

СЕРВІСНО-РЕСУРСНА МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ МІСЬКОГО ГРОМАДСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

В. О. Вдовиченко

Харківський національний автомобільно-дорожній університет
вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна. E-mail: Vval2301@gmail.com

Сформовано методика сервісно-ресурсної моделі функціонування міського громадського пасажирського транспорту, яка заснована на використанні принципів абстрактного представлення процесу взаємодії ресурсних можливостей споживачів транспортних послуг з ресурсними активами транспорту в умовах єдиного транспортного простору та існуючої структури їх взаємозв'язків. Виділено області застосування сервісно-ресурсної моделі функціонування міського громадського пасажирського транспорту та обґрунтовані вимоги до її формалізації. На основі розподілення процесів на функції та визначення об'єктів їх реалізації виділено форми і види типових модельних процесів, які реалізуються в функціональному середовищі міського громадського пасажирського транспорту. Наведено структуру топології сервісно-ресурсної моделі, яка передбачає виділення сукупності її базових елементів та структурних рівнів. Представлено залежності визначення параметрів сервісних потоків які відображають якісний характер функціонування міського громадського пасажирського транспорту.

Ключові слова: міський пасажирський транспорт, ресурси, транспортний сервіс.

СЕРВИСНО-РЕСУРСНАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГОРОДСКОГО ОБЩЕСТВЕННОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

В. А. Вдовиченко

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет
ул. Ярослава Мудрого, 25, г. Харьков, 61002, Украина. E-mail: Vval2301@gmail.com

Сформирована методика сервисно-ресурсной модели функционирования городского общественного пассажирского транспорта, которая основана на использовании принципов абстрактного представления процесса взаимодействия ресурсных возможностей потребителей транспортных услуг с ресурсными активами транспорта в условиях единого транспортного пространства и существующей структуры их взаимосвязей. Выделенные области применения сервисно-ресурсной модели функционирования городского общественного пассажирского транспорта и обоснованы требования к ее формализации. На основе распределения процессов на функции и определения объектов их реализации, выделены формы и виды типовых модельных процессов, которые реализуются в функциональной среде городского общественного пассажирского транспорта. Приведена структура топологии сервисно-ресурсной модели, которая предусматривает выделение совокупности ее базовых элементов и структурных уровней. Представлены зависимости определения параметров сервисных потоков отражающие качественный характер функционирования городского общественного пассажирского транспорта.

Ключевые слова: городской пассажирский транспорт, ресурсы, транспортный сервис.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Дослідження процесів формування сталого міського громадського пасажирського транспорту (МГПТ) потребує використання адекватних моделей, які дають змогу реалізувати процедури визначення раціональних стратегій досягнення поставленої перед ним системної мети. Представлення розгляду МГПТ через складові рівні транспортного простору міського середовища (МС) є складною багаторозмірною задачею, яка потребує використання принципово нових методів його модельної реалізації.

Серед основних напрямків моделювання внутрішніх процесів МГПТ виділяють такі сфери їх реалізації:

- моделювання потреб населення у пересуваннях [1, 2];
- моделювання маршрутної мережі МГПТ та розподілу пасажиропотоків [3–6];
- моделювання зупиночних пунктів [7, 8];
- моделювання процесів руху маршрутних транспортних засобів (ТЗ) [9];
- моделювання процесів управління суб'єктами МГПТ [10–12].

Існуючі підходи до моделювання МГПТ мають обмеженість відносно повноти обліку параметрів його функціонування і як правило передбачають

процедуру опису структури та складу внутрішніх зв'язків без обліку характеру зовнішнього взаємовпливу. В умовах розробки існуючих моделей МГПТ структура елементарних складових обмежується технологічними процесами, які формують його внутрішній результат.

Виділення ієрархій представлення МГПТ з позицій його впливу на сталий розвиток МС [13] потребує використання для його оцінки параметрів транспортної інфраструктури відносно її ресурсно-результативних характеристик. Використання в якості оціночних характеристик ресурсів та результатів функціонування дає змогу ефективного впровадження механізмів створення її сервісно-ресурсної моделі. Сервісно-ресурсне моделювання це дієвий інструмент, який набуває поширення у сфері прикладних інформаційних технологій і дозволяє забезпечити умови енергоефективності, оптимізації споживання ресурсів, зниження операційних витрат в таких сферах їх застосування, як управління виробництвом і споживанням, стійким розвитком територій, транспортними потоками, сільським господарством та ін. [14]. На даний час в літературі по інформаційним технологіям відсутня чітка загальноприйнята термінологія сервісно-ресурсного моделювання [15]. Сервісно-ресурсне

моделювання у сфері МГПТ представляє новий підхід який також потребує виділення її термінології яка може бути реалізована шляхом її методологічної адаптації.

Метою роботи є формування методологічних принципів та способів розробки сервісно-ресурсної моделі функціонування МГПТ.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Сервісно-ресурсна модель функціонування МГПТ спрямована на відображення внутрішньої залежності між його елементами і формується на основі взаємозв'язку між результатами та ресурсами його конфігураційних об'єктів. Побудова сервісно-ресурсної моделі функціонування МГПТ передбачає комплекс процедур пов'язаних з виділенням для кожного внутрішнього елемента структури та величини трансформації ресурсів у результат, який може бути досягнутий при відповідному керуючому рівні. Представлення МГПТ у структурі метасистеми міського середовища (МС) передбачає реалізацію принципів інтеграції його конфігураційних складових елементів у всі види її транспортної ієрархії через створення багаторівневої структури сервісно-ресурсної моделі. Сервісно-ресурсне моделювання МГПТ є ефективним інструментом пошуку його сталого стану. У зальному вигляді методика створення сервісно-ресурсної моделі МГПТ повинна визначати наступні її аспекти:

- формалізація форм та видів її параметрів (термінологія, опис структури, параметризація сервісно-ресурсних ознак та ін.);
- виділення призначення та мети її розробки (декомпозиція мети, розподіл функцій модулів та ін.);
- визначення основних принципів та правил побудови структури моделі (формат моделі, типи компонентів, їх зв'язків, правила обліку та ін.);
- розробка правил використання та підтримки моделі (створення алгоритму процесів, виділення обов'язків та функцій, формування вимог до керуючих органів та ін.).

Моделлю сервісу МГПТ є абстрактне представлення процесу взаємодії ресурсних можливостей споживачів транспортних послуг з ресурсними активами транспорту в умовах існуючої структури їх взаємозв'язків. Модель сервісу описує структуру функціональних процесів МГПТ (взаємодія конфігураційних одиниць) і послуги в динаміці (результати, потоки ресурсів, внутрішній та зовнішній зв'язок). Під поняттям транспортного сервісу в умовах МГПТ слід розуміти систему обслуговування, що дозволяє суб'єктам споживчої підсистеми обирати оптимальний комплекс послуг і робіт, який забезпечує їх територіальне переміщення до місця призначення у визначений час з погодженими відносно їх можливостей витратами. Ресурси МГПТ включають у себе всі форми його внутрішніх та зовнішніх активів які їм використовуються під час реалізації технологічних процесів.

Сервісно-ресурсна модель МГПТ – це логічна модель сервісу, яка описує склад, структуру та взаємозв'язок його внутрішніх та зовнішніх ресурсних трансформацій в умовах транспортного простору МС, які спільно забезпечують надання транспортно-

го сервісу споживачам послуг на погодженому з їх системними можливостями рівні. Сервісно-ресурсна модель МГПТ представляється у вигляді ієрархічного графу з подальшою декомпозицією її на окремі модулі, в яких за допомогою аналітичних залежностей реалізується процедура формалізації її параметрів. Вузлами ієрархічного графу є конфігураційні одиниці, які задіяні в реалізації транспортного сервісу, а ребрами є ресурсні та результативні зв'язки між ними.

Призначення сервісно-ресурсної моделі МГПТ полягає у описі технологічних процесів у межах визначеного транспортного простору МС з метою контролю характеристик сервісу та оцінки ефективності розподілу доступних ресурсів. До ситуацій при яких є корисним використання сервісно-ресурсної моделі МГПТ відносяться:

- при стратегічному управлінні МГПТ в межах МС сервісно-ресурсна модель дає можливість ідентифікувати учасників процесу, рівні їх результативних можливостей та умови використання ресурсів;
- на етапі формування рівня транспортного сервісу дає можливість провести погодження цільових інтересів, визначити характер взаємозв'язків сервісних та ресурсних потоків;
- на етапі визначення потужності об'єктів транспортної інфраструктури сервісно-ресурсна модель дозволяє на основі обліку ресурсних вимог оцінити їх відповідність потребам учасників технологічного процесу;
- в межах операційних процесів визначити ступінь конфліктності внутрішніх та зовнішніх елементів та реалізувати програму комплексної діагностики МГПТ;
- в межах процесу управління доступністю транспортного сервісу дає можливість проводити моніторинг його параметрів та оцінку потенціалу МГПТ;
- при формуванні єдиної комплексної системи управління МГПТ сервісно-ресурсна модель є інструментом її структуризації, виділення форм та напрямів керування;
- при формуванні альтернативних варіантів МГПТ сервісно-ресурсна модель дозволяє на основі оцінки характеру впливу на внутрішні та зовнішні суб'єкти планувати необхідний комплекс забезпечуючи заходів;
- у процесі економічної оцінки МГПТ сервісно-ресурсна модель забезпечує ефективну можливість обліку його внутрішніх витрат, вартісної оцінки зовнішнього впливу на МС та визначення повної ресурсної собівартості пасажирських перевезень.

Використання сервісно-ресурсної моделі є необхідною не лише при описі функціонування його елементів, а також є ефективним інструментом проектування, стратегічного та оперативного управління МГПТ. Сервісно-ресурсна модель МГПТ повинна створюватися за умов забезпечення її системності та структурної відповідності виділеним методологічним рівням дослідження МГПТ [13].

Послідовність розробки сервісно-ресурсної моделі МГПТ передбачає реалізацію наступних етапів:

- розподілення процесів на функції та визначення об'єктів їх реалізації;
- визначення параметрів оцінки транспортно-го сервісу для кожної компоненти внутрішнього та зовнішнього середовища;
- проектування топології сервісно-ресурсної моделі та виділення структури міжрівневого переходу сервісного та ресурсного потоку;
- формалізація моделей розрахунку параметрів сервісного та ресурсного потоків для виділених компонент моделі;
- програмна реалізація сервісно-ресурсної моделі;
- автоматизація функцій контролю та управління параметрами транспортного сервісу.

Розподілення процесів на функції та визначення об'єктів їх реалізації передбачає виділення форм і видів типових процесів, які реалізуються в середовищі МГПТ. При проектуванні каталогу сервісу необхідно ідентифікувати ресурсні, об'єктні та функціональні рівні та визначити їх зв'язок. Джерелом формування ресурсів функціонування МГПТ є транспортні підприємства (ТП), об'єкти пасажирської транспортної інфраструктури (ПТІ), об'єкти транспортної інфраструктури (ТІ), підсистема управління (ПУ) та споживачі послуг (СП). Схема розподілення процесів та функцій елементів МГПТ представлена на рис. 1.



Рисунок 1 – Структура середовищ сервісно-ресурсної моделі МГПТ

Визначив каталог сервісів необхідно провести параметризацію якості функцій для визначених об'єктів моделі. На основі аналізу параметрів функціонування МГПТ для виділених рівнів його представлення в складі транспортного простору МС можна провести процедуру їх розподілу за рівнями сервісно-ресурсної моделі. Умовою розподілу сервісно-результативних показників моделі є забезпечення їх комплексності та багаторівневості інтеграції, які реалізуються на основі використання принципів поступового ускладнення представлення структури суб'єкту, багатокритеріальності та єдності її опису. Враховуючи такі вимоги можна виділити структуру показників оцінки якості транспортного сервісу МГПТ, які представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Показники якості транспортного сервісу

| Елемент | Показники якості |
|---|---|
| Об'єкти | |
| Маршрути | Маркетингові (доступність, інформативність, своєчасність, надійність, безпечність, комфортність), технологічні (час рейсу, швидкість, час затримок, рівень використання місткості, пробіг на маршруті), економічні (собівартість, витрати, доходи, рентабельність), соціальні (екологічний вплив, дотаційність) |
| Зупиночні пункти (ЗП) | Час обслуговування транспортного засобу, загальний час простою транспортного засобу, час непродуктивного простою |
| Ділянки та вузли транспортної мережі | Час руху, фактична швидкість руху, час затримок, організованість руху |
| Функції | |
| Посадка-висадка пасажирів | Час посадки-висадки пасажирів, час простою транспортного засобу |
| Рух по ділянкам та вузлам транспортної мережі | Час руху, час затримок |
| Взаємодія в об'єктах ПТІ | Час очікування посадки |

Проектування топології сервісно-ресурсної моделі МГПТ передбачає розробку її структурної схеми взаємодії елементів. Топологічна схема сервісно-ресурсної моделі МГПТ складається з вузлів та графів і має ієрархічну композицію. Вузлами топологічної схеми є об'єкти, а ребрами – їх сервісні, ресурсні та інформаційні зв'язки. Топологічна схема має трьохшаровий вигляд: граф верхнього шару описує ресурсні параметри, нижній – сервісні, середній – інформаційні. Кожна вершина шару характеризується множиною відповідних сервісних та ресурсних параметрів, які умовно на графіку можуть бути представлені як сектори кола вершини. Зв'язки відображають загальний напрям взаємодії в межах єдиного процесу. Структура представлення шарів топологічної схеми наведена на рис. 2.

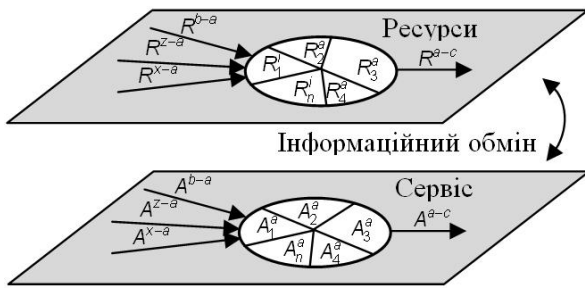


Рисунок 2 – Структура шарів топологічної схеми сервісно-ресурсної моделі МГПТ

Міжрівневий перехід сервісно-ресурсного потоку відбувається через трансформаційні процеси, які перетворюють внутрішні ресурси у внутрішній результат, а при переході між рівнями відбувається трансформація у напрямку результат – ресурс. Результат отриманий на нижчому рівні використовується у якості ресурсу для вищого рівня. Формування просторового графу передбачає використання наступних типових правил створення сервісно-ресурсних моделей [15]:

- проектування потрібно починати зверху – вниз (об’єкти – функції – процеси – ресурси) визначив при цьому логічні рівні моделі;
- зв’язки встановлюють лише між елементами, які здійснюють безпосередній вплив на сервісно-ресурсні параметри вищих елементів;
- між об’єктами моделі можуть бути лише ієрархічні зв’язки;
- розподілення функцій за об’єктами повинні відповідати структурі.

Візуалізація просторового графу сервісно-ресурсної моделі МГПТ представлена на рис. 3.

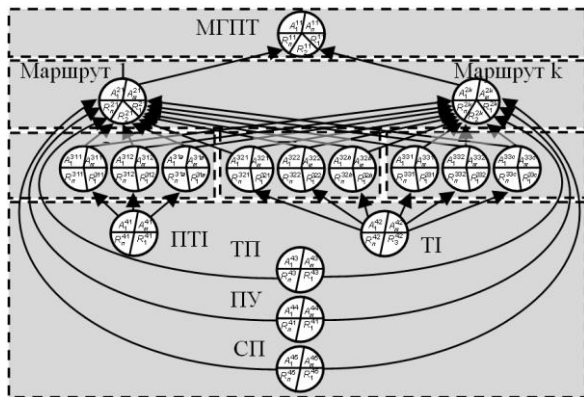


Рисунок 3 – Граф топологічної схеми сервісно-ресурсної моделі МГПТ

Формалізація моделей розрахунку параметрів сервісного та ресурсного потоків для виділених компонент моделі передбачає математичний опис їх параметрів та процедур трансформації для виділених її рівнів. Моделі визначення базових ресурсів елементів представлені у [16] і передбачають їх розрахунок на основі відповідних розрахункових формул. Моделі трансформації ресурсів у сервісний результат потребують аналітичного опису на основі аналізу відповідних процесів. Оцінка якості сервісного потоку проводиться на основі виділення зага-

льних функцій які реалізуються в структурі технологічних процесів.

Час очікування посадки в транспортний засіб (ТЗ), який пов’язаний з координацією часу формування потреб пасажирів та надання транспортного сервісу:

$$WT_{p_i} = (1 - SGT_{m_i}) \cdot \overline{WTL}_{m_i} + SGT_{m_i} \cdot \overline{WTT}_{m_i}, \quad (1)$$

де SGT_{m_i} – питома вага пасажирів, які використовують маршрут m для реалізації другої або наступної за нею поїздки;

\overline{WTL}_{m_i} – середній час очікування пасажирів посадки для реалізації першої поїздки на маршруті m , год;

\overline{WTT}_{m_i} – середній час очікування пасажирів посадки для реалізації другої або наступної за нею поїздки на маршруті m , год.

Час простою ТЗ під посадкою-висадкою пасажирів визначається за залежністю:

$$DT_{en-ex_i} = \left(\frac{\sum_{j=1}^n CR_{i-j} \cdot SG_{en_m}}{NB_{en_i} \cdot CB_{en_i} \cdot ORT_{en_i}} + \frac{\sum_{j=1}^n CR_{j-i} \cdot SG_{ex_m}}{NB_{ex_i} \cdot CB_{ex_i} \cdot ORT_{ex_i}} \right) \cdot MC_{en-ex_i}, \quad (2)$$

де MC_{en-ex_i} – коефіцієнт суміщення операцій посадки-висадки;

CR_{i-j}, CR_{j-i} – обсяг кореспонденцій пасажирів, пас.;

n – кількість транспортних районів;

SG_{en_m}, SG_{ex_m} – питома вага використання маршруту m для посадки та висадки відповідно;

NB_{en_i}, NB_{ex_i} – кількість постів посадки та висадки пасажирів відповідно на зупиночному пункті;

CB_{en_i}, CB_{ex_i} – пропускна здатність посту посадки та висадки пасажирів відповідно, пас/год.;

ORT_{en_i}, ORT_{ex_i} – коефіцієнт використання корисного часу для постів посадки та висадки пасажирів відповідно на зупиночному пункті.

На час руху транспортних засобів по ділянках мережі впливає значна кількість чинників. Однак аналіз робіт присвячених дослідженню їх впливу дозволяє зробити висновок про можливість для моделювання руху МГПТ використовувати спрощену модель, яка базується на описі зв’язку рівня завантаження рухом з швидкістю транспортного потоку. За таких умов час руху i -го транспортного засобу по ділянці мережі визначається за залежністю:

$$DT_{l_i} = \frac{LS_i}{TS_i} \cdot (1 + A_{cf_i} \cdot \left(\frac{IT_{rt_i} + IT_{urt_i}}{CP_{tl_i} \cdot F_{mtl_i}} \right)^{B_{cf_i}}), \quad (3)$$

де LS_i – довжина ділянки, км;

TS_i – технічна швидкість вільного руху, км/год.;

IT_{rt_i} – інтенсивність руху маршрутного транспорту, авт/год.;

IT_{urt_i} – інтенсивність руху немаршрутного транспорту, авт/год.;

CP_{ti} – пропускна здатність смуги руху, авт/год.;

F_{mli} – коефіцієнт багатосмуговості;

A_{cf_i}, B_{cf_i} – калібрувальні коефіцієнти.

Час проїзду вузлів транспортної мережі виходячи з прийнятих допущень по можливості оцінки впливу завантаження рухом визначається за залежністю:

$$DT_{u_i} = FU_i \cdot (1 + A_{cf_i} \cdot \left(\frac{IT_{rt_i} + IT_{urt_i}}{CP_{u_i}} \right)^{B_{cf_i}}), \quad (4)$$

де FU_i – час проїзду вузла при вільних умовах руху, год;

CP_{u_i} – пропускна здатність транспортного вузла, авт/год.

Час затримок транспортних засобів відображає якість функцій руху по ділянках та вузлах транспортної мережі:

$$DT_{ml_i} = DT_{li} - \frac{LS_i}{TS_i}, \quad (5)$$

$$DT_{mu_i} = DT_{ui} - FU_i. \quad (6)$$

Отримані значення якості функцій використовуються у вигляді елементів ресурсних можливостей об'єктів МГПТ. Для ділянок та вузлів транспортної мережі, які входять до перегонів маршруту на основі отриманих складових елементів можна запропонувати наступні залежності.

Час руху ТЗ по i -му перегоні маршруту:

$$DRT_{S_i} = \sum_{k=1}^a DT_{lk} + \sum_{n=1}^b DT_{ln}, \quad (7)$$

де a – кількість ділянок мережі, які входять до перегону маршруту;

b – кількість вузлів мережі, які входять до перегону маршруту.

Час затримок ТЗ на i -му перегоні маршруту:

$$DTS_i = \sum_{k=1}^a DT_{ml_k} + \sum_{n=1}^b DT_{mu_n}. \quad (8)$$

Фактична швидкість руху на i -му перегоні маршруту:

$$TSF_i = \frac{\sum_{k=1}^a LS_k}{DRT_{S_i}}, \quad (9)$$

де a – кількість ділянок мережі, які входять до перегону маршруту.

Рівень організованості руху транспорту по ділянках і вузлах транспортної мережі, які входять до перегону маршруту:

$$ORG_i = \sum_{k=1}^a (1 - DST_{ml_k}) + \sum_{n=1}^b (1 - DST_{mu_n}). \quad (10)$$

Якість транспортного сервісу у зупиночних пунктах маршруту оцінюється через параметри які характеризують рівень обслуговування транспортних засобів.

Час обслуговування транспортного засобу в ЗП:

$$DT_{sv_i} = DT_{en-ex_i} + DT_{mn_i}, \quad (11)$$

де DT_{mn_i} – час маневрування транспортного засобу, год.

Час простою ТЗ в зупиночному пункті розраховується на основі часу посадки-висадки, тривалості додаткового простою пов'язаного з маневруванням транспортного засобу та часу очікування його наповнення:

$$DT_{sp_i} = DT_{en-ex_i} + DT_{mn_i} + DT_{pe_i}, \quad (12)$$

де DT_{pe_i} – час додаткового простою транспортного засобу, год.

Час непродуктивного простою транспортного засобу в ЗП:

$$DT_{up_i} = DT_{sp_i} - DT_{sv_i}. \quad (13)$$

На основі синтезу результативних характеристик функціональних об'єктів у зупиночних пунктах та перегонах маршруту можливо розрахувати якісні показники сервісу для маршруту. Якість сервісу для маршруту поділяється на види в залежності від її характеру і описується рядом споживчих параметрів, які наведені нижче.

Доступність транспортного сервісу на маршруті:

$$AV_m = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^k LS_i \cdot \sum_{j=1}^{k-i} CR_{i-j} \cdot SG_{en_{m_i}}}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{k-i} CR_{i-j} \cdot SG_{en_{m_i}}} \right) \times \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^k LF_i \cdot \sum_{j=1}^{k-i} CR_{i-j} \cdot SG_{en_{m_i}}}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{k-i} CR_{i-j} \cdot SG_{en_{m_i}}} \right), \quad (14)$$

де LS_i – рівень дефіциту провізних можливостей у i -му зупиночному пункті;

LF_i – рівень відмови поїздки в наслідок низької інтенсивності руху в i -му зупиночному пункті;

k – кількість зупинок на маршруті;

n – кількість транспортних районів.

Своєчасність транспортного сервісу на m -му маршруті:

$$TL_m = \frac{\sum_{i=1}^n TVS_{m_i} \cdot (DT_{up_i} + DTS_{i-(i+1)})}{\sum_{i=1}^n TVS_{m_i}}, \quad (15)$$

де TV_{S_i} – обсяг перевезення по перегону маршруту, пас.

n – кількість перегонів маршруту.

Надійність транспортного сервісу на m -му маршруті:

$$RL_m = (1 - \min(1; \frac{TVS_{m_{\max}}}{FP_m})) \times (1 - \min(1; \frac{\min(1; TVS_{m_{\max}} - FP_m)}{\sum_{i=1}^a RR_{FP_i}})), \quad (16)$$

де FP_m – провізні можливості маршруту, пас/год.;

RR_{FP_i} – резерви провізних можливостей альтернативних маршрутів, пас/год.;

a – кількість альтернативних маршрутів.

Безпечність транспортного сервісу на m -му маршруті:

$$TS_m = \max(LRS_i), i = \overline{1, n}, \quad (17)$$

де LRS_i – показник безпечності перевезень на елементі маршруту (зупиночний пункт, перегін);

n – кількість елементів маршруту.

Комфортність транспортного сервісу на m -му маршруті:

$$CM_m = (1 - \min(1; \frac{FP_m}{TVS_{m_{\max}}})) \times (1 - \min(1; \max(\frac{FPU_{m_i}}{TVU_{m_i}})), i = \overline{1, n}), \quad (18)$$

де FPU_{m_i} – пропускна здатність запиночного пункту, пас/год.;

TPU_{m_i} – пасажирообмін запиночного пункту, пас/год.;

n – кількість запиночних пунктів на маршруті.

Технологічні показники дозволяють оцінити якість елементарних процесів. Фактичний час рейсу по маршруту:

$$FT_m = \sum_{i=1}^n DT_{sp_i} + \sum_{j=1}^k DRT_{s_j}, \quad (19)$$

де n – кількість запиночних пунктів на маршруті;

k – кількість перегонів маршруту.

Час затримок на маршруті:

$$DTF_m = \sum_{i=1}^n DT_{up_i} + \sum_j^k DTS_j. \quad (20)$$

Експлуатаційна швидкість на маршруті:

$$SE_m = \frac{\sum_{i=1}^b LS_i}{TF_m}, \quad (21)$$

де n – кількість перегонів маршруту.

Динамічний рівень використання місткості ТЗ:

$$URC_m = \frac{\sum_{i=1}^b LS_i \cdot TVS_{m_i}}{FP_m \cdot \sum_{i=1}^b LS_i}. \quad (22)$$

Загальний пробіг на m -му маршруті за період:

$$TMV_m = \frac{NAM_m \cdot RL_m \cdot TP}{TF_m}, \quad (23)$$

де n – кількість транспортних засобів на маршруті;

RL_m – довжина маршруту, км;

TP – тривалість розрахункового періоду, год.

Інформативність транспортного сервісу на маршруті:

$$IC_m = \frac{\sum_{i=1}^n FI_{m_i} \cdot AI_{m_i} \cdot VI_{m_i}}{n}, \quad (24)$$

де FI_{m_i} – рівень повноти інформаційного обміну в i -му об'єкті маршруту;

AI_{m_i} – рівень доступності інформаційного обміну в i -му об'єкті маршруту;

VI_{m_i} – рівень цінності інформаційного обміну в i -му об'єкті маршруту;

n – кількість елементів маршруту.

Економічні показники якості транспортного сервісу дозволяють надати оцінку його стосовно цільових інтересів транспортних підприємств. Витрати на перевезення пасажирів за період на маршруті:

$$EX_m = \sum_{i=1}^v SG_{bm_i} \cdot (VE_{m_i} \cdot TMV_m + SE_{m_i} \cdot TP), \quad (25)$$

де SG_{bm_i} – питома вага транспортних засобів i -ої моделі;

v – кількість моделей транспортних засобів;

VE_{m_i}, SE_{m_i} – змінні та постійні витрати для i -ої моделі транспортного засобу відповідно, грн/км, грн./год.

Собівартість перевезення одного пасажирів по m -му маршруту:

$$CP_m = \frac{EX_m}{TV_m}, \quad (26)$$

де TV_m – обсяг перевезення за період, пас.

Дохід від перевезення пасажирів на m -му маршруті за період:

$$IN_m = RT_m \cdot TV_m \cdot (1 - SG_{sb_m}), \quad (27)$$

де RT_m – тариф на маршруті, грн.;

TV_m – питома вага пільгових перевезень.

Рентабельність перевезень пасажирів по m -му маршруту за період:

$$PR_m = \frac{\max(0; IN_m - EX_m)}{EX_m} \quad (28)$$

Екологічний вплив визначається на основі оцінки обсягів шкідливого забруднення середовища на m -му маршруті:

$$EH_m = \sum_{i=1}^v SG_{bm_i} \cdot \left(\sum_{k=1}^g LS_k \cdot ES_{l_{ki}} + \sum_{n=1}^h DT_{u_n} \cdot ES_{u_{ni}} + \sum_{m=1}^q DT_{sp_m} \cdot ES_{sp_{mi}} \right), \quad (29)$$

де $ES_{l_{ki}}, ES_{u_{ni}}, ES_{sp_{mi}}$ – питомі обсяги шкідливого забруднення для відповідних режимів руху транспортних засобів;

g, h, q – кількість ділянок мережі, транспортних вузлів та зупиночних пунктів на маршруті відповідно.

Дотаційність роботи маршруту відображає його потенційний рівень потреб для забезпечення транспортного процесу при існуючих тарифах на перевезення:

$$SB_m = -\max(0; IN_m - EX_m). \quad (30)$$

На основі експлуатаційних параметрів які визначаються за допомогою сервісно-ресурсної моделі розраховуються показники, що входять до складу концепту його наслідків. Їх структура складається з компонент безпеки руху та екологічного впливу.

Рівень чинників транспортної безпеки для ділянок мережі представлені через параметри, які характеризують рівень завантаження дорожнім рухом, швидкість руху на ділянках та перехрестях, рівень транспортної конфліктності об'єктів ПТІ:

$$TS = \sum_{n=1}^b \sum_{i=1}^q Z_{ni}^l \cdot N_{ni}^l \cdot SQ_{ni}^l + \sum_{n=1}^b \sum_{j=1}^k Z_{nj}^u \cdot N_{nj}^u \cdot SQ_{nj}^u + \sum_{c=1}^g Z_c^{up} \cdot N_{mc}^{up}, \quad (31)$$

де Z_i^l – рівень чинників транспортної безпеки i - ої ділянки МТМ;

N_{ni}^l – інтенсивність руху ТЗ n - ої групи по i - й ділянці МТМ, авт/год;

SQ_{ni}^l – питома вага ТЗ n - ої групи в інтенсивності по i - й ділянці МТМ;

Z_j^u – рівень чинників транспортної безпеки j - му вузлі МТМ;

N_{nj}^u – інтенсивність руху ТЗ n - ої групи в j - му вузлі МТМ, авт/год;

SQ_{nj}^u – питома вага ТЗ n - ої групи в інтенсивності в j - му вузлі МТМ;

Z_c^{up} – рівень чинників транспортної безпеки c - му об'єкті ПТІ;

N_{mc}^{up} – інтенсивність руху ТЗ МГПТ в c - му об'єкті ПТІ, авт/год.

Екологічні наслідки визначаються обсягом шкідливих викидів які залежать від загального пробігу, норм викиду для відповідних груп автомобілів та видів викидів, швидкості руху ТЗ, часу простою в межах об'єктів мережі та ПТІ:

$$AHE_i = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^a \sum_{n=1}^b L_j \cdot M_{kn}^l \cdot N_{nj}^l \cdot K_{nj} + \sum_{x=1}^g \sum_{k=1}^a \sum_{n=1}^b T_{xn} \cdot M_{kn}^u \cdot N_{nx}^u, \quad (32)$$

де L_j – довжина j - ої ділянки МТМ, км;

M_{kn}^l – пробігові викиди шкідливих k - ої речовини транспортними засобами n - ої групи, г/км;

N_{nj}^l – інтенсивність руху ТЗ n - ої групи по j - й ділянці МТМ, авт/год;

K_{kj} – калібрувальний коефіцієнт який враховує фактичну швидкість руху ТЗ n - ої групи по j - й ділянці МТМ;

T_{xn} – час знаходження ТЗ n - ої групи в x - му об'єкті, год.;

M_{kn}^u – питомі викиди шкідливих k - ої речовини транспортними засобами n - ої групи під час простою, г/год;

N_{nx}^u – інтенсивність руху ТЗ n - ої групи в x - у об'єкті, авт/год.

Допустимі значення параметрів негативних екологічних наслідків визначаються виходячи з гранично допустимої їх концентрації, питомої ваги міського транспорту та рівня їх розвіювання за типовою методикою.

ВИСНОВКИ. Розроблена сервісно-ресурсна модель МГПТ є логічною моделлю сервісу, яка описує склад, структуру та взаємозв'язок його внутрішніх та зовнішніх ресурсних трансформацій в умовах єдиного транспортного простору МС, які спільно забезпечують надання транспортного сервісу споживачам послуг на погодженому з їх системними можливостями рівні.

Визначення раціонального рівня ресурсних можливостей реалізується на основі сервісно-ресурсного моделювання, яке є ефективним інструментом проектування, стратегічного та оперативного управління МГПТ, дозволяє оцінити його системну ефективність та структурну відповідність щодо забезпечення ресурсно-результативних умов його сталості.

На базі створеної методики розробки сервісно-ресурсної моделі функціонування МГПТ у подальшому можливе створення єдиної комплексної інформаційної системи управління міською транспортною системою.

ЛІТЕРАТУРА

1. Понкратов Д. П., Фалецька Г. І. Вибір пасажирів шляху пересування у містах: монографія. – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2015. – 164 с.
2. О модели городского пассажирского транспорта: моделирование логики пассажира / М. Е. Елисеев, А. В. Липенков, Е. М. Елисеев // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева – 2011. – № 3 – С. 347–352.
3. Ušpalyte-Vitkūniene R. Modelling of Vilnius public transport route network // *Technological and Economic Development of Economy*. – 2006. – Т. 12 – №. 4. – p. 334–340.
4. Оптимизация маршрутной сети пассажирского транспорта с помощью транспортной модели города / И. В. Макарова, Р. Г. Хабибуллин, К. А. Шубенкова // *Мир транспорта и технологических машин*. – 2015. – №3(50) – С. 103–114.
5. Horn M. E. Multi-modal and demand-responsive passenger transport systems: a modelling framework with embedded control systems // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. – 2002. – №36(2). – p. 167–188.
6. Horn M. E. Procedures for planning multi-leg journeys with fixed-route and demand-responsive passenger transport services // *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. – 2004. – №12(1). – p. 33–55.
7. Кажаяев А. А., Ларин О. Н. Имитационная модель загрузки остановочных пунктов городского маршрутного транспорта // *Современные проблемы транспортного комплекса России*. – 2011. – № 1 – С. 86–94.
8. Затонский А. В., Володина Ю. И. Имитационная балансовая модель остановки городского общественного транспорта // *Грузовое и пассажирское автохозяйство*. – 2013. – № 12. – С. 100–107.
9. Liu L. Data model and algorithms for multi-modal route planning with transportation networks. – München, Techn. Univ. – 2011. –115 p.
10. Постников В. П. Оптимальные модели формирования тарифа на городском пассажирском транспорте // *Экономический анализ: теория и практика*. – 2014. – №11 (363) – С. 36–40.
11. Анализ моделей оперативного диспетчерского управления городским пассажирским транспортом / М. Б. Польшун, А. В. Воробьева, А. В. Остроух // *Молодой ученый*. – 2011. – № 4. – С. 9–13.
12. Селиверстов Я. А., Стариченков А. Л. Построение моделей управления городскими транспортными потоками в условиях неопределенности внешней информационной среды // *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление*. – 2014. – №6(210). – С. 81–94.
13. Vdovychenko V., Nagornyy Y. Formation of methodological levels of assessing city public passenger transport efficiency // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2016. – №3/3(81). – p. 44–51.
14. Гусева И. И. Сервисно-ресурсная модель организации информационных технологий в контексте обеспечения устойчивого развития // *Економічні проблеми сталого розвитку: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції* – 2014. – № 1. – С. 107–109.
15. Голубцов В., Федоренко М. Сервисно-ресурсная модель: от теории к практике // *Альманах ITSMF России* – 2012. – С. 64–72.
16. Вдовиченко В.О. Оцінка ресурсних можливостей міського пасажирського транспорту // *Транспортні системи та технології перевезень*. – 2014. – № 8. – С. 35–39.

SERVICE-RESOURCE MODEL OF THE FUNCTIONING OF URBAN PUBLIC PASSENGER TRANSPORT**V. Vdovychenko**

Kharkiv National Automobile and Highway University

vul. Yaroslav Mudry, 25, Kharkiv, 61002, Ukraine. E-mail: Vval2301@gmail.com

Purpose. To form methodological principles, structures and parameters of service-resource model of the urban public passenger transport. Service-resource model is intended to describe the composition, structure and relationships of internal and external resource transformations of subjects of urban public passenger transport in terms of unitary transport space of the city. **Methodology.** The methodology of integrated planning and system analysis has been used to form service-resource model. Service-resource model of urban public passenger transport is represented as a hierarchical graph with a further decoupling on the separate modules, in which the procedure of formalization of its parameters is formed with the help of analytical dependences. The nodes of the hierarchical graph are configuration units, which are involved in the implementation of the transport service of urban public passenger transport and the ribs are resource and effective connections between them. **Results.** The methodology of service-resource model of the functioning of urban public passenger transport is formed, which is based on the use of principles of the abstract representation of the process of interaction of resource opportunities of transport service customers with the resource transport assets in terms of an unitary space and existent structure of their relationships. The areas of applications of service-resource model of urban public passenger transport are singled out and requirements for its formalization are based. The structure of the topology of the service-resource model is given, which provides dedicating of totality of its basic elements and structure levels. Dependences of definition of parameters of service streams are proposed, that reflect qualitative character of functioning of urban passenger transport. **Originality.** For the first time, the comprehensive presentation of public passenger transport functioning has been implemented within an unitary transport space city. Based on distribution of processes to functions and the definition of objects of their implementation, forms and types of model process are singled out, that are realized in the functional environment of urban public passenger transport. **Practical value.** The proposed service-resource model is an effective tool for planning, strategic and operational management of urban public passenger transport system and evaluates its system efficiency and structural accordance due to providing resource-efficient conditions for its sustainability. References 16, tables 1, figures 3.

Key words: urban passenger transport, resources, transport service.

REFERENCES

1. Ponkratov, D. P., Faletskaya, G. I. (2015), "Vibir pasazhirami shlyahu peresuvannya u mistah: monografiya" [Passenger selection of the way of movement in cities: monograph.], HNUMG im. O.M. Beketova, Kharkiv.
2. Eliseev, M. E., Lipenkov, A. V., Eliseev, E. M. (2011), "O modeli gorodskogo passazhirskogo transporta: modelirovanie logiki passazhira" [About the model of urban passenger transport: modeling of the logic of the passenger], *Trudyi NGTU im. R.E. Alekseeva*, 3, pp. 347 - 352.
3. Ušpalyte-Vitkūniene, R. (2006), Modelling of Vilnius public transport route network, *Technological and Economic Development of Economy*, 12(4), pp. 334-340.
4. Makarova, I. V., Habibullin, R. G., Shubenkova, K. A. (2015), "Optimizatsiya marshrutnoy seti passazhirskogo transporta s pomoschyu transportnoy modeli goroda" [Optimization of the route network of passenger transport with the help of a transport model of the city], *Mir transporta i tehnologicheskikh mashin*, 3(50), pp. 103-114.
5. Horn, M. E. (2002), Multi-modal and demand-responsive passenger transport systems: a modelling framework with embedded control systems. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 36(2), pp. 167-188.
6. Horn, M. E. (2004), Procedures for planning multi-leg journeys with fixed-route and demand-responsive passenger transport services. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 12(1), pp. 33-55.
7. Kazhaev, A. A., Larin, O. N. (2011), "Imitatsionnaya model zagruzki ostanovochnykh punktov gorodskogo marshrutnogo transporta" [Imitation model of loading of stopping points of city shuttle transport]. *Sovremennyye problemyi transportnogo kompleksa Rossii*, 1, pp. 86-94.
8. Zatonskiy, A. V., Volodina, Yu. I. (2013), "Imitatsionnaya balansovaya model ostanovki gorodskogo obschestvennogo transporta" [Imitation balance model for stopping urban public transport]. *Gruzovoe i passazhirskoe avtohozyaystvo*, 12, pp. 100-107.
9. Liu, L. (2011), Data model and algorithms for multimodal route planning with transportation networks. München, Techn. Univ., 115 p.
10. Postnikov, V. P. (2014), "Optimalnyie modeli formirovaniya tarifa na gorodskom passazhirskom transporte" [Optimal models of tariff formation on city passenger transport]. *Ekonomicheskiiy analiz: teoriya i praktika*, 11(363), pp. 36-40.
11. Polgun, M. B., Vorobyova, A. V., Ostrouh, A. V. (2011), *Analiz modeley operativnogo dispetcherskogo upravleniya gorodskim passazhirskim transportom, Molodoy ucheniy*, 4, pp. 9-13.
12. Seliverstov, Ya. A., Starichenkov, A. L. (2014), "Postroenie modeley upravleniya gorodskimi transportnyimi potokami v usloviyah neopredelenosti vneshney informatsionnoy sredy" [The construction of models for managing urban transport flows in the conditions of the uncertainty of the external information environment], *Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU. Informatika. Telekommunikatsii. Upravlenie*, 6(210), pp. 81-94.
13. Vdovychenko, V., & Nagornyy, Y. (2016), Formation of methodological levels of assessing city public passenger transport efficiency, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(3 (81)), pp. 44-51.
14. Guseva, I.I. (2014), "Servisno-resursnaya model organizatsii informatsionnykh tehnologiy v kontekste obespecheniya ustoychivogo razvitiya" [Service-resource model of organization of information technologies in the context of ensuring sustainable development], *Ekonomichni problemi stalogo rozvitku*, 1, pp. 107-109.
15. Golubtsov, V., Fedorenko, M. (2012), "Servisno-resursnaya model: ot teorii k praktike" [Service-resource model: from theory to practice], *Almanah itSMF Rossii*, pp. 64-72.
16. Vdovychenko, V.O. (2014), "Otsinka resursnih mozhlivostey mlskogo pasazhirskogo transportu" [Estimation of resource possibilities of urban passenger transport], *Transportni sistemi ta tehnologiyi perevezhen*, 8, pp. 35-39.

Стаття надійшла 17.03.2017.