УДК 629.9.017 DOI: 10.30977/VEIT.2024.26.0.5

Управління якістю планування міських пасажирських транспортних систем

Тараненко М. Є.[1], Мигаль Г. В.[2], Кобріна Н. В.[1], Тараненко І. М.[1]

[1] Національний аерокосмічній університет ім. М.Є Жуковського "ХАІ"
[2] Національний університет "Львівська політехніка"

Надійшла: 04.09.2024. Прийнято: 29.11.2024. Опубліковано: 12.12.2024. Відкритий доступ: CC BY 4.0.

Анотація. *У статті обґрунтована необхідність створені матмоделі керування якістю пасажирської транспортної системи (МПТС) у залежно від мети її реалізації. Оригінальність дослідження міститься у комплексному та системному підході до визначення та формулювання кількісних показників властивостей.. Для цього запропоновано склад пріоритетних властивостей системи, сформульовано набір показників властивостей, визначено їх розмірні чи відносні значення. Практична значущість полягає у можливості використання для розрахунків паспортних даних та відомих емпіричних залежностей для складових системи, які досліджуються. Поставлена мета досягнута та вирішені поставленні задачі.*

Ключові слова: *міська транспортна система, показники якості, математичне моделювання, гнучкість, надійність, ергономічність, економічна ефективність.*

Вступ

Міські пасажирські транспортні системи (МПТС) великих міст являють собою сукупність складних підсистем, які тісно взаємопов'язані одна з іншою. У зв'язку з ростом міст складність таких систем збільшується. Це призводить до необхідності використання математичного апарату мережевих рішень. У свою чергу, це потребує синтезу багаточленних матмоделей, які адекватно описують процеси в системах та підсистемах, та дозволяють управляти якістю функціонування для цільової оптимізації. Матмоделі повинні комплексно враховувати різноманітні властивості всієї системи, а також підсистем та процесів, які складають її сутність. Для кількісної оцінки властивостей слід встановити показники (критерії) цих властивостей. При цьому бажано, щоб такі показники несли фізичний сенс та мали розмірність.

Аналіз публікацій

В останній час з'явилась низка публікацій, які присвячені плануванню міських транспортних маршрутів та їх якості [1-6, 7, 8]. У їх більшості можна прослідкувати наступні особливості:

– некомплексність розглянутих властивостей МПТС;

– основна увага зосереджена на властивості "комфортність перевезення пасажирів";

– показник цієї властивості формується на основі соціологічних опитуваннях та використовуються прості шкали типу "Так або Ні", "Погано-Задовільно-Добре".

У роботах [1, 2] для оцінки якості МПТС використовується кваліметричний підхід. Для отримання комплексного показника якості використовується функція згортки окремих групових показників у вигляді їх добутку. При цьому коефіцієнт вагомості записано у вигляді ступеню і-го показника властивості, що різко зменшує вплив на значення комплексного показника. Значення коефіцієнту вагомості, які визначені за результатами опитування пасажирів, знаходяться у межах 0,001…0,12.

У роботі [1] розглянуто декілька, суттєвих за думкою авторів, груп властивостей МПТС: рівень задоволення зупинками, якість інформаційного забезпечення, якість графіку руху, тривалість знаходження пасажирів у транспортному засобі та оцінка роботи пер-

соналу.

У роботі М. Руденко [4] приведено послідовність методу оцінки якості перевезень пасажирів (у розглянутому випадку на залізничному транспорті), характерна для усіх видів пасажирського транспорту:

– визначення критеріїв оцінювання, складання переліку показників;

– підготовка експертів;

– оцінка експертами якості та вагомості властивостей;

– агрегація результатів;

– аналіз результатів та прийняття рішення.

Автори роботи [6] привели низку показників транспортних засобів, включаючи показники транспортної роботи, забруднення оточуючого середовища, а також необхідність використання кваліметричного підходу до оцінки якості МПТС. Подібна пропозиція розглянута також у роботах [9-11].

Мета та постановка задачі

Метою роботи є формування теоретичних підходів до комплексної теоретичної оцінки якості МПТС та її компонентів для оптимізації її функціонування в залежності від поставлених цілей.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- синтезувати комплексну кількісну матмодель керування якістю планування МПТС;
- обґрунтувати склад та розмірність пріоритетних показників якості системи та їх кількісні параметри.

Актуальність роботи обумовлена постійно зростаючими вимогами до якості пасажирських перевезень, появою різних видів транспортних сполучень, підвищеними вимогами до безпеки, економічності та екологічності перевезень пасажирів та різноманітними формами власності на транспортні організації.

Систематизація властивостей МПТС та системи “водій-автомобіль-дорожнє середовище” (ВАДС)

Для оцінки комплексів властивостей компонентів ВАДС та оптимізації системи у цілому в залежності від заданої мети необхідно враховувати дуже велику кількість властивостей. Спростити аналіз та систематизувати властивості системи можливо за рахунок штучного членування системи на окремі підсистеми та з початку систематизувати їх властивості окремо одну від іншої. На це вказує наступна обставина. Часто одна властивість підсистеми трактується для другої підсистеми по іншому. Наприклад, властивість “надійність” для водія автомобіля розуміється як комплекс властивостей безвідмовності, довговічності, ремонтопридатності та збереженості. У той же час для підсистеми “людина” (водій, пасажир, пішохід) ця властивість трактується інакше. Наприклад, для пасажира надійність це впевненість його доставки з початкового пункту до кінцевого у наперед визначений час. Пріоритетність однакових за назвою властивостей для різних підсистем системи може бути різною.

Наприклад, для водія, як одного з представників підсистем системи, пріоритетними можуть бути групи властивостей:

– фактично реалізованих властивостей автомобіля. Для більшості цих властивостей відомі кількісні показники якості [6];

– ергономічних властивостей, які реалізовані з урахуванням принципів інженерії людського фактору, включаючи антропометричні властивості, ступінь інтелектуалізації транспортного засобу. Більшість цих властивостей можливо оцінити кількісно;

– групи економічних властивостей, які визначають заробіток водіїв;

– безпечності, екологічності та інші властивості.

Для пасажирів транспортного засобу пріоритетними можуть бути:

– властивість надійності перевезень;

– властивість безпечності поїздок або впевненості з великим ступенем вірогідності прибуття у потрібне місце у розрахунковий час;

– ергономічні властивості, які реалізуються у процесі поїздки.

Наприклад, комфортність, ступінь доступності поїздки та інше. Кількісний показник якості перших двох груп властивостей можна визначити кількісно. Ступінь комфортності пасажира протягом поїздки та вагомість підготовчо-заключних дій для її реалізації ще необхідно оцінити.

Для пішоходів, які знаходяться поза межами транспортного засобу, групи властивостей якості також ще потребують встановлення.

Пріоритетні властивості середовища, у якому функціонує міський пасажирський транспорт, до теперішнього часу не були чітко структуровані. Можна виділити групу

властивостей безпеки, включаючи інформаційну безпеку, безпеку, що пов'язана зі станом та геометрією дорожнього покриття, завантаженістю шляху, його освітленням та інші. Частково перелік властивостей якості викладений у роботі [12].

Визначення розмірності властивостей якості

Наступним етапом аналізу є встановлення кількісних показників (критеріїв) властивостей якості. При цьому необхідно враховувати низку бажаних вимог:

– показники властивостей якості повинні мати фізичний сенс та відповідну розмірність. Вони можуть бути відносними, але узгодженими з базовими розмірними показниками;

– показники повинні спиратися на оцінювальні шкали більш високого рівня.

Найбільш проста систематизація цифрових вимірюваних шкал приведена, що зустрічається у літературі, наприклад ·13·, має таку структуру:

– шкала найменувань;
– шкали порядку (реперні шкали);
– шкали інтервалів;
– шкали відношень;
– абсолютні шкали.

Тут шкали приведені у порядку їх довершеності.

Математичною моделлю порівняння вимірюваних величин є вираз:

$$q_1 - q_2 = \Delta q_{1-2}. \qquad (1)$$

Початок відліку за шкалою інтервалів є довільним. На ній повністю визначені дії щодо додавання, віднімання, але не їх відношення. Тому можна визначити на скільки одна величина q_1 відрізняється від іншої q_2, але неможливо визначити в скільки разів. Наочний приклад – шкала часу.

Математичною моделлю порівняння за шкалою відношення є вираз:

$$Q_1 = q[Q_2]. \qquad (2)$$

Значення вимірюваної величини Q_1 визначається числовим значенням q та деяким розміром $[Q_2]$.

Шкала відношень є найбільш довершеною та інформативною. На ній визначені усі математичні дії. Прикладом є температурна шкала Кельвіна.

Абсолютні шкали мають усі властивості шкали відношень. Одиниці абсолютних шкал є природніми, а не обрани за співвідношенням. Абсолютні одиниці величин не є похідними одиницями системи SI, вони є позасистемними. Приклади – шкала ККД, коефіцієнти поглинання або віддзеркалення та інші.

Розглянемо фізичні основи критеріїв якості транспортних послуг. Відомо, що критерії якості транспортної роботи щодо переміщення вантажу (пасажирів) є величина:

$$K = QLV^2, \ [\text{кг} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{с}^{-2}], \qquad (3)$$

де Q – маса вантажу; L – відстань переміщення вантажу; V – швидкість переміщення.

Тут QL – робота щодо переміщення, а параметр швидкості, що введений у цій вираз, є основою процесу інтенсифікації перевезень або зручності для пасажирів.

При цьому слід відзначити, що для зменшення часу у дорозі необхідно збільшити швидкість переміщення, наприклад, у 2 рази, але це тягне за собою збільшення потрібної потужності двигуна у 8 разів, та, як наслідок, збільшення витрати палива, викидів шкідливих речовин до атмосфери міста.

Аналіз критерію K демонструє ще інше протиріччя для планування МПТС. Для забезпечення високої ефективності міських пасажирських перевезень необхідно прагнути до повного завантаження салону транспортного засобу. Цього можливо досягнути двома варіантами організації маршрутів руху:

– повним завантаженням пасажирами салону у пункті початку руху та беззупинкової їх доставки до пункту призначення;

– проходження маршруту із зупинками при повній зміні пасажиропотоку.

Перший варіант суперечить властивості "надійність" та зручності для міських пасажирів, але економічно є вигідним для автосервісу. Другий варіант – навпаки.

Паливна ефективність пасажирських перевезень визначається як відношення критерію транспортної роботи K до маси матеріалів, що витрачаються (палива, мастила, гуми та інше).

Оцінити кількість шкідливих викидів для порівняння екологічної безпеки порівнюваних маршрутів або транспортного засобу зручно за допомогою наступної залежності:

$$\frac{\textit{Кількість шкідливих викідів (паспортна величина)}}{\textit{Кількість виконаної траснпортної роботи}} = \frac{m_в}{A} = \frac{m_в}{L} \cdot \frac{1}{QV^2}, \quad (4)$$

де $m_в/L$ – відповідає за розмірністю нормам Євро 5, Євро 6, Євро 7; $1/QV^2$ – кількості транспортної роботи.

Аналізуючи склад пріоритетних властивостей різних компонентів МПТС необхідно відзначити, що група ергономічних властивостей входить до усіх компонентів та є достатньо важною для усієї системи. Зупинимося більш докладно на складі ергономічних властивостей.

Ергономічність розглядається як системне поняття, яке охоплює надійність, безпеку, ефективність, комфортність та інші властивості, що характеризують пристосованість системи до взаємодії з людиною у цій системі. Розглянемо більш докладно властивість комфортності. Ця властивість повинна забезпечувати мінімальну втомлюваність людини при взаємодії з технікою (машиною). При цьому під терміном “людина” розуміється водій (оператор), пасажир та пішохід.

Ключовий термін цього визначення має у деякій мірі невизначений сенс. Комфортність – властивість або стан, порівняльна характеристика затишку, зручності та задоволення, яка визначається сукупністю позитивних психологічних та фізіологічних відчуттів людини. Дискомфорт – це неприємні відчуття [14].

У роботі [1] комфорт трактується як культура обслуговування пасажирів. У статті [15] комфортність представляється як фізичне середовище, у якому здійснюється транспортна послуга з точки зору зручності поїздки, оглядовості та інше. Часто комфорт сприймається як стан оточуючого середовища, при якому людина відчуває та може мати доступний, безпечний та раціональний доступ до ресурсів середовища. Узагальнюючи ці визначення з енергетичної точки зору можливо зробити висновок, що комфортність – це властивість, яка визначається витратами усіх видів психо-фізіологічної енергії. При цьому, чим більше витрати енергії, тем менше комфортність. Тобто розмірність показника комфортності повинна мати вигляд 1/Джоуль.

Проявленням дискомфорту є втомлюваність або втома.

У якості пояснень до цього тезису слід навести декілька логічних доводів. Порівняємо стан людини, яка сидить на жорсткому стільці та м’якому зручному кріслі. Зрозуміло, що при усіх рівних умовах, людина втомлюється менше у другому випадку, так як витрати його м’язової енергії менше. Другий випадок – людина знаходиться у оточуючому середовищі з м’яким, спокійним освітленням та, на протилежність цьому випадку – людина знаходиться у середовищі з різкою зміною освітлення великої амплітуди та підвищеної частоти. Вочевидь, при цьому його втома накопичується значно скоріше та витрат зорової (психічної) енергії більше. Існує багато прикладів подібних порівнянь відчуттів людини (витрат енергії) на теплові, акустичні та інші впливи середовища. Усі вони підтверджують наведений вище тезис.

Відомі психо-фізіологічні закони реакції людини на умови (сигнали) оточуючого середовища. Найбільш відомий з них психофізіологічний закон Вебера-Фехнера. Він описує залежність рівня зареєстрованого відчуття умови X від значень подразника ·:

$$X = alg\beta + b, \quad (5)$$

де a та b – константи, які залежать від оцінюваних властивостей.

У роботі [16], яка виконана шведськими та американськими дослідниками, приведено залежність параметра втоми від низки факторів оточуючого середовища:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 T + \beta_2 X_2 + \beta_{12} T X_2 + \varepsilon, \quad (6)$$

де Y – параметр втоми за Боргом або SOFI (за сенсом цій параметр є зворотною величиною ступеня втоми); β_0 – параметр переривання у роботі (короткочасний відпочинок); β_1, β_2, β_{12} – коефіцієнти; T – час; X_2 – параметр втомоутворюючого фактору; ε – похибка.

Ця залежність демонструє гіперболічний зв'язок втоми з тривалістю впливу втомоутворюючого фактору.

Більш того, асимптоти цієї гіперболічної залежності не співпадають з нульовими значеннями координат та зміщені відносно осей координат на певні значення параметрів. Це є свідоцтвом того, що існують певні порогові значення часу та параметру втоми, які людиною не відчуваються. Тобто протягом часу

зміщення асимптоти від нульового значення людина не відчуває втоми від трудової діяльності (наприклад, поїздка у транспорті).

Приведені залежності дозволяють кількісно оцінити рівень якості частини підвластивостей властивості комфортності.

Частина підвластивостей комфортності нормується міжнародними стандартами. Так у документі [17] за 7-бальною шкалою оцінено рівень теплового комфорту на висоті грудної клітини людини та на висоті його зросту. Оцінено комфортний рівень повітряних потоків.

Стандарти ISO11226 та ISO9241-5 охоплюють вимоги до фізичної пози водія (пасажирів) та ергономіки робочого місця для запобігання надмірного навантаження та зниження психо-фізіологічної втоми.

Документ UNECE R125 встановлює вимоги до оглядовості та мінімізації візуальних перешкод для водія. У деякому менш строгому вигляді ці вимоги можливо віднести до пасажирів автотранспорту.

У документах ISO2631 та ISO1999 визначено допустимі межі щодо впливу вібрацій та шуму, які попереджують підвищене психо-фізіологічне навантаження. Нажаль, у більшості згаданих документів кількісні показники якості ергономічних властивостей надані з використанням більш примітивних шкал, ніж шкала відношень або абсолютна шкала.

За частиною естетичних підвластивостей групової ергономічної властивості деякі показники якості (без їх кількісного оцінювання) приведено у роботі [12].

Аналіз приведеної інформації показав, що для складових групи властивості комфортності, параметри яких можливо визначити об’єктивними інструментальними способами, існує можливість синтезувати кількісні розмірні показники якості властивостей. Кількісна оцінка якості властивостей, які не вимірюються інструментально, вимагає додаткових досліджень.

Модель управління якістю планування МПТС

Для підвищення адекватності реальним умовам функціонування МПТС та можливості її цільової оптимізації при плануванні пропонується використовувати комплексну кількісну математичну модель. Її можливо записати у вигляді:

$$K_{ком} = \sum_{i=1}^{n}\left(K_1 g_1 t_1^{-1} + K_2 g_2 t_2^{-1} + \ldots \right.$$
$$\left. \ldots + K_n g_n t_n^{-1}\right) \cdot n^{-1}, \qquad (7)$$

де $K_{ком}$ – комплексний кількісний показник якості системи; K_i – групові кількісні показники; g_i – коефіцієнти вагомості груп системи; t_i – тривалість підготовки до функціонування групи системи; n_i – враховувана кількість груп властивостей системи.

У цій матмоделі вихідним параметром, що оптимізується, є параметр $K_{ком}$. Вхідними параметрами є K_i та t_i. Керувальним параметром є g_i, який задається в залежності від цілі оптимізації. Значення g_i задаються у межах 0…1,0 та $\sum g_i = 0...1,0$. Усі параметри у цій формулі виражені у відносному вигляді.

Обґрунтування цієї матмоделі для транспортних засобів та алгоритм її використання викладено у роботі [6]. У цій роботі запропоновано використовувати розглянуту вище залежність для оптимізації планування системи.

Для МПТС, за нашою думкою, пріоритетними властивостями є:

– гнучкість систем, яка розглядається як можливість швидкого перекомпонування маршрутів руху та перенаправлення пасажиропотоків;

– надійність, як впевненість доставки пасажирів до необхідних пунктів;

– ергономічність та безпека перевезення пасажирів;

– група економічних властивостей.

Для частини цих властивостей обґрунтовані кількісні показники властивостей. Для іншої частини властивостей необхідно синтезувати об’єктивні показники.

При рішенні задачі управління якістю планування системи перевезень необхідно використовувати можливості штучного інтелекту.

Досягнення обґрунтованого рішення потребує залучення величезних баз даних та відповідних матмоделей оцінки низки показників якості.

Висновки

У роботі запропоновано комплексна кількісна матмодель управління якістю планування міської пасажирської транспортної системи. Керувальними параметрами у цій моделі є коефіцієнти вагомості відповідних властивостей. Необхідність використання комплексної оцінки транспортних систем, особливо для великих міст, відзначена низкою авторів. Менш вивченим питанням є обґрунтування кількісної розмірної оцінки показників властивостей.

Приведено розмірні кількісні показники властивостей, які характерні для транспортних засобів. Більш ретельно розглянуто розмірності групи ергономічних властивостей, включаючи комфортність для водія, пасажирів та пішоходів. Описано особливості залежності параметру втоми від часу, які є важливими при плануванні маршрутів міського пасажирського транспорту.

Подяка

Автори висловлюють велику подяку д-ру техн. наук, проф. Аргун Щ. В. та канд. техн. наук Войтківу С. В. за надану інформацію щодо літературних джерел та нормативних документів за темою дослідження, а також за цінні зауваження, що були зроблені при обговоренні теми та змісту роботи.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що немає конфлікту інтересів щодо публікації цієї статті.

Література

1. Никончук, В.М. (2022) Дослідження системи транспортного обслуговування пасажирів за показниками якості. Кропивницький : Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. 5 (36), Ч. 2, 246–253. Nykonchuk V. (2022). Doslidzhennia systemy transportnoho obsluhovuvannia pasazhyriv za pokaznykamy yakosti. [Studying the system of transportation service of passengers by quality indexes]. CUNV: sb. nauch. tr. 5 (36). P. 2, 246-253. [in Ukrainian]. https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.246-253. – https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/12752
2. Ільченко, В.Ю. & Петровська, С.І. (2019). Підходи до оцінювання якості міських пасажирських перевезень автомобільним транспортом. Східна Європа: економіка, бізнес та управління, 3(20), 219–226. Ilchenko, V. & Petrovska, S. (2019). Pidkhody do otsiniuvannia yakosti miskykh pasazhyrskykh perevezen avtomobilnym transportom. Skhidna Yevropa: ekonomika, biznes ta upravlinnia. [Approaches to quality estimation of city passenger transportation by automobile vehicles]. Eastern Europe: economics, business and management, 3(20), 219–226. [in Ukrainian]. https://www.easterneurope-ebm.in.ua/journal/20_2019/35.pdf.
3. Любий, Є.В. Чижик, В.М., Ковбан, С.В. (2019). Дослідження якості обслуговування пасажирів на автобусному маршруті №240 міста Одеси. Системи управління, навігації та зв'язку, 3, 63–71. Liubyi, Ye., Chyzhyk, V., Kovban, S. (2019). Doslidzhennia yakosti obsluhovuvannia pasazhyriv na avtobusnomu marshruti №240 mista Odesy. [Studying quality of service on bus route Nb. 240 in Odessa city]. Systems of control, navigation and communication, 3, 63–71. [in Ukrainian]. doi: 10.26906/SUNZ.2019.3.063 http://nbuv.gov.ua/UJRN/suntz_2019_3_12.
4. Руденко, М. (2024). Комплексна оцінка якості надання послуг пасажирам залізничного транспорту, як стратегічний інструмент для забезпечення економічного успіху залізничних підприємств. Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences, 326, 1, 233–246. Rudenko, M. (2024). Kompleksna otsinka yakosti nadannia posluh pasazhyram zaliznychnoho transportu, yak stratehichnyi instrument dlia zabezpechennia ekonomichnoho uspikhu zaliznychnykh pidpryiemstv. [Complex estimation of quality of railway passenger service, as strategy tool for ensuring economic success of railway enterprises]. Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences, 326, 1, 233–246. [in Ukrainian]. https://doi.org/ 10.31891/2307-5740-2024-326-38
5. Вдовиченко, В.О. (2017). Методологічні основи формування системної ефективності громадського пасажирського транспорту в умовах сталого розвитку (KHNADU). Vdovychenko, V. (2017). Metodolohichni osnovy formuvannia systemnoi efektyvnosti hromadskoho pasazhyrskoho transportu v umovakh staloho rozvytku. [Methodological fundamentals of forming systematic efficiency of passenger transportation at conditions of steady development]. Monograph. Kharkiv: KHNADU. [in Ukrainian].
6. Тараненко, М. Є., Мигаль, Г. В., Кобріна, Н. В., & Маковецький, А. В. (2022). Проблема комплексного забезпечення якості та безпеки функціонування транспортних засобів. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології, 21, 6–21. Taranenko, M., Myhal, H. , Kobrina, N. & Makovetskyi, A. (2022). Problema kompleksnoho zabezpechennia yakosti ta

bezpeky funktsionuvannia transportnykh zasobiv. [Problem of complex provision of quality and safety of transportation vehicles functioning]. Cars and electronics. Advanced technologies 21, 6–21. [in Ukrainian]. https://doi.org/10.30977/VEIT.2022.21.0.05

7. Попович, Д., Петриків, А., Чепесюк, Л., Шевчук, О., Фалович, Н., Маяк, М., Петринюк, Н. (2021). Вимірювання комфорту в громадському транспорті. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті, 2(17), 117–126. Popovych, D., Petrykiv, A., Chepesiuk, L., Shevchuk, O., Falovych, N., Maiak, M., Petryniuk, N. (2021). Vymiriuvannia komfortu v hromadskomu transporti. Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti. [Measuring of comfort in passenger vehicles]. Advanced technologies in machine-building and transport, 2(17), 117–126. [in Ukrainian]. https://doi.org/10.36910/automash.v2i17.641
8. Тараненко, М.Є., Мигаль, Г.В., Кобрина, Н.В., Тараненко, І.М., Молоштан Д.В. (2022). Кваліметрічна модель управління якістю технічної підготовки виробництва транспортної техніки. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки, 6(37), II, 99–107. Taranenko, M., Mygal, H., Kobryna, N., Taranenko, I., Moloshtan D. (2022). Kvalimetrichna model upravlinnia yakistiu tekhnichnoi pidhotovky vyrobnytstva transportnoi tekhniky. [Qualimetric model of quality control for engineering preparation of production for manufacturing of transportation vehicles]. Central Ukrainian Scientific Journal. [in Ukrainian]. https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).2.99-107
9. Azgaldov, Garry G. (2015). The ABC of Qualimetry Toolkit for measuring the immeasurable / Garry G. Azgaldov, Alexander V. Kostin, Alvaro E. Padilla Omiste, Ridero. ISBN 978-5-4474-2248-6.
10. Сатир, Л.М., Задорожна, Р.П., Непочатенко, А.В. & Кепко О.І. (2021). Аналітичний кваліметричний підхід до оцінки якості продукції як інструмент прийняття ефективних стратегічних рішень. Інвестиції: практика та досвід, 17, 18–24. Satyr, L., Zadorozhna, R., Nepochatenko, A. & Kepko. O. Analitychnyi kvalimetrychnyi pidkhid do otsinky yakosti produktsii yak instrument pryiniattia efektyvnykh stratehichnykh rishen. [Analytical qualimetric approach for quality estimation of products as a tool for making effective strategic solutions]. Investments: practice and experience, 17, 18–24. [in Ukrainian]. https://doi.org/10.32702/2306-6814.2021.17.18
11. Дмитренко, Г. А., Ануфрієва, О. Л., Бурлаєнко, Т.І, Медвідь, В. В. (2016). Кваліметрія в управлінні: гуманістичний контекст: навчальний посібник. К.: Видавництво “Аграрна освіта”. Dmytrenko, H., Anufriieva O., Burlaienko, T., Medvid, V. (2016). Kvalimetriia v upravlinni: humanistychnyi kontekst: navchalnyi posibnyk [Qualimetry in management: humanitarian context: textbook for students]. Kyiv: Agricultural education. [in Ukrainian].
12. Босняк, М.Г. (2011). Пасажирські автомобільні перевезення: навч. посіб. К.: Видавничий дім “Слово”. Bosniak, M. (2011). Pasazhyrski avtomobilni perevezennia: navch. posib. [Passenger car transportations: textbook for students]. Kyiv: Publ. "Slovo". [in Ukrainian].
13. Тараненко, М.Е. (2015). Квалиметрия в листовій штамповці: підручник. Х.: Нац. аерокосм. ун-т “ХАИ”. Taranenko, M. (2015). Kvalimetriya v listovoy shtampovke: uchebnik. [Qualimetry in sheet stamping]. Kharkiv: KhAI.
14. Ергономіка теплового середовища. (2011). Аналітичне визначення та інтерпретація теплового комфорту на основі розрахунків показників PMV і PPD критеріїв локального теплового комфорту (EN ISO 7730:2005, IDT); ДСТУ Б EN ISO 7730:2011. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Дискомфорт (дата звернення: 09.11.2024). Ergonomika teplovoho seredovyshcha. [Ergonomics of the thermal environment]. Analitychne vyznachennia ta interpretatsiia teplovoho komfortu na osnovi rozrakhunkiv pokaznykiv PMV i PPD kryteriiv lokalnoho teplovoho komfortu (2011). DSTU B EN ISO 7730:2011. Retrieved from https://uk.wikipedia.org/wiki/Дискомфорт (accessed on November 9, 2024). [in Ukrainian].
15. Аулін, В.В., Голуб, Д.В. (2008). Якість перевезень пасажирів як невід’ємна частина транспортного процесу. Вісник КДПУ ім. Михайла Остроградського, 5/2008(52), 2, 80–84. Aulin V., Holub D. (2008). Yakist perevezen pasazhyriv yak nevidiemna chastyna transportnoho protsesu. [Quality of transportation as unmountable part of transportation process]. Journal of KSPU, 5/2008(52), 2, 80–84. https://dspace.kntu.kr.ua/server/api/core/bitstreams/3c52583c-52a8-45e4-8bd4-1e52bfc3fa1a/content [in Ukrainian].
16. Theory of Human Fatigue [Electronic resource]. (n.d.). Retrieved November 9, 2024, from https://faculty.mnsu.edu/shaheenahmed/theory-of-fatigue.
17. Ергономіка теплового середовища. (2011). Аналітичне визначення та інтерпретація теплового комфорту на основі розрахунків показників PMV і PPD критеріїв локального теплового комфорту (EN ISO 7730:2005, IDT); ДСТУ Б EN ISO 7730:2011. Ergonomika teplovoho seredovyshcha. [Ergonomics of the thermal environment. Analytical determination

and interpretation of thermal comfort based on PMV and PPD indices of local thermal comfort]. (2011). DSTU B EN ISO 7730:2011. [In Ukrainian].

Тараненко Михайло Євгенович[1], д.т.н., проф., проф. каф. кафедри автомобілів та транспортної інфраструктури, тел. +38 096-287-43-08, m.taranenko@khai.edu,
ORCID: 0000-0002-3819-6948

Мигаль Галина Валеріївна[2], д.т.н., проф., проф. каф. транспортних технологій,
тел. +38 050-636-87-17, halyna.v.myhal@lpnu.ua,
ORCID: 0000-0002-9862-9338

Кобріна Наталія Віталіївна[1], к.т.н, доцент, зав. кафедрою автомобілів та транспортної інфраструктури, тел.: +38 057-788-41-07, n.kobrina@khai.edu, ORCID: 0000-0001-9499-2079

Тараненко Ігор Михайлович[1], к.т.н., доцент, професор кафедри композитних конструкцій та авіаційного матеріалознавства, тел.: +38 097-448-34-25, igor.taranenko@khai.edu, ORCID: 0000-0001-9554-0162

[1]Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "ХАІ", 61070, Україна, м. Харків, вул. Вадима Манька, 17.

[2]Національнийй університет «Львівська політехніка», 79013, Львів, вул. С. Бандери, 12.

Management of quality for planning of city passenger transportation systems

Abstract. Problem. *The article addresses the critical issue of enhancing the quality of urban passenger transport systems (UPTS) at the planning stage. Achieving this goal requires the creation of a comprehensive quantitative mathematical model capable of optimizing the system's quality based on predefined objectives. This optimization involves the development of quantitative indicators for the entire system and its components, which serve as a foundation for decision-making.* ***Goal.*** *The study aims to improve UPTS functioning by focusing on key priority attributes, such as flexibility, ensuring the ability to swiftly reorganize traffic routes and redistribute passenger flows; reliability, providing confidence in delivering passengers with minimal deviations from schedules; ergonomics and safety, emphasizing passenger comfort and protection; and economic properties, addressing cost-efficiency and operational sustainability.* ***Methodology.*** *The research utilizes theoretical-analytical methods to create a structured framework for planning UPTS. Mathematical modeling forms the core of the methodology, enabling detailed evaluation and optimization of critical system attributes.* ***Results.*** *The study provides insights into the optimization of UPTS functioning, demonstrating improved performance through targeted planning and adjustment of quantitative quality indicators. The integration of mathematical modeling into planning allows identifying inefficiencies and addressing them systematically.* ***Originality.*** *The novelty of the research lies in its integrated and systematic approach to defining and quantifying quality indicators for UPTS. Unlike traditional evaluations that often emphasize comfort, this study introduces a comprehensive model encompassing various attributes, including flexibility, reliability, and economic feasibility.* ***Practical value.*** *The proposed model allows practitioners to use empirical data and technical specifications of system components to calculate key performance indicators. This approach supports more informed decision-making and targeted improvements in urban transport planning.*

Key words: *urban transport system, quality indicators, mathematical modeling, flexibility, reliability, ergonomics, economic efficiency.*

Taranenko Mykhaylo[1]**,** professor, Doct. of Science, Department of Automobiles and Transport Infrastructure, tel. +38 096-287-43-08, m.taranenko@khai.edu,
ORCID: 0000-0002-3819-6948

Mygal Galyna[2], professor, Doct. of Science, Department of Transportation Technologies,
tel. +38 050-636-87-17, halyna.v.myhal@lpnu.ua,
ORCID: 0000-0002-9862-9338

Kobryna Nataliia[1], Ass. Prof., Ph.D., Head of Dept. of Automobiles and Transport Infrastructure,
+38 057-788-41-07, n.kobrina@khai.edu,
ORCID: 0000-0001-9499-2079

Taranenko Igor[1], Ass. Prof., Ph.D., professor of Department of Composite Structures and Aviation Materials, tel.: +38 097-448-34-25,
igor.taranenko@khai.edu,
ORCID: 0000-0001-9554-0162

[1]National Aerospace University "KhAI", 17, Vadym Manko str., Kharkiv, 61070, Ukraine.

[2]National University "Lviv Polytechnic", 12,
S. Bandera st., Lviv, 79013, Ukraine.