

## ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (ЗА ВИДАМИ)

УДК 656:338

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).1.214-221](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).1.214-221)**Д.В. Голуб**, доц., канд. техн. наук*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна**e-mail: dimchik529@gmail.com*

### Підвищення ефективності управління технологічним процесом доставки на основі аналізу статичних та динамічних резервів транспортної системи

В статті розроблений теоретичний підхід, який здійснює опис процесів організації і дезорганізації логістичних потоків в транспортній системі та відображає важливі сторони її функціонування. Запропоновано, що управління в транспортній системі слід розглядати як підтримку її стійкого стану і створення нової системної властивості, а саме динамічних резервів.

**транспортна система, статичні та динамічні резерви, струмінь, потік, прискорення, транспортні засоби, зв'язок**

**Постановка проблеми.** Аналіз транспортної системи на рівні елементів є важливим етапом її дослідження [1, 2]. Але організовану сукупність елементів, взаємодія яких відбувається в єдиному технологічному процесі і підкоряється єдиному управлінню, не можна пояснити на рівні елементів в розрізі динамічних резервів, оскільки така сукупність має загальносистемні властивості.

При цьому управління процесами в транспортній системі створює ефект наявності динамічних резервів [2]. Це найбільш ефективний тип резервів, оскільки він не збільшує витрати на розвиток інфраструктури та дозволяє без складних перетворень досить легко і повно моделювати транспортні процеси. Такі резерви транспортної системи є набором ранжованих в певній послідовності елементів, що беруть участь у виконанні частини технологічного процесу, з вказівкою на параметри їх роботи [2, 3]. Ці елементи відображають пересування і простої (логічні), а також місткість (бункерні). На сьогоднішній день не існує загальноприйнятих методів і методик для відображення процесів зміни стану зазначених елементів транспортної системи, а тому є доцільним дослідження в цьому напрямку.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Досвід дослідження, розрахунку і оптимізації транспортних систем різної природи дозволяє виділити властивості, що здійснюють головний вплив на результати їх функціонування [3]. В першу чергу це слід враховувати при виборі моделі управління транспортною системою [4]. Звичайно, ці аспекти знаходяться і у взаємодії [5], але важливість відображення їх в моделі управління залежить від виду об'єкту і завдання моделювання транспортного процесу та визначає вибір моделі [6].

Розрахунок транспортних об'єктів, як систем масового обслуговування, дозволяє добре враховувати вплив випадкових процесів на величину міжопераційних простоїв, але погано відображає внутрішню структуру і майже не відображає процес управління [7]. Оптимізація транспортних систем зводиться, в основному, до трьох напрямів: поліпшенню внутрішньої структури, вдосконаленню технології, оптимізації управління потоками, технологічними процесами та ін. [8].

Неможливість формалізувати вплив якості внутрішньої структури на параметри роботи більшості транспортних систем призводить до неможливості використання моделей строгої оптимізації [9, 10]. Тому необхідна саме розробка теоретичного підходу, що здійснює опис процесів організації і дезорганізації потоків в транспортній системі та висвітлення важливих сторін її функціонування.

**Постановка завдання.** Метою даної роботи є розробка теоретичного підходу, що здійснює опис процесів організації і дезорганізації логістичних потоків в транспортній системі та відображає важливі сторони її функціонування.

**Виклад основного матеріалу.** Розглянемо природу динамічних резервів транспортної системи. Елементарний логістичний потік, що зв'язує конкретного постачальника і споживача в загальному потоці, будемо називати струменем. Якщо структура потоків жорстка, тобто наявна однозначна прив'язка постачальників до споживачів, то кожному струменю необхідно мати резерви транспортних засобів для забезпечення перевезень в умовах нерівномірності доставки вантажів або пасажирів.

При цьому резерв по струменю складає:

$$r_i = n_{i \max} - \bar{n}_i, \quad (1)$$

де  $\bar{n}_i$  – усереднена кількість транспортних засобів (ТЗ) в обороті при постійному потоці;

$n_{i \max}$  – необхідна кількість ТЗ в обороті при максимальному сплеску потоку.

Для визначених моментів часу ці резерви є статичними. Вони є додатковим числом ТЗ, що стоять в резерві. Виникають вони при поглинанні сплесків і включаються в дію при заповненні недоліків.

Якщо відсутня взаємодія струменів в потоці, то сумарні статичні резерви становлять:

$$R_{cm} = \sum_{i=1}^n r_{i \text{ cm}} = \sum_{i=1}^n (n_{i \max} - \bar{n}_i). \quad (2)$$

Повна величина статичних резервів потрібна тільки тоді, коли відсутнє управління взаємодією усередині транспортного потоку між струменями та з постачальниками і споживачами. Статичні резерви уповільнюють обіг ТЗ, вимагають значних капітальних вкладень та знижують ефективність роботи транспорту. Тому необхідно всіляко знижувати резерви без збитку для надійності транспортного зв'язку.

Управління потоками дає можливість знизити обсяг статичних резервів без погіршення бункерних властивостей системи. Чим вище розвинене управління, тим менше вимагається статичних резервів в умовах нерівномірності. При цьому статичні резерви стають динамічними. Динамічні резерви - це резерви управління. Розміри їх визначаються величиною, на яку можна зменшити статичні резерви. Динамічні резерви не вимагають додаткових ТЗ і шляхів сполучення, а тому їх збільшення підвищує ефективність роботи транспорту в цілому.

Залежно від типу взаємодіючих елементів динамічні резерви можуть бути резервами першого, другого, третього і четвертого роду.

Динамічні резерви першого роду (ДР-1) виникають при взаємодії однорідних струменів в потоці (рис. 1).

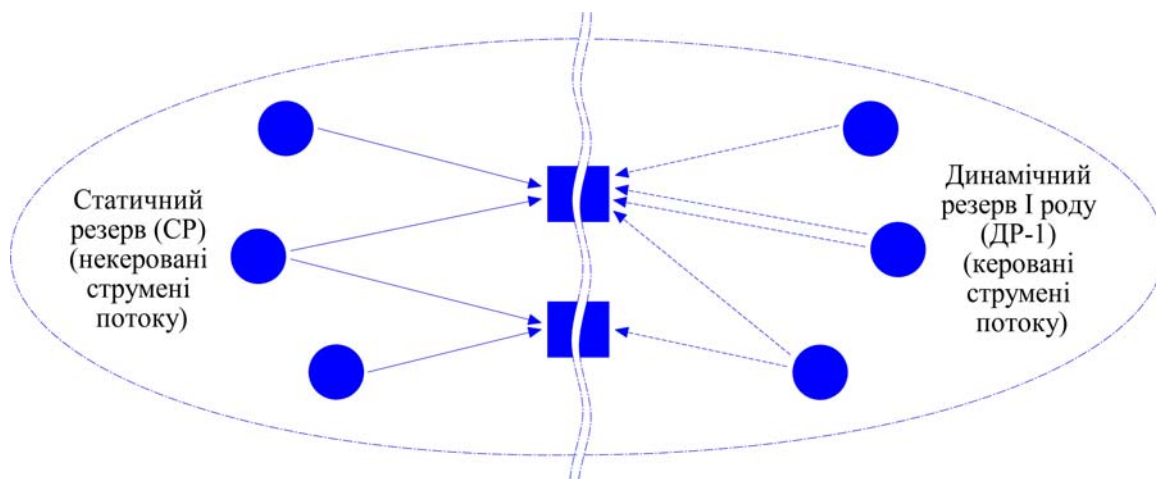


Рисунок 1 – Формування динамічних резервів першого роду (ДР-1)

*Джерело: розроблено автором*

Оскільки коливання резервів викликаються випадковими причинами, то з певною ймовірністю наявність надлишків рухомого складу (РС) по одних струменях співпадає за часом з появою недостатності по інших. Виникає можливість часткового усунення дефіциту ТЗ за рахунок надлишку.

Зі схеми (рис. 1 а, б) видно, що три постачальники пов'язані однорідними струменями потоку з двома споживачами і у першого споживача збільшилася потреба у вантажі, а у іншого - зменшилася. При некерованих струменях потоку набувають чинності резерви. Першому необхідно узяти вантаж з резерву, другому - відставити в резерв. При керованих струменях потоку резерв не знадобиться, перебудовується тільки структура струменів в потоці.

Динамічні резерви другого роду (ДР-2) виникають при взаємодії різнорідних струменів, якщо в їх просуванні потоку беруть участь одні і ті ж ТЗ. В умовах нерівномірності виникають міжопераційні простоя ТЗ.

Надання пріоритету одному із струменів призводить до прискорення пропуску одного з них в потоці за рахунок уповільнення іншого (інших). Затримки перекидаються з одного струменя на інший при збереженні загальної їх суми в потоці, тобто при незмінній середній швидкості просування струменів в потоці. Прискорення пропуску струменю в потоці призводить до того, що одноразово вивільняється деяка група транспортних засобів, яка може бути використана в якості резерву. При уповільненні струменів в потоці, навпаки, поглинаються додаткові ТЗ за рахунок збільшення їх числа в дорозі. Існує ряд технологічних механізмів прискорення і уповільнення просування струменів в потоці.

Нехай два постачальники пов'язані кожен зі своїм споживачем неоднорідними, невзаємозамінними струменями потоку. У загальному випадку просування струменів в потоці є деякою послідовністю з технологічних операцій. В статистичному резерві спостерігається такий же час в міжопераційних простоях шляхом дотримання, а в динамічному резерві у разі пріоритету для першого струменя процес просування інший сповільнюється (рис. 2 а, б).

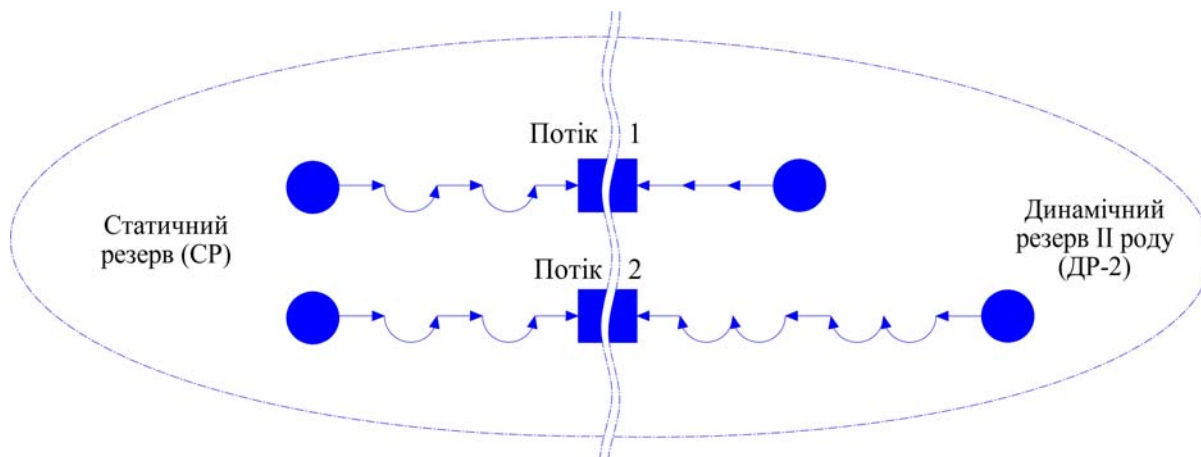


Рисунок 2 – Формування динамічних резервів другого роду (ДР-2)

*Джерело: розроблено автором*

Вище було показано, що ТЗ за рахунок управління струменями в потоці можна активно пристосовувати до змін ритмів відправників і одержувачів. Проте можливості такої адаптації обмежені. При занадто великому розузгодженні ритмів струменів в потоці може настати такий момент, коли не можна вже буде забезпечити надійний транспортний зв'язок. Транспортна система починає відігравати роль обмеження. В цьому випадку можливі два шляхи - або збільшити статичні резерви, що вимагає капіталовкладень, або зменшити міру розузгодження ритмів струменів між постачальниками і споживачами.

При керованій взаємодії виробництва і транспорту виникають динамічні резерви третього роду ДР-3. З'ясуємо їх природу. Надлишок і недостатність по струменю породжується невідповідністю випуску продукції постачальником і потреби в ній у одержувача. Узгодження ритмів дозволяє скоротити необхідну величину статичних резервів. Величина скорочення визначає розмір ДР-3. При керованій взаємодії виробничі підрозділи погоджують свої дії не лише між собою, але і з транспортом. Традиційно транспорт мав резерви шляхів, ТЗ, пропускної спроможності, вільного часу та виконував роль і каналу, і бункера.

Транспорт може не тільки сполучати, але і роз'єднувати відправників і одержувачів. В той час порушення ритму одного не передавалися іншому (рис. 3 а).

Збільшення потужностей виробництва в обмежених умовах підприємств призводить частенько до відставання розвитку транспорту. Транспорт втрачає резерви і може виконувати тільки роль каналу. Тепер будь-яка затримка в транспортній підсистемі знижує її пропускну спроможність, а це означає і усієї виробничо-транспортної системи, оскільки вона складається із зістикованих каналів (рис. 3 б).

Зв'язок між виробничими підрозділами стає жорстким і, відхилення в ритмі у будь-якій з підсистем безпосередньо відбиваються на інших. Загальна продуктивність системи "відправник-транспорт-одержувач" падає. Єдина можливість збільшити її - це переглянути принципи взаємодії для цих умов. Роль бункера повинні узяти на себе виробничі підрозділи (рис. 3 в).

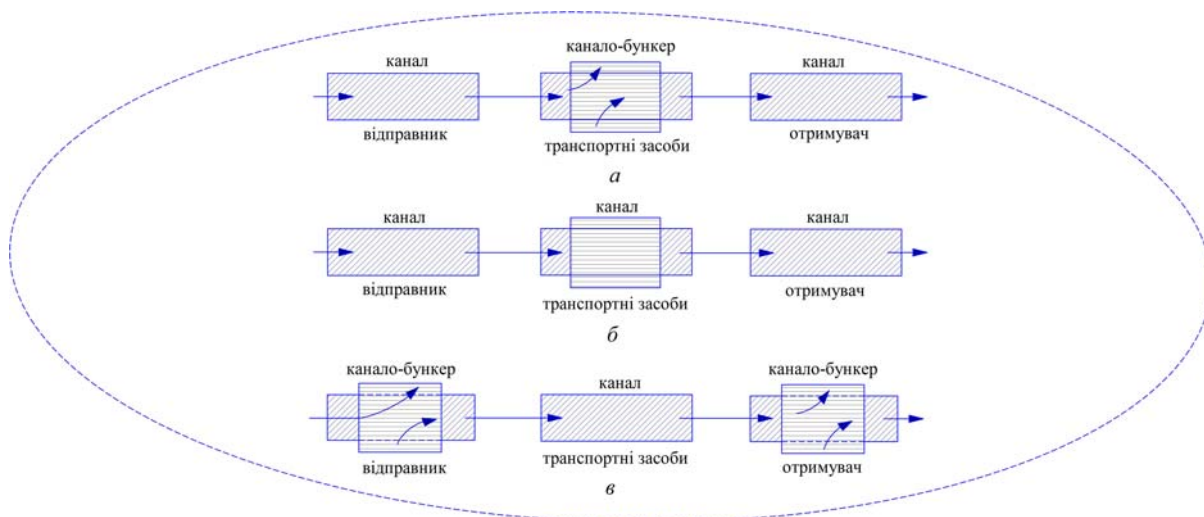


Рисунок 3 - Схематичне зображення взаємодії в системі "відправник-одержувач-транспорт" при динамічних резервах третього роду ДР-3: комплексно в ролі каналу і бункеру (а); тільки в ролі каналу (б); з виконанням ролі бункеру виробничими підрозділами (в)  
Джерело: розроблено автором

Резерви відправника дозволяють видавати на транспорт регульований потік. Резерви у одержувача дозволяють приймати від транспорту потоки без затримки. Усе це знижує міжопераційні простоя на транспорті, що обумовлює зростання його пропускної спроможності.

Динамічні резерви четвертого роду ДР-4 утворюються за рахунок динамічної зміни властивостей структури транспортної системи. При цьому спостерігається тимчасове збільшення пропускної спроможності одних каналів за рахунок зменшення інших. Зміна пропускної спроможності здійснюється за рахунок зміни режиму роботи при переході на новий план формування струменів в потоці. Параметри каналів і бункерів стають ближче до оптимальних в цій ситуації. Методика визначення параметрів враховує взаємодію елементів транспортних систем. Збільшується фактична пропускна спроможність системи в цілому як каналу так і місткість бункеру, може бути здійснена заміна частини статичних резервів. Виявлено, що чим розвиненіші динамічні властивості структури, тим більше величини динамічних резервів четвертого роду.

Сукупність динамічних резервів дозволяє істотно підвищити ефективність роботи транспортної системи в умовах нерівномірності. Проте це вимагає вироблення нових підходів до принципів і методів оптимізації, до вибору ефективної організації роботи.

Підсистеми транспортних систем на відміну від елементів мають динамічні резерви. І завдання взаємодії ставиться як максимізація сумарних динамічних резервів:

$$R_g = \alpha_1 \bar{R}_{g1} + \alpha_2 \bar{R}_{g2} \rightarrow \max, \quad (3)$$

де  $\bar{R}_{g1}$ ,  $\bar{R}_{g2}$  - динамічні резерви, відповідно, першої і другої підсистеми при відособленій роботі;

$\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  - коефіцієнти, що враховують рівень взаємодії, тобто наскільки збільшуються резерви підсистем при об'єднанні їх в систему.

На рис. 4 представлена принципова схема взаємодії підсистем транспортної системи. На зовнішніх виходах підсистем зображені споживачі -  $B_1$  і  $B_2$ . Цим підкреслюється, що в кожній підсистемі сукупність струменів і потоки не рівнозначні.

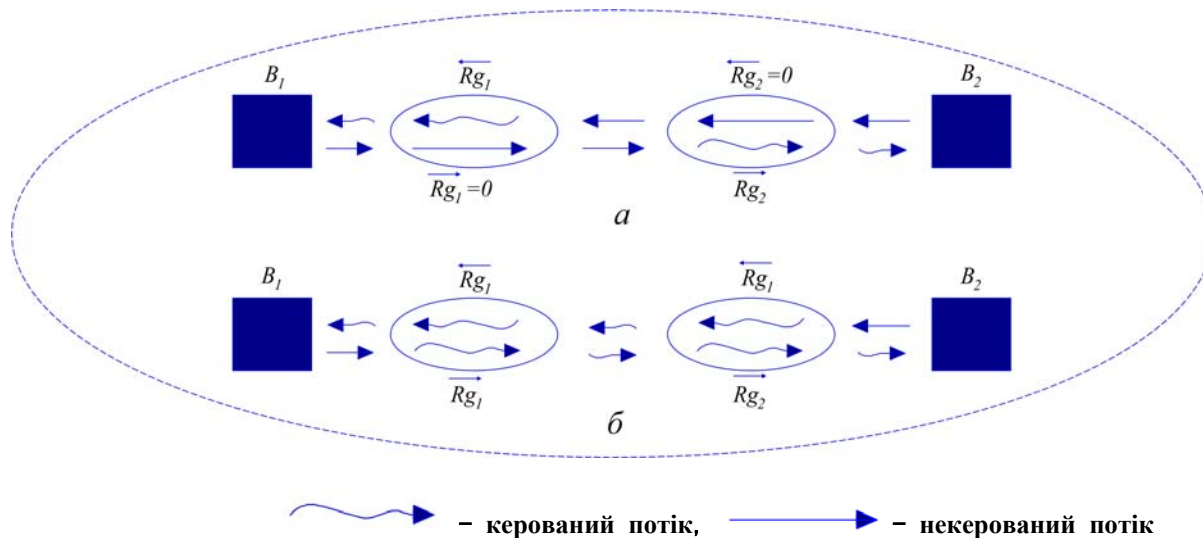


Рисунок 4 - Схема неузгодженої (а) та узгодженої (б) взаємодії струменів в потоці підсистем при динамічних резервах четвертого роду ДР-4

Джерело: розроблено автором

При неузгодженій взаємодії (рис. 4 а) струменів для потоків, що спрямовані в зовнішнє середовище (до споживачів) кожна підсистема має динамічні резерви  $\bar{R}_{g_1}$  і  $\bar{R}_{g_2}$ . Дії підсистем не погоджені, тому струмені потоків до іншої підсистеми не управляються. Для кожної підсистеми в цьому випадку потік, що йде до іншої підсистеми складається з однорідних струменів. Відбувається втрата різноманітності. Резерви  $R_{g_1}$  і  $R_{g_2}$  дорівнюють нулю. Підсистеми працюють, по суті, індивідуально, тобто це дві відособлені системи. Сумарні резерви (у обидві сторони) рівні:

$$R_g = \bar{R}_{g_1} + \bar{R}_{g_2}. \quad (4)$$

При узгодженій (керованій) взаємодії струменів потоку (рис. 4 б) виникає ефект організації. Прискорення і уповільнення струменів в потоці тепер відбувається упродовж усієї системи, як єдиного цілого. Розмах управління більший. Зростають і динамічні резерви:

$$R_{g_1} = \bar{R}_{g_1} + d_1 \bar{R}_{g_2}, \quad R_{g_2} = \bar{R}_{g_2} + d_2 \bar{R}_{g_1}, \quad (5)$$

де  $d_1$  і  $d_2$  - коефіцієнти, що враховують міру узгодженості дій підсистем в транспортних системах.

Таким чином, слід виділяти два типи взаємодії транспортних об'єктів - на рівні елементів (у статиці) і на рівні підсистем (у динаміці). У першому випадку узгоджуються параметри облаштувань (каналів і бункерів) двох підсистем, в другому - узгоджується управління: вводяться в них єдині цілі і критерії.

Перший тип взаємодії дає збільшення пропускної спроможності системи в цілому і здатності згладжувати струмені в потоках за рахунок зменшення диспропорції в параметрах технічних засобів, другий - за рахунок підвищення ролі управління в умовах нерівномірності. Слід зазначити, що можливості управління і розміри динамічних резервів тим більше, чим більше різних струменів виділяється в потоці, оскільки різні струмені вимагають індивідуальних резервів. А тому можна зробити узагальнення, що чим більше різноманітності в підсистемах, тим помітніше ефект організації, об'єднання їх в єдину систему.

### Висновки:

1. Запропоновано, що управління в транспортній системі слід розглядати як підтримку її стійкого стану і створення нової системної властивості, а саме динамічних резервів.

2. Зроблено припущення щодо розгляду раціональної взаємодії струменів підсистем і самих підсистем в транспортній системі, як узгодження управління в них та збільшення при цьому сумарних динамічних резервів.

3. Визначено, що при просуванні і переробці струменів транспортних потоків в транспортній системі підвищується їх дезорганізація.

4. Виявлено, що активною функцією транспортної системи є підвищення організації транспортних потоків, а запропонований теоретичний опис процесів організації і дезорганізації освітлює важливі сторони функціонування транспортних систем.

### Список літератури

1. Joseph Szyliowicz, Luca Zamparini A review of models for transport security and of their relevance for supply chains. *Transport Reviews*. 2022. Vol. 42. P. 717-724.
2. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем: монографія ; під заг. ред. Ауліна В.В. Кропивницький: Видавництво ТОВ "КОД", 2017. 370 с.
3. Makarova I., Khabibullin R., Belyaev E., Mavrin V. Increase of City transport system management efficiency with application of modeling methods and data intellectual analysis. *Intelligent Transportation Systems – Problems and Perspectives*. 2016. Vol. 32. P. 37-80.
4. Голуб Д.В. Методи та підходи до моделювання ефективності цілей операцій в транспортних системах. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2022. Вип. 5(36), ч. 1. С. 317-327.
5. Chen Hengrui, Zhou Ruiyu, Chen Hong, Lau Albert Static and dynamic resilience assessment for sustainable urban transportation systems: A case study of Xi 'an, China. *Journal of Cleaner Production*, 2022. Vol. 368. P. 133-237.
6. Голуб Д.В., Аулін В.В., Біліченко В.В., Замуренко А.С. Реалізація системного підходу при визначенні ефективності функціонування складних регіональних транспортних систем. *Вісник машинобудування та транспорту* . 2022. №1 (15). С. 44-51.
7. Ge Liping, Vob Stefan, Xie Lin Robustness and disturbances in public transport. *Public Transport. Planning and Operations*. 2022. Vol. 14. P. 191-261.
8. Аулін В.В., Біліченко В.В., Голуб Д.В., Замуренко А.С. Особливості дослідження ефективності транспортних систем на етапах життєвого циклу. *Вісник машинобудування та транспорту* . 2021. №1(13). С. 15-19.
10. Голуб Д.В. Теоретична модель транспортної системи як сукупності взаємодіючих і взаємоперетворюючих елементів та підсистем. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2022. Вип. 5(36), ч. 2. С. 324-334.
11. Аулін В.В., Голуб Д.В., Біліченко В.В., Замуренко А.С. Формування показників оцінки ефективності транспортного процесу перевезень. *Вісник машинобудування та транспорту* . 2020. №1(11). С.5-10.

### References

1. Joseph Szyliowicz & Luca Zamparini (2022). A review of models for transport security and of their relevance for supply chains. *Transport Reviews*. Vol. 42. P. 717-724 [in English].
2. Aulin, V.V., Golub, D.V., Grinkiv, A.V. & Lisenko, S.V. (2017). Metodologichni i teoretichni osnovi zabezpechennya ta pidvishennya nadijnosti funkcionuvannya avtomobilnih transportnih sistem [Methodological and theoretical bases of maintenance and increase of reliability of functioning of automobile transport systems] . V.V. Aulin (Ed.) . Kropivnickij: Vidavnictvo TOV "KOD" [in Ukrainian].
3. Makarova, I., Khabibullin, R., Belyaev, E. & Mavrin, V. (2016) Increase of City Transport System Management Efficiency with Application of Modeling Methods and Data Intellectual Analysis. *Intelligent Transportation Systems – Problems and Perspectives*. Vol. 32. P. 37-80 [in English].

4. Holub, D.V. (2022). Metody ta pidkhody do modeliuvannia efektyvnosti tsilei operatsii v transportnykh systemakh [Methods and Approaches to Modeling the Effectiveness of Operational Objectives in Transport Systems]. *Tsentrlnoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky – Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences, Issue 5(36), part 1.* 317-327 [in Ukrainian].
5. Chen Hengrui, Zhou Ruiyu, Chen Hong & Lau Albert (2022). Static and dynamic resilience assessment for sustainable urban transportation systems: A case study of Xi 'an, China. *Journal of Cleaner Production. Vol. 368.* P. 133-237 [in English].
6. Holub, D.V., Aulin, V.V., Bilichenko, V.V. & Zamurenko, A.S. (2020). Realizatsiia systemnoho pidkhodu pry vyznachenni efektyvnosti funktsionuvannia skladnykh rehionalnykh transportnykh system [Implementation of a system approach in determining the effectiveness of functioning of complex regional transport systems]. *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu – Herald of mechanical engineering and transport, 1 (15),* 44-51 [in Ukrainian].
7. Ge Liping, Vob Stefan & Xie Lin (2022). Robustness and disturbances in public transport. *Public Transport. Planning and Operations. Vol. 14.* P. 191-261 [in English].
8. Aulin, V.V., Bilichenko, V.V., Holub, D.V. & Zamurenko, A.S. (2021). Osoblyvosti doslidzhennia efektyvnosti transportnykh system na etapakh zhyttievoho tsykladu [Peculiarities of the study of the efficiency of transport systems at the stages of the life cycle]. *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu – Herald of mechanical engineering and transport, 1(13),* 15-19 [in Ukrainian].
9. Holub, D.V. (2022). Teoretychna model transportnoi systemy yak sukupnosti vzaiemodiiuchykh i vzaiemoperetvoriuiuchykh elementiv ta pidsystem [A theoretical model of the transport system as a set of interacting and mutually transforming elements and subsystems]. *Tsentrlnoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky – Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences. Issue 5(36), part 2.* 324-334 [in Ukrainian].
10. Aulin, V.V., Holub, D.V., Bilichenko, V.V. & Zamurenko, A.S. (2020). Formuvannia pokaznykiv otsinky efektyvnosti transportnoho protsesu perevezen [Formation of indicators for assessing the efficiency of the transport process]. *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu – Herald of mechanical engineering and transport, 1(11),* 5-10 [in Ukrainian].

**Dmytro Holub**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

*Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine*

### **Increasing the Efficiency of Management of the Technological Process of Delivery Based on the Analysis of Static and Dynamic Reserves of the Transport System**

The nature of static and dynamic reserves of the transport system and the degree of their influence on the technological process of delivery are given. The structure of flows connecting a specific supplier and consumer is considered. It was found that dynamic reserves are management reserves, and their size is determined by the amount by which static reserves can be reduced. The classification of dynamic reserves is given, the conditions of their occurrence are described, and interaction schemes are given.

It is shown that assigning the priority of one of the jets in the flows of the transport system leads to the acceleration of the passage of one jet at the expense of slowing down the other (others), and the delays are transferred from one jet to another while maintaining their total amount, that is, at an unchanged average speed of the flows. It was found that the acceleration of the flow leads to the release of a certain group of vehicles, which can be used as a reserve, and when it slows down, on the contrary, additional vehicles are absorbed due to an increase in their number on the road. There are also a number of technological mechanisms for speeding up and slowing down the progress of flows.

It has been found that the transport system can actively adapt to changes in the rhythms of senders and receivers due to the management of stream jets, but the possibilities of its adaptation are quite limited. And therefore, if the rhythms of the jets in the flow are too much out of sync, there is a possibility of a moment when reliable transport communication cannot be ensured and the transport system begins to play the role of limitation.

It was found that the set of dynamic reserves allows to significantly increase the efficiency of the transport system in conditions of unevenness, but it requires the development of new approaches to the principles and methods of optimization, as well as the choice of effective work organization. It is assumed that the management capabilities and the size of the dynamic reserves of the transport system are greater, the more different jets are released in the flow, and therefore the greater the diversity in the subsystems, the more noticeable is the effect of organization, combining them into a single system.

**transport system, static and dynamic reserves, jet, flow, acceleration, vehicles, communication**

*Одержано (Received) 10.02.2023*

*Прорецензовано (Reviewed) 23.02.2023*

*Прийнято до друку (Approved) 03.04.2023*