

*Виділені методологічні рівні дослідження міського громадського пасажирського транспорту, проведений аналіз міжрівневих зв'язків, сформовані принципи системної оцінки ефективності його функціонування. Представлена формалізація складових елементів оцінки системної ефективності міського громадського пасажирського транспорту шляхом синтезу міжрівневих оціночних параметрів ефективності та квантифікації переваг станів елементів з урахуванням умов обліку функції прирощення ефективності метасистеми*

*Ключові слова: міський громадський пасажирський транспорт, метасистема, системна ефективність, методологічний рівень дослідження*

*Выделены методологические уровни исследования городского общественного пассажирского транспорта, проведён анализ межуровневых связей, сформированы принципы системной оценки эффективности его функционирования. Представлена формализация составляющих элементов оценки системной эффективности городского общественного пассажирского транспорта путем синтеза межуровневых оценочных параметров эффективности и квантификации преимуществ состояний элементов с учетом условий учета функции приращения эффективности метасистемы*

*Ключевые слова: городской общественный пассажирский транспорт, метасистема, системная эффективность, методологический уровень исследования*

УДК 656.025.2

DOI: 10.15587/1729-4061.2016.71687

# ФОРМУВАННЯ МЕТОДОЛОГІЧНИХ РІВНІВ ОЦІНКИ СИСТЕМНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ МІЬКОГО ГРОМАДСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

В. О. Вдовиченко

Кандидат технічних наук, доцент\*

E-mail: Vval2301@gmail.com

Є. В. Нагорний

Доктор технічних наук, професор\*

E-mail: Ktt@khadi.kharkov.ua

\*Кафедра транспортних технологій  
Харківський національний  
автомобільно-дорожній університет  
вул. Ярослава Мудрого, 25,  
м. Харків, Україна, 61002

## 1. Вступ

Проблема підвищення якості та ефективності функціонування міського громадського пасажирського транспорту (МГПТ) є актуальною для всіх без винятку великих міст. Передумовою приділення значної уваги питанням удосконалення роботи МГПТ є його високий рівень впливу на соціальну, економічну та екологічну складову життєдіяльності сучасних міст. МГПТ поряд з індивідуальним пасажирським транспортом займає особливе місце в забезпеченні життєдіяльності міського середовища, в значній мірі впливає на рівень якості проживання в ньому та визначає умови формування місцевого бюджету [1–3]. Оцінка ефективності функціонування МГПТ є однією з ключових задач формування концепції удосконалення міських пасажирських перевезень і вимагає створення методології об'єктивного представлення результатів транспортного процесу з різнорівневих оціночних позицій [4].

Важливе місце в формуванні стратегії сталого розвитку міського середовища займає розробка функціональних планів удосконалення міських пасажирських перевезень. Забезпечення високого рівня ефективності технологічних процесів функціонування МГПТ вимагає визначення раціональних умов його роботи та

потребує проведення постійного моніторингу за його роботою шляхом оцінки результатів його функціонування. Така процедура реалізується шляхом проведення перспективної оцінки його ефективності функціонування за допомогою використання інструментів апарату прикладного моделювання і обов'язково потребує розрахунку критерію ефективності функціонування. Структура і склад критерію ефективності в значній мірі визначає стратегію системного представлення МГПТ та методологічними рівнями його дослідження. Необхідною умовою впровадження при оцінці ефективності функціонування МГПТ є адаптація та формальна реалізація принципів системного підходу спрямованих на формування комплексної оцінки впливу МГПТ на сфери життєдіяльності міського середовища. Використання такого підходу дозволяє підвищити рівень об'єктивності і адекватності проектно-технологічних рішень, що реалізуються у сфері міських пасажирських перевезень.

## 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Базовим у формалізації показників функціонування МГПТ є виділення поняття ефективності транспортного процесу, яке може бути представлено як

категорія, що характеризує віддачу, результативність функціональних процесів. Транспортна ефективність відображає не лише приріст обсягів перевезень, а й надає можливість визначити якою ціною і яким обсягом ресурсів досягається цей приріст. Процес перевезення пасажирів у міському сполученні має широкий спектр впливу на міське середовище і може бути охарактеризований значною кількістю показників, загальною чисельністю більше п'ятдесяти, серед яких можна виділити групи економічних, технологічних, соціальних, екологічних параметрів.

Наявність широкого кола факторів оцінки наслідків функціонування МГПТ та поєднання з можливістю варіювання їх структурою призвело до появи значної кількості науково-практичних підходів оцінки ефективності функціонування МГПТ. Аналіз робіт, присвячених дослідженню проблем підвищення ефективності функціонування МГПТ [5–13], дозволив виділити стратегічні напрями, в яких спостерігається принципова схожість у представленні показників, якими може бути оцінена ефективність міських пасажирських перевезень. До таких напрямів можна віднести такі підходи:

- формування ефективності МГПТ на основі єдиного оціночного показника;
- представлення ефективності МГПТ у вигляді набору відокремлених показників якості транспортного обслуговування;
- створення комплексного показника ефективності, який формується шляхом синтезу якісних характеристик транспортного процесу і технологічних параметрів роботи МГПТ;
- розробка інтегральних показників, в яких додатково враховуються інтереси прямих або побічних учасників транспортного процесу.

Представлення ефективності функціонування МГПТ у формі єдиного оціночного показника набуло значного поширення в період технологічного розвитку МГПТ, який можна віднести до другої половини двадцятого сторіччя. Можливість використання в якості показника ефективності часу пересування пасажирів обґрунтовується в роботах [7–10]. Використання такого підходу до оцінки ефективності МГПТ пояснюється тим, що час реалізації пересування є результативним параметром, на основі якого можливо зробити загальну оцінку ефективності МГПТ. Різновидом представлення єдиного показника ефективності МГПТ є оцінка ефективності на основі розрахунку загальних витрат на функціонування МГПТ, які визначаються як вартісна оцінка часу пересування пасажирів та витрат транспортних підприємств на обслуговування маршрутної мережі МГПТ [11]. Представлення ефективності складних систем у вигляді одного параметра суперечить системному принципу, доцільне до використання лише в умовах окремих елементів системи і має низьку перспективність для оцінки ефективності МГПТ з позицій забезпечення сталості транспорту.

Реалізація оцінки ефективності МГПТ на основі формування набору показників якості транспортного обслуговування на відміну від єдиного показника розширює системність її представлення і дозволяє підвищити об'єктивність її формалізації. Така форма оцінки ефективності МГПТ набула поширення на практиці внаслідок її простоти представлення і

доступності отримання оціночної інформації. Серед робіт, в яких використовується такий підхід, можна виділити роботи, присвячені формуванню показників зальної оцінки ефективності МГПТ [10, 11]. Формування спектру показників ефективності ускладнює процедуру оцінки ефективності МГПТ, так як така задача стає багатокритеріальною, має велику кількість форм поєднання станів системи, передбачає суб'єктивність у визначенні переваг між окремими показниками.

При оцінці ефективності функціонування МГПТ використовується підхід, при якому реалізується комплексний принцип формування оцінки роботи МГПТ [12–14]. Цей підхід полягає у формуванні, за допомогою різних інструментів, відокремленого або інтегрального комплексного показника ефективності функціонування МГПТ, який, як правило, реалізується у вигляді поєднання в одному показнику соціально-економічних результатів його роботи, синтетичних показників рівня транспортного сервісу або набору відокремлених груп показників якості транспортного сервісу. Використання такого підходу дозволяє розширити спектр параметрів оцінки ефективності МГПТ, підвищити рівень об'єктивності її оцінки, надає змогу запровадити принципи системного підходу. Однак існуючі методики передбачають проведення оцінки ефективності лише в межах МГПТ і не враховують наслідки його впливу на середовище, в якому він реалізує свої функції. Такі умови дають можливість стверджувати про обмеженість його використання при формуванні стратегій сталого розвитку міського середовища та потребують їх розвитку в напрямку не лише розширення спектру складових комплексного критерію, а впровадження нових механізмів формування згорток результативних показників і його меж.

Основним недоліком існуючих методів оцінки ефективності функціонування МГПТ є їх системна обмеженість відносно об'єктів оцінки. Вони спрямовані на оцінку ефективності відносно внутрішніх параметрів МГПТ (пасажирів, маршрутна мережа, транспортні підприємства та ін.) і не враховують ті зміни, які можуть відбуватися у зовнішньому відносно МГПТ середовищі (транспортна мережа міста, міські функціональні середовища, екологічні та соціальні структури міста та ін.). Розширення зон оцінки ефективності МГПТ є складна, нетривіальна задача, яка вимагає створення нового методологічного апарату системного представлення МГПТ і оцінки його ефективності. Це дозволяє обґрунтувати необхідність формування нових методологічних принципів оцінки ефективності функціонування МГПТ на основі системного підходу шляхом дослідження його як інтеграційного елемента системи вищого рівня.

### 3. Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є формування принципів оцінки системної ефективності МГПТ шляхом виділення методологічних рівнів його дослідження та формування міжрівневої інтеграційної оцінки його ефективності.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися наступні задачі:

– на основі виділення етапів системного аналізу МГПТ з позицій багаторівневого підходу визначені методологічні рівні дослідження його системної ефективності;

– формалізовані складові елементи оцінки системної ефективності МГПТ шляхом синтезу багаторівневої оцінки та квантифікації переваг станів елементів на основі обліку функції прирощення ефективності метасистеми.

**4. Виділення методологічних рівнів дослідження системної ефективності функціонування МГПТ**

Дослідження ефективності МГПТ має своєю метою формування стратегії переходу його на якісно новий рівень який забезпечує можливість його сталого розвитку. Досягнення поставленої мети потребує використання багаторівневого аналізу при дослідженні його функціонування, який за своєю структурною послідовністю реалізується відповідно етапів дослідження складних систем. Системне дослідження ефективності функціонування МГПТ з позицій багаторівневого підходу передбачає виділення і реалізацію основних етапів структурного аналізу його складних системних властивостей.

Якість складної системи проявляється в повній мірі тільки в процесі її функціонування, тобто використання її за призначенням. Тому найбільш об'єктивна оцінка системної ефективності МГПТ може бути отримана за оцінкою рівня її цільового застосування. Ефективність системи – це властивість системи досягати поставленої мети в заданих умовах використання ресурсів і з відповідною якістю. Ефективність як властивість притаманна тільки системам (організаційним, технічним, біологічним і т. д.). Ефективність системи не можна вивести повністю тільки з властивостей елементів системи, необхідно враховувати також і властивості надсистеми до складу якої вона входить. Ефективність конкретної системи визначається через систему критеріїв ефективності які характеризують всі рівні ієрархії системи враховуючи і зовнішні.

При системному описі МГПТ потрібно знайти компроміс між простотою його опису та необхідністю врахування поведінкових особливостей елементів. Вирішення цієї дилеми знаходиться в використанні ієрархічного підходу. Ієрархічний підхід представлення МГПТ реалізується шляхом формуванням сімейства моделей, кожна з яких описує його поведінку з точки зору різних рівнів абстрагування. Для кожного рівня існує ряд характерних особливостей і змінних, законів і принципів, за допомогою яких і описується поведінка МГПТ. Щоб такий опис був ефективним, необхідним є об'єктивна формалізація внутрішньо-системних структурних зв'язків при забезпеченні максимально можливої незалежності моделей для різних рівнів системи. Реалізація системного підходу щодо визначення ефективності МГПТ потребує визначення структури і меж системи, формалізації зв'язків між її елементами, виділення окремих цільових пріоритетів функціонування, розподілення внутрішніх процесів

підсистем, оцінки рівня ресурсних можливостей та визначення впливу на результат функціонування системи вищого рівня. При дослідженні складних систем в якості системи вищого рівня використовують поняття метасистеми [15]. Метасистема – це відносно нове поняття, під яким найчастіше розуміється масштабна система, ширша, ніж традиційні системи, в яку кожна досліджувана система входить як складова частина на правах окремої системи.

Метасистема відрізняється від структурованої системи наступними особливостями:

– умовою виділення елементів метасистеми є квантифікація цілі її функціонування на основі аналізу умов повноти і достатності підсистем;

– зв'язки між елементами метасистеми на відміну від структурованої системи формуються на основі ресурсно–результативних міжсистемних потоків, що є результатом наявності високого рівня самодостатності її складових елементів;

– досягнення глобальної мети функціонування метасистеми забезпечується сукупністю результатів роботи підсистем і реалізується на основі інтеграції роботи окремих підсистем або їх сукупності.

МГПТ є складовим елементом соціального середовища і спрямований на забезпечення задоволення потреб у переміщенні всіх видів і форм потоків. МГПТ може бути представлений як складова система метасистеми «міське середовище» (МС). Досвід дослідження складних систем дозволяє представити МГПТ з позицій його як складової метасистеми МС і передбачає виділення чотирьох методологічних рівнів його системного дослідження його ефективності (рис. 1).

Рівень дослідженн	Напряом оцінки ефективності	Рівень оцінки ефективності	Форма критерію ефективності
1 рівень Склад	Якість	Елементарні процеси	Перелік корисних властивостей
2 рівень Структура	Результативність	Структура–синергія елементів	Скалярний показник
3 рівень Організація	Самоорганізація	Багатомірні властивості системи	Векторний показник
4 рівень Метасистема	Розвиток	Глобальна мета	Вербальна

Рис. 1. Методологічні рівні дослідження системної ефективності МГПТ

Важливим етапом представлення методологічних рівнів дослідження ефективності функціонування МГПТ є формалізація форм оцінки ефективності. Починаючи з третього рівня дослідження МГПТ потрібно розглядати не як окрему систему, а як складовий елемент метасистеми. Розгляд ефективності з позицій метасистеми не може бути реалізовано без врахування корисності її систем і має кореляційний зв'язок зі структурою та властивостями всіх рівнів ієрархії системи. Ієрархія оцінки системної ефективності МГПТ представляє собою послідовність трансформації її форми: від переліку властивостей до вербального її опису який відображає вплив на складові елементи вищого рівня метасистеми.

Огляд робіт [7–14], присвячених дослідженню функціонування МГПТ, показав, що основна частина розглядає її на рівні структури яка представлена маршрутною системою, лише в окремих роботах пропонується дослідження МГПТ як організації, що відповідає третьому рівню. Однак сучасні умови життєдіяльності міст вимагають переміщення акцентів у визначенні ефективності функціонування транспортних систем у сферу її метасистеми. Причиною цього є дефіцит ресурсних можливостей та постійно зростаючий негативний вплив МГПТ на умови життя населення. Проблема підвищення ефективності функціонування МГПТ є стратегічною задачею не тільки окремих суб'єктів транспортного комплексу, а стосується соціально-економічного простору міст та в значній мірі визначає пріоритетні напрями покращення якості життя населення. Така постановка задачі вимагає вирішення проблеми оцінки результатів роботи не окремих систем забезпечення життєдіяльності міського середовища, а формування умов реалізації потенціалу всього міського середовища та оцінки можливості його розвитку. Враховуючи це, актуальною стає потреба впровадження методологічного рівня дослідження системної ефективності МГПТ з позицій мета системи, до якої вона входить. На цьому рівні необхідно дослідити глобальну мету функціонування метасистеми і визначити рівень впливу МГПТ на її досягнення. Складність представлення такого рівня полягає у неможливості її чіткої формалізації. Аналіз діяльності метасистеми можливий лише на вербальному рівні. Ефективність функціонування метасистеми формується на основі логіки і може бути формалізована за допомогою булевої алгебри.

### 5. Формування оцінки системної ефективності МГПТ на основі квантифікації переваг станів рівнів метасистеми

При оцінці ефективності функціонування складних систем використовуються ретроспективний та перспективний підхід. В залежності від поставленої мети оцінки ефективності аналізуються параметри системи які мають вид статистичних даних отриманих за результатами спостережень за функціонуванням системи або математичне очікування результатів роботи системи (можливий результат). Результат функціонування системи відображає її якісний стан і визначається методологічним рівнем її розгляду і може бути представлений як вектор досягнення обраного відповідно рівню критерію ефективності. Процес функціонування МГПТ представляється як перетворення ресурсів у результат, який спрямований на задоволення різнорівневих потреб населення міського середовища. Під функціонуванням МГПТ слід розуміти сукупність послідовної зміни стану вхідних і вихідних параметрів його елементів. Вхідними параметрами є сукупність ресурсів які використовуються, вихідні параметри – це результат. Важливу роль при забезпеченні умов ефективного функціонування МГПТ відіграють чинники впливу які мають різний характер впливу і основу формування. Формалізував складові МГПТ через сукупність множин ресурсно-результативних параметрів кожного методологічного рівня до-

слідження стає можливим представити стан системи у вигляді матриці:

$$S_s = \begin{bmatrix} A_m & R_m & G_m \\ A_r & R_r & G_r \\ A_n & R_n & G_n \\ A_g & R_g & G_g \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де  $A_m, A_r, A_n, A_g$  – результат функціонування системи відповідного рівня: склад, структура, організація, метасистема;  $R_m, R_r, R_n, R_g$  – ресурси відповідного рівня: склад, структура, організація, метасистема;  $G_m, G_r, G_n, G_g$  – чинники впливу на об'єкти рівня склад, структура, організація, метасистема відповідно.

Оцінка ефективності для окремого рівня його розгляду представляється як певна функція або функціонал, який відображає синтезований показник отриманих результатів, обсягів використаних ресурсів та чинників впливу:

$$E_k = \Phi(A_k, R_k, G_k), \quad (2)$$

де  $E_k$  – показник ефективності k-го рівня;  $A_k$  – можливий або фактично досягнутий кінцевий результат функціонування системи на рівні k;  $R_k$  – можливі або фактичні витрати ресурсів для отримання результату  $S_k$  на рівні k;  $G_k$  – можливий або фактичний вплив чинників на функціонування системи для отримання результату  $S_k$  на рівні k.

Системна ефективність МГПТ може бути представлена у вигляді матриці-стовпця який відображає рівень ефективності всіх рівнів:

$$E_s = \begin{bmatrix} E_m \\ E_r \\ E_n \\ E_g \end{bmatrix}, \quad (3)$$

де  $E_m, E_r, E_n, E_g$  – показник ефективності функціонування відповідного рівня: склад, структура, організація, метасистема.

Системна міжрівнева інтеграція оцінки ефективності реалізується шляхом синтезу всіх рівнів оцінки ефективності і формалізується у вигляді об'єднання множин:

$$E_m \subset E_r \subset E_n \subset E_g, \quad (4)$$

де  $E_m, E_r, E_n, E_g$  – множина параметрів оцінки ефективності системи відповідного рівня: склад, структура, організація, метасистема.

Вагомим чинником, який впливає на ефективність МГПТ, є її складність, яка характеризується наявністю відповідної кількості елементів та відповідною кількістю станів системи. Системний опис ефективності функціонування МГПТ з позицій метасистеми передбачає опис елементів у вигляді кінцевого набору і характеру взаємозв'язків між ними. Особливої уваги при формуванні показників ефективності складних систем слід приділяти їх збалансованості, яка досягається шляхом обліку внутрішніх конфліктів та компромісів [16]. Реалізація таких компромісів до-



сягається шляхом впровадження принципів балансу системи. Такий підхід передбачає опис взаємодії елементів системи у загальному вигляді з урахуванням всіх факторів формування конфлікту і можливого характеру їх взаємодії, причин та механізмів конфліктів.

При формуванні системної ефективності МГПТ слід врахувати можливі конфлікти різних рівнів. Для цього потрібно побудувати модель формування міжрівневих переваг як інструмент квантифікації цілей складних систем. Для формалізації такої моделі виділимо поняття «мета рівня». Мета рівня формується на основі якісного призначення елементів системи відповідного рівня. Умовою досягнення ефективного стану метасистеми є погодження результатів її складових систем з загальною її метою. Тобто ефективність першого рівня повинна відповідати досягненню мети другого рівня, ефективність другого рівня повинна відповідати меті другого рівня і т. д. Визначення мети різних рівнів формується на основі побудови дерева цілей. Визначення стану системи кожного рівня забезпечує наближення або віддалення її до кінцевої мети її метасистеми. При порівнянні станів системи одного рівня можливе встановлення чотирьох видів співвідношень [16]:

$$S_k^i \succ^{M_{k+1}} S_k^j, S_k^i \succ^{M_{k+1}} S_k^j, S_k^i \equiv^{M_{k+1}} S_k^j, S_k^i \neq^{M_{k+1}} S_k^j, \quad (5)$$

де  $S_k^i$  – стан і-го варіанту системи k-го рівня;  $S_k^j$  – стан j-го варіанту системи k-го рівня;  $M_{k+1}$  – ціль функціонування системи наступного за k-тим рівнем;  $\succ$  – рівень переваги і-го варіанту системи над j-м відносно досягнення мети функціонування системи рівня k + 1;  $\succ^{M_{k+1}}$  – рівень недоліку і-го варіанту системи над j-м відносно досягнення мети функціонування системи рівня k + 1;  $\equiv^{M_{k+1}}$  – рівень еквівалентності і-го варіанту системи з j-м варіантом відносно досягнення мети функціонування системи рівня k + 1;  $\neq^{M_{k+1}}$  – рівень неможливості порівняння переваг і-го варіанту системи над j-м варіантом відносно досягнення мети функціонування системи рівня k + 1.

На основі визначеного характеру видів співвідношень можливо реалізувати процедуру пошуку раціонального стану. Пошук ефективного стану системи проводиться з множини доступних альтернатив стану системи кожного рівня шляхом вибору варіанту, який відповідає умовам забезпечення збільшення ефективності системи вищого рівня:

$$S_k^i \succ^{M_{k+1}} S_k^j \Rightarrow E_{k+1}^i > E_{k+1}^j. \quad (6)$$

Вибір варіанту функціонування МГПТ з позиції метасистеми може бути реалізований шляхом побудови графу конгруентності взаємозв'язків між рівнями системи. Однак така постановка дає можливість визначення лише загальних напрямів розвитку підсистем і не дозволяє бути використаним для вирішення окремих задач пошуку раціональних станів функціональних процесів. Для визначення раціональних станів метасистеми необхідно забезпечити перехід від бінарних

співвідношень до визначення переваг за критеріями ефективності. Ефективність визначається показниками які мають відповідно кожного рівня свою шкалу виміру. Зміна ефективності системи на відповідному рівні досягається не лише за рахунок операційних заходів цього рівня, а реалізується за рахунок заходів реалізованих на нижчому рівні. Зміна системної ефективності функціонування визначається через оцінку можливого стану системи вищого рівня:

$$\Delta E_k^i = E_{k+1}^i(A_{k+1}^i, R_{k+1}^i, G_{k+1}^i) - E_{k+1}^j(A_{k+1}^j, R_{k+1}^j, G_{k+1}^j), \quad (7)$$

де  $\Delta E_k^i$  – функція прирощення ефективності функціонування системи k-го рівня яка досягається за рахунок реалізації і-го варіанту МГПТ.

Отримання від'ємного прирощення ефективності рівня k + 1 потребує в якості компенсації використання додаткового обсягу ресурсів рівня k + 1. Досягнення рівня результату реалізується за рахунок внутрішньорівневого прирощення результату:

$$A_{k+1}^i = (A_{k+1}^j + \Delta A_{k+1}^i), \quad (8)$$

де  $\Delta A_{k+1}^i$  – внутрішньорівневий приріст результату функціонування МГПТ на рівні k + 1.

Реалізація таких умов можлива за рахунок використання додатного обсягу ресурсів МГПТ відповідного рівня:

$$A_{k+1}^j + \Delta A_{k+1}^j \Rightarrow R_{k+1}^j + \Delta R_{k+1}^j, \quad (9)$$

Прирощення ресурсу для досягнення результату призводить до зниження ефективності

$$E_{k+1}^i(A_{k+1}^i, R_{k+1}^i, G_{k+1}^i) > E_{k+1}^j(A_{k+1}^j + \Delta A_{k+1}^j, R_{k+1}^j + \Delta R_{k+1}^j, G_{k+1}^j + \Delta G_{k+1}^j). \quad (10)$$

При оцінці ефективності функціонування МГПТ з позицій сталого розвитку доцільно використовувати в якості показника оцінки рівня сталості системи коефіцієнт ресурсних можливостей [17]. При такій постановці задачі залежність переходу станів ресурсного забезпечення набуває вигляду:

$$A_{k+1}^j + \Delta A_{k+1}^j \Rightarrow RR_{k+1}^j - \Delta RR_{k+1}^j. \quad (11)$$

Формування резервів ресурсу має своєю метою забезпечення умов стабільного функціонування в межах визначених ресурсних можливостей системи. Коефіцієнт ресурсних можливостей відображає питому вагу резервів ресурсів і виступає в якості обмежень вибору станів системи із множини допустимих варіантів. Ступінь відповідності отриманого ефекту рівню забезпечення резервів ресурсів визначається умовами їх придатності відносно резервних можливостей:

$$\Delta KE_k = \max\{KR_k - KR_k^a; 0\}, \quad (12)$$

де  $KR_k^a$  – коефіцієнт резервних можливостей системи який відповідає її придатності для рівня k;  $KR_k$  – коефіцієнт ресурсних можливостей стану системи для рівня k.

Критерій придатності рівня ресурсних можливостей визначається за умов відповідності мінімально допустимому рівню резервів ресурсів які використовуються на відповідному рівні представлення МГПТ:

$$KR_k^a = \min \left\{ r_{kn} \in \mu \mid \mu_n \rightarrow r_{kn}^a, n = \overline{1, b} \right\}, \quad (13)$$

де  $r_{kn}$  – ресурс МГПТ який використовується на рівні  $k$ ;  $\mu_n$  – область допустимих значень ресурсних можливостей МГПТ;  $r_{kn}^a$  – допустимі значення ресурсних можливостей МГПТ які входять в коло описане радіусом допустимих значень;  $b$  – кількість видів ресурсів МГПТ які використовуються на відповідному рівні.

Область допустимих значень ресурсних можливостей для кожного рівня визначається необхідними умовами ресурсних резервів які забезпечують сталий стан відповідного рівня системи:

$$\mu_n \in \left\{ RR_n^a \mid RR_n^a \subset RR_n^p \right\}, \quad (14)$$

де  $RR_n^a$  – допустимий рівень ресурсних резервів;  $RR_n^p$  – область ресурсних резервів які забезпечують сталий стан відповідного рівня системи.

Враховуючи умови формування сталого стану системи показник системної ефективності функціонування МГПТ може бути представлений у вигляді сукупності ефективності функціонування рівня і додаткової складової яка враховує вплив на інші рівні з урахуванням ступені впливу ресурсних можливостей системи:

$$E_s^k = E_k + \sum_{i=1}^n \frac{R_{i+1} \Delta KE_{i+1}}{\Delta A_{i+1}}, n = \overline{1, (m \setminus k)}, \quad (15)$$

де  $E_s^k$  – ефективність функціонування МГПТ з позицій  $k$ -го рівня;  $m$  – загальна кількість рівнів формування прирощення системної ефективності МГПТ.

Посаднання в межах загального показника ефективності МГПТ оціночних параметрів різних методологічних рівнів потребує уніфікації системи їх критеріальних оцінок і можлива за рахунок використання шкали процесно-орієнтованих оцінок.

## 6. Обговорення результатів формування рівнів системної ефективності міського громадського пасажирського транспорту

Оцінка ефективності функціонування МГПТ є важливою задачею, яка виходить за межі його внутрішнього середовища і відноситься до комплексних проблем міського середовища. Запропонований підхід до оцінки системної ефективності МГПТ відповідає принципам необхідної різноманітності дослідження комплексних проблем та дозволяє створити систему загального управління структурними елементами транспортної системи міста, яка орієнтована на кінцевий результат функціонування міської сиреди. Умовами формування такого підходу є впровадження запропонованих принципів представлення МГПТ у формі ієрархічної складної системи підпорядкованої глобальній меті функціонування міського середовища. Запропоновані методологічні рівні дослідження МГПТ дозволяють реалізувати принципи міжрівневої інтеграційної оцінки його ефективності і передбача-

ють розгляд функціональних процесів МГПТ, як внутрішнього середовища глобальної метасистеми складовим елементом якої він є.

Реалізація оцінки системної ефективності функціонування МГПТ дозволяє включити до її складу дві основні інтеграційні концепції:

- концепцію зворотного зв'язку динамічних взаємодій учасників на різних методологічних рівнях, яка дозволяє реалізувати форми узагальненого опису системних структур і зв'язків;

- концепцію імітації, яка надає можливість опису зміни стану метасистеми в результаті формування специфічних технологічних процесів в межах МГПТ.

Дослідження законів розвитку метасистем відкриває нові можливості в розумінні проблем підвищення ефективності функціонування і організації МГПТ. Умовами забезпечення ефективного стану метасистеми є впровадження принципів економії ресурсів, які прагнуть забезпечити рівноважний стан МГПТ зі зовнішнім середовищем і при якому реалізується його максимальний потенціал. Зростання рівня зовнішнього впливу на МГПТ вимагає мобілізації процесів його самоорганізації. Ідея самоорганізації МГПТ одержала розвиток в рамках синергетичної концепції, мета якої – формування загальної методології взаємодії внутрішніх і зовнішніх елементів на основі принципів сталого розвитку. Концепція системної ефективності МГПТ з позицій загальної метасистеми дає можливість оцінити додаткові фактори стійкості розроблюваного проекту в довгостроковій перспективі.

Умовою досягнення сталого стану міського середовища є квантифікація переваг альтернативних станів її елементів на основі обліку функції прирощення ефективності відповідних міжрівневих ресурсно-результативних параметрів. Запропонована форма реалізації системної оцінки ефективності МГПТ відповідає принципам сталого розвитку і дозволяє на практиці реалізувати концепти інформаційних та математичних моделей МГПТ, призначених для імітації його поведінки в умовах метасистеми в певних масштабах часу.

Апробація розроблених методологічних принципів оцінки ефективності МГПТ проводилася на експериментальній моделі мережі МГПТ Салтівського жилого масиву м. Харкова. Для цього в рамках комплексних досліджень у програмному комплексі Vissum була створена модель транспортної системи досліджуваного об'єкту. Транспортна мережа району дослідження складається з 32 транспортних вузлів та 48 ділянок мережі. В межах даної транспортної мережі функціонує 15 маршрутів МГПТ. Шляхом натурних спостережень була зібрана інформація про інтенсивність руху транспортних засобів по ділянках мережі та данні про пасажиропотік на маршрутах у період ранкової години «пік». Рівень адекватності розробленої моделі відповідає умовам експериментальних досліджень. Шляхом експертних досліджень та аналітичних розрахунків були сформульовані параметри оцінки ефективності для кожного визначеного методологічного рівня:

- перший рівень – показники якості перевезень пасажирів по маршрутах мережі (доступність, інформативність, своєчасність, надійність, безпечність, комфортність);

– другий рівень – показник який відображає ефективність результативності транспортного процесу (умовна собівартість перевезень з урахуванням рівня задоволення потреб);

– третій рівень – показники ефективності використання транспортної мережі (рівень зручності руху транспортних засобів);

– четвертий рівень – показник впливу на міське середовище (екологічний і соціальний квалітет).

Умовою забезпечення функціонування МГПТ є використання ресурсів, які розподіляються в межах перших трьох рівнів. До цих ресурсів відносяться: технічні ресурси (проїжджа частина вулиць, транспортні засоби транспортних підприємств), економічні ресурси (кошти пасажирів, кошти транспортних підприємств, кошти місцевого бюджету), ресурси міського середовища (земельні ресурси, екологічні, соціальні ресурси). Співвідношення отриманих результатів до обсягу використаних ресурсів дає можливість оцінити ефективність окремого елемента системи на відповідному рівні. Різниця між обсягом наявного та використаного ресурсу визначає обсяг резервів, які в свою чергу впливають на стан ефективності всієї системи. Ефективність представляється у відносних показниках і визначається на основі розрахунку коефіцієнтів ресурсних можливостей [17]. Реалізація розрахунків з використанням додаткового програмного модулю в програмному середовищі Vissum дозволила визначити параметри ефективності для першого (маршрути), другого (транспортні підприємства) і третього рівня (транспортна мережа) дослідження. Для четвертого рівня ефективність визначається шляхом вербального опису впливу на нього. В якості заходу, який пропонується реалізувати для зміну стану МГПТ, було запропоноване альтернативне рішення, яке передбачає збільшення ресурсних можливостей транспортних підприємств (збільшення транспортних засобів на окремих маршрутах) та перерозподіл існуючих ресурсів транспортної мережі між індивідуальним та громадським транспортом (перерозподіл смуг руху). Після проведення розрахунків були отримані показники ефективності функціонування МГПТ по кожному рівню які представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Ефективність функціонування МГПТ Салтівського житлового масиву

Рівень представлення	Існуючий варіант	Альтернативний варіант	Відхилення
1 рівень – якість (маршрути)	0,18	0,29	+0,11
2 рівень – результативність (транспортні підприємства)	0,12	0,03	-0,09
3 рівень – зручність (транспортна система)	0,38	0,32	-0,06
4 рівень – вплив на середовище (міське середовище)	–	погіршення	погіршення

Отримані результативні дані свідчать про те, що при забезпеченні приросту ефективності на першому рівні спостерігається погіршення ефективності на інших трьох рівнях. Характер такої залежності пояс-

нюється наявністю міжрівневих зв'язків: збільшення кількості транспортних засобів на маршрутах призводить до збільшення витрат і збільшення собівартості перевезень; перерозподіл смуг руху під пріоритетний руху транспортних засобів МГПТ призводить до збільшення інтенсивності руху по інших смугах та виникнення заторів, а це як наслідок призводить до погіршення екологічної ситуації. Облік цих зв'язків за допомогою залежності (15) дозволяє зробити висновок про отримання негативного загального ефекту з позицій метасистеми на рівні  $-0,04$ , що свідчить про неефективність таких заходів. Представлені розрахунки проводилися без виділення вагових коефіцієнтів для кожного рівня оцінки ефективності.

Перспективи подальших досліджень в області оцінювання системної ефективності МГПТ полягають у проведенні параметричного аналізу, який відноситься до одного з найбільш складного завдання та передбачає формування умов і правил розподілу за відповідними методологічними рівнями організаційної ієрархії необхідної і достатньої сукупності показників, що характеризують необхідні властивості МГПТ, які спрямовані на досягнення головної мети метасистеми.

## 7. Висновки

1. Умовою формалізації системної ефективності функціонування МГПТ є використання системного підходу, який реалізується виділенням чотирьох етапів структурного аналізу його системних властивостей. На основі інтеграції етапів та форм аналізу виділені чотири методологічних рівня дослідження функціонування МГПТ. Запропоновані методологічні рівні дослідження МГПТ визначають умови його системного представлення і дозволяють реалізувати концепцію формування умов сталого розвитку міського середовища. В якості методологічних рівнів дослідження МГПТ виділені і формалізовані наступні ієрархічні форми оцінки ефективності МГПТ: склад, структура, організація та метасистема. Запропоновані рівні відображають умови формування ієрархії мети функціонування МГПТ в умовах глобальної середовища його функціонування та дозволяють виділити наступні напрями оцінки його ефективності: якість, результативність, можливість самоорганізації та розвитку.

2. Облік системних конфліктів в умовах запропонованих рівнів представлення МГПТ реалізований на основі запропонованої моделі формування міжрівневих переваг, яка передбачає на кожному рівні проводити облік зміни показників ефективності інших рівнів. Квантифікація цілей формування стану МГПТ проводиться на основі оцінки функції прирощення ефективності метасистеми, яка представлена у вигляді додаткової складової критерію ефективності та враховує вплив на інші системні рівні ресурсно-результативної можливостей елементів відповідних рівнів метасистеми. Запропонований підхід може служити базисом для розробки функціональних стратегій розвитку міської транспортної системи та створення аналітичних моделей формування організаційних, функціональних та управлінських аспектів функціонування МГПТ.

## Література

1. Vuchic, V. R. *Urban Transit Systems and Technology* [Text] / V. R. Vuchic. – John Wiley & Sons, 2007. – 624 p.
2. Van Reeve, P. Subsidisation of Urban Public Transport and the Mohring Effect [Text] / P. Van Reeve // *Journal of Transport Economics and Policy*. – 2008. – Vol. 42. – P. 349–359.
3. Sevrovic, M. Transportation Costs and Subsidy Distribution Model for Urban and Suburban Public Passenger Transport [Text] / M. Sevrovic, D. Brcic, G. Kos // *PROMET – Traffic & Transportation*. – 2015. – Vol. 27, Issue 1. – P. 23–33. doi: 10.7307/ptt.v27i1.1486
4. Федоров, В. А. О необходимости системного подхода к развитию городского пассажирского транспорта (на примере Санкт-Петербурга) [Текст] / В. А. Федоров // *Наука и техника*. – 2014. – № 2 (275).
5. Moriarty, P. Eco-Efficiency Indicators for Urban Transport [Text] / P. Moriarty, S. Wang // *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems* – 2015. – Vol. 3, Issue 2. – P. 183–195. doi: 10.13044/j.sdewes.2015.03.0015
6. Zhenyu, L. Energy Efficiency Development of Urban Passenger Transport in China [Text] / L. Zhenyu // *Sustainable Automotive Technologies 2012, 2012*. – P. 253–259. doi: 10.1007/978-3-642-24145-1\_33
7. Cowie, J. Technical Efficiency Versus Technical Change – The British Passenger Train Operators [Text] / J. Cowie // *Competition & Ownership in Land Passenger Transport, 2005*. – P. 739–764. doi: 10.1016/b978-008044580-9/50134-3
8. Глушенко, К. П. Оценка эффективности транспортных проектов: опыт и проблемы (часть 1) [Текст] / К. П. Глушенко // *Вестник НГУ. Серия: социальные науки*. – 2011. – Т. 11. Вып. 4. – С. 93–107.
9. Нефедов, Н. А. О функции вероятности выбора пассажиром маршрута следования в системах городского пассажирского транспорта крупнейших городов [Текст] / Н. А. Нефедов, А. Д. Авуа // *Автомобильный транспорт*. – 2014. – Вып. 34. – С. 70–73.
10. Тлегинов, Б. Н. Анализ методов оценки и показателей качества системы городского пассажирского транспорта [Текст] / Б. Н. Тлегинов // *Современные проблемы науки и образования*. – 2012. – № 3. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=6121>
11. Руднева, Л. Н. Методика комплексной оценки эффективности функционирования транспортной инфраструктуры региона [Текст] / Л. Н. Руднева, А. М. Кудрявцев // *Российское предпринимательство*. – 2014. – № 8 (254). – С. 109–121.
12. Пугачев, И. Н. Совершенствование транспортных систем городов – комплексный подход к стоящим проблемам [Текст] / И. Н. Пугачев // *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. – 2009. – Вып. 47.
13. Марчук, І. І. Формування критеріїв забезпечення системної ефективності пасажирських перевезень [Текст] / І. І. Марчук // *Вісник Національного транспортного університету*. – 2004. – Вып. 9. – С. 238–242.
14. Tirachini, A. Multimodal pricing and optimal design of urban public transport: The interplay between traffic congestion and bus crowding [Text] / A. Tirachini, D. Hensher, J. Rose // *Transportation Research Part B: Methodological*. – 2014. – Vol. 61. – P. 33–54. doi: 10.1016/j.trb.2014.01.003
15. Манохина, Н. В. Метасистема как объект институционального анализа [Текст] / Н. В. Манохина // *Вестник МИЭП*. – 2014. – № 1. – С. 7–16.
16. Пьянков, О. В. Комплексная оценка сложной системы на основе теории конфликтов [Текст] / О. В. Пьянков // *Вестник ВГУ, серия: системный анализ и информационные технологии*. – 2014. – № 1. – С. 34–39.
17. Вдовиченко, В. О. Оцінка ресурсних можливостей міського пасажирського транспорту [Текст] / В. О. Вдовиченко // *Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Транспортні системи та технології перевезень*. – 2014. – Вып. 8. – С. 35–39.