

Є.В. Нагорний, О.О. Орда

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ ІНТЕРМОДАЛЬНИХ КОНТЕЙНЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В ЛАНЦЮГАХ ПОСТАЧАНЬ

В статті запропоновано підхід щодо оцінки надійності системи інтермодальних контейнерних перевезень оснований на визначенні інтегрального показника надійності. Запропоновано методика оцінки надійності системи доставки вантажів в контейнерах, застосування якої дозволить підвищити рівень якості транспортного обслуговування вантажовласників в ланцюгах постачань.

Ключові слова: контейнер, інтермодальні перевезення, надійність, ланцюг постачань.

Постановка проблеми

В Національній транспортній стратегії України на період до 2030 року зазначені загальні проблеми, що потребують розв'язання, серед яких низький рівень розвитку інтермодальних перевезень та наявність «вузьких місць» транспортної інфраструктури і, як наслідок, низька швидкість доставки вантажів у визначений строк [1]. Участь України в Міжнародній асоціації «Транскаспійський міжнародний транспортний маршрут» задає напрямки активізації та розвитку транзитних можливостей. Отже, актуальним постає питання розробки інструментарію управління якістю обслуговування при організації інтермодальних контейнерних перевезеннях (ІКП), який дозволить оцінювати надійність системи в ланцюгах постачань при застосуванні оптимальної транспортно-технологічної схеми на принципах синхронізації технологічних параметрів технологічних процесів та за умовою максимального ресурсозбереження учасників доставки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Відмінність контейнерних перевезень вантажів полягає не тільки в їх економічності та відносній безпечності, але й у високому ступеню надійності. Питанню якості логістичних послуг приділяється багато уваги вченими. Автори в роботах [2-7] визначають надійність логістичної системи як її властивості зберігати значення встановлених параметрів функціонування в певних межах, відповідних спочатку заданим режимам та умовам. Автор [7] зазначає про важливість формування стратегій за співвідношенням «якість-витрати» у відповідності сучасним концепціям, зокрема TQM (*Total Quality Management*) - при управлінні якістю послуг запобігання втрат (дефектів) часу (продукції) призводить до істотного зниження витрат підприємства.

В роботі [8] автор пропонує оцінку надійності та стійкості логістичної системи морського порту здійснювати через управління ризиками, що виникають в системі та викликають затримки відправлень, коливання попиту та проблеми з запасами вантажів.

Підхід щодо оцінювання надійності, запропонований в роботі [9], передбачає визначення двох комплексних показників функціонування логістичних ланок (системи) за аналогією з ДСТУ 2860-94 «Надійність техніки. Терміни та визначення». Однак, як і в багатьох роботах з дослідження надійності систем, де науковці пропонують аналогічні критерії оцінки, вони не враховують інтеграційний характер функціонування складних логістичних систем.

Недосконалість розглянутих підходів та запропонованих критеріїв оцінки надійності обумовлено складністю створення системи оцінювання, яка б мала спроможність працювати при будь-яких умовах. Тому, виникає необхідність у подальшому удосконаленні існуючих оціночних моделей.

Метою роботи є оцінка надійності функціонування системи інтермодальних контейнерних перевезень в ланцюгах постачань на принципах синхронізації технологічних параметрів.

Виклад основного матеріалу

Інтегровану систему ІКП доцільно розглядати як сукупність наступних окремих модулів системи: транспортно-виробничий комплекс (ТВК), Термінал (Т), Магістральний транспорт, транспортно-складський комплекс вантажоодержувача (ТСК ВО). Характеристикою кожного модулю системи являється певний набір технологічних операцій, витрати на їх виконання та час їхнього виконання [10].

Критерієм ефективності взаємодії елементів складної системи інтермодальної доставки контейнерів являються мінімальні питомі витрати на доставку

З_{заг} при дотриманні умови терміну доставки «точно в термін». При цьому, слід зазначити, що альтернативність існуючих варіантів транспортно-технологічних схем доставки контейнерів в ланцюгах постачань обумовлює пошук оптимальної технології доставки при використанні раціональної сукупності ресурсів в умовах бюджетних обмежень з боку усіх учасників доставки, які взаємодіють на принципах кооперації.

Якісна сторона ефективності взаємодії повинна відповідати вимогам вантажовласників щодо забезпечення високого рівня надійності ланцюга постачань. Надійність системи ІКП в ланцюгах постачань повинна забезпечуватися за допомогою: взаємодії учасників на умовах кооперації; безперебійного функціонування ланцюга постачань; виконання умов стійкості виробничої діяльності кожного учасника; збереження заданих параметрів і властивостей системи протягом всього часового інтервалу функціонування.

В достатній мірі результат виконання транспортного обслуговування в кожному модулі системи відображає коефіцієнт технічного використання j -ого модулю ІКП в ланцюгу постачань [8]:

$$K_{ТВ_j} = \frac{t_i}{t_i + t_{затр_j}}, \quad (1)$$

де t_i - час виконання послідовних технологічних операцій в j -му модулі, год.;

$t_{затр_j}$ - час затримок і усунення затримок просування контейнеропотоку в j -му модулі, год.

Аналіз технології просування контейнеропотоку в системі дозволяє виділити групу факторів, від яких залежить тривалість знаходження контейнерів в кожному модулі. Враховуючи універсальний набір операцій технологічних процесів переробки вантажів у контейнерах в пунктах «стикування», можна стверджувати, що час виконання технологічних операцій в модулях системи залежить від наступних параметрів:

$$t_i = f(Q, I_z, K_j, N_j), \quad (2)$$

де Q, I_z - параметри потоку заявок, відповідно, обсяг вантажу (т) та інтервал надходження замовлень (год.).

K_j, N_{ji} - кількісна характеристика сукупності ресурсів, які використовуються під час переробки контейнеропотоку в j -ому модулі ІКП, відповідно, кількість механізмів (од.) та кількість робітників (чол.).

Особливості виконання технологічних процесів встановлюють певні обмеження на послідовність виконання взаємопов'язаних операцій та визначаються

задачею синхронізації [10]. Оптимальний рівень надійності ланцюга постачань повинен забезпечуватися умовою синхронізації технологічно-логістичних параметрів, в результаті чого передбачається просування контейнеропотоку з одного модулю в наступний з мінімальним сумарним часом затримок при максимальній ефективності взаємодії елементів системи ІКП. Задача синхронізації полягає у встановленні системою синхронізуючих правил між технологічними процесами і визначенні порядку їх виконання з метою забезпечення належної взаємодії.

Ланцюг поставок повинен володіти такими структурними елементами та організаційними формами, за допомогою яких можливо підтримка надійності у всьому часовому інтервалі функціонування [2].

Показник, за яким передбачається оцінка надійності всієї системи ІКП, повинен мати комплексний характер із збереженням основних властивостей структури системи та визначати відношення між елементами системи. Оцінку складної багатокомпонентної моделі пропонуємо проводити за інтегральним показником надійності системи ІКП $K_{ТВ_{ІКП}}$ з діапазоном зміни значень від [0;1]:

$$K_{ТВ_{ІКП}} = \sqrt[n]{\prod_j K_{ТВ_j}}, \quad (3)$$

де n – кількість j -их модулів просування контейнеропотоку в системі, од.

Методика оцінки рівня надійності системи ІКП складається з п'яти етапів: на першому передбачається визначення пропускних спроможностей модулів системи ($\omega_{ТВК}, \omega_{ТСКВО}, \omega_T$) та часу просування в модулях системи; на другому визначається значення інтенсивностей просування контейнеропотоку між пунктами «стикування» модулів системи ІКП при використанні певної кількості ресурсів; третій етап полягає у визначенні рівня надійності за кожним модулем окремо ($K_{ТВ_j}$) та системи в цілому ($K_{ТВ_{ІКП}}$); на п'ятому етапі визначається оптимальний рівень надійності системи. За результатами розрахунків оцінюється фактичний рівень надійності та визначається «вузьке» місце в ланцюгу постачань. Для підвищення рівня надійності окремих модулів та, відповідно, всієї системи оператором ІКП формуються управлінські рішення з корегування значень параметрів системи.

Слід зазначити, що оптимальний рівень надійності системи ІКП визначається у відповідності до мінімального значення критерію ефективності функціонування системи ІКП при дотриманні умови доставки «точно в термін».

Процес функціонування інтегрованої системи ІКП, формалізований за допомогою мережі Петрі на базі програмного продукту TNET, передбачає послідовне або паралельне функціонування модулів системи. Проведено моделювання процесу ІКП з метою прискорення просування контейнеропотоку в модулях інтеграційної системи. Модель реалізовано на прикладі Транскаспійського міжнародного транспортного маршруту транзитних для України вантажопотоків в контейнерах «South-West» Китай – Казахстан – Азербайджан – Грузія – Україна – країни ЄС. Модель процесу взаємодії модулів системи інтермодальних контейнерних перевезень в ланцюгах постачань дозволяє отримувати часові характеристики просування контейнеропотоку як в окремих модулях, так й в системі, оцінити адекватність математичної моделі та працездатність системи ІКП в цілому. На підставі отриманих часових характеристик за запропонованою багатокomпонентною моделлю передбачається оптимізація незалежних змінних моделі при виборі раціональної транспортно-технологічної схеми інтермодальних контейнерних перевезень.

Налаштування моделі ІКП здійснюється у два етапи: по-перше, налагодження окремих модулів;

по-друге, налагодження загальної моделі в цілому. Мета другого етапу полягає в тому, щоб усі наявні модулі були «замкнуті» один на одному, коли вихідні параметри окремого модулю на кожному часовому кроці стають вхідними параметрами для іншого наступного модулю. Обмеженням до моделі є загальний час доставки вантажів у контейнерах, який повинен відповідати вимогам вантажовласника – умова доставки «точно в термін».

В результаті імітаційного моделювання отримано значення часу просування контейнеропотоку по окремих модулях системи та загальний час доставки вантажів у контейнерах, значення якого за аналітичною моделлю та в результаті моделювання за допомогою мережі Петрі відрізняється на 10 %, що свідчить про адекватність отриманих результатів.

За змодельованими часовими характеристиками процесу ІКП визначено оптимальний рівень інтегрального показника надійності системи. Залежність рівня надійності системи ІКП від технологічно-логістичних параметрів, на прикладі інтенсивності просування контейнеропотоку в модулі ТВК графічно наведено на рис.1.

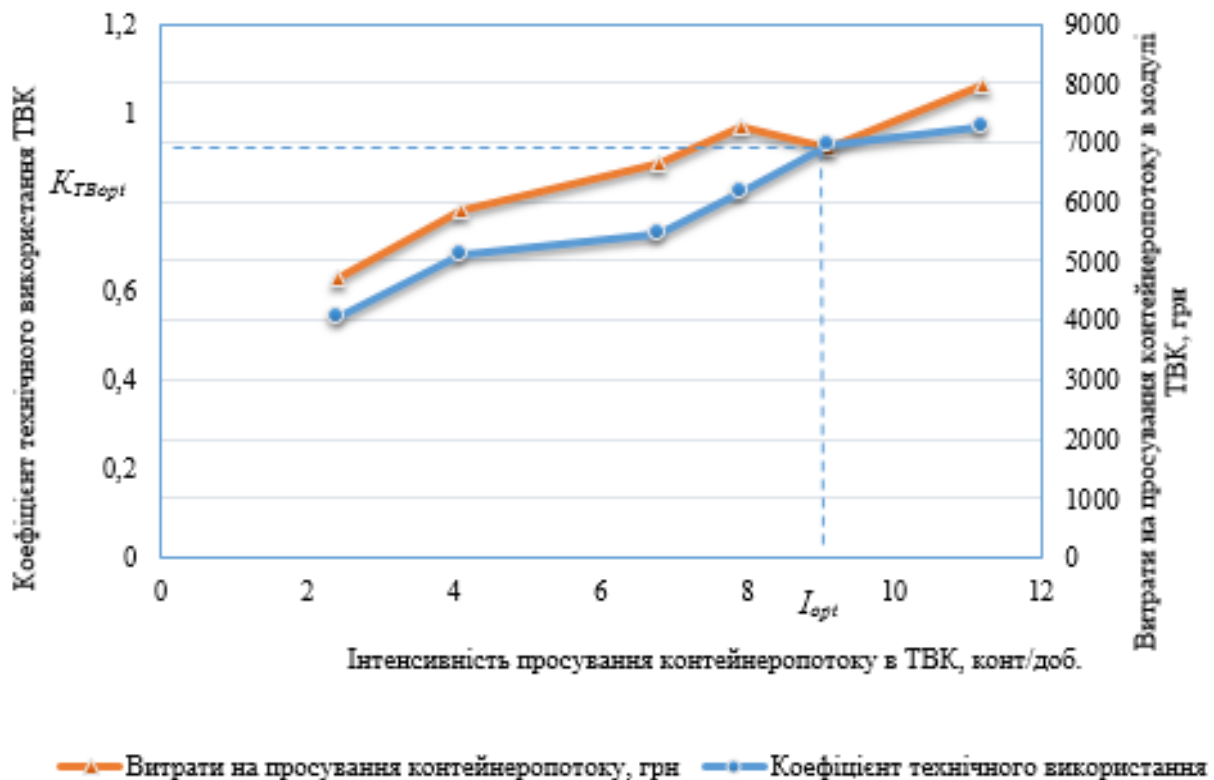


Рис. 1. Залежність рівня надійності модуля ТВК від технологічно-логістичних параметрів системи ІКП

Оптимальний рівень надійності в модулі ТВК дорівнює 0,93 досягається при оптимальному значенню, за співвідношенням «витрати – результат», витрат на просування контейнеропотоку в модулі

6892,8 грн. ($Q=53$ т, $K_{ТВК}=5$ од, $N_{ТВК}=7$ чол.) з інтенсивністю 9,1 конт./добу. Подальше збільшення рівня надійності призведе до збільшення витрат за рахунок збільшення кількості ресурсів та величини запасів вантажу в модулі ТВК.

Аналогічним чином проводиться моделювання рівня надійності в інших модулях системи. За інтегральним показником надійності системи в ході експериментальних досліджень визначено оптимальний рівень надійності системи перевезень вантажів у контейнерах по маршруту Китай – Казахстан – Азербайджан – Грузія – Україна – країни ЄС (Алтинколь – Славкув), який дорівнює 0,9 при мінімальному значенні критерію ефективності. За результатами розрахунків коефіцієнтів технічного використання одинадцяти модулів системи «вузьким» місцем можна вважати модулі Термінали призначення/відправлення магістрального транспорту (значення $K_{ТВ} \leq 0,8$). Це пов'язано з нерівномірністю роботи, яка виникає у пунктах їх «стикування», внаслідок чого виникають простой рухомого складу, перевантажувальних комплексів; затримки та утворення черг в очікуванні обслуговування. Підвищення рівня надійності окремих модулів або системи в цілому, за необхідністю, можливо за рахунок застосування раціонального профілю стратегій організації ІКП ланцюгу постачань:

- на ресурсному рівні – застосування раціональної кількості ресурсів в кожному модулі системи, задіяних при просуванні контейнеропотоку;

- на організаційному рівні – вибір оптимальної транспортно-технологічної схеми доставки та схеми переробки контейнерів в терміналах магістрального транспорту.

Висновки

Запропоновано підхід щодо оцінки надійності системи ІКП оснований на визначенні комплексного інтегрального показника надійності. Задача ефективного управління якістю транспортного обслуговування зводиться до оптимізації часу руху вантажів від відправника до кінцевого споживача за рахунок безперебійного функціонування кожного елемента ланцюга постачань, тобто мінімізації та усунення часу затримок просування контейнеропотоку в системі.

Запропоновано методику оцінки управління надійністю процесу перевезень вантажів у контейнерах з п'яти етапів, яка дозволить операторам ІКП формувати профіль раціональних стратегій транспортного обслуговування вантажовласників в ланцюгах постачань для прийняття управлінських рішень.

За результатами проведеного моделювання згідно з запропонованими критеріями визначено оптимальний рівень надійності доставки вантажів у контейнерах по міжнародному маршруту Китай – країни ЄС як по окремих модулях, так і в цілому по системі, який складає 0,9, при застосуванні профілю раціональних стратегій. Однак, необхідно враховувати складність систем доставки при збільшенні рівня надійності функціонування елементів системи, яке може

привести до збільшення витрат на доставку в умовах бюджетних обмежень.

Впровадження запропонованого підходу дозволить підтримувати належний рівень якості та підвищити ефективність транспортного обслуговування при організації ІКП в ланцюгах постачань відповідно до вимог вантажовласника.

Література

1. «Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року» [Текст] // Кабінет Міністрів України; Розпорядження від 30.05.2018 №430-р.
2. Григорьев, М. Н. *Коммерческая логистика: теория и практика* [Текст]: учебник для академического бакалавриата / М. Н. Григорьев, В. В. Ткач, С. А. Уваров. — 3-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2014. — 507 с.
3. Грязнов, М.В. *Подходы к надежности транспортных систем* [Текст] / М.В. Грязнов // *Мир транспорта*. — 2010. — №2. — С. 14–19.
4. Liang, C. Y., Li, L. L. (2013). Research on Evaluation Method for the Service Quality of Public Transport Based on Time Reliability Degree, *Applied Mechanics and Materials*, 361-363, 2205-2209.
5. Нагорний, С.В. *Оцінка економічної ефективності вдосконалення системи транспортного обслуговування вантажовласників у транспортних вузлах* [Текст] / С.В. Нагорний, Т.В. Столяр // *Автомобильный транспорт: сб. науч. тр.* — 2008. — Вып. 23. — С. 34–34.
6. Шкляр, В.Н. *Надежность систем управления* [Текст]: учебное пособие / В.Н. Шкляр. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. — 126с.
7. Кучеруг, Г.Ю. *Якість транспортних послуг: управління, розвиток та ефективність* [Текст]: Монографія. К.: ДЕТУТ, 2011. — 208 с.
8. Войтов, В.А. *Критерії оцінювання надійності логістичної системи транспортного обслуговування* [Текст] / В.А. Войтов, Н.Г. Бережна, О.В. Кутья // *Автомобильный транспорт: сб. науч. тр.* — Харьков, 2017. — Вып. 41. — С. 96–104.
9. Roşca, E. (2014). Risks and Reliability Assessment in Maritime Port Logistics, *Advanced Materials Research*, 1036, 963-968.
10. Нагорний, С.В. *Модель синхронізації технологічних параметрів інтермодальних контейнерних перевезень в ланцюгах постачань* [Текст] / С.В. Нагорний, О.О. Орда // *International Academy Journal Web of Scholar*, 6(15). — 2017. — С. 10-15.

References

1. «*Natsionalna transportna stratehiia Ukrainy na period do 2030 roku*». Kabinet Ministriv Ukrainy; Rozporiadzhennia vid 30.05.2018 №430-r.
2. Hryhorev, M. N. Tkach, V. V., Uvarov, S. A. (2014). *Kommercheskaia lohystyka: teoriya u praktyka: uchebnyk dlia akademicheskoho bakalavryata*. 507 s.
3. Hriaznov M.V. (2010) *Podkhody k nadezhnosti transportnykh system*. *Myr transporta*, 2, 14–19.
4. Liang, C. Y., Li, L. L. (2013). Research on Evaluation Method for the Service Quality of Public Transport Based on Time Reliability Degree, *Applied Mechanics and Materials*, 361-363, 2205-2209.

5. Nahorny, Ye.V., Stoliar, T.V. (2008). Otsinka ekonomichnoi efektyvnosti vdoskonalennia systemy transportnoho obsluhovuvannia vantazhovlasnykiv u transportnykh vuzlakh. *Avtomobylnyi transport: sb. nauch. tr.* 23, 34–34.
6. Shkliar, V.N. (2009) Nadezhnost system upravleniia: uchebnoe posobie. Tomsk: Yzd-vo Tomskoho polytekhnicheskoho unyversyteta, 126.
7. Kucheruh, H.Iu. (2011) Yakist transportnykh posluh: upravlinnia, rozvytok ta efektyvnist. *Monohrafiia*, 208.
8. Voitov, V.A., Berezhna, N.H., Kutia O.V. (2017) Kryterii otsiniuvannia nadiinosti lohistychnoi systemy transportnoho obsluhovuvannia. *Avtomobylnyi transport: sb. nauch. tr.*, 41, 96–104.
9. E. Roşca (2014). Risks and Reliability Assessment in Maritime Port Logistics, *Advanced Materials Research*, 1036, 963–968.
10. Nahorny, Ye.V., Orda, O.O. (2017). Model synkronizatsii tekhnoloho-lohistychnykh parametriv intermodalnykh konteinernykh perevezen v lantsiuhakh

postachan. *International Academy Journal Web of Scholar*, 6(15), 10–15.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Горбачов П.Ф., Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Автор: НАГОРНИЙ Євген Васильович
доктор технічних наук, професор
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
E-mail – kost.alexandra@gmail.com

Автор: ОРДА Олександра Олександрівна
асистент кафедри транспортних технологій
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
E-mail – kost.alexandra@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7213-8469>

RELIABILITY'S ESTIMATION OF INTERMODAL CONTAINER TRANSPORTATION IN THE SUPPLY CHAINS

Ye. Nagorny, A. Orda

Kharkov National Automobile and Highway University, Ukraine

Participation of Ukraine in the International Association "Trans-Caspian International Transport Route" sets the directions for the development of intermodal transportation. The literature analysis revealed deficiencies of the considered approaches and the proposed criteria. The issue of development of tools for quality management of services in the organization of intermodal container transportation was becoming topical.

The approach to reliability's estimation of the intermodal container transportation system have been proposed. It bases on the definition of a complex integral reliability index. The task of efficient management of the quality of transport services is to optimize the time of movement of containers from the consignor to consignee due to the uninterrupted functioning of each element of the supply chain. This is achieved by minimizing and eliminating the delay time of the container traffic in the system.

The method of the reliability's estimation of the containers transportation process of five stages have been offered. It will allow operators of intermodal container transportation to form a profile of rational strategies for transport services of cargo owners in supply chains when making management decisions.

The optimum level of reliability of containers delivery on the international route China - the EU countries as on modules and in the whole on the system have been determined, with the application of the profile of rational strategies in accordance with the requirements of the cargo owners. When forming strategies for the organization of transport services, it must be taken into account that an increasing of the reliability of the functioning of system's elements can lead to costs increasing of delivery in the conditions of budget restriction. Implementation of the approach will allow maintaining an appropriate level of quality and improving the efficiency of transport services in the organization of intermodal container transportation in the supply chain in accordance with the requirements of the cargo owner.

Keywords: container, intermodal transportation, reliability, estimation, the supply chain.