Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ

САМЧУК ГАННА ОЛЕКСАНДРІВНА

УДК 656.072

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНИХ ВУЗЛІВ НАЗЕМНОГО МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

Спеціальність 05.22.01 – транспортні системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Вдовиченко Володимир Олексійович,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри транспортних технологій.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Альошинський Євген Семенович,
Український державний університет залізничного транспорту, професор кафедри транспортних систем та логістики;

кандидат технічних наук, доцент
Россолов Олександр Вікторович,
Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, доцент кафедри транспортних систем і логістики.

Захист відбудеться «23» травня 2018 р. о $14^{\underline{00}}$ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.059.02 у Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті за адресою: 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківського національного автомобільно-дорожнього університету за адресою: 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Автореферат розісланий «___» квітня 2018 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради О.П. Смирнов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Щорічне зростання темпів автомобілізації є причиною заторів, дорожньо-транспортних пригод, використання невідновлюваних ресурсів і забруднення атмосфери, що призводить до зниження якості життя та суперечить концепції сталого розвитку.

Ефективність пасажирських транспортних систем сучасних міст ґрунтується на транспортно-пересадочних вузлах (ТПВ), які є каркасним елементом маршрутної мережі. Їхній розвиток дає можливість для удосконалення транспортного процесу, забезпечення якості обслуговування та підтримки мобільності населення. Сьогодні функціонування більшості ТПВ характеризується значними витратами часу пасажирів під час пересадки, а також скупченням транспортних засобів на зупиночних пунктах, що призводить до збільшення навантаження на довкілля та зниження безпеки виконання транспортних операцій. Зазначені проблеми вказують на недосконалість технічної та технологічної форм взаємодії пасажирського транспорту.

Для забезпечення умов узгодженої роботи пасажирського транспорту у ТПВ першочерговим питанням є синхронізація розкладів руху. Такий напрям є перспективним і відповідає стратегії розвитку Європейського транспорту до 2050 р., представленій у Білій книзі «План розвитку Єдиного європейського транспортного простору – на шляху до конкурентоспроможної та ресурсоефективної транспортної системи».

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до «Транспортної стратегії України на період до 2020 року», що затверджена розпорядженням № 2174-р Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р., та у рамках науково-дослідної роботи «Підвищення ефективності функціонування міських пасажирських систем з позиції стійкого розвитку» (реєстраційний номер 0115U003264), відповідає сучасним тенденціям забезпечення сталого розвитку транспортних систем, сформованим у Білій книзі Європейської Комісії «План розвитку Єдиного європейського транспортного простору – на шляху до конкурентоспроможної та ресурсоефективної транспортної системи».

Мета і завдання дослідження. Мета дослідження – підвищити ефективність взаємодії суб'єктів міського пасажирського транспорту (МПТ) у ТПВ.

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі завдання:

– проаналізувати сучасний стан та обґрунтувати напрями підвищення ефективності функціонування ТПВ;

– визначити показники для оцінювання ефективності функціонування ТПВ із позиції погодження з принципами сталого розвитку та формалізувати критерій ефективності;

– розробити імітаційну модель функціонування міського ТПВ та виконати її програмну реалізацію;

– визначити закони розподілу випадкових величин тривалості технологічних операцій та параметри функціонування ТПВ;

– провести експериментальні дослідження із визначення впливу часових параметрів взаємодії суб'єктів МПТ на ефективність функціонування ТПВ;

– розробити методику узгодження параметрів взаємодії МПТ у ТПВ;

– оцінити економічний ефект від запропонованих заходів щодо підвищення ефективності ТПВ.

Об'єктом дослідження є процес функціонування ТПВ наземного МПТ.

Предметом дослідження є вплив часових параметрів взаємодії суб'єктів технологічного процесу у ТПВ на ефективність їхнього функціонування.

Методи дослідження. Для розробки теоретичних основ функціонування ТПВ застосовано методи аналізу, для формалізації об'єкта дослідження використано системний підхід та методи математичного моделювання. Розробляючи модель об'єкта дослідження, використано методи імітаційного моделювання. Для обґрунтування законів розподілу часу знаходження транспортних засобів МПТ на зупиночних пунктах ТПВ та тривалості руху використано положення теорії математичної статистики. Для встановлення залежності між часовими параметрами взаємодії МПТ у ТПВ та критерієм ефективності функціонування ТПВ застосовано методи регресійного аналізу.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у представленому науково обґрунтованому підході до підвищення ефективності функціонування ТПВ за рахунок узгодження взаємодії МПТ з позиції забезпечення раціональних соціально-економічних та екологічно безпечних параметрів реалізації технологічного процесу.

Вперше на основі запропонованого критерію, який, на відміну від існуючих, враховує екологічні та соціальні обмеження, отримано закономірності впливу параметрів синхронізації розкладу руху та часу знаходження транспортних засобів МПТ на зупиночних пунктах на ефективність функціонування ТПВ.

Удосконалено підхід до узгодження розкладів руху МПТ на основі координації прибуття транспортних засобів у ТПВ, який, на відміну від існуючих, враховує випадковий характер тривалості знаходження транспортних засобів на зупиночних пунктах у ТПВ.

Отримав подальшого розвитку підхід до синхронізації розкладів руху транспортних засобів у ТПВ, що базується на пошуку раціональних значень часу відправлення транспортних засобів із початкового зупиночного пункту.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці методики синхронізації розкладів руху громадського пасажирського транспорту у ТПВ та оптимізації руху транспортних засобів на елементах транспортної мережі міста. Практичне значення одержаних результатів досліджень підтверджується актами впровадження на ТОВ «Експрес» та ПАТ «Харківське підприємство автобусних станцій». Результати роботи використовуються у навчальному процесі Харківського національного автомобільно-дорожнього університету для підготовки студентів спеціальності 275 «Транспортні технології», що підтверджується актом.

Особистий внесок здобувача. Всі винесені на захист положення та результати їхнього застосування подано в роботах [1–16]. У наукових роботах,

що опубліковані у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає у наступному: сформовано алгоритм оптимізації руху транспортних засобів МПТ на зупиночних пунктах ТПВ [1]; надано опис бібліотеки класів для імітаційного моделювання функціонування ТПВ як елемента системи пасажирського транспорту [2]; проаналізовано та систематизовано напрями удосконалення функціонування ТПВ [3]; репрезентовано кібернетичну модель процесу функціонування ТПВ та надано характеристику виділених операцій, що відбуваються у ТПВ [4]; візуалізовано та формалізовано впливи вхідних параметрів і факторів зовнішнього середовища на технологічні операції у ТПВ [6]; визначено задачі для оцінювання системної ефективності МПТ [14]; сформовано алгоритм синхронізації розкладів руху транспортних засобів МПТ у ТПВ [16].

Апробація матеріалів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та були схвалені на:

– 79–81-й науково-технічних та науково-методичних конференціях Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (ХНАДУ, м. Харків, 2015–2017 рр.);

– наукових семінарах кафедри транспортних технологій Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (ХНАДУ, м. Харків, 2016–2017 рр.);

– Одинадцятій науково-практичній міжнародній конференції «Міжнародні транспортні коридори та корпоративна логістика» (УкрДУЗТ, м. Харків, 11–13.06.2015 р.);

– Міжнародній науково-практичній конференції, присвяченої 85-річчю заснування ХНАДУ, 85-річчю заснування автомобільного факультету та з нагоди Дня автомобіліста і дорожника: «Новітні технології в автомобілебудівництві та транспорті» (ХНАДУ, м. Харків, 15–16.10.2015 р.);

– Другій всеукраїнській науково-практичній конференції «Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні» (Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, 17–18.03.2016 р.);

– Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології і мехатроніка: освіта, наука та працевлаштування» (ХНАДУ, м. Харків, 20–21.04.2016 р.);

– KOKONAT: III Krakowska Ogólnopolska Konferencja Naukowa Transportu (Politechnika Krakowska, Kraków, Polska, 21–22.04.2016);

– International Scientific Conference «Innovative Economy: Processes, Strategies, Technologies» (Kielce, Poland, 27.01.2017);

– II Всеукраїнській науково-теоретичній конференції «Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв’язання» (Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, 16–18.03.2017 р.);

– Міжнародній науковій сесії «Інноваційні проекти в галузі технічного сервісу машин» з науково-практичної конференції «Деревооброблювальні технології та системотехніка лісового комплексу. Транспортні технології» (ХНТУСГ ім. Петра Василенка, м. Харків, 23–24.03.2017 р.);

– TRANSBALTICA 2017: Transportation science and technology: 10th International Scientific Conference (Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, Lithuania, 4–5.05.2017).

Дисертаційна робота в повному обсязі доповідалась на сумісному науковому семінарі кафедр транспортних технологій, транспортних систем і логістики, а також організації і безпеки дорожнього руху ХНАДУ (м. Харків, 13.12.2017 р.).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 16 наукових праць: 7 статей у спеціалізованих наукових виданнях, що входять до переліку МОН України; 6 статей у виданнях, що входять до міжнародних науково-метричних баз (з них 2 статті у Scopus); 7 тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій (з них 2 тези у виданні іноземної держави); отримано 1 авторське свідоцтво.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та семи додатків. Повний обсяг роботи складає 206 сторінок, основного тексту 129 сторінок, 38 рисунків та 25 таблиць. Додатки розміщені на 37 сторінках. Список використаних джерел складається із 183 найменувань на 22 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і основні задачі дослідження. Розкрито наукову новизну і методи дослідження, визначено практичне значення результатів дослідження.

У **першому розділі** проаналізовані актуальні задачі удосконалення функціонування ТПВ та визначено напрями підвищення їх ефективності.

На основі аналізу теорії та практики вдосконалення роботи ТПВ виявлено їхній потенціал для підвищення привабливості громадського транспорту та створення інтегрованих пасажирських транспортних систем. Підвищення ефективності функціонування міських ТПВ повинно ґрунтуватися на погоджені із базовими принципами сталого розвитку транспортних систем, що передбачає комплексне вирішення економічних, соціальних та екологічних проблем їхнього функціонування. За основні напрями наукових досліджень у сфері підвищення ефективності функціонування ТПВ виділено такі: удосконалення транспортних та планувальних рішень, дослідження пасажирських та пішохідних потоків, а також розвиток мультимодальних і інтермодальних пасажирських перевезень та організація взаємодії пасажирського транспорту, які представленні у дослідженнях З.В. Азаренкової, Д.О. Бугайка, В.О. Вдовиченка, Д.М. Власова, В.С. Гвоздякова, П.Ф. Горбачова, І.В. Древаль, Н.Ю. Евреєнова, Є.В. Копилова, М.Є. Кристопчука, С.Ю. Морозова, М.О. Пііра, Є.О. Рейцена, О.В. Рябової, В.І. Терзи, Б.І. Торопова, S. A. Bandara, A. Ceder, V. Gromule, H. Karimi, G. Salvo, M. Schröder, I. Solchenbach, Y. Wu, P. Zito.

Підвищити ефективність виконання технологічного процесу функціонування ТПВ можливо шляхом організації узгодженої роботи

пасажирського транспорту на основі синхронізації розкладів руху. Проведений огляд літературних джерел дає підставу стверджувати, що створення узгоджених розкладів руху МПТ є складним і важливим завданням, а також перспективним напрямом для підвищення ефективності ТПВ.

Досліджені і відображені у публікаціях методи синхронізації розкладів руху МПТ мають недоліки, зокрема такі: неврахування у моделях стохастичності руху транспортних засобів та тривалості їхнього знаходження на зупиночних пунктах; використання однакових параметрів та часових характеристик технологічних операцій для усіх маршрутів, що проходять через ТПВ. Зазначене вказує на необхідність розроблення імітаційної моделі ТПВ для відображення реального процесу перевезень. Потрібно сформувати алгоритм пошуку раціонального рішення, а програмне забезпечення для його реалізації дозволить збільшити швидкість та точність розрахунків.

У **другому розділі** сформовано теоретичні основи підвищення ефективності функціонування ТПВ та формалізовано об’єкт дослідження.

Підвищення ефективності функціонування ТПВ передбачає два аспекти: зниження часу очікування пасажирів під час пересадки у ТПВ та координація прибуття транспортних засобів МПТ на зупиночні пункти для уникнення їхнього скупчення. Синхронізація розкладів руху МПТ має своєю метою скорочення часу пересадки між маршрутами за рахунок одночасного знаходження транспортних засобів на зупиночних пунктах ТПВ. На рис. 1 подано схему розташування транспортних засобів у разі синхронізованого прибуття та без синхронізації.

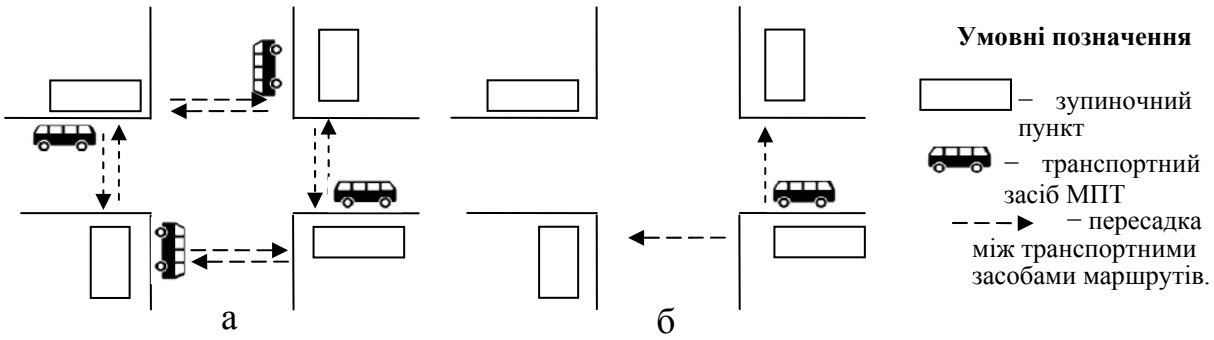

Рисунок 1 – Схема розташування транспортних засобів у разі
а – синхронізованого прибуття та б – без синхронізації

За умов недостатньої кількості постів на зупиночних пунктах у ТПВ для розміщення транспортних засобів МПТ у разі одночасного прибуття відбувається їхнє скупчення, у результаті чого виникають конфліктні ситуації та непродуктивні простої, наслідком яких є погіршення екологічної ситуації та зниження безпеки виконання технологічних операцій. Для уникнення черг та конфліктних ситуацій у зоні зупиночних пунктів необхідно забезпечити достатню кількість постів, але зазначене технічне рішення не є доцільним, тому що вимагає використання додаткових земельних ресурсів. Способом забезпечення зниження конфліктності прибуття транспортних засобів є їхня координація. Поєднання синхронізації і координації дає можливість скоротити час пересадок

пасажирів та знизити негативні впливи одночасного знаходження транспортних засобів на умови функціонування ТПВ. Складність реалізації синхронізації та координації руху МПТ у ТПВ обумовлена:

– випадковістю прибуття транспортних засобів МПТ;

– різними часовими характеристиками роботи маршрутів (інтервали, тривалість знаходження транспортних засобів на зупиночних пунктах);

– наявними ресурсними обмеженнями пропускної здатності зупиночних пунктів.

Розглядаючи ТПВ (TR) як техніко-технологічний об'єкт, пропонується основні його параметри представити як множину зупиночних пунктів S та множину часів переходу між ними D, а також множину маршрутів R, що прибувають у ТПВ, $TR = \langle S,\ D, R \rangle$. Кожний зупиночний пункт $s_q \in S,\ q = 1 \ldots N_S$ характеризується кількістю постів для одночасного знаходження транспортних засобів L_q та множиною маршрутів, що прибувають на зупиночний пункт $R_q \subseteq R,\ R = P\{r_i \,|\, i = \overline{1, N_R}\},\ R_q = \{r_i \,|\, i = \overline{1, N_{Rq}}\}$. Характеристиками маршруту r_i як елемента ТПВ є його номер, розклад руху та множина транспортних засобів $V_i = \{V_i^{(b)} \,|\, b = \overline{1, B_i}\}$. Розклад руху для розрахункового періоду для i-го маршруту описується часом відправлення транспортних засобів із початкового зупиночного пункту та інтервалом руху на маршруті. Суб'єктами технологічного процесу є транспортні засоби та пасажири. Кожний транспортний засіб $V_i^{(b)} \in V_i$ маршруту r_i, що прибуває на q-й зупиночний пункт у ТПВ, можливо охарактеризувати за допомогою моменту прибуття та часу знаходження на зупиночному пункті, які розглядаються як випадкові величини. Суб'єкт «пасажири» характеризується матрицею пересадок, що визначається на основі анкетування.

Виділено типові схеми пересадочного процесу, базовим структурним технологічним процесом у ТПВ є пересадка з транспортного засобу i-го маршруту на j-й (рис. 2).

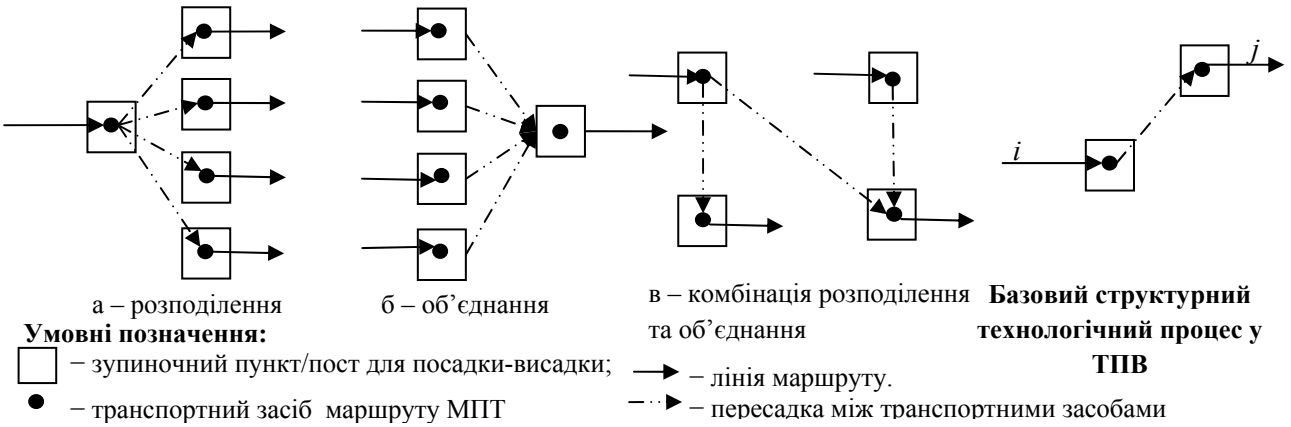

Рисунок 2 – Типові схеми пересадочного процесу в ТПВ

Кількість постів для посадки-висадки пасажирів, а також моменти прибуття транспортних засобів МПТ у ТПВ є визначальними для величини часу очікування

пасажирів під час пересадки, часу знаходження транспортних засобів у ТПВ та формування конфліктних ситуацій між транспортними засобами. Момент прибуття транспортних засобів кожного маршруту з інтервалом руху I_i є функцією часу відправлення з початкового зупиночного пункту. Управляти моментом прибуття транспортних засобів для досягнення синхронізації можна, змінюючи час відправлення з початкового зупиночного пункту, тобто зміщення відбувається шляхом додавання величини z_i до існуючого значення:

$$td_i' = td_i^{(1)} + z_i, \;\; z_i \in Z_+, \tag{1}$$

де td_i' – відкоригований час відправлення першого транспортного засобу i-го маршруту з початкового зупиночного пункту, с;

$td_i^{(1)}$ – час відправлення першого транспортного засобу i-го маршруту з початкового зупиночного пункту, с;

z_i – величина зміщення часу відправлення транспортного засобу i-го маршруту, що належить множині невід'ємних цілих чисел Z_+, с.

Задача є комбінаторною, оскільки множина часів відправлення транспортних засобів маршрутів МПТ з початкового зупиночного пункту є скінченною, а моменти відправлення – дискретними.

При визначені критерію ефективності ТПВ необхідно забезпечити його відповідність меті і завданням, що стоять перед системою більш високого рівня. Для оцінки ефективності ТПВ на основі погодження з базовими принципами сталого розвитку транспортних систем запропоновано тривимірну систему індикаторів (табл. 1).

Таблиця 1 – Компоненти критерію ефективності ТПВ із позиції сталого розвитку

Складова/Вимір	Категорія	Індикатор, умовне позначення
Соціальна складова	Витрати часу пасажирів на очікування транспортного засобу під час пересадки	Час очікування пасажирів, *tp*
	Безпека	Кількість конфліктних ситуацій у зоні ТПВ між транспортними засобами МПТ, N_{KT}
Економічна складова	Транспортні витрати	Витрати, пов'язані із знаходженням транспортних засобів у ТПВ, C_V
Екологічна складова	Земельні ресурси	Довжина зупиночного пункту ТПВ (кількість постів), *R*
	Забруднення навколишнього середовища	Об'єм викидів парникових газів, Q_{CO_2}

Кожен індикатор являє собою окрему цільову функцію та є функцією від значень технологічних показників. На основі системи індикаторів сформовано критерій ефективності, що включає вартісну оцінку часових витрат МПТ та пасажирів у ТПВ

$$C = C_V(\vec{x}) + C_P(\vec{x}) \to \min_{\vec{x} \in \Omega}, \tag{2}$$

де C – вартісна оцінка часових витрат пасажирів та МПТ у ТПВ, грн;

$C_V(\vec{x})$ – вартісна оцінка часових витрат під час знаходження транспортних засобів МПТ у ТПВ, грн;

$C_P(\vec{x})$ – вартісна оцінка часових витрат пасажирів у ТПВ, грн.

Для визначення та обґрунтування параметрів певного зупиночного пункту ТПВ необхідно розв'язати множину задач комбінаторної оптимізації із узгодження розкладів руху $\{\Phi_k\} : k \in 1...N_L$, кількість яких відповідає можливій кількості постів одночасного знаходження транспортних засобів МПТ на зупиночному пункті:

$$\Phi_k : C_k = C_V(\vec{x}_k) + C_P(\vec{x}_k) \to \min_{\vec{x} \in \Omega_k},\ k = 1, 2, ..., N_L, \tag{3}$$

$$\Omega_k : \begin{cases} tq(\vec{x}_k) \le tq'; \\ N_{KT}(\vec{x}_k) \le N'_{KT}; \\ td_i^{(1)} \le td'_i < td_i^{(1)} + I_i; \\ td_i^{(1)}, td_i^{(B_i)} \in \left[\tau_S; \tau_E\right]; \\ L = k, \end{cases}$$

де C_k – вартісна оцінка часових витрат пасажирів та МПТ у ТПВ при кількості постів на зупиночному пункті k, грн;

k – індекс кількості постів на зупиночному пункті;

$tq(\vec{x}_k)$, tq' – розрахункове та граничне значення часу очікування у черзі, с;

$N_{KT}(\vec{x}_k)$, N'_{KT} – розрахункове та граничне значення кількості конфліктних ситуацій між транспортними засобами на зупиночному пункті у ТПВ, од.;

$td_i^{(B_i)}$ – момент відправлення останнього транспортного засобу i-го маршруту з початкового зупиночного пункту за розрахунковий період, с;

τ_S: τ_E – початок та кінець розрахункового періоду, відповідно, с;

B_i – кількість транспортних засобів i-го маршруту, що прибувають у ТПВ за розрахунковий період, од.;

L – кількість постів для одночасного знаходження транспортних засобів, од.;

N_L – максимальна кількість постів для одночасного знаходження транспортних засобів на зупиночному пункті, од.

Час відправлення першого транспортного засобу маршрутів, що проходять через зупиночні пункти ТПВ, із початкового зупиночного пункту за розрахунковий період обрано як керуючі змінні $\vec{x}_k = \{td'_1, td'_2, ..., td'_{N_R}\}$, вектор значень яких необхідно визначити для досягнення ефективного функціонування ТПВ при певному значені кількості постів на зупиночних пунктах. Частиною синхронізації з метою зменшення витрат пасажирів на очікування є також штучне збільшення часу знаходження на зупиночному пункті транспортних засобів МПТ, що у разі виявлення необхідності проводиться.

Із метою гарантування екологічної доцільності прийнятого рішення встановлено обмеження: час очікування транспортних засобів у черзі, під час якого відбуваються викиди парникових газів, при реалізації запропонованих заходів не повинен бути вище ніж у базовому (поточному) варіанті. Крім того, критерій передбачає введення обмеження на кількість конфліктних ситуацій між транспортними засобами на зупиночних пунктах. В обмеженнях зазначається кількість постів, для яких відбувається пошук екстремальних значень цільової функції.

Визначити момент прибуття транспортних засобів можливо, додаючи до моменту відправлення *b*-го транспортного засобу *i*-го маршруту з початкового зупиночного пункту випадкову величину часу руху до ТПВ:

$$\tilde{M}a_i^{(b)} = td_i^{(b)} + \tilde{t}_i^{(b)},\ \ i = \overline{1, N_R},\ \ b = \overline{1, B_i}, \tag{4}$$

де $\tilde{M}a_i^{(b)}$ – момент прибуття *b*-го транспортного засобу *i*-го маршруту у ТПВ, с;

$td_i^{(b)}$ – час відправлення *b*-го транспортного засобу *i*-го маршруту з початкового зупиночного пункту, с;

$\tilde{t}_i^{(b)}$ – час руху *b*-го транспортного засобу *i*-го маршруту від початкового зупиночного пункту до ТПВ, с.

Знаходження *b*-го транспортного засобу *i*-го маршруту у ТПВ складається з простою у черзі в очікуванні звільнення зупиночного пункту (за наявності) та часу знаходження на зупиночному пункті, тривалість яких має випадкову природу. Під час моделювання технологічних операцій для транспортних засобів МПТ у момент прибуття кожного з них перевіряється наявність вільного місця на зупиночному пункті, у разі відсутності такого, транспортний засіб очікує у черзі певний час. Для встановлення значення останнього необхідно визначити різницю моменту відправлення транспортного засобу, що знаходився на зупиночному пункті, та моменту прибуття транспортного засобу, що очікує. Необхідно зазначити, що на показник часу очікування у черзі впливає встановлений розклад на маршрутах, а також характеристичні параметри руху та часу знаходження на зупиночному пункті.

Формування матриці пересадок вимагає аналізу маршрутів, що проходять у ТПВ, для виявлення можливих варіантів пересадки. Визначення пар транспортних засобів, між якими здійснюється пересадка за період моделювання, проводиться шляхом знаходження індексу першого транспортного засобу *j*-го маршруту, на який можливо пересісти. Час очікування у ТПВ формалізується як різниця між появою пасажира, який здійснює пересадку з *i*-го маршруту, на зупиночному пункті *j*-го маршруту та посадкою у транспортний засіб *j*-го маршруту. Момент появи пасажира можна визначити, додаючи до моменту прибуття *b*-го транспортного засобу *i*-го маршруту з урахуванням часу очікування у черзі (за наявності) часу переходу між лініями маршрутів. Так, підрахунок часу очікування пасажирів між певною парою транспортних засобів виконується за формулою

$$\tilde{tp}_{ij}^{bd} = (\tilde{M}b - (\tilde{M}a_i^{(b)} + \tilde{tq}_i^{(b)} + tw_{ij}) \cdot Q_{ij}, \quad (5)$$

де $\tilde{tp}_{ij}^{bd}$ – час очікування пасажирів, які здійснюють пересадку між парою транспортних засобів *i*-го та *j*-го маршрутів, с;

$\tilde{M}b$ – момент посадки пасажира у *d*-й транспортний засіб *j*-го маршруту, с;

$\tilde{tq}_i^{(b)}$ – час очікування *b*-го транспортного засобу у черзі перед зупиночним пунктом, с;

tw_{ij} – час переходу між лініями маршрутів *i* та *j*, с;

Q_{ij} – середня кількість пасажирів, які здійснюють пересадку між парою транспортних засобів *i*-го та *j*-го маршрутів, пас.

Момент посадки пасажира у *d*-й транспортний засіб *j*-го маршруту:

$$\tilde{M}b = \max(\tilde{M}a_i^{(b)} + \tilde{tq}_i^{(b)} + tw_{ij};\ \tilde{M}a_j^{(d)} + \tilde{tq}_j^{(d)}),\ d = \overline{1, D_j}. \quad (6)$$

Час очікування пасажирів під час пересадки для маршрутів *i*,*j* ($\tilde{tp}_{ij}$) встановлюється шляхом підрахунку значень для усіх пар транспортних засобів МПТ, що сполучаються за період моделювання. Для визначення загальних витрат часу пасажирів у ТПВ ($\tilde{tp}$) необхідно підсумувати значення для усіх пар маршрутів.

Таким чином, на основі формалізації внутрішніх та зовнішніх зв'язків функціонування ТПВ та виділення складових елементів розроблено математичну модель, що враховує стохастичну природу технологічних операцій та охоплює громадський транспорт, пасажирів, сукупність зупиночних пунктів.

У **третьому розділі** визначено параметри технологічних операцій функціонування ТПВ, надано опис програмної реалізації моделі, представлено еволюційний алгоритм та сформовано план проведення експерименту.

На основі спостережень на маршрутній мережі МПТ та у ТПВ встановлено значення вхідних даних і визначено закони розподілу випадкових величин: нормальний для часу руху від початкового зупиночного пункту до ТПВ та гамма-розподіл для тривалості знаходження на зупиночну пункті, що можуть бути використані в імітаційній моделі. Розрахункові значення критерію Пірсона не перевищують табличні, тому гіпотези про закони розподілу не відхиляються.

Реалізація моделі на рівні окремого ТПВ здійснена із використанням мови програмування Python. Розроблені базові класи:

– BusLine – використовується для моделювання руху транспортних засобів МПТ та технологічних операцій, що виконуються у ТПВ;

– TransferNode – є базовим класом, на основі якого проводиться імплементація імітаційної моделі функціонування ТПВ;

– AllCombinations – клас, що дозволяє виконувати синхронізацію розкладів руху транспортних засобів МПТ у ТПВ за допомогою метода повного перебору зміщень часу відправлення з початкового зупиночного пункту або еволюційного алгоритму та реалізовувати експериментальні дослідження відповідно до розробленого плану експерименту.

За результатами моделювання функціонування ТПВ визначається вектор зміщень та чисельні значення технологічних показників: час очікування транспортних засобів МПТ у черзі; кількість транспортних засобів МПТ у черзі (кількість конфліктних ситуацій у ТПВ); загальний час знаходження транспортних засобів на зупиночному пункті; час очікування пасажирів; вартісна оцінка часових витрат пасажирів та МПТ у ТПВ.

Задача, що досліджується, належить до класу задач комбінаторної оптимізації і є NP-складною. Для розв'язання подібних задач доцільно розробити та застосувати еволюційні алгоритми, що забезпечать інтелектуальний пошук рішення для задач великої розмірності. Адже через обмеженість часових ресурсів часто неможливо використовувати точні методи оптимізації. Запропоновано еволюційний алгоритм як модифікацію генетичного алгоритму для розв'язання поставленої задачі. Під популяцією розуміється набір особин, що характеризуються хромосомами. Зміщення часу відправлення з початкового зупиночного пункту являє собою ген – атомарний елемент, гени складають хромосому, довжина якої відповідає кількості маршрутів, що досліджуються (рис. 3).

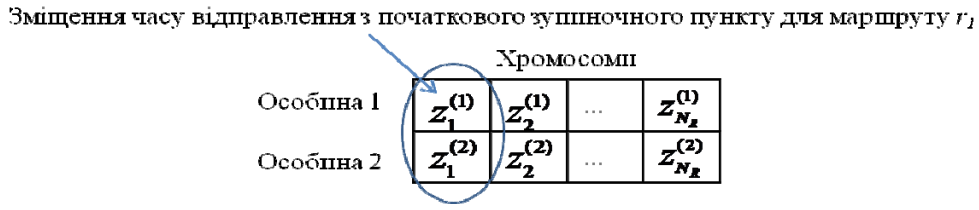

Рисунок 3 – Хромосоми для пари особин

Алгоритм не маніпулює значеннями, поданими у двійковому записі, на відміну від класичного генетичного; також відмінним є правила виконання генетичних операцій. Розрахунки критерію ефективності (функції пристосованості) проводяться із використанням імітаційної моделі.

Для визначення впливу вхідних факторів на вихідний параметр, яким є критерій ефективності, проведено імітаційний експеримент. В якості функції відгуку розглядається час очікування пасажирів та час очікування у черзі транспортних засобів МПТ. Перевіряється припущення, що на час очікування пасажирів під час пересадки (tp_{ij}) між маршрутами *i-j* за період моделювання мають вплив наступні фактори: інтервал руху транспортних засобів маршрутів МПТ, між якими здійснюється пересадка (I_i, I_j), середнє квадратичне відхилення часу їхнього руху $(\sigma(\tilde{t}_i), \sigma(\tilde{t}_j))$ та математичне очікування часу знаходження транспортних засобів на зупиночному пункті у ТПВ $(\mu(\tilde{t}s_j))$. А також перевіряються гіпотези про функціональні залежності часу очікування у черзі (tq_q) транспортних засобів МПТ від загального часу їхнього знаходження на зупиночному пункті (Ts_q) за період моделювання. Розглядаються інтервали 7, 10, 15 та 20 хв, середнє квадратичне відхилення часу руху варіюється від 30 с до 120 с, а математичне очікування часу знаходження транспортних засобів на

зупиночних пунктах у ТПВ – у межах 60–80 с з кроком 30 с. Визначення впливу факторів на час очікування пасажирів та транспортних засобів у черзі проводиться для узгодженого розкладу руху, тобто здійснюється синхронізація кожний раз при зміні значень факторів, період моделювання 3600 с.

У **четвертому розділі** дисертаційної роботи викладено результати експериментальних досліджень та їх аналіз. Отримані результати імітаційного експерименту статистично оброблені за допомогою регресійного аналізу, що проведений із використанням функції пакета аналізу MS Excel. Модель для часу очікування у черзі при одному пості на зупиночному пункті (коефіцієнт детермінації складає $R^2 = 0{,}977$) має вигляд:

$$tq_q = 0{,}01 \cdot Ts_q, \tag{7}$$

при двох постах (коефіцієнт детермінації $R^2 = 0{,}944$):

$$tq_q = 0{,}0008 \cdot Ts_q^3. \tag{8}$$

Зазначимо, що одиницями виміру для загального часу знаходження на зупиночну пункті є хвилини, а для часу очікування у черзі – секунди.

Перевірка гіпотез про вигляд регресійної моделі для часу очікування пасажирів показала, що всі фактори, одиницями вимірювання яких є секунди, значущі для довірчої ймовірності 0,95. Найбільш точно функціональний зв'язок описується за допомогою такої залежності:

$$tp_{ij} = 860936{,}5 \cdot \frac{1}{I_i} + 155{,}6 \cdot \ln\sigma(\tilde{t}_i) - 459504 \cdot \frac{1}{I_j} + 198{,}72 \cdot \ln\sigma(\tilde{t}_j) -$$

$$-280{,}45 \cdot \ln\mu(\tilde{t}sj) - 40{,}51 \cdot \left(\frac{I_i}{I_j}\right)^2 + 0{,}001 \cdot (I_i - I_j)^2. \tag{9}$$

Отримана регресійна модель для визначення витрат часу пасажирів ($R^2 = 0{,}975$) дозволить формалізувати вплив часу знаходження транспортних засобів на зупиночному пункті на критерій ефективності. Відзначимо, що це твердження справедливе для ТПВ, у якому організація руху транспортних засобів та конструктивні параметри зупиночних пунктів забезпечують відсутність непродуктивних простоїв. Кількість пасажирів, які здійснюють пересадку, відповідно до допущень, може коливатися від 0 до значення пасажиромісткості транспортного засобу j-го маршруту. Розрахунки критерію ефективності подано для кількості пасажирів 5 та 20 (рис. 4–5).

Встановлення чисельних значень параметрів, що забезпечать удосконалення функціонування та підвищення ефективності ТПВ із позиції сталого розвитку, передбачає формування управлінських рішень (рис. 6). Найкраща альтернатива обирається аналізуючи отримані розрахункові значення критерію при кожному значені постів на зупиночну пункті з урахуванням соціальних та екологічних обмежень.

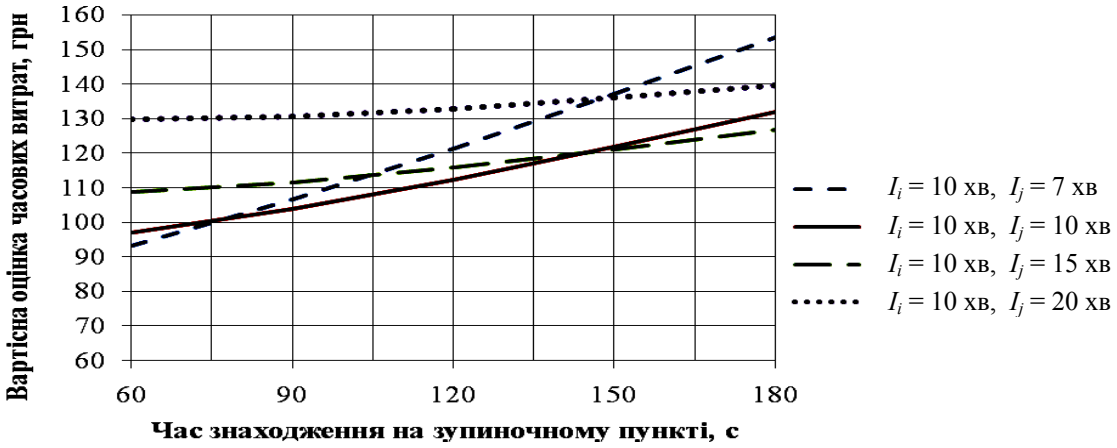

Рисунок 4 – Залежність критерію ефективності від часу знаходження транспортних засобів на зупиночну пункті (кількість пасажирів з пересадкою – 5 осіб)

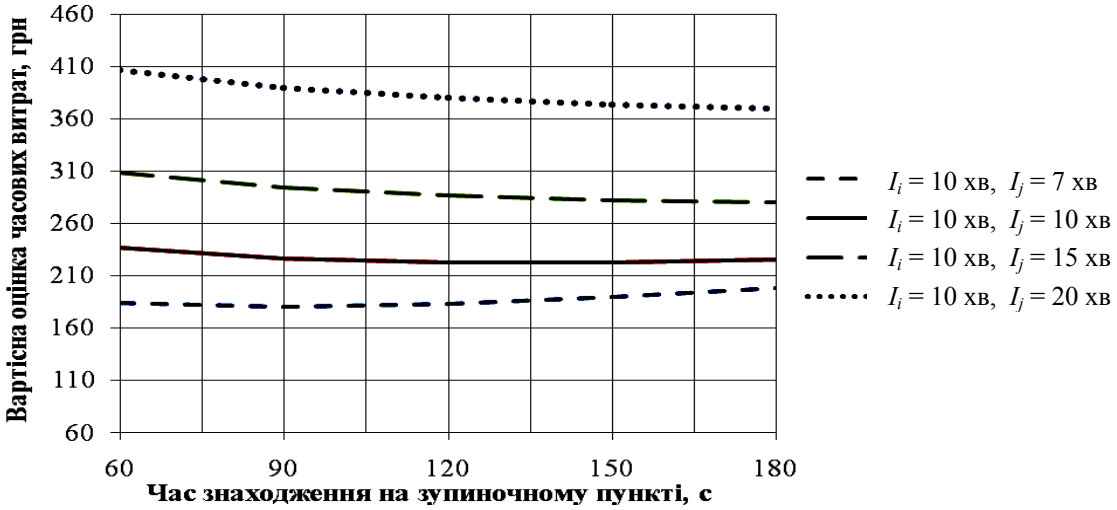

Рисунок 5 – Залежність критерію ефективності від часу знаходження транспортних засобів на зупиночну пункті (кількість пасажирів з пересадкою – 20 осіб)

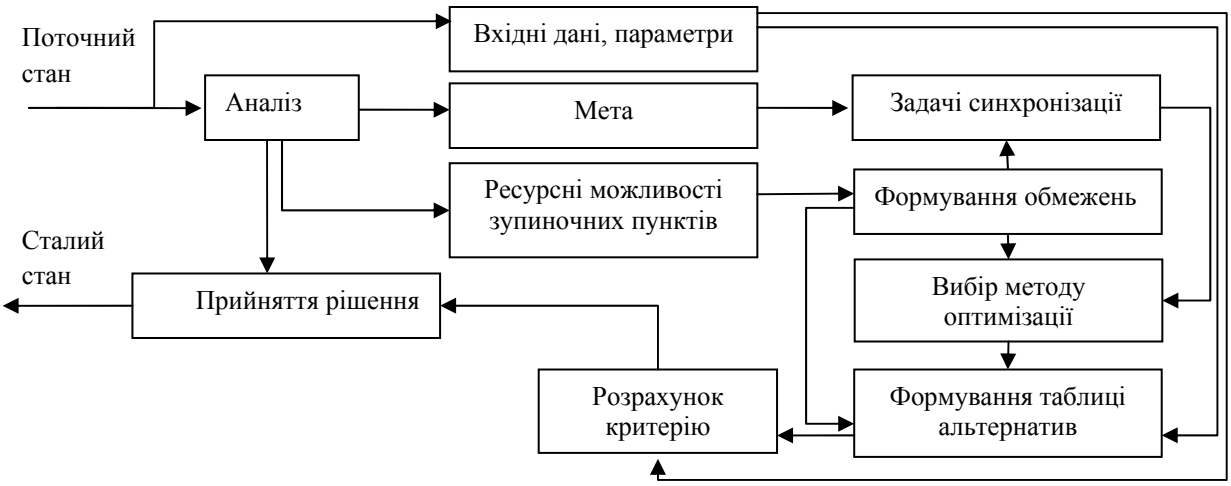

Рисунок 6 – Контур формування управлінських рішень підвищення ефективності функціонування ТПВ

Якщо у постановку задачі входить аргументування часу знаходження на зупиночному пункті у ТПВ для певного маршруту, таблиця розширюється: додаються субальтернативні варіанти. Оцінити значення критерію для узгодженого розкладу руху транспортних засобів дозволяє метод повного перебору та еволюційний алгоритм, а також розрахунок за встановленими аналітичними залежностями.

Таким чином, можна розв'язувати задачі комплексно, або окремо за напрямами, беручи до уваги умови та специфіку функціонування ТПВ у кожному окремому випадку.

У місті Харків розглянуто ТПВ, у яких відбувається сполучення маршрутів наземного пасажирського транспорту, вдосконалення проводилося для ТПВ, що знаходиться на перетині вул. Героїв Праці – вул. Гвардійців Широнінців. ТПВ складається з 4-х зупиночних пунктів, на які прибувають 13 маршрутів МПТ. Для визначення кількості постів для посадки-висадки пасажирів обрано зупиночний пункт, що має найвищу інтенсивність руху МПТ, а для зміни часу знаходження транспортних засобів на зупиночну пункті визначено маршрут за критерієм найбільшої кількості пасажирів, які здійснюють пересадку. Розрахункові значення технологічних показників, що впливають на індикатори ефективності ТПВ із позиції сталого розвитку для базового та запропонованого варіанту за годину, подано у табл. 2.

Таблиця 2 – Розрахункові значення технологічних показників, що впливають на індикатори ефективності ТПВ із позиції сталого розвитку

Складова	Індикатор (технічний/технологічний показник)	Базовий варіант	Запропонований	Ефект
Соціальна складова	Час очікування пасажирів, с.	33753,10	26872,06	6881,04
	Середня кількість конфліктних ситуацій у зоні ТПВ між транспортними засобами, од.	10,96	10,05	0,91
Економічна складова	Час знаходження транспортних засобів у ТПВ, с.	7799,58	8144,77	-345,19
Екологічна складова	Кількість постів, од.	2	2	–
	Час очікування транспортних засобів у черзі, с.	244,83	217,60	27,23

Технологічні механізми для зниження значення часових витрат пасажирів та МПТ передбачали узгодження розкладів руху та зміну часу знаходження на зупиночну пункті для обраного маршруту при різній кількості постів. На стадії прийняття рішення, яке стане основою для надання у подальшому практичних рекомендацій з удосконалення функціонування ТПВ, що розглядається, проведено зіставлення альтернатив. Обґрунтування кількості постів здійснено на основі таких економічних показників: чистий приведений ефект, індекс прибутковості, період окупності капітальних вкладень.

За результатами розрахунків визначено, що досягнути ефект можна при існуючій кількості постів за рахунок синхронізації та координації розкладів і збільшенні часу знаходження на зупиночному пункті для виділеного маршруту до двох хвилин, при цьому ефект складає 135289 грн на рік.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена науково-прикладна задача підвищення ефективності функціонування ТПВ за рахунок організації технологічного процесу на основі обліку соціально-економічних параметрів взаємодії з урахуванням стохастичності тривалості технологічних операцій.

1. Аналіз науково-практичних підходів до підвищення ефективності ТПВ дозволив їх згрупувати за такими напрямами: удосконалення транспортних та планувальних рішень, дослідження пасажирських та пішохідних потоків, а також розвиток мультимодальних/інтермодальних пасажирських перевезень, організація взаємодії пасажирського транспорту. На основі дослідження теорії та практики організації роботи ТПВ встановлено, що доцільним є підвищення ефективності їхнього функціонування за рахунок удосконалення технологічної форми взаємодії МПТ, а саме узгодження розкладів руху. Такий напрям має резерви для підвищення якості обслуговування населення шляхом зменшення часу очікування, а також уникнення чинників, що призводять до зниження рівня безпеки виконання технологічних операцій та збільшення викидів парникових газів.

2. Визначено, що заходи із підвищення ефективності функціонування ТПВ повинні формуватися на базі погодження з принципами сталого розвитку, що передбачає розгляд економічних, соціальних, екологічних складових їхнього функціонування та відповідає вимогам сьогодення. Запропонований критерій ефективності, що включає вартісну оцінку часових витрат пасажирів та МПТ у ТПВ при екологічних та соціальних обмеженнях, забезпечує всебічну характеристику функціонування ТПВ та дозволяє віднайти ресурсоефективні рішення при організацій взаємодії суб’єктів МПТ.

3. Технологічні операції у ТПВ мають ймовірнісну природу, що вказує на доцільність використання імітаційної моделі для дослідження параметрів взаємодії суб’єктів МПТ. Імплементація розробленої моделі створена у середовищі PyCharm з використанням принципів об’єктно-орієнтованого програмування, що дає можливість розробляти гнучкі імітаційні моделі для проведення експериментальних досліджень. Програмне забезпечення передбачає узгодження розкладу руху МПТ методом повного перебору зміщень часу відправлення транспортних засобів з початкового зупиночного пункту або із використанням розробленого еволюційного алгоритму, які дозволяють розв’язувати задачі різної розмірності.

4. На основі експериментальних натурних досліджень встановлено чисельні значення вхідних параметрів та перевірено гіпотези про закон розподілу випадкових величин за критерієм хі-квадрат Пірсона. Для часу руху від

початкового зупиночного пункту до ТПВ не відхилено гіпотезу про нормальний закон розподілу, для випадкової величини тривалості знаходження транспортних засобів маршрутів МПТ на зупиночному пункті – гамма-розподіл.

5. За результатами імітаційних експериментів встановлено регресійні моделі для часу очікування пасажирів під час пересадки ($R^2 = 0{,}975$) і для часу очікування транспортних засобів у черзі за наявності одного поста на зупиночному пункті ($R^2 = 0{,}977$) та двох ($R^2 = 0{,}944$). Результати експериментальних досліджень дозволили формалізувати функціональний зв'язок між критерієм ефективності і тривалістю знаходження транспортних засобів на зупиночних пунктах у ТПВ в умовах синхронізованих розкладів руху МПТ.

6. Розроблена методика узгодження параметрів взаємодії МПТ у ТПВ за критерієм вартісної оцінки часових витрат з урахуванням екологічних та соціальних обмежень заснована на виконанні процедури синхронізації та координації розкладів руху, встановленні часу знаходження транспортних засобів на зупиночних пунктах у ТПВ та обґрунтуванні необхідної кількості постів. Для оцінки мінімального значення критерію передбачено використання аналітичних залежностей або проведення узгодження розкладів руху МПТ за допомогою двох альтернативних варіантів: методів повного перебору моментів відправлення транспортних засобів із початкового зупиночного пункту чи еволюційного алгоритму, який забезпечує інтелектуальний пошук рішення для задач великої розмірності, що дозволяє врахувати специфіку ТПВ.

7. Результати дослідження були апробовані на ТПВ (перетин вул. Героїв Праці – вул. Гвардійців Широнінців) м. Харкова та показали, що при існуючих двох постах можлива організація синхронізації за умов, що час знаходження транспортних засобів МПТ для виділеного маршруту на зупиночному пункті складає 120 с. При цьому відбувається скорочення сумарного часу очікування пасажирів під час пересадки на 6881 с за годину в період «пік». Координація руху транспортних засобів забезпечує зменшення непродуктивних простоїв, за яких відбуваються викиди парникових газів, на 27 с. Запровадження визначених механізмів дозволить отримати зниження вартісної оцінки часових витрат пасажирів та МПТ у ТПВ на 135289 грн на рік, при цьому частка ефекту, що досягається за рахунок узгодження розкладів руху, складає близько 70 %.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Vdovychenko V. Method of traffic optimization of urban passenger transport at transfer nodes / V. Vdovychenko, O. Driuk, G. Samchuk // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – 3/3 (87). – P. 47–53. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.103333.

2. Naumov V. Class Library for Simulations of Passenger Transfer Nodes as Elements of the Public Transport System / V. Naumov, G. Samchuk // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 187. – P. 77–81. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.352.

3. Naumov V. Main directions of efficiency improvement of transport interchanges functioning / V. Naumov, A. Samchuk // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – 2015. – Вып. 36. – С. 118–124.

4. Naumov V. Public transport interchanges functioning from a sustainable development perspective / V. Naumov, G. Samchuk // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – 2015. – Вып. 37. – С. 49–54.

5. Samchuk G. Using sustainable development principles to assess the efficiency of transport interchanges functioning / G. Samchuk // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – 2016. – Вып. 38. – С. 13–20.

6. Вдовиченко В.О. Формування математичної моделі функціонування транспортно-пересадочних вузлів міського пасажирського транспорту / В.О. Вдовиченко, Г.О. Самчук // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – 2016. – № 17 (1189). – С. 56–61.

7. Samchuk G. The regularity of influence of traffic parameters on the probability of realisation of planned passenger transfer at transfer nodes / G. Samchuk // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – 2017. – Вып. 40. – С. 42–47.

8. Самчук Г.О. Експериментальне обґрунтування раціональних значень часу обслуговування транспортних засобів у міських транспортно-пересадочних вузлах / Г.О. Самчук // Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура. – 2017. – Вип. 139. – С. 26–32.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

9. Самчук Г.О. Сучасні тенденції забезпечення сталого розвитку транспортних систем / Г.О. Самчук // Міжнародні транспортні коридори та корпоративна логістика: одинадцята наук.-практ. міжнар. конф., 11–13 черв. 2015 р.: тези доп. – Вісник економіки транспорту і промисловості. – 2015. – Вип. 50. – С. 63.

10. Самчук Г.О. Синхронізація розкладів руху міського пасажирського транспорту як оптимізаційна задача / Г.О. Самчук // Новітні технології в автомобілебудівництві та транспорті: міжнар. наук.-практ. конф., 15–16 жовт. 2015 р. : наук. праці. – Харків, 2015. – С. 93–95.

11. Самчук Г.О. Вплив умов зовнішнього середовища на процес функціонування міських транспортно-пересадочних вузлів / Г.О. Самчук // Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні : друга всеукр. наук.-практ. конф., 17–18 берез. 2016 р.: тези доп. – Львів, 2016. – С. 86–88.

12. Самчук Г.О. До питання моделювання процесу функціонування транспортно-пересадочних вузлів / Г.О. Самчук // Інформаційні технології і мехатроніка: освіта, наука та працевлаштування: міжнар. наук.-практ. конф., 20–21 квіт. 2016 р.: наук. праці. – Харків, 2016. – С. 124–126.

13. Samchuk G. Importance of transport interchanges development and schedule synchronization / G. Samchuk // KOKONAT: III Krakowska Ogólnopolska Konferencja Naukowa Transportu, 21–22 kwietnia 2016 r.: materiały konferencyjne. – Kraków, 2016. – S. 214–218.

14. Vdovychenko V. Formation of system efficiency of urban public passenger transport under conditions of open competition / V. Vdovychenko, G. Samchuk, D. Velikodnyi // Innovative Economy: Processes, Strategies, Technologies: International scientific conference, January 27, 2017: conference proceedings, Part I. – Kielce, Poland: Baltija Publishing, 2017 – P. 150–152.

15. Самчук Г.О. До питання управління потоком транспортних засобів міського пасажирського транспорту у транспортно-пересадочних вузлах / Г.О. Самчук // Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв'язання: II Всеукр. наук.-теор. конф., 16–18 берез. 2017 р.: тези доп. – Львів, 2017. – С. 71.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

16. А.с. Метод синхронізації розкладу руху міського пасажирського транспорту у транспортно-пересадочних вузлах / В.О. Вдовиченко, Г.О. Самчук. – №74967. – 27.11.2017.

АНОТАЦІЯ

Самчук Г.О. Підвищення ефективності функціонування транспортно-пересадочних вузлів наземного міського пасажирського транспорту. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.22.01 «Транспортні системи» (275 – Транспортні технології (на автомобільному транспорті)). – Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Міністерство освіти і науки України, Харків, 2018.

Дисертація присвячена вирішенню науково-прикладної задачі підвищення ефективності функціонування транспортно-пересадочних вузлів (ТПВ) за рахунок організації технологічного процесу на основі обліку соціально-економічних параметрів взаємодії з урахуванням стохастичності тривалості технологічних операцій. Розроблена імітаційна модель ТПВ охоплює громадський транспорт, пасажирів, сукупність зупиночних пунктів та дозволяє встановити раціональні техніко-технологічні параметри, що забезпечують узгодження взаємодії міського пасажирського транспорту за критерієм мінімальної вартісної оцінки часових витрат з урахуванням екологічних та соціальних обмежень.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці методики синхронізації розкладів руху громадського пасажирського транспорту у ТПВ та оптимізації руху транспортних засобів на елементах транспортної мережі міста. Практичне значення одержаних результатів досліджень підтверджується актами впровадження на ТОВ «Експрес» та ПАТ «Харківське підприємство автобусних станцій». Результати роботи використовуються у навчальному процесі Харківського національного автомобільно-дорожнього університету для підготовки студентів спеціальності 275 «Транспортні технології», що підтверджується актом.

Ключові слова: транспортно-пересадочний вузол, сталий розвиток, розклад руху, синхронізація, зупиночний пункт, еволюційний алгоритм.

АННОТАЦИЯ

Самчук А.А. Повышение эффективности функционирования транспортно-пересадочных узлов наземного городского пассажирского транспорта. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 05.22.01 «Транспортные системы» (275 Транспортные технологии (на автомобильном транспорте)). – Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Министерство образования и науки Украины, Харьков, 2018.

Диссертация посвящена решению научно-прикладной задачи повышения эффективности функционирования транспортно-пересадочных узлов (ТПУ) за счет организации технологического процесса на основе учета социально-экономических параметров взаимодействия с учетом стохастичности продолжительности технологических операций.

Разработанная математическая модель ТПУ учитывает стохастическую природу технологических операций, охватывает общественный транспорт, пассажиров, совокупность остановочных пунктов и позволяет установить рациональные технико-технологические параметры, обеспечивающие согласование взаимодействия городского пассажирского транспорта (ГПТ) по критерию минимальной стоимостной оценки временных затрат с учетом экологических и социальных ограничений. Модель процесса функционирования ТПУ реализована в среде PyCharm. Задача по согласованию расписаний движения относится к классу задач комбинаторной оптимизации и является NP-сложной. Для решения подобных задач разработан эволюционный алгоритм, сочетающий модификацию генетического алгоритма и имитационного моделирования.

Результаты экспериментов обработаны с помощью регрессионного анализа. Определены аналитические модели для описания зависимости времени ожидания транспортных средств в очереди от общего времени нахождения на остановочном пункте для одного и двух постов на остановочном пункте, а также уравнение регрессии для определения времени ожидания пассажиров, совершающих пересадку. Используя определенную модель, можно оценить значение критерия для синхронизированного расписания движения с учетом ограничений. Предложена методика для установления значений параметров, которые обеспечивают минимизацию критерия. Принятие решение основано на анализе таблицы альтернатив, которая содержит стоимостную оценку временных затрат пассажиров и ГПТ для разного количества постов на остановочном пункте. Оценить значение критерия для согласованного расписания движения транспортных средств позволяет метод полного перебора смещений времен отправления с начального остановочного пункта и эволюционный алгоритм, а также расчет по установленным аналитическими зависимостям.

Практическое значение полученных результатов исследований подтверждается актами внедрения на ООО «Экспресс» и ПАО «Харьковское

предприятие автобусных станций», результаты работы используются в учебном процессе Харьковского национального автомобильно-дорожного университета.

Ключевые слова: транспортно-пересадочный узел, устойчивое развитие, расписание движения, синхронизация, остановочный пункт, эволюционный алгоритм.

ABSTRACT

Samchuk G.O. Efficiency improvement of the transfer nodes functioning of ground urban passenger transport. – Manuscript.

Thesis for a candidate degree (PhD) in specialty 05.22.01 «Transport systems» (275 – Transport technologies (in road transport)). – Kharkiv National Automobile and Highway University Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2018.

The thesis is devoted to the solution of the scientific and applied problem of the efficiency improvement of transfer nodes functioning due to the organization of the technological process on the basis of the account of the socio-economic parameters of interaction considering the stochastic nature of the duration of the technological operations. The developed mathematical model of a transfer node covers public transport, passengers, and a set of stopping points and allows to determine the rational technical and technological parameters that ensure the coordination of the interaction of urban passenger transport on the criterion of minimum monetary valuation of time costs, taking into account the environmental and social constraints.

The practical significance of the obtained results is a methodology for the schedules synchronization of public passenger transport at transfer nodes and the motion optimization of vehicles on the elements of the city's transport network. The practical significance of the obtained research results is confirmed by the acts of implementation on LLC «Express» and PJSC «Kharkiv Enterprise of Bus Stations». The results of the thesis are used in the educational process of the Kharkiv National Automobile and Highway University for training the students of speciality 275 «Transport Technologies», which is confirmed by the act.

Keywords: transfer node, sustainable development, schedule, synchronization, stopping point, evolutionary algorithm.

Підписано до друку 18.04.2018 р. Формат 60 × 84 1/16. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman Cyr. Віддруковано на різографі
Ум. друк. арк. 0,9.
Зам. № 92/18. Тираж 100 прим. Ціна договірна

ВИДАВНИЦТВО
Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

Видавництво ХНАДУ, 61002, Харків-МСП, вул. Ярослава Мудрого, 25.
Тел. /факс: (057)700-38-64; 707-37-03, e-mail: rio@khadi.kharkov.ua

Свідоцтво Державного комітету інформаційної політики, телебачення та радіомовлення України про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції, серія ДК №897 від 17.04 2002 р.