

Вдовиченко В. О.

# АНАЛІЗ ДЕСТАБІЛІЗУЮЧИХ ЧИННИКІВ ВНУТРІШНЬОЇ СТАЛОСТІ МІСЬКОГО ГРОМАДСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

*Виділені види і умови формування взаємного зв'язку та впливів чинників дестабілізації технологічних процесів міського громадського пасажирського транспорту. На основі оцінки тривалості технологічних операцій сформовані характеристичні умови визначення станів об'єктів міського громадського пасажирського транспорту відносно розподілу ймовірності їх дестабілізації. Представлені причинно-наслідкові зв'язки дестабілізації міського громадського пасажирського транспорту з позицій його внутрішньої сталості.*

**Ключові слова:** міський громадський пасажирський транспорт, дестабілізація технологічних процесів, внутрішня сталість, зона ризику.

## 1. Вступ

Проблема забезпечення відповідності міського громадського пасажирського транспорту (МГПТ) умовам сталого розвитку міського середовища (МС) обумовлюється рівнем його стратегічної значущості та представляє актуальну наукову задачу, яка потребує створення нових механізмів та форм забезпечення його реалізації [1, 2]. Актуальність проблеми формування уявлень про цільову відповідність МГПТ сталому розвитку МС обґрунтована необхідністю здійснювати системне, комплексне дослідження його внутрішніх і зовнішніх об'єктів і явищ на основі інтеграції окремих елементів і результатів їх функціонування в межах МС. Модель визначення системної ефективності МГПТ з позицій забезпечення сталого розвитку МС, передбачає виділення принципових форм та закономірностей формування умов його сталості шляхом оцінки системної критичності впливу його на стан технологічних середовищ. Сталий МГПТ це відносно нова форма його розгляду, яка потребує на основі виділення закономірностей та параметрів стану внутрішнього та зовнішнього середовища, розробки основоположних понять та понятійного апарату сталості МГПТ. Складовим етапом цього є дослідження його внутрішнього середовища, форм представлення технологічних процесів у структурі системних властивостей та аналіз причинно-наслідкових зв'язків їх формування.

## 2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Стабільність функціонування МГПТ є необхідною умовою формування його внутрішньої сталості, яка у подальшому за умов зовнішнього стимулювання може трансформуватися у його сталий розвиток з послідовним переходом до стадії саморозвитку. Стаціонарні процеси МГПТ в умовах випадкового характеру зміни вхідних параметрів характеризуються їх властивостями забезпечувати в часі сталість математичного очікування та дисперсії ресурсно-результативних показників його функціонування. При дослідженні внутрішньої сталості

МГПТ необхідним є проведення процедури виділення чинників їх впливу, оцінки ризиків зміни стану МГПТ та проведення аналізу їх системності, повноти та взаємопов'язаності. Проблема аналізу чинників впливу на стаціонарність МГПТ пояснюється складністю опису взаємодії його внутрішніх і зовнішніх елементів, потребує проведення аналітичних та експериментальних досліджень. У зв'язку з тим, що на практиці важко врахувати одночасний вплив всіх чинників, стаціонарність МГПТ можна представити у вигляді функції причинно-наслідкової залежності, яка описується характеристиками основних параметрів технологічного процесу. Виділення основних чинників з усієї досліджуваної сукупності може бути здійснено кількісним аналізом ступеня впливу того чи іншого чинника на величину його сталості.

*Об'єктом дослідження* виступає функціонування МГПТ. Важливою характеристикою функціонування МГПТ є чинники дестабілізації технологічних процесів. Отримання даних про їх види, причини виникнення та рівень дозволяє виділити причинно-наслідкові зв'язки формування внутрішньої сталості МГПТ. Ця інформація є необхідною для визначення його стану, оцінки рівня достатності заходів, спрямованих на забезпечення відповідного рівня сталості та мінімізації ресурсів, що витрачаються на вирішення завдань якісного транспортного обслуговування, у т. ч. для обґрунтування пріоритетів розподілу транспортних ресурсів метасистеми МС між її учасниками. Дослідження сталості МГПТ в умовах метасистеми МС має недостатній рівень вивчення і до сьогодення часу представлено лише у загальних рисах. За таких умов виділення чинників дестабілізації є актуальною задачею, яка в значній мірі залежить від виділення області її аналізу та забезпечує спрямування на правильну орієнтацію напрямку дослідження шляхом систематизації та розподілу їх за групами формування.

## 3. Мета та задачі дослідження

Аналіз дестабілізуючих чинників МГПТ має своєю метою визначення причинно-наслідкових зв'язків виник-

нення технологічних ризиків у його внутрішньому функціональному середовищі.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні задачі:

1. Виділити види і умови формування взаємного зв'язку та впливу чинників дестабілізації МГПТ.

2. Сформувати характеристичні умови визначення станів об'єктів МГПТ відносно їх розподілу ймовірності їх дестабілізації.

#### 4. Дослідження існуючих рішень проблеми

Формування сталого розвитку МС в значній мірі залежить від впливу міського транспорту, результативні параметри якого мають різний за направленістю характер [3]: негативний та позитивний. Негативні результати роботи МГПТ полягають у тому, що він поряд з індивідуальним та вантажним транспортом вносить значну вагу у екологічне забруднення міського простору та стає джерелом виникнення дорожньої аварійності. Позитивні наслідки роботи МГПТ полягають у забезпеченні мобільності міського населення, яка є системоутворюючим чинником розвитку і реалізації потенціалу економічного, соціального та суспільного середовища міста.

У сучасних роботах [4–6], присвячених дослідженню сталості міського транспорту, акцентується увага на реалізації технічних заходів щодо зниження негативних наслідків його роботи (використання альтернативних транспортних засобів, удосконалення технічних засобів управління дорожнім рухом і т. п.). Недоліком такого підходу є його технологічна обмеженість. В умовах інертності процесу переходу на альтернативні види палива та обмеженості ресурсних можливостей розвитку вулично-дорожньої інфраструктури міст потрібні альтернативні форми забезпечення сталості, які можуть бути реалізовані при мінімальному рівні втручання в інфраструктуру та технічну складову МГПТ. До таких форм відноситься внутрішня сталість МГПТ, яка досягається шляхом забезпечення сервісно-ресурсної ефективності його технологічних процесів [7]. Умовою її забезпечення є стабілізація технологічних процесів МГПТ, яка представляється у вигляді координації технологічної взаємодії його структурних елементів.

Існуючі методи координації технологічних процесів МГПТ при організації взаємодії на елементах транспортної системи міста реалізуються:

- на основі обліку стохастичності руху [8];
- кількості пересадок пасажирів [9];
- на основі обліку періодів можливої пересадки пасажирів [10];
- на основі багатокритеріальної оцінки [11].

Загальним недоліком існуючих підходів до координації є те, що вони не містять аналіз джерел і форм виникнення дестабілізації процесів, а використовують в якості складового елемента цільової функції лише констатацію фактичних параметрів роботи МГПТ. Така форма забезпечення ефективності може бути використана при вирішенні задач локальної організації роботи МГПТ і має суттєву її обмеженість відносно застосування при формуванні стратегічних рішень щодо забезпечення його сталого розвитку в умовах великих складних систем.

Спроби формування моделей забезпечення стабілізації роботи МГПТ через системний аналіз їх формування представлені в роботах [12–15]. Вони базуються на виборі

альтернативного варіанту дій спрямованих на ліквідацію наслідків дестабілізації. Так у роботі [13] представлений алгоритм формування управлінських дій при виникненні збоїв внаслідок блокування шляху маршруту МГПТ. Пошук вирішення задачі розблокування роботи маршруту реалізується через оцінку альтернативних варіантів об'їзду на основі виділеного критерію ефективності. Недоліком цих методів є їх спеціалізація лише на окремих видах елементів маршруту та відсутність можливості управління джерелами виникнення збоїв.

Враховуючи вказані недоліки існуючих підходів виникає необхідність проведення дослідження спрямованого на аналіз умов реалізації технологічних процесів МГПТ з позиції представлення їх в якості джерела формування внутрішньої сталості МГПТ. Запропонований підхід відрізняється від існуючих своєю орієнтацією на пошук технологічних рішень формування сталого стану, що в умовах ресурсних обмежень є реальною формою забезпечення підвищення його ефективності.

#### 5. Методи дослідження

Всі методи аналізу дестабілізуючих чинників можна поділити на три види:

- апостеріорний (аналіз експериментальних даних);
- апріорний (аналіз суджень, висловлювань експертів);
- байєсовський (синтез експериментальних та теоретичних даних).

Дослідження чинників дестабілізаційного впливу на стаціонарність МГПТ в умовах розгляду метасистеми МС доцільно проводити з використанням останнього методу. Така форма дозволяє провести багаторівневий аналіз їх впливу як за рахунок аналізу реальних елементарних процесів, так і аналітичних досліджень в межах його зовнішнього середовища.

Аналіз чинників дестабілізації МГПТ передбачає процедуру, до складу якої входять наступні етапи:

- виділення області аналізу;
- ідентифікація дестабілізуючих чинників та їх частотний аналіз;
- ідентифікація небезпечних станів МГПТ та їх частотний аналіз;
- ідентифікація наслідків дестабілізуючих чинників та їх частотний аналіз;
- формалізація ризиків виникнення дестабілізуючих чинників.

Технологічні процеси МГПТ реалізуються в межах відповідних внутрішніх та зовнішніх просторів та в значній мірі впливають на формування рівня його сталості [15]. Відповідно до багаторівневого представлення МГПТ в якості області технологічних процесів можна виділити наступні його структурно-просторові елементи:

- маршрутна мережа (ММ);
- пасажирська транспортна інфраструктура (ПТІ);
- вулично-дорожня мережа (ВДМ) міста.

Стабілізація МГПТ, яка є вагомою складовою забезпечення його внутрішньої сталості в умовах визначених областей дослідження, характеризується наступними параметрами:

- транспортним попитом споживчої підсистеми;
- ресурсними можливостями обслуговуючої підсистеми;
- ресурсними можливостями підсистеми забезпечення;

– організованістю функціональних процесів обслуговуючої підсистеми.

Дестабілізація стану МГПТ відбувається в результаті дії зовнішніх та внутрішніх чинників впливу, які призводять до втрати його стаціонарності шляхом порушення стабільності його технологічних процесів. Характеристика чинників дестабілізації МГПТ наведена в табл. 1.

**Таблиця 1**

Характеристика чинників дестабілізації міського громадського пасажирського транспорту

Чинники	Характеристика
Кількісна недостатність ресурсів	Абсолютна недостатність компонентів для забезпечення функціональних потреб МГПТ
Якісна недостатність ресурсів	Невідповідність параметрів пристроїв, споруд, засобів вимогам технологічних потреб МГПТ
Структурна недосконалість	Невідповідність умов технологічних процесів МГПТ необхідній сукупності та механізмам їх управління
Конфлікт	Ситуація взаємного очікування звільнення ресурсів для виконання елементами МГПТ своїх технологічних процесів
Дефект	Некоректне (одноразове або регулярне) виконання елементами МГПТ своїх функціональних завдань
Збій	Тимчасове порушення дієздатності елементів МГПТ
Відмова	Порушення дієздатності елемента МГПТ, яке призводить до неможливості виконання своїх функціональних завдань
Непідконтрольні зовнішні явища	Ситуації раптового порушення функцій елементів МГПТ, які вимагають втручання зовнішніх резервних можливостей та систем управління

Взаємозв'язок і взаємовплив чинників дестабілізації МГПТ має системну природу формування, яка пояснюється їх структурною інтеграцією в загальному середовищі. Важливим етапом дослідження чинників дестабілізації МГПТ є виділення послідовності формування її стану через закономірності їх розвитку. Схема взаємозв'язку і взаємовпливу чинників дестабілізації МГПТ наведена на рис. 1.



**Рис. 1.** Взаємозв'язок і взаємовплив чинників дестабілізації міського громадського пасажирського транспорту

На основі визначення областей і груп чинників представляється можливість проведення факторного аналізу, який дозволив виділити структурну схему дестабілізації МГПТ (рис. 2).



**Рис. 2.** Структурна схема дестабілізації міського громадського пасажирського транспорту

Події, які можуть викликати дестабілізацію МГПТ, називаються загрозою. Можливість виникнення загроз визначається наявністю та специфічними якісними властивостями місць та критичних ресурсних зон у структурі внутрішнього та зовнішнього середовища МГПТ, його організаційною структурою і топологією, рівнем організації та управління взаємодії. Класифікація загроз та їх наслідків для методологічних рівнів розгляду МГПТ у структурі МС представлені в табл. 2.

Для оцінки ризику настання дестабілізуючих подій необхідно формалізувати можливість виникнення цих подій та надати оцінку їх негативних наслідків. Ризик дестабілізації МГПТ – це можливість виникнення конфліктної ситуації, яка може призвести до дефекту, збою або відмови його технологічних процесів. Під час оцінки ризику дестабілізації МГПТ необхідно встановити абсолютні або відносні можливі негативні наслідки, рівень яких визначає його внутрішню сталість. Визначення зон ризику дестабілізації може бути проведено виходячи з категорій і характеру їх впливу. У відповідності до основ теорії ризику можна виділити наступні зони: безризикова, допустимого ризику, критичного ризику, катастрофічного ризику.

**Таблиця 2**

Наслідки загроз дестабілізації міського громадського пасажирського транспорту

Загроза	Наслідки загроз за рівнями			
	Маршрутна мережа МГПТ	МГПТ	Міська транспортна система	Міське середовище
Дисбаланс пропозиції	Зниження якості транспортного обслуговування пасажирів	Зменшення резервів внутрішніх ресурсів МГПТ	Зростання навантаження на транспортну інфраструктуру через пошук альтернативних варіантів реалізації пересувань	Збільшення екологічного навантаження на міське середовище, погіршення соціального рівня, зниження якості життя населення
Ресурсний дефіцит МГПТ	Дефекти транспортного обслуговування пасажирів	Зниження потенціалу МГПТ		
Дискоординація взаємодії елементів МГПТ	Дефекти руху транспортних засобів	Зниження продуктивності МГПТ	Зниження рівня організованості міського транспортної системи	
Зниження швидкісного режиму руху	Збої у роботі окремих елементів МГПТ	Зміна режимів функціонування МГПТ		

Безризикова зона відповідає умовам відсутності виникнення загроз настання негативних дестабілізуючих подій. Зона допустимого ризику відповідає прийнятному рівню, при якому можуть виникати дефекти, що не призводять до переходу їх у стан збоїв та відмов. Зона критичного ризику характеризується переходом стану елементів МГПТ до збоїв, при яких виникає тимчасове порушення їх роботи. Зона катастрофічного ризику відображає стан відмови елементів МГПТ і характеризується тривалою неможливістю виконання процесів. Представлення про зони ризику дестабілізації дає крива зміни ймовірності, яка у типовому вигляді має вигляд, наведений на рис. 3.

На рис. 3 точкою 1 позначений рівень мінімальної ймовірності дестабілізації МГПТ, який забезпечується за рахунок достатньої наявності резервів ресурсів МГПТ, що відповідають умовам його повної внутрішньої сталості з позицій ресурсно-результативних параметрів. Точка 3 відображає максимальну межу ймовірності дестабілізації стану МГПТ, що відповідає початку зони катастрофічного ризику, в якій рівень резервів ресурсів МГПТ нижче критичного рівня. Точка переходу ймовірності з допустимої зони до критичної позначена цифрою 2 і характеризує ймовірність виникнення збоїв у роботі елементів МГПТ. Значення величин ймовірності у вказаних точках є достатньою умовою для обґрунтування допустимого ризику дестабілізації і подальшої оцінки його впливу на сталість МГПТ. Аналіз кривої формування ймовірності дестабілізації МГПТ дозволяє зробити висновок, що показники рівня резервних можливостей є визначальними при формуванні характеру її кривої. Побудова кривої ймовірності виникнення дестабілізуючих чинників є основною задачею прикладних досліджень їх ризиків і може бути реалізована статистичними, експертними, розрахунково-аналітичними або експериментальними способами.

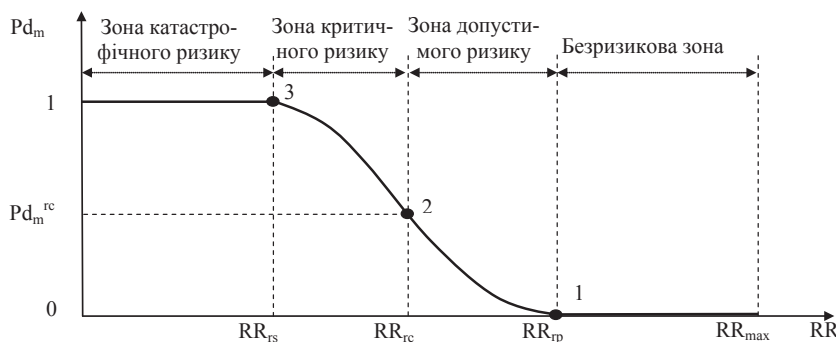


Рис. 3. Типова крива розподілу ймовірності дестабілізації міського громадського пасажирського транспорту

У процесі прийняття рішень про допустимість ризику дестабілізації важливим є виділення меж зон ризику. В умовах забезпечення внутрішньої сталості МГПТ важливим є визначення граничної ймовірності переходу у зону критичного ризику. Виходячи з показників ризику та критерію його граничності можна сформулювати загальні умови внутрішньої сталості МГПТ з позицій забезпечення стаціонарності його процесів:

$$RR(x_n) \geq RR_n^{rc}, \quad (1)$$

де  $RR(x_n)$  – рівень ресурсних резервів  $n$ -го рівня МС в точці  $x$ ;  $RR_n^{rc}$  – граничний рівень ресурсних резервів  $n$ -го рівня МС.

Оцінка ймовірності ризику дестабілізації проводиться на основі розрахунку станів технологічних процесів, що відбуваються в межах елементів внутрішнього середовища МГПТ (маршрути та об'єкти пасажирської транспортної інфраструктури) та зовнішнього (елементи ВДМ міста). Стан процесів можна описати за допомогою теорії масового обслуговування. Для цього представимо стани процесів в межах окремого об'єкту на маршруті у вигляді графу станів (рис. 4).

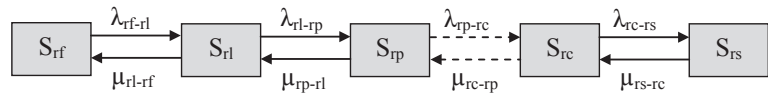


Рис. 4. Граф можливих станів об'єктів підсистеми забезпечення технологічних процесів

Представлений Марківський ланцюг відображає характер зміни станів об'єктів та дозволяє оцінити рівень їх дестабілізації. Об'єкт може знаходитися в одному з п'яти станів:

- $S_{rf}$  – стаціонарний (без конфлікту);
- $S_{rl}$  – конфлікт;
- $S_{rp}$  – дефект;
- $S_{rc}$  – збій;
- $S_{rs}$  – відмова.

Перехід системи між станами у напрямку погіршення (дестабілізації) має вид:

$$S_{rf} \rightarrow S_{rl} \rightarrow S_{rp} \rightarrow S_{rc} \rightarrow S_{rs},$$

і відбувається під дією простіших потоків з інтенсивністю  $\lambda_{rf-rl}$ ,  $\lambda_{rl-rp}$ ,  $\lambda_{rp-rc}$ ,  $\lambda_{rc-rs}$ , які характеризуються інтенсивністю прибуття транспортних засобів під обслуговування та відображають технологічні умови формування відповідних рівнів дестабілізації.

Перехід системи у напрямку стабілізації:

$$S_{rs} \rightarrow S_{rc} \rightarrow S_{rp} \rightarrow S_{rl} \rightarrow S_{rf},$$

досягається потоками обслуговування  $\mu_{rs-rc}$ ,  $\mu_{rc-rp}$ ,  $\mu_{rp-rl}$ ,  $\mu_{rl-rf}$ , які відображаються рівнем ресурсних можливостей об'єктів та характеризують умови їх стабілізації. Перебування об'єктів у тому чи іншому стані має ймовірностей характер. Показники  $P_{rf}$ ,  $P_{rl}$ ,  $P_{rp}$ ,  $P_{rc}$ ,  $P_{rs}$  показують ймовірність знаходження у період часу  $t$  об'єкту у відповідних станах:  $S_{rf}$ ,  $S_{rl}$ ,  $S_{rp}$ ,  $S_{rc}$ ,  $S_{rs}$  та відображає рівень його дестабілізації. Відповідно до характеристики чинників дестабілізації, наведених у табл. 1, можна визначити наступну відповідність станів МГПТ станам прийнятим у теорії масового обслуговування:

- $S_{rf}$  – канал обслуговування вільний;
- $S_{rl}$  – канал обслуговування зайнятий, але черга відсутня;
- $S_{rp}$  – канал обслуговування зайнятий, у черзі одне замовлення;
- $S_{rc}$  – канал обслуговування зайнятий, у черзі  $k$  замовлень;

–  $S_{rs}$  – канал обслуговування зайнятий, вся черга зайнята.

Представлена постановка задачі за своїм принципом відповідає одноканальній системі масового обслуговування з обмеженням черги. У такій постановці простіший потік може бути представлений у вигляді загального потоку  $\lambda_{af}$ , а потік обслуговування –  $\mu_{sf}$ . Співвідношення між потоками замовлення та обслуговування відображають можливі стани елементів МГПТ та визначають рівень їх завантаження.

Для оцінки переходу між станами необхідно виділити умови їх визначення. Така процедура може бути виконана з використанням нечіткої логіки, яка передбачає виділення функцій приналежності для відповідних умов формування дестабілізаційних чинників. Розділення функції на кластери передбачає визначення верхньої та нижньої межі, в яких функція приналежності займає єдине значення. На основі аналізу впливу ймовірності дестабілізації МГПТ від рівня резервних ресурсних можливостей можна виділити наявність характерного зв'язку між функцією приналежності термам стану об'єктів та його значенням. В якості критерію формування функції приналежності термам стану об'єктів виступає час обслуговування в них маршрутних транспортних засобів. В ході виникнення дестабілізуючих чинників відбуваються процеси, які призводять до зростання тривалості обслуговування транспортних засобів в об'єктах МГПТ. До об'єктів відносяться: зупиночні пункти, перегони маршрутів, які проходять по ділянках ВДМ та перехрестя вулиць. Оцінка відповідності умовам стабілізації проводиться на основі обліку часу їх фактичної тривалості з подальшим наданням порівняльної оцінки відповідно еталонного (стаціонарного) стану. При вільних умовах реалізації технологічних процесів забезпечується мінімальний час їх тривалості. За умов виникнення конфліктів і подальшого переходу до стану дефекту та збою відбувається збільшення часу обслуговування. При виникненні відмови взагалі час обслуговування перевищує тривалість розрахункового періоду. Виходячи з цього можна записати наступні умови визначення стану елементів МГПТ відносно тривалості в них технологічних операцій:

$$\begin{cases} ST_n \leq ST_{rf_i} \Rightarrow SE_i = S_{rf}, \\ ST_{rf_i} < ST_n \leq ST_{ni} \Rightarrow SE_i = S_{ni}, \\ ST_{ni} < ST_n \leq ST_{np_i} \Rightarrow SE_i = S_{np}, \\ ST_{np_i} < ST_n \leq ST_{rc_i} \Rightarrow SE_i = S_{rc}, \\ ST_{rc_i} < ST_n \Rightarrow SE_i = S_{rs}, \end{cases} \quad (2)$$

де  $SE_i$  – стан  $j$ -го об'єкту;  $ST_n$  – фактичний час обслуговування, год.;  $ST_{rf_i}$  – граничний час обслуговування при стаціонарному стані, год.;  $ST_{ni}$  – граничний час обслуговування при конфліктному стані, год.;  $ST_{np_i}$  – граничний час обслуговування при стані дефектного, год.;  $ST_{rc_i}$  – граничний час обслуговування при стані збою, год.

Граничний час обслуговування при різних станах визначає умовну межу переходу об'єкта між його станами. Така умова представлення критерію визначення стану елементів дозволяє сформувати характеристичні умови їх визначення (табл. 3).

Верхня межа граничного часу обслуговування при стаціонарному стані залежить від тривалості сукупності технологічних операцій:

$$ST_{rf_i} = \sum_{j=1}^n \tau_{ij}, \quad (3)$$

де  $\tau_{ij}$  – тривалість технологічних операцій в межах  $i$ -го об'єкту, год.

Верхня межа граничного часу обслуговування при конфліктному стані:

$$ST_{ni} = \sum_{j=1}^n \tau_{ij} + \sum_{j=1}^n \Delta\tau_{ij}, \quad (4)$$

де  $\Delta\tau_{ij}$  – тривалість непродуктивних простоїв при виконанні технологічних операцій в межах  $i$ -го об'єкту, год.

Таблиця 3

Характеристичні умови визначення станів об'єктів підсистеми забезпечення технологічних процесів

Стан	Ресурсні умови	Граничний час обслуговування
Стаціонарний	Відсутній вплив на умови використання ресурсів, резерви ресурсів приймають максимальне значення	Визначається за вільних умов (без непродуктивних простоїв)
Конфлікт	Резерви ресурсів наближуються до нульового значення, але залучення додаткових ресурсів не потрібне	Не перевищує допустиме відхилення, яке потребує додаткових ресурсів
Дефект	Необхідне залучення додаткових внутрішніх ресурсів для компенсації дефектів обслуговування	Непродуктивний простій знаходиться в межах задовільного сприйняття пасажирями
Збій	Необхідні значні обсяги компенсаційних внутрішніх та зовнішніх ресурсів	Час обслуговування не перевищує тривалість розрахункового періоду
Відмова	Система втрачає свою структурну цілісність, для підтримки її дієздатності потрібні зміни функціонального середовища	Час обслуговування перевищує тривалість розрахункового періоду

Загальна допустима тривалість непродуктивних простоїв визначається виходячи з резервних можливостей ресурсів та їх питомих витрат на компенсацію дефектів:

$$\sum_{j=1}^n \Delta\tau_{ij} = \frac{RR_{ki} \cdot PR_{ki}}{\Delta R_{ki}}, \quad (5)$$

де  $RR_{ki}$  – резерв  $k$ -го ресурсу в межах  $i$ -го об'єкту;  $PR_{ki}$  – питома вага резерву  $k$ -го ресурсу в межах  $i$ -го об'єкту;  $\Delta R_{ki}$  – питома вага витрат резерву  $k$ -го ресурсу в межах  $i$ -го об'єкту на компенсацію конфліктного стану.

Враховуючи те, що МГПТ є соціально-економічною системою, для визначення прийнятого рівня тривалості обслуговування може бути використана шкала бажаності Харрінгтона, яка передбачає зв'язок безрозмірної функції відклику з рівнем бажаності [16]. Відповідно до шкали переходу мінімально прийнятним рівнем очікування є рівень, який відповідає значенню функції відклику 0,37. Максимальний рівень функції відклику дорівнює 1 і відповідає максимальному рівню бажаності. В умовах обслуговування МГПТ можна зробити припущення, що такий рівень відповідає умовам стаціонарного стану, при якому час обслуговування дорівнює  $ST_{rf_i}$ . Виходячи з припущення про можливість використання прямопропорційного переходу між функцією відклику

та значенням часу обслуговування верхня межа стану дефекту може бути визначена за формулою:

$$ST_{\tau_i} = (1 - \zeta_d) \cdot \sum_{j=1}^n \tau_{ij}, \quad (6)$$

де  $\zeta_d$  – мінімальний рівень відклику функції бажаності.

При переході стану від збою до відмови відбуваються процеси, які призводять до постійного зростання черги та збільшення часу обслуговування який у цьому випадку перевищує тривалість розрахункового періоду. За таких умов граничний час обслуговування при стані збою визначається тривалістю періоду дослідження:

$$ST_{\tau_i} = DP, \quad (7)$$

де  $DP$  – тривалість періоду, год.

Процедура визначення абсолютних значень граничної тривалості потребує аналізу параметрів функціонального об'єкта і реалізується за допомогою імітаційного моделювання. На основі імітаційного моделювання визначається розподіл ймовірностей станів об'єктів протягом розрахункового періоду, які визначають рівень функціонування МГПТ. На основі сервісно-ресурсної моделі визначаються питомі та абсолютні показники роботи об'єктів (питома та абсолютна пропускна здатність елементів, середня кількість замовлень у стаціонарному, конфліктному та дефектному стані, середній час знаходження в черзі та під обслуговуванням та ін.).

Оцінка загальної дестабілізації МГПТ проводиться на основі використання методу динаміки середніх, який передбачає визначення математичного очікування стану складної системи через оцінку стану умов реалізації транспортних пересувань пасажирями:

$$M_{dst} = \frac{\sum_{i=1}^n (1 - P_{sf_i} - P_{ti}) Q_{scs_i}}{\sum_{i=1}^n Q_{scs_i}}, \quad (8)$$

де  $Q_{scs_i}$  – обсяг споживачів транспортних послуг в  $i$ -му об'єкті, пас.;  $n$  – загальна кількість об'єктів.

Представлена форма оцінки дестабілізації технологічних процесів дає можливість перейти до визначення внутрішньої сталості МГПТ через оцінку його сервісних параметрів та ресурсних витрат.

## 6. Результати дослідження

Частотний аналіз дестабілізуючих чинників спрямований на виявлення основних закономірностей їх виникнення в реальних умовах. Стан функціонування маршрутів визначається характером елементарних процесів, які відбуваються під час транспортного обслуговування в місцях посадки-висадки пасажирів та руху транспортних засобів. Для проведення частотного аналізу дестабілізуючих чинників використанні дані результатів обстеження за роботою окремих елементів МГПТ м. Харкова (Україна). Дослідження проводилися на 11 маршрутах та 2 транспортно-пересадочних вузлах МГПТ м. Харкова протягом добового періоду. Для визначення стану використовувалася порівняльний аналіз фактичних витрат часу на виконання відповідних операцій з плановими параметрами. В межах виділених

об'єктів МГПТ (зупиночні пункти, перегони маршрутів, транспортно-пересадочні вузли) були проведені натурні спостереження за фактичною тривалістю технологічних операцій. Шляхом порівняння фактичної тривалості технологічних операцій з плановою на основі запропонованих характеристичних умов станів об'єктів підсистеми забезпечення визначений їх розподіл. Частота фактичного розподілу станів для об'єктів дослідження наведена у табл. 3.

**Таблиця 3**

Розподіл станів об'єктів дослідження

Тип об'єкту	Стабільний стан		Дефект		Збій		Відмова	
	Кількість	%	Кількість	%	Кількість	%	Кількість	%
Зупиночний пункт	10112	88,4	1228	10,7	93	0,8	0	0
Перегін маршруту	7556	66,1	1917	16,8	469	4,1	7	0,1
Транспортно-пересадочні вузли	698	6,1	121	1,1	21	0,2	0	0

На основі проведених досліджень на об'єктах МГПТ можна визначити, що існує практична необхідність розробки механізмів та технологічних рішень щодо зниження рівня дестабілізації технологічних процесів МГПТ.

## 7. SWOT-аналіз результатів дослідження

**Strengths.** Виділення дестабілізуючих чинників внутрішньої сталості МГПТ та аналізу їх причино-наслідкових зв'язків дозволило сформулювати загальний вид залежності виникнення внутрішніх технологічних ризиків. Дослідження внутрішніх технологічних ризиків МГПТ є основою для розробки механізмів ліквідації джерел їх виникнення, що дозволяє забезпечити підвищення його системної ефективності. В поєднанні з методами зниження негативних наслідків роботи МГПТ така форма реалізації підвищення його ефективності дозволяє реалізувати комплексну стратегію забезпечення його сталого розвитку в умовах забезпечення цільової єдності всіх складових середовищ міста.

В якості сильної сторони дослідження слід відзначити реалізацію системного підходу до формування проблемної ситуації аналізу дестабілізуючих чинників внутрішньої сталості МГПТ, яка дозволяє упорядкувати послідовність вирішення задач забезпечення стабільності технологічних процесів. Дана модель створюється для того, щоб охопити проблему визначення системної ефективності МГПТ в цілому, виділивши при цьому основні напрями дій, які необхідно реалізувати для формування кінцевого висновку про ефективність МГПТ з позицій розгляду його, як складової системи МС. На відміну від існуючих даних підхід дозволяє забезпечити реалізацію стратегії сталого розвитку МГПТ за допомогою технологічних рішень без залучення додаткових ресурсів у створення та реконструкцію транспортної інфраструктури.

**Weaknesses.** Слабкою стороною дослідження є необхідністю залучення значного обсягу інформації, яка характеризує ресурсні параметрів об'єктів МГПТ. Їх

склад та значення для кожного елемента МГПТ в реальних умовах визначаються шляхом збору первинної параметричної інформації, яка в умовах оцінки дестабілізації технологічних процесів великих міст може бути отримана за допомогою технічних засобів контролю. Необхідність створення повномасштабної системи моніторингу ресурсно-результативних параметрів об'єктів МГПТ призводить до зростання його загальних експлуатаційних витрат. Однак при реалізації загальної програми забезпечення сталості МГПТ збільшення експлуатаційних витрат на моніторингові операції компенсуються за рахунок підвищення його системної ефективності.

*Opportunities.* Забезпечення стабілізації МГПТ великих міст є складним системним завданням для оцінки придатності якого необхідно використовувати прикладні інструменти моделювання його процесів. Сформовані характеристичні умови визначення станів об'єктів МГПТ відносно розподілу ймовірності їх дестабілізації дозволяють скоротити процедуру пошуку дієвих механізмів формування сталості МГПТ шляхом їх зосередження на ліквідації джерел виникнення внутрішніх технологічних ризиків. Реалізація таких заходів в межах єдиної системи управління МГПТ дозволяє забезпечити зростання його внутрішнього потенціалу, який досягається шляхом раціонального використання існуючих виробничих та обслуговуючих ресурсів.

*Threats.* Складність оцінки абсолютних значень дестабілізуючих чинників внутрішньої сталості МГПТ полягає у необхідності проведення внутрішнього аудиту ресурсних параметрів його елементів та оцінки характеру та рівня міжрівневого впливу на їх склад та абсолютне значення. Впровадження таких заходів потребує створення єдиної системи управління міською транспортною системою, яка на практиці реалізується у формі єдиного координаційного центру. На відміну від існуючих видів таких центрів його цільовою метою є орієнтація на забезпечення пріоритетної реалізації транспортних переміщень населення за допомогою МГПТ. Запропонований підхід щодо оцінки рівня дестабілізуючих чинників МГПТ є складовою частиною створення програмного комплексу прийняття управлінських рішень в межах єдиного координаційного центру.

## 8. Висновки

1. Виділено види і умови формування взаємного зв'язку та впливу чинників дестабілізації МГПТ. Забезпечення стабілізації технологічних процесів МГПТ є передумовою формування його сталого розвитку. Дестабілізація технологічних процесів МГПТ в межах його елементів операційної підсистеми призводить до виникнення загроз забезпечення його внутрішньої сталості. Серед основних причин виникнення дестабілізації МГПТ виділяється структурна недосконалість ресурсних можливостей та низька організованість взаємодії елементів в об'єктах пасажирської транспортної інфраструктури. Підвищення рівня стабілізації МГПТ забезпечується за допомогою формування відповідного обсягу ресурсних резервів шляхом раціонального розподілу його наявних внутрішніх та зовнішніх ресурсних можливостей. Умовою визначення раціонального рівня розподілу ресурсних можливостей є використання запропонованого підходу щодо формалізації дестабілізуючих чинників МГПТ, який є ефективним складовим елементом оцінки його

системної ефективності. Така форма дозволяє у подальшому провести аналіз його структурної відповідності відносно забезпечення ресурсно-результативних умов сталості МГПТ в межах транспортно-просторових рівнів міського середовища.

2. Сформовано характеристичні умови визначення станів об'єктів МГПТ відносно їх розподілу ймовірності їх дестабілізації. Граничний час тривалості технологічних процесів при різних станах МГПТ визначає умовну межу між переходами станів його технологічних об'єктів. На основі аналізу структури і характеру дестабілізуючих чинників виділені критеріальні ознаки формування характеристичних умов забезпечення внутрішньої сталості МГПТ. Основний вплив на характеристичні умови визначення станів об'єктів МГПТ відносно їх розподілу ймовірності їх дестабілізації оказує рівень резервних ресурсів елементів підсистеми забезпечення. Вплив резервних можливостей проявляється через час обслуговування транспортних засобів. Його значення визначає умовні межі переходу стану МГПТ відносно його внутрішньої сталості, яка у поєднанні з мінімізацією негативних наслідків МГПТ дозволяє забезпечити сталий розвиток всього міського середовища.

## Література

1. Єлагін, Ю. В. Проблеми забезпечення сталого розвитку суспільного транспорту та суспільні транспортні витрати [Текст] / Ю. В. Єлагін // Вісник економіки транспорту та промисловості. – 2012. – № 35. – С. 254–256.
2. Silva Cruz, I. Urban public transport companies and strategies to promote sustainable consumption practices [Text] / I. Silva Cruz, T. Katz-Gerro // Journal of Cleaner Production. – 2016. – Vol. 123. – P. 28–33. doi:10.1016/j.jclepro.2015.12.007
3. Camargo Perez, J. Multi-criteria approaches for urban passenger transport systems: a literature review [Text] / J. Camargo Perez, M. H. Carrillo, J. R. Montoya-Torres // Annals of Operations Research. – 2014. – Vol. 226, № 1. – P. 69–87. doi:10.1007/s10479-014-1681-8
4. Lederer, J. The life cycle energy demand and greenhouse gas emissions of high-capacity urban transport systems: A case study from Vienna's subway line U2 [Text] / J. Lederer, C. Ott, P. Brunner, M. Ossberger // International Journal of Sustainable Transportation. – 2014. – Vol. 10, № 2. – P. 120–130. doi:10.1080/15568318.2013.869704
5. Alonso, A. Comparative analysis of passenger transport sustainability in European cities [Text] / A. Alonso, A. Monzon, R. Cascajo // Ecological Indicators. – 2015. – Vol. 48. – P. 578–592. doi:10.1016/j.ecolind.2014.09.022
6. Chiou, Y.-C. Sustainable consumption, production and infrastructure construction for operating and planning intercity passenger transport systems [Text] / Y. C. Chiou, L. W. Lan, K. L. Chang // Journal of Cleaner Production. – 2013. – Vol. 40. – P. 13–21. doi:10.1016/j.jclepro.2010.09.004
7. Вдовиченко, В. О. Формування сервісно-ресурсних умов сталості міського громадського пасажирського транспорту [Текст] / В. О. Вдовиченко // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2016. – № 6/2 (32). – С. 64–69. doi:10.15587/2312-8372.2016.86432
8. Wu, W. Designing robust schedule coordination scheme for transit networks with safety control margins [Text] / W. Wu, R. Liu, W. Jin // Transportation Research Part B: Methodological. – 2016. – Vol. 93. – P. 495–519. doi:10.1016/j.trb.2016.07.009
9. Nesheli, M. M. Improved reliability of public transportation using real-time transfer synchronization [Text] / M. M. Nesheli, A. (Avi) Ceder // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2015. – Vol. 60. – P. 525–539. doi:10.1016/j.trc.2015.10.006
10. Ibarra-Rojas, O. J. Multiperiod Bus Timetabling [Text] / O. J. Ibarra-Rojas, F. Lopez-Irarragorri, Y. A. Rios-Solis // Transportation Science. – 2016. – Vol. 50, № 3. – P. 805–822. doi:10.1287/trsc.2014.0578

11. Wu, Y. Multi-objective re-synchronizing of bus timetable: Model, complexity and solution [Text] / Y. Wu, H. Yang, J. Tang, Y. Yu // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2016. – Vol. 67. – P. 149–168. doi:10.1016/j.trc.2016.02.007
12. Сафронов, Э. А. Управление загрузкой транспортной сети города с учетом повышения доступности пассажирского транспорта [Текст] / Э. А. Сафронов, К. Э. Сафронов, Е. С. Семенова // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2015. – № 6 (46). – С. 38–44.
13. Волков, В. С. Стабилизация маршрута городского пассажирского транспорта при сбойных ситуациях [Текст] / В. С. Волков, Г. М. Сурхаев, В. К. Магомедов // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – С. 76–84.
14. Сафронов, К. Э. Роль доступного общественного транспорта в социально-экономическом развитии городов [Текст] / К. Э. Сафронов // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2012. – № 2 (24). – С. 125–130.
15. Gentile, G. Modelling public transport passenger flows in the era of intelligent transport systems [Text] / by ed. G. Gentile, K. Noekel // Springer Tracts on Transportation and Traffic. – Springer International Publishing, 2016. – 642 p. doi:10.1007/978-3-319-25082-3
16. Vdovychenko, V. Formation of methodological levels of assessing city public passenger transport efficiency [Text] / V. Vdovychenko, Y. Nagorny // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – № 3/3 (81). – P. 44–51. doi:10.15587/1729-4061.2016.71687
17. Пичкалев, А. В. Обобщенная функция желательности Харрингтона для сравнительного анализа технических средств [Текст] / А. В. Пичкалев // Исследования наукограда. – 2012. – № 1. – С. 25–28.

**АНАЛИЗ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ ВНУТРЕННЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ ГОРОДСКОГО ОБЩЕСТВЕННОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА**

Выделены виды и условия формирования взаимной связи и воздействия факторов дестабилизации технологических процессов городского общественного пассажирского транспорта. На основе оценки продолжительности технологических операций сформированы характеристические условия определения состояний объектов городского общественного пассажирского транспорта относительно распределения вероятности их дестабилизации. Представлены причинно-следственные связи дестабилизации городского общественного пассажирского транспорта с позиций его внутренней устойчивости.

**Ключевые слова:** городской общественный пассажирский транспорт, дестабилизация технологических процессов, внутренняя устойчивость, зона риска.

*Вдовиченко Володимир Олексійович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра транспортних технологій, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна, e-mail: Vval2301@gmail.com, ORCID: http://orcid.org/0000-0003-2746-8175*

УДК 519.216+66.012-52

DOI: 10.15587/2312-8372.2017.92972

**Вавулін П. А.,  
Бойко Т. В.**

## **ЗАСТОСУВАННЯ ВІРТУАЛІЗОВАНОЇ ІТ-ІНФРАСТРУКТУРИ ПРИ ФУНКЦІОНУВАННІ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ**

*Досліджено можливі способи збільшення рівня відмовостійкості систем автоматизації та управління виробничим процесом із застосуванням сучасних інформаційних технологій. Запропонована у роботі методика поєднує застосування апаратних засобів та програмно-технологічних рішень в області віртуалізації як базової платформи для побудови інформаційної інфраструктури систем автоматизації технологічних об'єктів. Віртуалізація дозволяє створювати копії програмно-апаратних середовищ систем автоматизації.*

**Ключові слова:** системи автоматизації, віртуалізація ІТ-інфраструктури, гіпервізор, тонкий клієнт.

### **1. Вступ**

Сучасні міжнародні стандарти технологічних процесів потребують комплексного та повного розгляду системи керування і захисту, зокрема стандарти ISO 14000 та ISO/IEC 17799 [1, 2]. Системи керування і захисту технологічних процесів стають все більш складними і виникає проблема інтегрованості цих систем з сучасними технологіями для практичного використання в галузях промисловості які пов'язані з техногенним ризиком.

Кожний технологічний процес повинен використовувати сучасні технології, які дозволяють максимально знизити ймовірність аварії і зменшити надходження

небезпечних речовин у навколишнє середовище. З іншого боку, на даному етапі розвитку технологій, забезпечити повністю безаварійну роботу технічних систем не представляється можливим. Саме тому, побудова гіперконвергентних рішень з використанням віртуалізованих середовищ для побудови систем автоматизації надзвичайно важливе. Використання такого рішення передбачає підвищення рівня надійності та відмовостійкості, у випадку створення та відновлення працездатності програмного забезпечення робочих станцій у автоматичному чи напівавтоматичному режимі. Це в свою чергу веде до зменшення ймовірності виникнення аварійної ситуації внаслідок відмови елементів програмного