

activities and resistances, and its organization is regulated by such laws as selection and measure. The implementation of these laws has been clarified.

Logistics systems at the transport and production enterprise are also considered from the point of view of the organization of business experience in a specific natural-climatic, economic and social environment, as well as a multi-level structure. The structure of the farm system from homogeneous and qualitatively heterogeneous elements is considered. The main features of the Ukrainian economic system in the conditions of a deficit economy with incomplete market saturation are clarified and the main directions for correcting the situation are formulated.

On the basis of the different content of flows at enterprises, a complete logistics system with generalized types of logistics is formed: military, economic, mathematical; system-level logistics of functional areas: financial, commercial, informational, service; level of functional areas of commercial logistics: supply, production, sales; logistics at the level of key activities: transport, warehouse, stocks. Logistic objects, as tectological formations of management experience in a specific natural-climatic, economic and social environment, should be presented in their vital, socio-practical sense. At the same time, the experience of the organization should be considered as it really is, as it is given to people in observations.

tectological approach, logistics system, transport enterprise, production enterprise

Одержано (Received) 26.04.2022

Прорецензовано (Reviewed) 06.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

УДК 656:338

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.324-334](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.324-334)

Д.В. Голуб, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: dimchik529@gmail.com

Теоретична модель транспортної системи як сукупності взаємодіючих і взаємоперетворюючих елементів та підсистем

Представлено теоретичну модель, що дає можливість реалізувати опис процесів в транспортній системі і підсистемах за допомогою взаємодії таких елементів як сукупність каналів і бункерів. Це дозволяє з'ясувати важливі ефекти в різних транспортних системах, в тому числі і регіональних. Зроблене припущення, що існує структура транспортної системи, яка повинна уміти перетворювати певні потоки, а отже поглинати і породжувати їх сплески. Обґрунтовано, що в якості абстрактних елементів теоретичної моделі транспортної системи можуть бути «канали» і «бункери», оскільки вона виконує подвійну функцію: канали пропускають потоки, а бункери поглинають і породжують сплески потоків. Виявлено, що теоретична модель транспортної системи в першу чергу відображає принципи взаємодії елементів і підсистем в ній, а також здійснює вплив управління на протікаючі процеси. Розглянуто різні комбінації елементів при представленні реальних транспортних систем. З'ясовано, що чим нерівномірніше вхідний потік і чим більше демпфуюча здатність бункера, тим більшою може бути різниця в пропускній спроможності каналів, що стикаються, в структурі транспортних систем. Наведено, що у ланцюзі з каналів і бункерів результуюча пропускна спроможність транспортної системи залежить від місткості бункерів, через їх дезорганічний вплив на показники потоку. В той же час сукупна ефективна місткість ланцюга залежить від пропускної спроможності каналів, бо їх параметри повинні відповідати характеру розподілених сплесків потоку в транспортній системі.

транспортна система, теоретична модель, взаємодія елементів, канал, бункер, пропускна спроможність, сплески потоків

Постановка проблеми. Численні дослідження організаційних транспортних систем свідчать, що чим вищий рівень їх організації, тим все ближче вони по принципах побудови і функціонування і тим більш різноманітними стають форми їх прояву в різному середовищі [1-3]. При цьому спостерігається одноманітність принципів і різноманітність форм їх прояву.

Теоретична модель транспортної системи повинна відбивати, в основному, принципи, закономірності [4]. Не розуміючи їх, неможливо грамотно вибрати конкретну модель транспортної системи і коректно трактувати результати її моделювання. Якщо дослідник не знає внутрішніх закономірностей об'єкту, то не можливо довіряти різним виведенням і припущенням на підставі статистики.

Теоретична модель задає напрям дослідження транспортної системи загалом, але не дає прояву того або іншого організаційного принципу побудови в конкретних обставинах. Тому важливість побудови теоретичної моделі транспортної системи, як сукупності взаємодіючих і взаємоперетворюючих елементів і підсистем на сьогодні є безумовно актуальною, оскільки вона повинна представляти в абстрактному виді основні властивості і закономірності таких транспортних систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У реальній транспортній системі можуть зустрічатися різні комбінації взаємодіючих і взаємоперетворюючих елементів і підсистем [5]. Найбільш очевидним є поєднання двох каналів, розташованих послідовно. Проблема їх взаємодії розглядається рядом учених з різних позицій і полягає у термінах різних підходів.

Так при проектуванні автостанцій вважається, що пропускна спроможність пасажиропотоку на подальшому етапі його перетворення має бути не менша, ніж на попередньому потоку [6]. Виходячи з теорії масового обслуговування цей принцип трансформовано з «не менше» в строге «більше» [1, 2]. Методом імітаційного моделювання встановлено [1, 3], що при одному і тому ж завантаженні вхідні потоки викликають більші затримки, ніж вихідні. У роботі [5] стверджується, що стійкість досягається, якщо кількість шляхів в автопарку прийому більша, ніж в автопарку відправлення.

В цьому випадку кожен елемент структури транспортної системи розглядається з точки зору дії на потік - він переміщає потік або впливає на його властивості [7, 8]. Тут початковим є твердження, що в загальному випадку потік втрачає свою організацію, а отже підвищується ентропія - дезорганізація. Відновлення організації потіку або іншій властивості відбувається завдяки активній дії елементу структури з витратою енергії і засобів при якій елементи відрізняються один від одного тільки способами впливу на потік, що дозволяє розкрити глибинні закономірності взаємодії структури і потоків [9, 10].

Постановка завдання. Метою даної роботи є розробка теоретичної моделі, що дає можливість описати процеси взаємодії і взаємоперетворення елементів і підсистем та дозволяє прояснити важливі ефекти в різних транспортних системах.

Виклад основного матеріалу.

Головними процесами, які повинні бути відображені в теоретичній моделі (рис. 1), є:

- взаємодія елементів в транспортній системі;
- взаємодія підсистем;
- сутнісні риси процесу просування і перетворення транспортних потоків;
- завдання і суть управління в транспортних системах.



Рисунок 1 – Процеси в транспортній системі, які відображені в теоретичній моделі
 Джерело: розроблено автором

При моделюванні транспортних систем достатньо, щоб грамотно організувати процеси їх розрахунку та оптимізації за допомогою правильно вибраних або побудованих моделей та зробити обґрунтовані висновки за результатами моделювання.

З абстрактної точки зору, основним завданням транспорту є зв'язок постачальника і споживача через транспортні потоки, транспортний зв'язок яких повинен забезпечити їх взаємодію і взаємоперетворення. Оскільки в загальному випадку ритми їх роботи не співпадають, то щоб прийняти потоки в ритмі зручному для відправника і видати їх в ритмі зручному для одержувача, транспортна система повинна уміти грамотно перетворити потоки. Останнє полягає у поглинанні і породжуванні сплесків потоку.

В транспортній системі виконується подвійна функція: по каналах просуваються транспортні потоки; по бункерах відбувається поглинання і породження їх сплесків. Отже в якості абстрактних елементів теоретичної моделі вибрані канали і бункери.

Теоретична модель транспортної системи в першу чергу повинна реалізувати принципи взаємодії її елементів і підсистем, а також здійснювати управління своїми діями на протікаючі процеси. Вони складають основні фактори, що визначають вибір рішень по поліпшенню функціонування транспортної системи. При цьому посилюють ті або інші елементи для усунення «вузьких місць», підвищують загальну продуктивність, збільшують адаптивні властивості транспортної системи для роботи в умовах високої динамічності.

Від взаємодії елементів в структурі транспортної системи залежить протікання в ній технологічних процесів. У теоретичній моделі транспортна система уявляється сукупністю каналів і бункерів, як елементів (рис. 2).

На практиці каналами є шляхи переміщення, напрямки, перегони і так далі. Бункерами можуть виступати навантажувально-розвантажувальні пункти, транспортні вузли, склади, станції та ін.

Функціональні призначення каналів і бункерів взаємно протилежні. Чим більш сильніше виражені властивості каналу – тим швидше йде просування потоків, чим більше розвинені властивості бункера – тим більше нерівномірні потоки можуть трансформуватися, але тим меншою буде їх узагальнена швидкість. Оптимальне поєднання зазначених елементів дає більш гармонійну структуру транспортної системи.

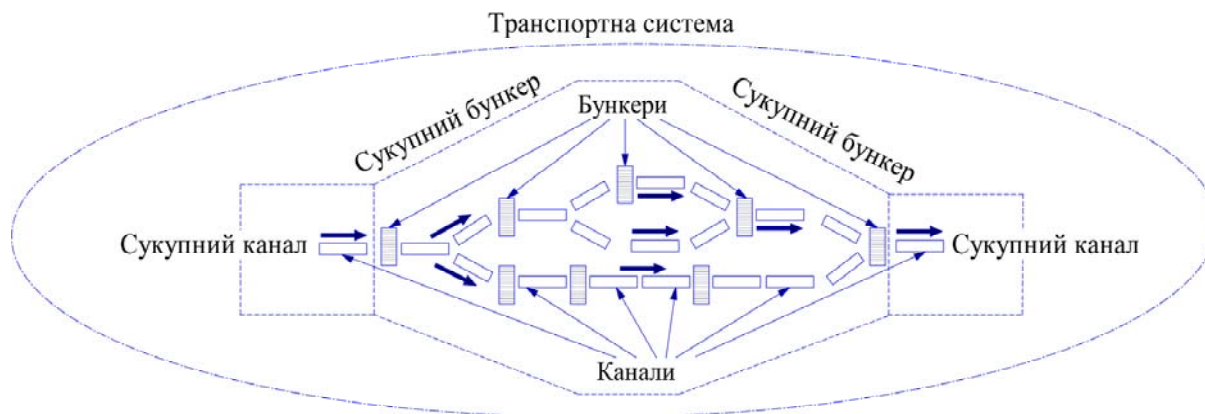


Рисунок 2 - Теоретична модель транспортної системи як сукупності каналів і бункерів

Джерело: розроблено автором

Подвійна функція транспортної системи як розгалуженій мережі каналів і як демпферів, перетворювачів ритмів вхідних потоків в ритми вихідних в бункерах, може ефективно виконуватися тільки при грамотно побудованій структурі і налаштованій ефективній технології. При налагодженій технології елементи канали і бункери мають цілком визначені пропускні спроможності для потоків із заданими характеристиками. Сукупна пропускна спроможність вузлів D у транспортній системі залежить від: пропускної спроможності каналів d_{ij} ; місткості бункерів q_l ; якості структури S підсистем і систем; характеристик потоку - нерівномірності, його структури та ін.

$$D = f_1(\{d_{ij}\}, \{q_l\}, S, X) \quad (1)$$

Властивість поглинати і породжувати сплески потоків в транспортній системі характеризується сукупною місткістю, яка є функцією місткості бункерів q_l . Враховується також, як вони пов'язані в структуру S і якими каналами d_{ip} характеру потоку X , а так само розвиненості управління, тобто величини аналітичних створюваних резервів місткості:

$$Q = f_2(\{q_l\}, \{d_{ij}\}, S, X, R) \quad (2)$$

Грамотно побудована структура S транспортної системи забезпечує задану сукупну пропускну спроможність і необхідну місткість при найменших витратах. Як правило, це припускає максимізацію динамічних резервів R . При цьому ставиться наступне завдання:

$$F = \sum_i \sum_j (d_{ij} \cdot C_{ij}) + \sum_l (q_l \cdot C_l) \rightarrow \min, \quad (3)$$

при обмеженнях $D > D_1$, $Q > Q_1$, D_1 і Q_1 - задані сукупні пропускні здатності і місткості.

За пропонованим підходом транспортна система описується у вигляді структури, що складається з сукупності каналів і бункерів, по яким пропускаються деякі потоки.

Канал як елемент транспортної системи має наступні параметри (рис. 3 а): вхідний потік $w(t)$; вихідний потік $u(t)$; час ходу $r(t)$; пропускна спроможність U .

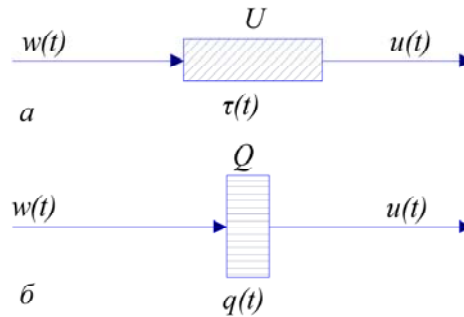


Рисунок 3 - Схематичне представлення елементів транспортної системи: каналу (а) і бункеру (б)
Джерело: розроблено автором

Дослід свідчить, що вхідні і вихідні потоки не перевищують пропускної спроможності каналу, змінюються в часі. Сукупний вихідний потік дорівнює сукупному вхідному з деякою різницею в часі $\tau(t)$. Крім того, на відміну від пропускної спроможності, час ходу по каналу не є постійною величиною. Для каналу характерні наступні співвідношення:

$$w(t) \leq U, \quad u(t) \leq U, \quad u(t) = w(t - \tau(t)). \quad (4)$$

Через непостійність часу ходу при проходженні через канал потік стає більше дезорганізованим. Тому для просування потоку в транспортній системі потрібний резерв пропускної спроможності:

$$\tilde{u} = \bar{u}(1 + \rho) \leq U, \quad (5)$$

де $\tilde{u}$ – розрахунковий потік.

Показник дезорганізації потоку ρ можливо розглядати як аналог коефіцієнта нерівномірності k_n . Відомо, що на виході з каналу дезорганізація зростає:

$$\rho_u = \rho_w + \Delta\rho. \quad (6)$$

Бункери як елементи транспортної системи описуються наступними параметрами (рис. 3 б): вхідний потік $w(t)$; вихідний потік $u(t)$; поточна місткість або стан $q(t)$; гранична місткість (місткість) Q .

Для бункерів слід дотримуватися наступних умов:

$$\begin{aligned} q(t) &\leq Q, \text{ для всіх } t, \\ q(t+1) &= q(t) + w(t) - u(t). \end{aligned} \quad (7)$$

Зазначимо, що бункер на відміну від каналу, здатний знижувати нерівномірність потоку, тобто відновлювати його організацію:

$$\rho_u = \rho_w - \Delta\rho. \quad (8)$$

Це свідчить, що вихідний потік з бункера є керованим, а величина $\Delta\rho$ залежить від місткості бункера і його заповненості.

Якщо відбувається стикування двох каналів (рис. 4), то вважається, що вихідний потік першого дорівнює вхідному потоку другого:

$$u_1(t) = w_2(t). \quad (9)$$

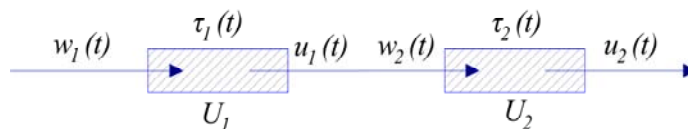


Рисунок 4 - Схема взаємодії двох каналів в потоці транспортної системи
Джерело: розроблено автором

Запишемо основні співвідношення:

$$\begin{aligned}\tilde{u}_1 &\leq U_1, \\ \tilde{u}_2 &\leq U_2, \\ \tilde{u}_1 &= \bar{u}_1 \cdot (1 + \rho), \\ \tilde{u}_2 &= \bar{u}_2 \cdot (1 + \rho).\end{aligned}\quad (10)$$

З них випливає, що у середині потоки каналів рівні між собою:

$$\bar{u}_1 = \bar{u}_2. \quad (11)$$

В той час показник їх дезорганізації зростає:

$$\begin{aligned}\rho_{u1} &= \rho_{w1} + \Delta\rho_1, \\ \rho_{u2} &= \rho_{w2} + \Delta\rho_2.\end{aligned}\quad (12)$$

Оскільки $u_1(t) = w_2(t)$ і $\rho_{u2} = \rho_{w1}$, то

$$\rho_{u2} = \rho_{u1} + \Delta\rho_2. \quad (13)$$

Таким чином

$$\tilde{u}_2 > \tilde{u}_1, \quad (14)$$

$$\text{тобто } U_2 > U_1. \quad (15)$$

Таким чином, при стикуванні двох каналів з «перешкодами» для стійкої роботи пропускна спроможність подальшого каналу має бути більша, ніж попереднього. Звідси випливає, що транспортний об'єкт можна без великої похибки представити у вигляді послідовності каналів, то правомірною є вимога: на кожному подальшому етапі трансформування потоку пропускна спроможність має бути більша, ніж на попередньому (рис. 5).

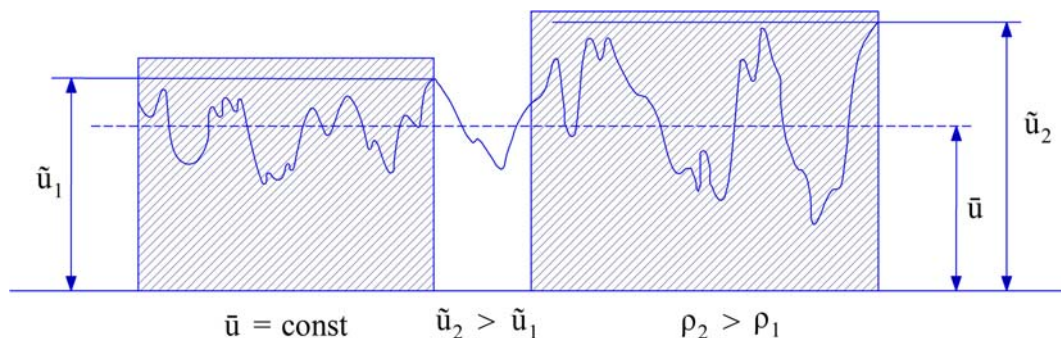


Рисунок 5 - Схема ділянки двох погоджених каналів

Джерело: розроблено автором

Канали є погодженими, якщо їх ефективні пропускні спроможності, з урахуванням характеристик потоку, рівні.

$$\bar{u}_1 = \bar{u}_2, \text{ а } \bar{u}_1 = \frac{\tilde{u}_1}{\rho_1}, \bar{u}_2 = \frac{\tilde{u}_2}{\rho_2},$$

Виходячи з попереднього, випливає умова узгодженості каналів:

$$\frac{U_1}{1 + \rho_1} = \frac{U_2}{1 + \rho_2} = \dots = \frac{U_j}{1 + \rho_j} = \text{const}. \quad (16)$$

Здебільшого на практиці зустрічаються ситуації, коли канали розгалужуються (рис. 6).

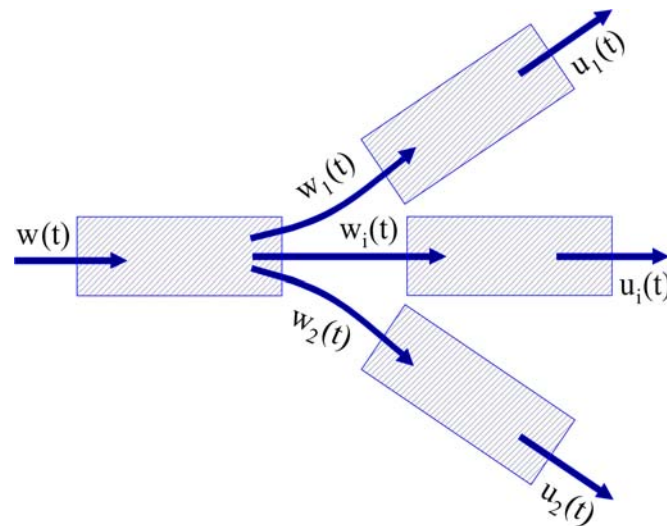


Рисунок 6 - Схематичне відображення стикування розгалужених каналів
Джерело: розроблено автором

Оскільки для розгалужених каналів правомірна рівність:

$$\bar{u} = \bar{u}_1 + \bar{u}_2,$$

або в узагальненому випадку: $\bar{u} = \sum_{i=1}^n \bar{u}_i$

Тоді можна записати:

$$\frac{U_1}{1 + \rho_1} = \frac{U_2}{1 + \rho_2} + \frac{U_2}{1 + \rho_2},$$

або в узагальненому випадку: $\frac{U}{1 + \rho} = \sum_{i=1}^n \frac{\bar{U}_i}{1 + \rho}$. (17)

Відповідно до теорії ймовірності, якщо коливання потоків випадкові, то їх злиття знижує нерівномірність. Оскільки при цьому маємо:

$$\rho > \rho_1 \text{ і } \rho_2 > \rho_1, \Rightarrow U_1 + U_2 > U.$$

Такий висновок підтверджується і на практиці.

Потік, відповідний до пункту розгалуження, необхідно розглядати як сукупність струменів. Сумарна потрібна пропускна спроможність розгалуженої мережі після стику тим менше, чим менше середньозважена по струменях нерівномірність потоку, що входить:

$$\tilde{K}_H = \frac{\sum_{i=1}^n K_{Hi} \cdot \bar{n}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{n}_i}; \quad (18)$$

$$\tilde{\rho} = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i \cdot n_i}{\sum_{i=1}^n n_i}. \quad (19)$$

де n_i – струмінь у відповідному до пункту розгалуження потоці.

При взаємодії елементів транспортної системи або підсистем "канал-бункер-канал" можливі два основні випадки:

- бункер поглинає сплески;

- бункер породжує сплески.

Для першого випадку правомірні співвідношення:

$$\begin{aligned}\rho_{u1} &= \rho_{w1} + \Delta\rho_1, & \rho_{u1} &= \rho_{w2}, \\ \rho_{u2} &= \rho_{w2} + \Delta\rho_2, & \rho_{w3} &= \rho_{u2} \\ \rho_{u3} &= \rho_{w3} + \Delta\rho_3.\end{aligned}\quad (20)$$

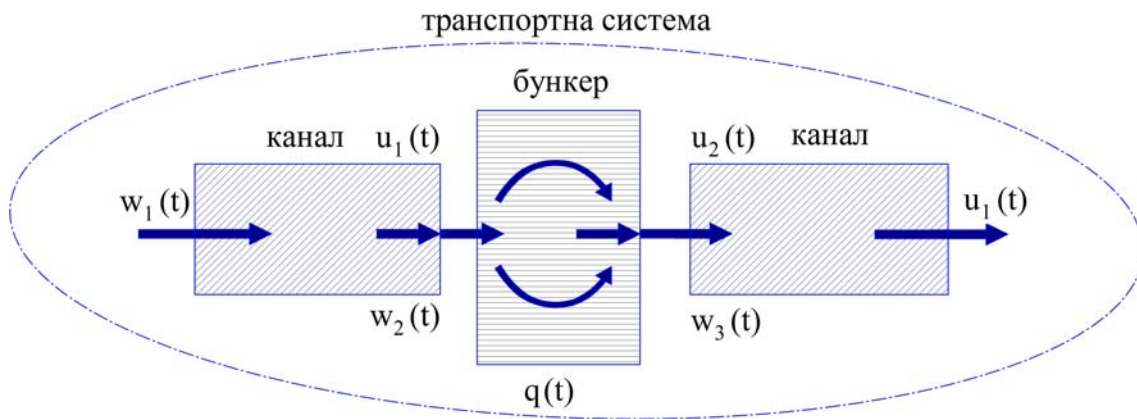


Рисунок 7 – Схема взаємодії елементів підсистеми «канал - бункер - канал»

Джерело: розроблено автором

Якщо місткість бункера достатня, то він може повністю погасити сплески і перетворювати потік з нерівномірного в рівномірний:

$$\Delta\rho_2 > \rho_{w2}, \text{ то } \rho_{w3} = \rho_{u2} = 0, \rho_{u3} = \Delta\rho_3. \quad (21)$$

Зазначимо, що міра випадковості потоку в транспортній системі (підсистемі) визначається тільки перешкодами вихідного каналу. В останньому каналі відбувається вплив усіх попередніх каналів. Це є ймовірним, оскільки:

$$\Delta\rho_3 \ll \rho_{w2}, \text{ то впливає } U_3 \ll U_1. \quad (22)$$

При цьому важливим є те, що бункер погоджує два канали з різною пропускнуою спроможністю (рис. 8).

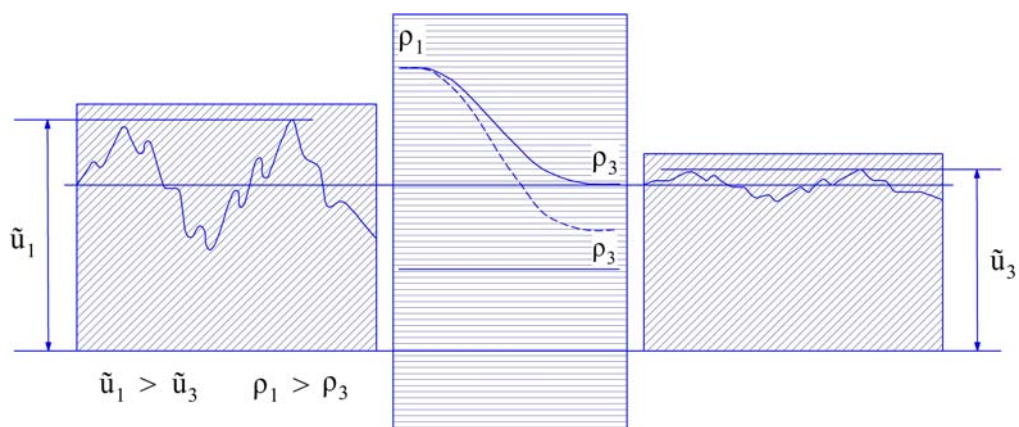


Рисунок 8 – Погодження функціонування в транспортній системі (підсистемі) елементів бункеру з каналами з різної пропускнуої здатності

Джерело: розроблено автором

При цьому справедливе співвідношення:

$$\frac{U_3}{1 + \rho_3} = \frac{U_1}{1 + \rho_1}. \quad (23)$$

Якщо завданням є звуження до узгодження входу і виходу бункера, то справджується співвідношення:

$$\frac{U_{\text{вх}}}{1 + \rho_{\text{вх}}} = \frac{U_{\text{вих}}}{1 + \rho_{\text{вих}} - \Delta\rho}. \quad (24)$$

Зміст його полягає в наступному: чим нерівномірніше вхідний потік і чим більше демпфіруюча здатність бункера $\Delta\rho$, тим більшою може бути різниця в пропускній спроможності каналів, що стикуються.

Це означає, що якщо в транспортній системі враховувати вплив резервних шляхів потоків, то еквівалентна (результуюча) пропускна спроможність визначатиметься елементом не з мінімальною, а з мінімальною ефективною пропускною спроможністю (з урахуванням характеристик потоку). Зазначене може пояснити результати імітаційного моделювання, коли найбільші затримки викликає не найзавантаженіший елемент, а тому вхідні потоки при рівному завантаженні викликають більші затримки, ніж вихідні.

З наведених залежностей випливають важливі наслідки. У ланцюзі та підсистемах з каналів і бункерів результуюча пропускна спроможність потоків залежить, в основному, від місткості бункерів. В той же час сукупна ефективна місткість залежить від пропускної спроможності каналів, бо їх параметри повинні відповідати характеру розподіленого сплеску потоків в транспортній системі.

Висновки.

1. Представлено теоретичну модель транспортної системи як сукупності каналів і бункерів при просуванні потоків.

2. Визначено, що до основних процесів транспортної системи слід віднести: взаємодію елементів, взаємодію підсистем та управління, просування і трансформування потоків різних за змістом і природою.

3. Використання понять «канал» і «бункер» дозволяє з'ясувати важливі ефекти в різних транспортних системах й підвищити їх надійність та ефективність.

Список літератури

1. 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.
2. Бурименко Ю.И., Галан Л.В., Лебедева И.Ю., Щуровская А.Ю. Основы теории систем и системного анализа: учеб. пособ. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2015. 136 с.
3. Кунда Н.Т. Дослідження операцій у транспортних системах. Київ: Слово, 2008. 400 с.
4. 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.
5. Дивак М.П., Порплиця Н.П., Дивак Т.М. Ідентифікація дискретних моделей динамічних систем з інтервальними даними: монографія. Тернопіль: ВПЦ «Економічна думка ТНЕУ», 2018. 220 с.
6. Шпильовий І. Ф. Методичні основи управління системами міських пасажирських перевезень : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.22.01. Київ, 2010. 23 с.
7. Аулін В.В., Голуб Д.В., Біліченко В.В., Великодний Д.О. Методологія підходів до дослідження шляхів і сукупності факторів забезпечення належного рівня ефективності і надійності транспортних систем. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2017. №2. С. 4-14.
8. 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.

9. Аулін В.В., Голуб Д.В. Методичні аспекти кількісної, якісної та часової оцінки параметрів надійності функціонування транспортних систем. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2018. Вип. 2 (82). С. 3-10.
10. 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*. 2020. №1 (15). С. 44-51.

References

1. 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]. Aulina V.V. (Ed.). Kropivnickij: Vidavnictvo TOV "KOD" [in Ukrainian].
2. Burimenko, Ju.I., Galan, L.V., Lebedeva, I.Ju. & Shhurovskaj,a A.Ju. (2015). *Osnovy teorii sistem i sistemnogo analiza* [Fundamentals of systems theory and systems analysis] . Odessa: ONAS im. A.S. Popova [in Russian].
3. Kunda, N.T. (2008). *Doslidzhennya operacij u transportnih sistemah* [Research of operations in transport systems]. Kiyiv: Slovo [in Ukrainian].
4. 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 – Bulletin of Mechanical Engineering and Transport*, 1(11), 5-10 [in Ukrainian].
5. Divak, M.P., Porplicya, N.P. & Divak, T.M. (2018). *Identifikaciya diskretnih modelej dinamichnih sistem z intervalnimi danimi: monografiya* [Identification of discrete models of dynamic systems with interval data]. Ternopil: VPC «Ekonomichna dumka TNEU» [in Ukrainian].
6. Shpylovyi, I. F. (2010). *Metodychni osnovy upravlinnia systemamy miskykh pasazhyrskykh perevezen* [Methodological foundations of urban passenger transport system management]. *Extended abstract of D'ectors thesis*. 05.22.01. Kyiv [in Ukrainian].
7. Aulin, V.V., Holub, D.V., Bilichenko, V.V. & Velykodnyj, D.O. (2017). Metodolohiia pidkhodiv do doslidzhennia shliakhiv i sukupnosti faktoriv zabezpechennia nalezhnoho rivnia efektyvnosti i nadijnosti transportnykh system [Methodology of coming to the end of the road and success factors in securing the proper level of efficiency and reliability of transport systems]. *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu – Bulletin of Mechanical Engineering and Transport* . 2, 4-14. [in Ukrainian].
8. 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]. *Tsentrlnoukraiynskiyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky – Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*, Vol. 5(36), part 1, 317-327 [in Ukrainian].
9. Aulin, V.V. & Holub, D.V. (2018). Metodychni aspekty kilkisnoi, yakisnoi ta chasovoi otsinky parametriv nadiinosti funksiionuvannia transportnykh system [Methodical aspects of the quantitative, qualitative and hourly evaluation of the parameters of the reliability of the functioning of transport systems]. *Visnyk Zhytomyrskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu . Serii: Tekhnichni nauky – The Journal of Zhytomyr State Technological University. Engineering, Issue 2 (82)*, 3-10. [in Ukrainian].
11. Holub, D.V., Aulin, V.V., Bilichenko, V.V. & Zamurenko A.S. (2020). Realizatsiia systemnoho pidkhodu pry vyznachenni efektyvnosti funksiionuvannia skladnykh rehionalnykh transportnykh system [Implementation of a system approach in determining the effectiveness of functioning of complex regional transport systems]. *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu – Bulletin of Mechanical Engineering and Transport*, 1 (15), 44-51. [in Ukrainian].

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

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

A theoretical Model of the Transport System as a Set of Interacting and Mutually Transforming Elements and Subsystems

A theoretical model is presented, which makes it possible to implement the description of processes in the transport system and subsystems using the interaction of such elements as a set of channels and bunkers. This makes it possible to find out important effects in various transport systems, including regional ones.

It is assumed that there is a structure of the transport system, which should be able to transform certain flows, and therefore absorb and generate their surges. It is substantiated that "channels" and "hoppers" can be

abstract elements of the theoretical model of the transport system, since it performs a double function: channels pass flows, and bunkers absorb and generate bursts of flows. It was found that the theoretical model of the transport system primarily reflects the principles of interaction of elements and subsystems in it, and also exerts a management influence on the ongoing processes. Different combinations of elements are considered when representing real transport systems. It was found that the more uneven the incoming flow and the greater the damping capacity of the hopper, the greater the difference in the capacity of connecting channels in the structure of transport systems can be.

It is stated that in the chain of channels and bunkers, the resulting capacity of the transport system depends on the capacity of the bunkers, due to their disorganizing influence on the flow indicators. At the same time, the total effective capacity of the chain depends on the capacity of the channels, because their parameters must correspond to the nature of distributed bursts of flow in the transport system.

transport system, theoretical model, interaction of elements, channel, bunker, carrying capacity, flow surges

Одержано (Received) 22.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 27.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022