. Triumph of the City: How Our Greatest Invention Makes Us Richer, Smarter, Greener, Healthier, and Happier / Edward Glaeser., 2012. – 352 с.
4. Cervero R. Beyond Mobility. Planning Cities for People and Places / R. Cervero, E. Guerra, S. Al. – Washington, DC: Island Press, 2017. – 278 с.
5. Транспортна стратегія України на період до 2020 року [Електронний ресурс]. – 2010. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-%D1%80#Text>.
6. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#n13>.
7. Зильберталь А.Х. Трамвайное хозяйство. – М.-Л.: Гострансдат, 1932. – 270 с.
8. Barnett A. On Controlling Randomness in Transit Operations / Arnold Barnett. // Transportation Science. – 1974. – №8. – С. 102–116. <https://doi.org/10.1287/trsc.8.2.102>
9. Rabi G. Mishalani. Passenger Wait Time Perceptions at Bus Stops: Empirical Results and Impact on Evaluating Real - Time Bus Arrival Information / Rabi G. Mishalani, Mark M. McCord, John Wirtz. // Journal of Public Transportation. – 2006. – №9. – С. 89–106. <http://doi.org/10.5038/2375-0901.9.2.5>
10. Millionig A. Sitting, Waiting, Wishing: Waiting Time Perception in Public Transport. [Електронний ресурс] / Alexandra Millionig // Conference Paper in Conference Record - IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems September 2012. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: doi: 10.1109/itsc.2012.6338777.
11. Webb A. Estimation of passenger waiting time using automatically collected transit data / Webb A., Kumar P., Khani A. // Public Transport. – 2020. – №12. – С. 299–311. <https://doi.org/10.1007/s12469-020-00229-x>
12. Стрельнікова В. А. Дослідження часу очікування пасажирів на маршрутах міського пасажирського транспорту / В. А. Стрельнікова, Є. В. Любий // Наукові записки [Харківського економіко-правового університету]. – 2013. – № 1 (14). – С. 134-153. Режим доступу: <http://dspace.hepu.edu.ua:8080/xmlui/handle/1/154>
13. Горбачов П.Ф. Аналітична оцінка мінімальних та максимальних витрат часу пасажирів на зупинці міського маршруту / П.Ф. Горбачов, О.В. Макарічев, О.В. Россолов, Є.В. Любий, В.М. Чижик // Автомобільний транспорт. – 2013. – № 32. – С. 67–71. Режим доступу до ресурсу: <http://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/handle/123456789/692>
14. Горбачов П.Ф. Оцінка середнього часу очікування пасажирів транспортних засобів для маршрутною мережі міста / П.Ф. Горбачов, О.В. Макарічев, В.М. Чижик // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. – 2016. – №. 72. – С. 67–71. Режим доступу до ресурсу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vhad_2016_72_12
15. Оптимізація мережі транспорту загального користування на прикладі м. Черкаси / В.В. Біліченко, Л.А. Тарандушка, Н.Л. Костьян, О.М. Пилипенко // Вісник машинобудування та транспорту. –

2021. – №1(13). – С. 13-22. <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2021-13-1-13-22>

16. Корягин М.Е., Равновесные модели системы городского пассажирского транспорта в условиях конфликта интересов. Новосибирск, Россия: Наука, 2011, 140 с. ISBN: 978–5–02–032236–3

17. ГБН В.2.3-37641918-550:2018 «Автомобільні дороги. Зупинки маршрутного транспорту. Загальні вимоги проектування». Режим доступу до ресурсу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=76711

References

1. Create charts and maps with Datawrapper. 2021. Created with Datawrapper. Available at: https://www.datawrapper.de/_/4fjdQ/ (Accessed 22 September 2021).

2. Unhabitat.org. 2021. World Cities Report 2020: The Value of Sustainable Urbanization | UN-Habitat. Available at: <https://unhabitat.org/World%20Cities%20Report%202020> (Accessed 22 September 2021).

3. Glaeser, E., Triumph of the city. Penguin Books, 2012. 352 p.

4. Cervero, R., Guerra, E. and Al, S. Beyond mobility. Island Press, 2018. 278 p.

5. Ofitsiynyy vebportal parlamentu Ukrayiny. 2021. Pro skhvalennya Transportnoyi stratehiyi Ukrayiny na period do 2020 roku. (Official web portal of the Parliament of Ukraine. 2021. On approval of the Transport Strategy of Ukraine for the period up to 2020) Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-%D1%80#Text> (Accessed 22 September 2021).

6. Ofitsiynyy vebportal parlamentu Ukrayiny. 2021. Pro skhvalennya Natsional'noyi transportnoyi stratehiyi Ukrayiny na period do 2030 roku. (Official web portal of the Parliament of Ukraine. 2021. On approval of the National Transport Strategy of Ukraine for the period up to 2030.) Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#n13> (Accessed 22 September 2021).

7. Zilbertal A.KH. Tramvaynoye khozyaystvo [Tram facilities]. Moskva. Leningrad., Gostranszdat, 1932. 270 p.

8. Barnett, A., 1974. On Controlling Randomness in Transit Operations. Transportation Science, 8(2), pp.102-116. <https://doi.org/10.1287/trsc.8.2.102>

9. Mishalani, R., McCord, M. and Wirtz, J., 2006. Passenger Wait Time Perceptions at Bus Stops: Empirical Results and Impact on Evaluating Real - Time Bus Arrival Information. Journal of Public Transportation, 9(2), pp.89-106. <http://doi.org/10.5038/2375-0901.9.2.5>

10. Millionig, A., Sleszynski, M. and Ulm, M., 2012. Sitting, waiting, wishing: Waiting time perception in public transport. 2012 15th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems doi: 10.1109/itsc.2012.6338777

11. Webb, A., Kumar, P. and Khani, A., 2020. Estimation of passenger waiting time using automatically collected transit data. Public Transport, 12(2), pp. 299-311. <https://doi.org/10.1007/s12469-020-00229-x>

12. Strelnikova V.A. Lyubyy Y.V. Doslidzhennya chasu ochikuvannya pasazhyriv na marshrutakh miskoho pasazhyrskoho transportu [Research of waiting time of passengers on routes of city passenger transport], // Naukovi zapysky [Kharkivskoho ekonomiko-pravovoho universytetu] [Scientific notes [Kharkiv University of Economics and Law]]. – 2013. – № 1(14). Available at: <http://dspace.hepu.edu.ua:8080/xmlui/handle/1/154>

13. Horbachov P.F., Makarichev O.V., Rossolov O.V., Lyubyy Y.V., Chyzhyk V.M. Analitichna otsinka minimalnykh ta maksimalnykh vytrat chasu pasazhyriv na zupyntsi miskoho marshrutu [Analytical estimation of minimum and maximum expenses of time of passengers at a stop of a city route]. Avtomobilnyy transport [Road transport]. – 2013. – № 32 Available at: <http://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/handle/123456789/692>

14. Horbachov P.F. Makarichev O.V., Chyzhyk V.M. Otsinka serednoho chasu ochikuvannya pasazhyriv transportnykh zasobiv dlya marshrutnoyi merezhi mista [Estimation of average time of waiting of passengers of vehicles for a route network of the city]. Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu [Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University]. – 2016. – №. 72.. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vhad_2016_72_12

15. Bilichenko, V., Tarandushka, L., Kostian, N. and Pylypenko, O. Optymizatsiya merezhi transportu zahalnoho korystuvannya na prykladi m. Cherkasy [Optimization of the transport network by the case of Cherkasy city]. Visnyk mashynobuduvannya ta transportu [Journal of Mechanical Engineering and Transport], 2021. 13(1), pp.13-22. <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2021-13-1-13-22>

16. Koryagin M.Y., Ravnovesnyye modeli sistemy gorodskogo passazhirskogo transporta v usloviyakh konflikta interesov [Equilibrium models of the urban passenger transport system in the context of a conflict of interest]. Novosibirsk, Rossiya: Nauka, 2011, 140 p.

17. HBN V.2.3-37641918-550:2018 «Avtomobilni dorohy. Zupyntsi marshrutnoho transportu. Zahalni vymohy proektuvannya» [State building code B.2.3-37641918-550: 2018 "Roads. Stops of route transport. General design requirements"].