

УДК 656.2

## ДОСЛІДЖЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ РУХУ ПОЇЗДОПОТОКІВ НА ВАНТАЖОНАПРУЖЕНОМУ ЗАЛІЗНИЧНОМУ ПОЛІГОНІ

Аспірант М. А. Кравченко, магістрант Є. М. Стебницька, д-р техн.  
наук А. В. Прохорченко, канд. техн. наук А. М. Киман, магістрант А. Є. Кірієнков

## STUDY OF STABILITY OF TRAIN FLOWS ON HEAVILY USED FREIGHT RAILWAY REGION

Graduate student Mikhail Kravchenko, master's student Elizaveta Stebnitskaya,  
Dr. Sc. (Tech.) Andrii Prokhorchenko, Ph.D. (Tech.) Andrii Kyman, master's student Artem  
Kirienko

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.199.2022.258820>

**Анотація.** У статті досліджено стабільність руху вантажних поїздопотоків у різні періоди перевезень на полігоні регіональної філії «Одеська залізниця» АТ «Укрзалізниця», який є «вузьким місцем» з'єднання залізничної системи з найбільшими морським портами України. Виявлено закономірності впливу експлуатаційних показників на загальну тривалість руху поїздопотоків. На основі кореляційного аналізу чисельно доведено вплив пасажирського руху на тривалість слідування вантажних поїздопотоків на різних маршрутах руху. Розраховано кластерограму взаємозв'язків впливу пасажирського руху на тривалість руху вантажних поїздів на різних маршрутах, що дозволяє комплексно проаналізувати взаємозалежності експлуатаційних показників дільниць в умовах зміни інтенсивності руху та перенаправлення поїздопотоків за паралельними лініями.

**Ключові слова:** залізничний полігон, поїздодільниця, маршрут, дільнична швидкість, поїздопотік.

**Abstract.** The article examines the stability of freight trains in different periods of traffic at the landfill of the regional branch of "Odessa Railway" JSC "Ukrzaliznytsia", which is a "bottleneck" of the railway system with the largest seaports in Ukraine. It is offered to analyze the consolidated daily operational indicators on the main routes of train flows: density at the train station (traffic density per 1 km, tons); average daily speed of trains (km / h); the number of freight trains that have passed (train). For a comprehensive analysis of changes in operational indicators in the low (I-III quarter) and high season (IV quarter) of traffic summarized indicators in the sequence of train flows. This allowed us to identify the most influential train stations for the stability of train traffic. Regularities of influence of operational indicators on the general duration of movement of train streams are revealed. Based on the correlation analysis, the influence of passenger traffic on the duration of freight trains on different routes has been proved numerically. Correlations can be described as strong and significant. The interaction of changes in operational indicators on different routes of train flows at the investigated landfill was revealed. Significant impact on the stability of train flows occurs at train stations, where sorting stations operate. Increasing the share of scheduled departures in 2019 and working to extend the service in 2020 has reduced the gap between the total duration of trains on the routes to acceptable values. A cluster diagram of the relationship between the impact of passenger traffic on the duration of freight trains on different routes, which allows a comprehensive analysis of the interdependence of operational performance of sections in terms of changes in traffic intensity and redirection of trains on parallel lines.

**Keywords:** railway region, train section, route, section speed, train flow.

**Вступ.** Дотримання стабільності руху поїздопотоків у залізничній системі є одним із важливих факторів сталого розвитку

економіки України. Однак останніми роками у залізничній системі України спостерігається високий рівень дезорганізації

в пікові сезони навантаження [1, 2]. Одним із факторів збільшення навантаження на залізничну систему є розвиток агропромислового комплексу, що призводить до значних обсягів навантаження зернових вантажів починаючи з серпня-жовтня кожного року. Співпадаючи із збільшенням попиту на продукцію гірничо-металургійного комплексу на зовнішніх ринках, обсяги перевезень вантажів до основних морських портів досягають критичних значень. Виникають затори на основних маршрутах слідування вагонопотоків, збільшуються строки доставки вантажів, і, як наслідок, стейкхолдери залізничного ринку несуть значні збитки. На відміну від залізничних систем, де рух вантажних поїздів відбувається за нормативним розкладом, залізниця України та її подібні відносяться до вертикально інтегрованих систем з частковим дотриманням розкладу руху, де дотримуються заздалегідь розробленого розкладу руху тільки пасажирські поїзди, а рух вантажних поїздів виконується без розкладу. Це спричиняє значну невизначеність перевізного процесу, який досить складно передбачити.

Приймаючи до уваги виникнення значних заторів на мережі у 2019 р. в умовах рекордних обсягів перевезень вантажів і запровадження масового руху маршрутних зернових поїздів за розкладом (РРМП) у четвертому кварталі [3] та майже відсутність залізничного пасажирського руху у 2020 р. з причини запровадження карантинних обмежень по всій території України з метою запобігання поширенню гострої респіраторної хвороби COVID-19, спричиненої коронавірусом SARS-CoV-2, вперше в історичній ретроспективі залізничної системи України з'явилася нагода дослідити експлуатаційні умови роботи залізничних дільниць та вплив пасажирського руху на стабільність руху вантажних поїздопотоків на ключових маршрутах. Враховуючи важливість виявлення причин, що призводять до

перевантаження залізничної мережі і погіршення кількісних та якісних експлуатаційних показників в системі, актуальним є проведення наукових досліджень, спрямованих на вивчення стабільності руху вантажних поїздопотоків у різні періоди перевезень на вантажонапружених полігонах.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У наукових працях є багато досліджень, що присвячені аналізу стабільності руху поїздопотоків, зокрема досліджувалась дільнична швидкість на мережі, виявлявся вплив раціональних рівнів завантаження мережі на швидкість руху поїздопотоків з урахуванням максимальної пропускної спроможності залізничної інфраструктури [4, 5]. У роботі [6] розглянуто один із найважливіших показників якості руху поїздів – дільничну швидкість. Виявлені фактори, що впливають на втрату дільничної швидкості, та які регульовальні заходи дозволяють її підвищити.

Окрім аналізу впливу факторів на дільничну швидкість, досить багато досліджень присвячено визначенню пропускної спроможності залізничних інфраструктур та встановленню раціональних меж завантаження для стабільного руху поїздів в мережі. Завдання аналізу стабільності руху поїздопотоків тісно пов'язані з проблемою перевантаження залізничної інфраструктури, де рівень точності визначення величини пропускної спроможності має великий вплив на якість досліджень. Встановлення верхньої межі використання елементу інфраструктури за різними методами досліджень та оцінка інтенсивності руху в цих умовах дозволяє встановити взаємозалежність швидкості слідування поїздопотоків від рівня завантаження. Однак підходи щодо удосконалення методів визначення пропускної спроможності залізничних дільниць та станцій спрямовані на декомпозицію полігонів, що не дозволяє врахувати взаємозалежність експлуатаційних

показників ліній в межах залізничного полігону. В роботі [7] проведено аналіз методів розрахунку пропускної спроможності залізничних дільниць, виявлено переваги і недоліки різних методів розрахунку. При розрахунку пропускної спроможності, з урахуванням недоліків кожного з методів, запропоновано застосувати інтегровану методологію. Наголошено, що підходи на основі комплексного аналізу взаємозалежності експлуатаційних показників дільниць на досліджуваному полігоні є більш ефективними. Лай [8] описав два поширені методи оцінки пропускної спроможності: параметричний та моделювання. За допомогою запропонованих методів можна порівнювати та оцінювати пропускну спроможність з різних ліній або залізничних систем, що призводить до значущих і корисних результатів для забезпечення стабільності руху поїздопотоків. В роботі [9] розглянуто методичні підходи до виявлення факторів, що впливають на стабільність пропуску поїздів. У статті [10] розглянуто основні концепції виконання аналізу пропускної спроможності, яка надзвичайно залежить від інфраструктури та ефективності її використання. У результаті показано, як пропускну спроможність змінюється залежно від швидкості поїзда, комерційних зупинок та надійності розкладу. В роботі [11] наголошено, що будівництво нових інфраструктур допоможе збільшити пропускну спроможність та забезпечити стабільність руху поїздопотоків. Доведено, що зміна планування в поєднанні з ефективним керуванням поїздом являє перспективний недорогий підхід для збільшення пропускної спроможності та забезпечення стабільності руху поїздопотоків на залізничних мережах із змішаним рухом, які значно завантажені. В роботі [12] проведено аналіз методів оптимізації пропускної спроможності та їх застосування на «Литовських залізницях», а в роботі [13] описано методи аналізу пропускної спроможності в Швеції. Дослідження [14] на

прикладі національної залізничної мережі Rah Ahan Iran визначає абсолютні рівні пропускної спроможності, і показано, що збільшення швидкості поїздів може бути не зовсім рентабельним. У роботі [15] для нової двоколійної дільниці досліджено пропускну спроможність залізниці, використовуючи два аналітичні методи – індонезійський та UIC 405. Дане дослідження присвячено аналізу використання пропускної спроможності на перспективу. У статті [16] використано понад 50 досліджень пропускної спроможності США та Європи. Зроблено висновок, що європейські залізничні дослідження є більш уніфікованими з точки зору можливостей, концепцій та методів, тоді як американські дослідження використовують більшу різноманітність методів, інструментів та цілей.

Враховуючи відсутність досліджень комплексного аналізу зміни швидкості руху поїздопотоків на основних взаємопов'язаних маршрутах на залізничних полігонах, в роботі запропоновано проаналізувати стабільність руху поїздопотоків на полігоні регіональної філії «Одеська залізниця» АТ «Укрзалізниця», який є «вузьким місцем» з'єднання залізничної системи з найбільшими морськими портами країни.

**Визначення мети та завдання дослідження.** Мета дослідження полягає у виявленні причин порушення стабільності руху поїздопотоків на перевантаженому залізничному полігоні та теоретичному обґрунтуванні впливу пасажирського руху на стабільність руху вантажних поїздопотоків на ключових маршрутах. Досягнення поставленої мети здійснено шляхом проведення порівняльного аналізу експлуатаційних показників роботи поїздодільниць у різні періоди перевезень на основних маршрутах, що ведуть до найбільших морських портів України та проведення розрахунків кластерограми взаємозв'язку відсотку т-км брутто в пасажирському русі від загальних перевезень вибраних дільниць, що

досліджуються, до загальної тривалості руху поїздопотоків за маршрутами.

**Основна частина дослідження.** Для проведення дослідження стабільності руху поїздопотоків у роботі запропоновано проаналізувати основні маршрути руху на полігоні регіональної філії «Одеська залізниця» АТ «Укрзалізниця». Граф полігону мережі наведено на рис. 1. Даний полігон в піковий період навантаження є критичним елементом на маршрутах руху всіх вагонопотоків, що прямують до портів «Великої Одеси». Для аналізу використані дані з довідки форми ЦО-4АР. Звіт про роботу та показники використання рухомого складу Розділ 3. Показники використання рухомого складу по поїздодільницям і напрямкам. Для виявлення коливань показників руху поїздопотоків та зміни експлуатаційної ситуації на полігоні запропоновано порівняти експлуатаційні показники за період I-III та IV кварталів за 2019 та 2020 рр. Четвертий квартал

характеризує піковий період навантаження та дозволяє виявити фактори, що впливають на стабільність руху поїздопотоків в умовах перевантаження мережі, що виникало у IV кварталі 2019 р. Важливим є порівняльний аналіз змін експлуатаційної роботи у 2019 р., який є піковим для перевезень вантажів [17] та 2020 р., впродовж якого було введено карантинні обмежувальні заходи з відміною пасажирського руху поїздів на мережі АТ «Укрзалізниця» [18]. В історичній ретроспективі це була унікальна ситуація для залізничної системи України, що потребує аналізу. В межах дослідження запропоновано проаналізувати рух поїздопотоків за маршрутами до морських портів Південний (залізнична станція Берегова) та Чорноморськ (станція Чорноморськ-Порт). На графі полігона (рис. 1) наведено маршрути чотирьох поїздопотоків призначенням до даних морських портів.



Рис. 1. Граф полігона мережі регіональної філії «Одеська залізниця» АТ «Укрзалізниця» та маршрути руху поїздопотоків

На першому етапі дослідження запропоновано проаналізувати зміну вибраних щодобових показників на маршрутах – щільність на поїздодільниці (щільність руху на 1 км, тонн); середньодобову швидкість поїздів (км/год); кількість вантажних поїздів, що проїхали (поїзд). Згідно з даними, отриманими з довідки форми ЦО-4АР, запропоновано послідовно зібрати за поїздодільницями експлуатаційні показники та порівняти їх. На рис. 2 та 3 наведено порівняльні діаграми експлуатаційних показників роботи поїздодільниць у непарному напрямку на маршруті Помічна – Подільськ – Чорноморськ-Порт ( $\mu_1$ ) за періоди I-III та IV кварталів 2019 та 2020 рр. Даний маршрут  $\mu_1$  можна розкласти на обмежувальну частину Помічна – Подільськ та головний хід – маршрут  $\mu_4$  Подільськ – Чорноморськ-Порт.

Порівняльний аналіз показників у I-III та IV кварталах 2019 р. частини дільниці

Помічна – Бешкетове – Побережжя свідчить про зміну навантаження поїздодільниць даної частини маршруту з меншим значенням густини руху на кілометр колії у піковий період навантаження. Можна припустити, що причиною такої ситуації могло бути перевантаження даної дільниці великою кількістю кинутих поїздів та корегування плану формування поїздів для перенаправлення магістральних локомотивів на основні магістральні лінії Подільськ – Чорноморськ-Порт та Помічна – Колосівка – Чорноморська, на яких в цей період значно зростала інтенсивність поїздопотоків. За статистичними даними з 1.09.2019 по 31.01.2020 р. на станції Помошна було кинуте 57 поїздів із середнім простоем 23,5 год; на станції Бандурка – 8 поїздів з середнім простоем 58,9 год; на станціях дільниці Підгородна – Обхідна – 97 поїздів з середнім простоем 261,2 год; Побережжя – 11 поїздів з середнім простоем 23,9 год; на станції Подільськ – 669 поїздів з середнім простоем 49,5 год.

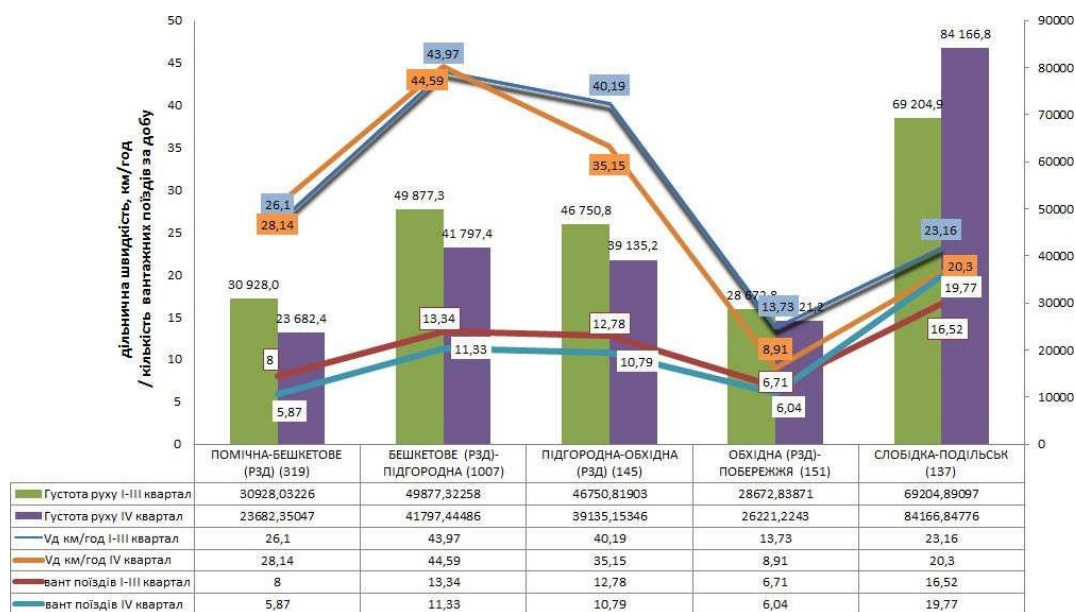


Рис. 2. Діаграма експлуатаційних показників роботи поїздодільниць у непарному напрямку на маршруті Помічна – Подільськ призначенням Чорноморськ-Порт ( $\mu_1$ ) за періоди I-III та IV кварталів 2019 р.

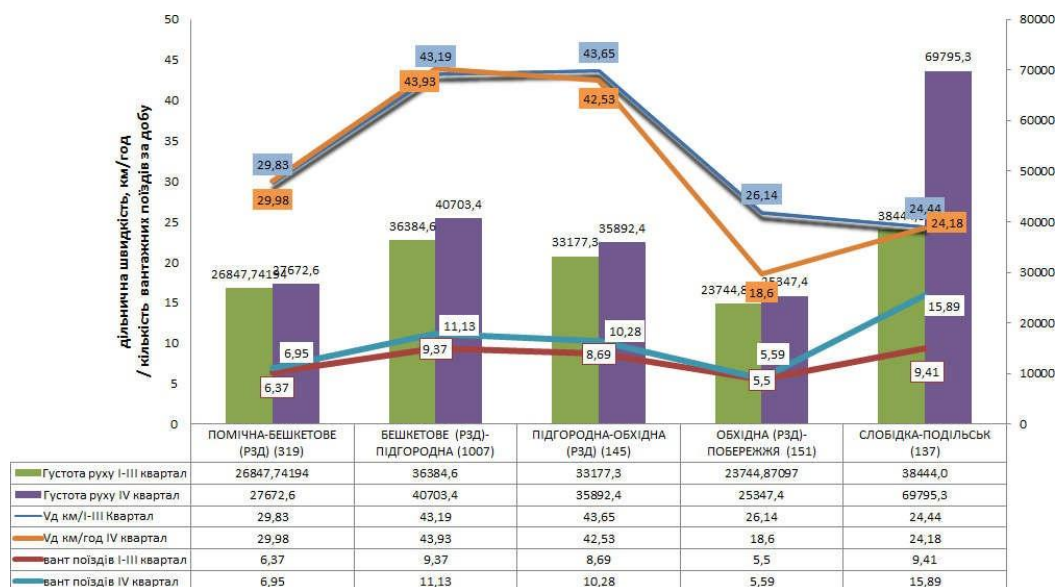


Рис. 3. Діаграма експлуатаційних показників роботи поїздодільниць у непарному напрямку на маршруті Помічна – Подільськ призначенням Чорноморськ-Порт ( $\mu_1$ ) за періоди I-III та IV кварталів 2020 р.

У 2020 р. обсяги перевезень вантажів були меншими, ніж у 2019 р., крім того були відсутні затори, що утворювались з кинутих поїздів, а тому розрив між величинами щільності руху на поїздодільницях у I-III та IV кварталах були меншими, а у IV кварталі дана лінія використовувалась більш інтенсивно. У 2019 р. розрив складав 28,45 % від середнього найбільшого значення густини, тоді як у 2020 р. – 9,53 %. Відповідно середня дільнична швидкість була більша у 2020 р., а тривалість руху на частині маршруту у піковий період навантаження (IV квартал) складала 5,94 год при 7,2 год у аналогічний період 2019 р.

Пояснити збільшення щільності руху на 1 км поїздодільниць у IV кварталі 2020 р. можна зміною плану формування поїздів та тарифних відстаней, що спричинило перенаправлення вагонопотоків з полігонів навантаження регіональних філій «Південна залізниця» та «Придніпровська залізниця» через Подільськ призначенням на станцію Чорноморськ-Порт. У 2020 р. в пікових умовах перевезень на дільниці Підгородна – Обхідна було відсутнє падіння дільничної швидкості з причини відсутності кинутих

поїздів на лінії. Збільшилась дільнична швидкість на короткій дільниці Обхідна – Побережжя, що передує станції Подільськ. Це пояснюється значно меншими проблемами з відмовою у прийманні поїздів з причини відсутності вільних колій по станції Подільськ у 2020 р.

Друга частина маршруту  $\mu_1$  співпадає з маршрутом  $\mu_4$  Подільськ – Чорноморськ-Порт. Діаграми порівняльного аналізу експлуатаційних показників роботи поїздодільниць у непарному напрямку на маршруті  $\mu_4$  за періоди I-III та IV кварталів 2019 та 2020 рр. наведено відповідно на рис. 4 та 5.

Вже на основному шляху слідування поїздопотоків з напрямку станції Жмеринка регіональної філії «Південно-Західна залізниця» величина щільності руху на поїздодільницях збільшується у IV кварталі. Порівняльний аналіз зміни середньої дільничної швидкості на поїздодільницях за різні періоди та роки (рис. 4 та 5) свідчить про стійку взаємозалежність – у піковий період перевезень при збільшенні кількості вантажних поїздів дільнична швидкість поїздодільниць зменшується. Дільницю, на



маршруті якої за напрямком руху поїздопоток знижується дільнична швидкість, а на наступній – даний показник зростає, можна вважати обмежуючим елементом, робота якого впливає на стабільність руху поїздопоток. На маршруті  $\mu_4$  таким елементом є поїздодільниця Мигаєве – Роздільна I, що має довжину 16 км. На даній дільниці

знаходиться сортувальна станція Роздільна-Сорт, що ускладнює роботу даної дільниці. За статистичними даними з 1.09.2019 по 31.01.2020 р. на станції Мигаєве було кинуте 67 поїздів із середнім простоем 114,8 год; на станції Роздільна-Сорт – 532 вантажних поїзди з середнім простоем 112,01 год; на станції Роздільна I – 60 поїздів з середнім простоем 207,9 год.

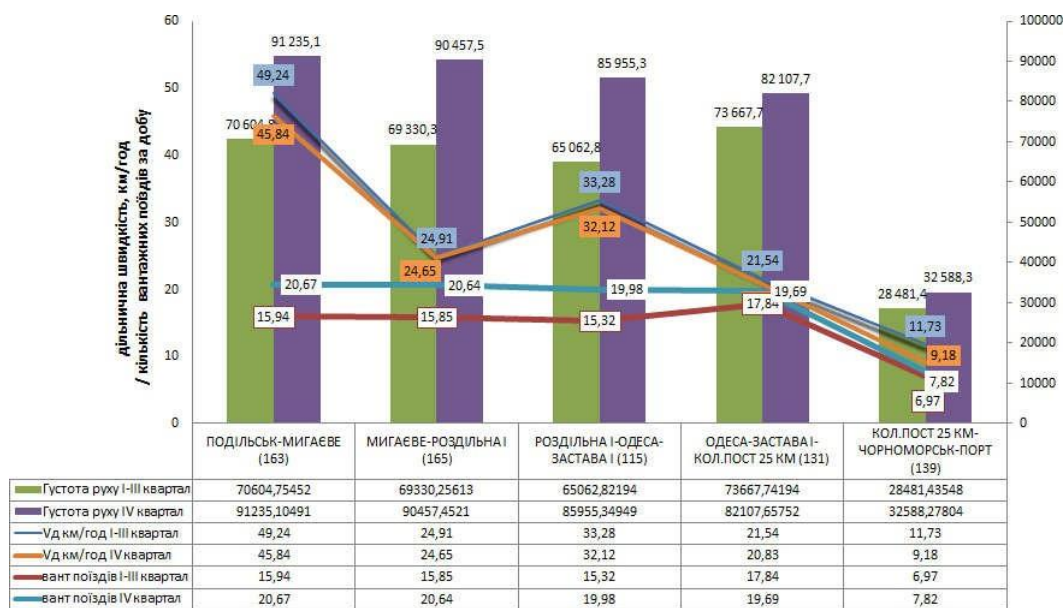


Рис. 4. Діаграма експлуатаційних показників роботи поїздодільниць у непарному напрямку на маршруті Подільськ – Чорноморськ-Порт ( $\mu_4$ ) за періоди I-III та IV кварталів 2019 р.

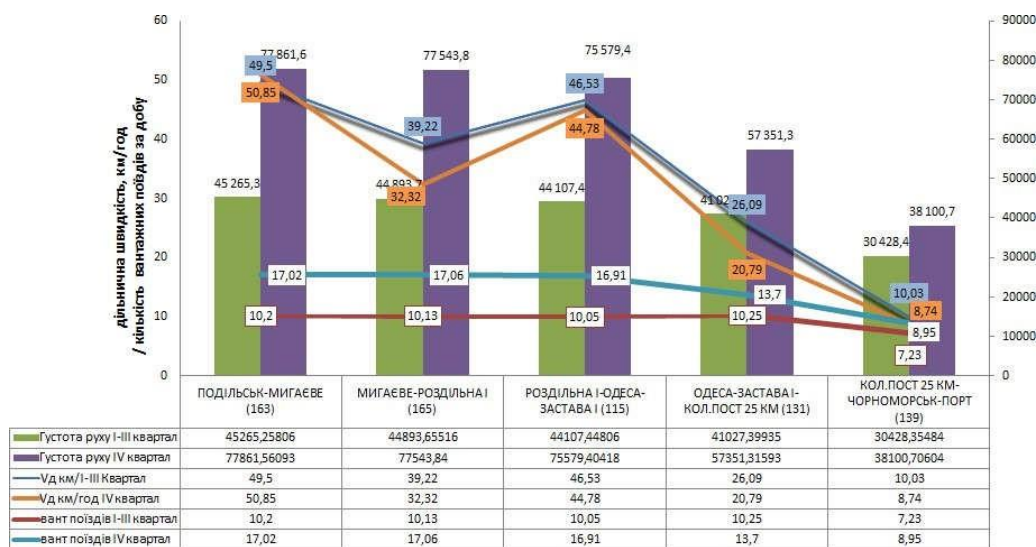


Рис. 5. Діаграма експлуатаційних показників роботи поїздодільниць у непарному напрямку на маршруті Подільськ – Чорноморськ-Порт ( $\mu_4$ ) за періоди I-III та IV кварталів 2020 р.

Аналіз стабільності руху поїздопотоку на маршруті Помічна – Берегова ( $\mu_2$ ) свідчить, що спостерігається класична закономірність залежності дільничної швидкості від щільності руху та інтенсивності руху. Порівняльний аналіз

експлуатаційних показників роботи поїздодільниць у непарному напрямку на маршруті Помічна – Берегова ( $\mu_2$ ) за періоди I-III та IV кварталів 2019 та 2020 рр. наведено на рис. 6 та 7.

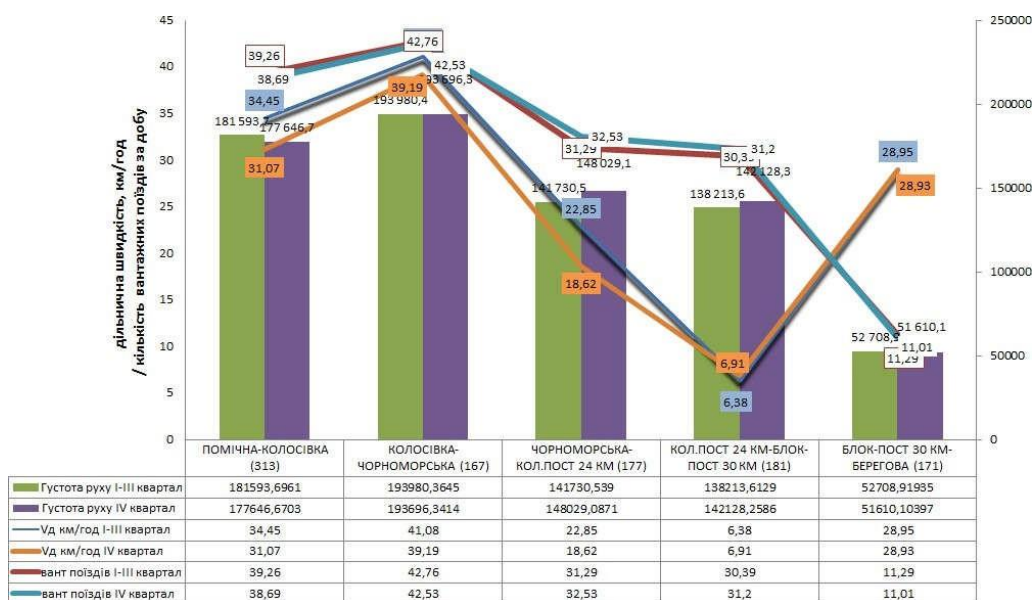


Рис. 6. Діаграма експлуатаційних показників роботи поїздодільниць у непарному напрямку на маршруті Помічна – Берегова ( $\mu_2$ ) за періоди I-III та IV кварталів 2019 р.



Рис. 7. Діаграма експлуатаційних показників роботи поїздодільниць у непарному напрямку на маршруті Помічна – Берегова ( $\mu_2$ ) за періоди I-III та IV кварталів 2020 р.



В піковий період дільнична швидкість зменшується, але значного збільшення у 2019 р. не спостерігається. Поїздопотік на даному маршруті характеризується найбільшою інтенсивністю руху з всіх маршрутів, що досліджуються в даній роботі. На одноколіній з двоколійними вставками дільниці Помічна – Колосівка інтенсивність досягає 42,95 поїздів за добу у піковий період 2020 р. Дана дільниця є однією з найбільш завантажених на полігоні регіональної філії «Одеська залізниця».

За обома роками, що досліджуються, спостерігається зменшення щільності руху на поїздодільницях маршруту у IV кварталі, що можна пояснити більш інтенсивною роботою з перевезення вантажів в першому півріччі, зокрема з причини вивозу рекордного врожаю, що був зібраний у 2019 р. У 2020 р. врожайність була значно нижчою, що не спричинило значного навантаження на мережу.

Маршрут Помічна – Чорноморськ-Порт ( $\mu_3$ ) частково співпадає з маршрутом Помічна – Берегова ( $\mu_2$ ) (рис. 1). Після станції Чорноморська інтенсивність поїздопотоку значно зменшується.

Швидкість поїздопотоку на дільницях невисока, а загальна тривалість руху на маршруті тримається близько 9 годин у різні періоди перевезень. Повільність руху можна пояснити проходженням через Одеський залізничний вузол, де зустрічаються дві сортувальні станції, зокрема Одеса-Сортувальна та Одеса-Застава I з подальшим прослідкуванням через одноколійну дільницю з двоколійними вставками – Одеса-Застава I – колійний пост 25 км.

На маршруті найбільш критично змінюється величина дільничної швидкості на дільницях Одеса-Сортувальна-Одеса-Пересип та Одеса-Застава II-Одеса-Застава I. Спостерігається ситуація, коли щільність руху у піковий період навантаження знижується у порівнянні з I-III кварталом у 2019 та 2020 р. Протилежна ситуація лише на дільниці Одеса-Застава I – колійний пост 25 км. Це пояснюється входженням на дану дільницю поїздопотоку з напрямку Подільська, що слідують за маршрутами  $\mu_1$  та  $\mu_4$ .

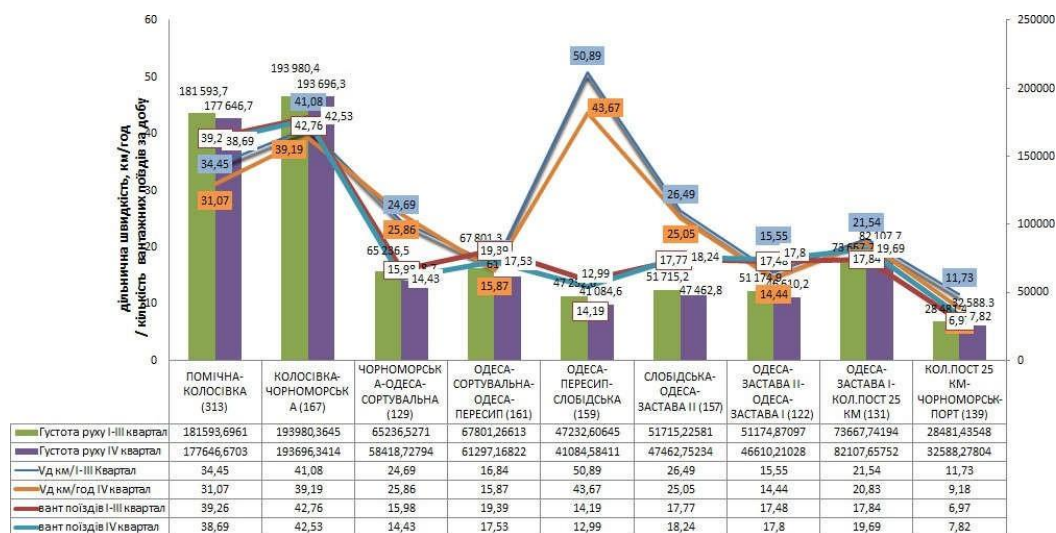


Рис. 8. Діаграма експлуатаційних показників роботи поїздодільниць у непарному напрямку на маршруті Помічна – Чорноморськ-Порт ( $\mu_3$ ) за періоди I-III та IV кварталів 2019 р.

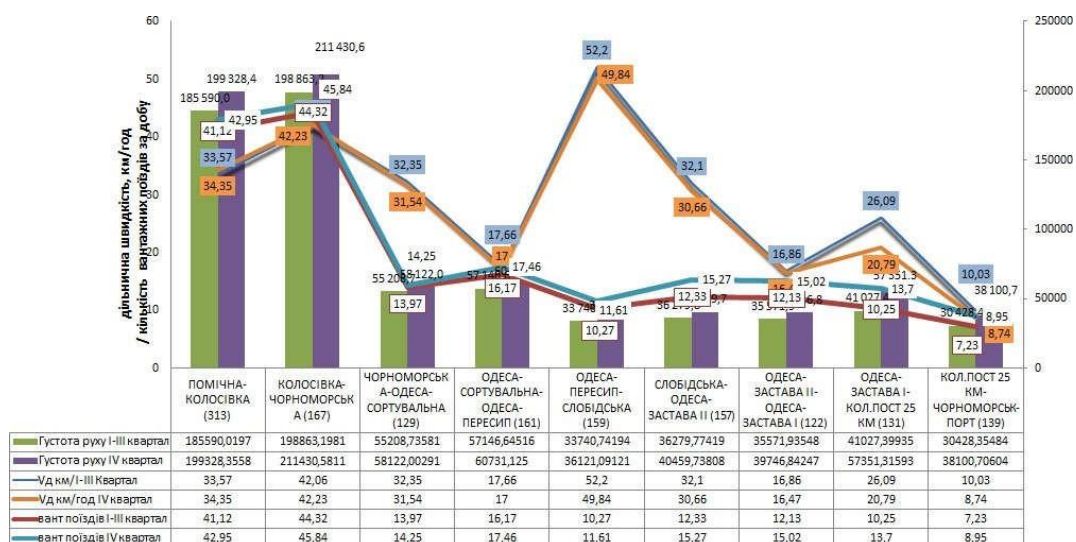


Рис. 9. Діаграма експлуатаційних показників роботи поїздодільниць у непарному напрямку на маршруті Помічна – Чорноморськ-Порт ( $\mu_3$ ) за періоди I-III та IV кварталів 2020 р.

На другому етапі дослідження запропоновано дослідити вплив експлуатаційних параметрів на загальну тривалість слідування на маршрутах, що досліджуються. Діаграма загальної тривалості руху поїздів за кожним з маршрутів наведена на рис. 10.

Запропоновано на кожному з маршрутів визначити дільницю, яка характеризує експлуатаційні умови зміни стабільності руху поїздопотоків за досліджувальними маршрутами. Для маршруту Помічна – Подільськ – Чорноморськ-Порт ( $\mu_1$ ) прийнята дільниця Підгородна – Обхідна; для маршруту Помічна – Берегова ( $\mu_2$ ) – Помічна-Колосівка; для маршруту Помічна – Чорноморськ-Порт ( $\mu_3$ ) – Колосівка-Чорноморська; для маршруту Подільськ – Чорноморськ-Порт ( $\mu_4$ ) – Подільськ – Мигаєве. Дільниці вибирались за критерієм більшої довжини з причини кращої реакції експлуатаційних показників на зміну умов експлуатації та їх положення на маршруті для якіснішого відображення характеристик руху поїздопотоку на маршрутах.

На коротких за довжиною дільницях неможливо дослідити зміну експлуатаційних показників та їх вплив на загальну тривалість руху за маршрутами. Дані дільниці є короткими за відстанню, найчастіше вміщують лише декілька блоків дільниць та передують великим станціям або є розв'язками, де умови руху не дозволяють поїзду їхати з встановленою швидкістю, що призводить до низьких показників дільничної швидкості, яка більше залежить від експлуатаційних умов власне станції або руху у вузлі. Наприклад, станція просто може не приймати поїзди з причини зайнятості колій приймання, що спричинить в деякий період значне зменшення дільничної швидкості на поїздодільниці, що їй передує.

Враховуючи наявність особливостей експлуатаційних умов у 2020 р., коли був відмінений та зменшений до мінімальних обсягів пасажирський рух на полігоні, в роботі запропоновано чисельно дослідити вплив пасажирського руху на стабільність руху вантажних поїздопотоків.

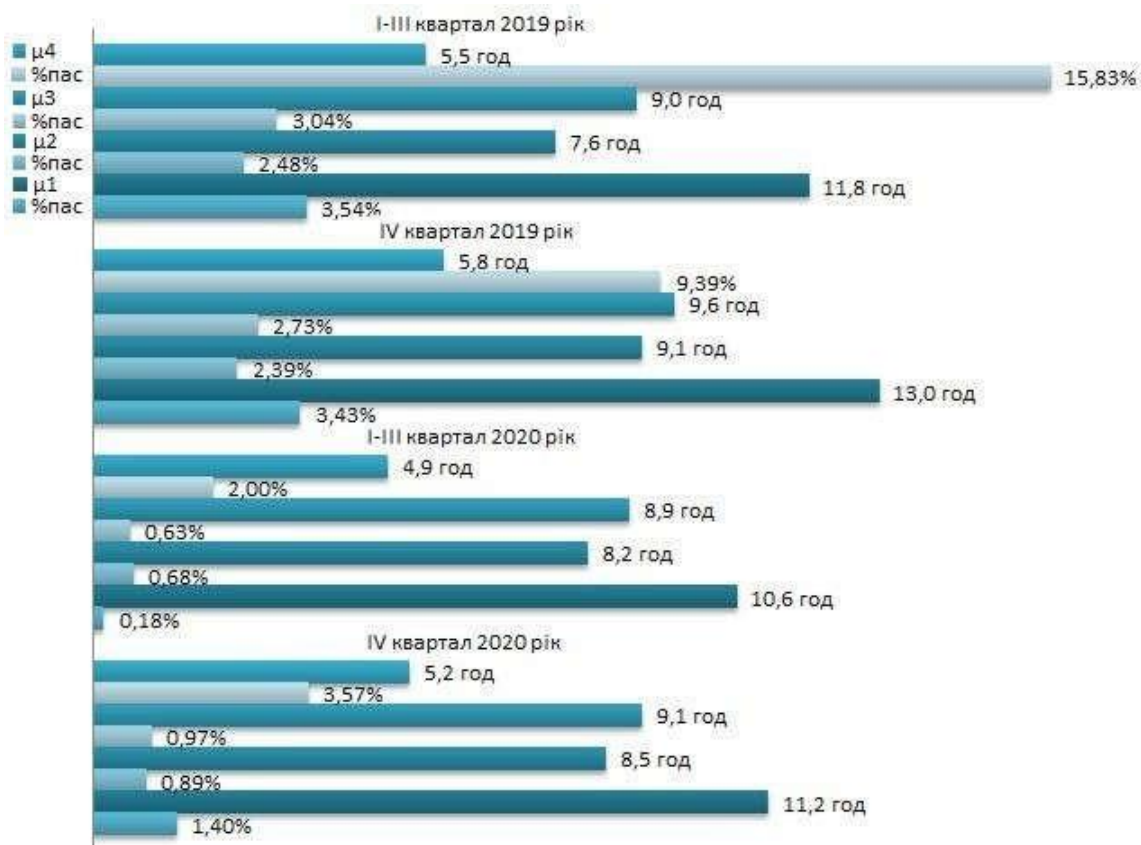


Рис. 10. Діаграма тривалості руху поїздопотоків та відсотку т-км брутто в пасажирському русі від загальних перевезень за маршрутами в період I-III та IV кварталів 2019 та 2020 рр.

Для виявлення впливу відсоткової частки т-км брутто в пасажирському русі від всіх поїздів на дільниці на загальну тривалість на маршруті запропоновано провести кореляційний аналіз з побудовою кластерної дендограми. Враховуючи, що аналізовані змінні (впливаючі та залежні) вимірюються в шкалах відношень для перевірки гіпотез про наявність зв'язків між змінними доцільно застосувати метод кореляційного аналізу. Перевагою параметричного методу кореляції Пірсона є його простота та швидкість встановлення тісноти лінійних зв'язків, чого достатньо на першому етапі даних досліджень. На рис. 11 наведено дендроподібну кластерограму ієрархічного взаємозв'язку відсоткової частки т-км брутто в пасажирському русі від всіх поїздів на вибраних дільницях на загальну тривалість руху на маршрутах.

Для побудови кореляційної матриці виконано розрахунок кореляційних коефіцієнтів Пірсона [18]. Перевірку значущості відмінності коефіцієнтів кореляції від нуля виконано за допомогою критерію Стьюдента – нульова гіпотеза відкинута. Встановлені кореляції достовірні при  $p < 0,05$ . Побудова кластерограми виконана в середовищі Matlab із застосуванням методу зв'язування 'average'. Виходячи з встановленої шкали загальної класифікації кореляційних зв'язків за «таблицею Чеддока» [18], дуже сильний ( $0,9 > r > 0,99$ ), сильний ( $0,7 > r > 0,89$ ) та значний ( $0,50 < r < 0,69$ ) зв'язок впливу величини пасажирського руху на загальну тривалість на маршруті мають дільниці на маршрутах Подільськ – Чорноморськ-Порт ( $\mu_4$ ) та Помічна – Подільськ – Чорноморськ-Порт ( $\mu_1$ ).

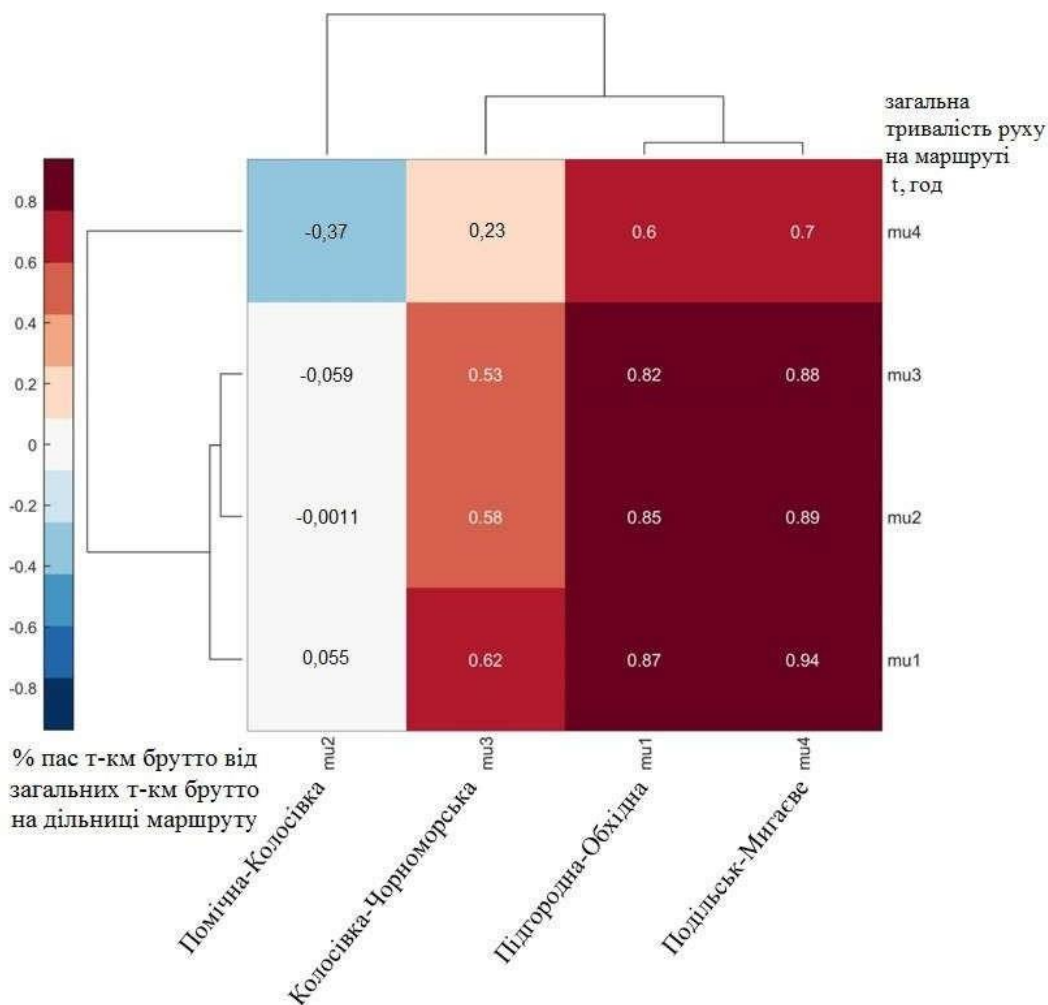


Рис. 10. Кластерограма взаємозв'язку відсотку т-км бруто в пасажирському русі від загальних перевезень вибраних ділянок на маршрутах, що досліджуються до загальної тривалості руху поїздопотоків за маршрутами в період I-III та IV кварталів 2019 та 2020 р.

Зв'язок впливу пасажирського руху на ділянці Колосівка-Чорноморська на тривалість руху на маршрутах  $\mu_1$ ,  $\mu_2$  та  $\mu_3$  є значним ( $0,50 < r < 0,69$ ). Пояснити можна й слабку кореляцію ( $r=0,23$ ) між пасажирським рухом на ділянці Колосівка-Чорноморська на маршруті  $\mu_3$  з тривалістю руху вантажного поїздопотоку на маршруті Подільськ – Чорноморськ-Порт ( $\mu_4$ ) – географічно дані маршрути роз'єднані і сходяться лише в одеському вузлі, де маршрути пасажирських поїздів заходять до станції Одеса-Головна, а маршрут вантажних відхиляється від головного ходу по станції Одеса-Застава I. Зворотній зв'язок – вплив пасажирського руху на

маршруті Подільськ – Чорноморськ-Порт ( $\mu_4$ ) на загальну тривалість руху вантажних поїздів на маршруті Помічна – Чорноморськ-Порт ( $\mu_3$ ) характеризується як сильний (0,88). Це пояснюється перетином даних потоків по станції Одеса-Застава I, де виникає ворожість маршрутів та зменшується пропускна спроможність.

Взаємозалежність величини пасажирського руху на маршруті можна охарактеризувати як слабкий ( $0,1 < r < 0,29$ ) та відсутній лише на маршруті Помічна – Берегова ( $\mu_2$ ). Цікаво, що від'ємна кореляція між маршрутами  $\mu_2$  та  $\mu_4$  (коефіцієнт кореляції складає -0,37), що характеризує взаємозалежність, яку можна описати так:

при підвищенні інтенсивності пасажирського руху на дільниці Помічна-Колосівка маршруту  $\mu_2$  зменшується тривалість руху вантажного поїздопотоків на маршруті Подільськ – Чорноморськ-Порт ( $\mu_4$ ). Хоч зв'язок і класифікується як помірний ( $0,30 < r < 0,49$ ), але можна припустити, що при збільшенні пасажирського руху на дільниці Помічна-Колосівка частина пасажирського потоку поїздів не проїде по дільницям маршруту  $\mu_4$ , що підвищить дільничну швидкість, і як наслідок, скоротить загальну тривалість руху вантажних поїздів на маршруті. Однак, такі припущення слід перевірити додатковими даними інших років, які поки відсутні. В піковий період (IV квартал) 2020 р. відсоток т-км брутто пасажирського руху від загальних перевезень на дільниці Помічна-Колосівка ( $\mu_2$ ) складав лише 0,89 %. Тоді як на маршруті Подільськ – Чорноморськ-Порт ( $\mu_4$ ) в аналогічний період – 3,57 %.

**Висновки.** Результати аналізу стабільності руху поїздопотоків на перевантаженому залізничному полігоні регіональної філії «Одеська залізниця» вперше чисельно дозволили оцінити взаємозалежність впливу пасажирського руху на дільницях на загальну тривалість руху вантажних поїздів на основних

маршрутах, що ведуть в морські порти. Кореляційний аналіз показує, що за майже всіма основними маршрутами, що запропоновано дослідити в даній роботі, вплив пасажирського руху є високим або середнім за таблицею Чеддока. Виявлено значний вплив на стабільність руху поїздопотоків знаходження технічних станцій на поїздодільницях. Запропонована методика макроаналізу з використанням побудови кластерограми взаємозв'язку дозволяє в подальших дослідженнях вивчити вплив інтенсивності та щільності руху поїздів, зокрема кількості кинутих вантажних поїздів на станціях полігону на стабільність руху вантажних поїздопотоків. Збільшення частки маршрутних відправлень у 2019 р. та робота з подовження пліч обслуговування у 2020 р. дозволили зменшити розрив загальної тривалості руху поїздів на маршрутах до допустимих значень. Отже, запровадження технологій перевезень, що дозволяють поєднати вагонні і групові відправки в межах маршрутних поїздів, зокрема організація вагонопотоків у ступеневі маршрути за принципом райдшерингу, є важливим напрямом підвищення стабільності руху поїздопотоків в піковий сезон навантаження.

### Список використаних джерел

1. Причиной введения масштабных ограничений грузоперевозок по ЮЗЖД называют дефицит тяги и локомотивных бригад. Центр транспортних стратегий: веб сайт. URL: [https://cfts.org.ua/news/2019/09/11/prichinoy\\_vvedeniya\\_masshtabnykh\\_ogranicheniy\\_gruzoperevozok\\_po\\_yuzzhd\\_nazyvayut\\_defitsit\\_tyagi\\_i\\_lokomotivnykh\\_brigad\\_55192](https://cfts.org.ua/news/2019/09/11/prichinoy_vvedeniya_masshtabnykh_ogranicheniy_gruzoperevozok_po_yuzzhd_nazyvayut_defitsit_tyagi_i_lokomotivnykh_brigad_55192) (дата звернення 24.12.2021).
2. Кількість покинутих поїздів на мережі Укрзалізниці зросла майже вдвічі. Rail.insider. URL: <https://www.railinsider.com.ua/kilkist-pokynutyh-poyizdiv-na-merezhi-ukrzaliznyczy-zroslo-majzhe-vdvichi/> (дата звернення 22.12.2021).
3. Прохорченко А. В., Кравченко М. А., Гурін Д. О. Дослідження впливу технології перевезень вантажів за розкладом руху на макропоказники залізничної системи України. *Зб. наук. праць ДУІТ. Сер. Транспортні системи і технології*. 2020. № 36. С. 184–198. URL: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2020-36-19>.
4. Сухорукова Т. Г., Александрова Е. Ю. Анализ показателей качества использования подвижного состава АО «Украинская железная дорога» и оценка их влияния на работу компании. *Вісник економіки транспорту та промисловості*. 2019. № 68. С. 116–125.



5. Зубков В. Н., Камышова Ю. И. Причинно-следственный анализ факторов невыполнения участковой скорости и меры по ее повышению. *Инженерный вестник Дона*. 2015. № 2, Ч. 2. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/2879>.
6. Солоп И. А., Солоп В. А. Основные причины потерь участковой скорости. *Научный взгляд в будущее*. 2016. Т. 1, № 4. С. 15–18.
7. Прохорченко А. В., Огієнко В. А. Аналіз методів розрахунку пропускної спроможності залізничних дільниць. *Зб. наук. праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2014. № 150. С. 66–73. URL: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.150.2014.67427>.
8. Lai, Y.-C.(R)., Liu, Y.-H., Lin, T.-Y. The Development of Base Train Equivalents to Standardize Trains for Capacity Analysis. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2012. Vol. 2289, № 1. P. 119–125.
9. Мугинштейн Л. А., Мехедов М. И. Методические подходы к выявлению факторов, влияющих на стабильность пропуска поездопотоков. *Вестник ВНИИЖТ*. 2014. № 2. С. 24–32.
10. Abril M., Barber F., Ingolotti L., Salido M.A., Tormos P., Lova A. An assessment of railway capacity. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2008. Vol. 44, № 5. P. 774–806.
11. Luethi M., Nash A., Weidmann U., Laube F., Wuest R. Other Conference Item. Increasing railway capacity and reliability through integrated real-time rescheduling. *Proceedings of the 11th World Conference on Transport Research Berkeley, USA, June 24–28, 2007. Zurich, 2007*.
12. Valentinoviča LSivilevičiusb., H. Roads and Railways. Railway line capacity methods analysis and their application in «Lithuanian Railways» justification. Vilnius, Lithuania 22–23 May 2014. Vilnius, 2014. P. 1–10.
13. Lindfeldt Anders. Railway capacity analysis. Methods for simulation and evaluation of timetables, delays and infrastructure. Doctoral Thesis in Infrastructure 15:002. Stockholm, 2015. 67 p.
14. Bevrani B., Burdett R., Yarlagadda K.D.V. Prasad. A sensitivity analysis of train speed and its effect on railway capacity. *Advanced Materials Research*. 2015. Vol. 1061–1062. P. 1208–1212.
15. Widyastuti H., Budhi W. S. Railway capacity analysis using Indonesian method and UIC code 405 method. *IOP Conference Series. Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 930, № 1. P. 1–10.
16. Hamed Pouryousef, Pasi Lautala, Thomas White. Railroad capacity tools and methodologies in the U.S. and Europe. *Journal of Modern Transportation*. 2015. № 32. P. 30–42.
17. УЗА: 2019/2020 зерновий маркетинговий рік встановив кілька рекордів в Україні. Офіційний сайт Української зернової асоціації. URL: <https://uga.ua/news/uz-2019-2020-zernovij-marketingovij-rik-vstanoviv-kilka-rekordiv-v-ukrayini/#undefined> (дата звернення 25.12.2021).
18. УЗ скасувала низку поїздів в областях «червоної» зони. Офіційний сайт видання Слово і Діло. URL: <https://www.slovoidilo.ua/2021/03/10/novyna/suspilstvo/uz-skasuvava-ryad-royizdiv-oblastyax-chervonoyi-zony> (дата звернення 25.12.2021).
19. Spanos Aris Probability Theory and Statistical Inference: Econometric Modeling with Observational Data. University of Cyprus. 1999. 844 p.

---

Кравченко Михайло Анатолійович, аспірант кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0001-7445-8952. Тел.: +38 (057) 730-10-88. E-mail: m.kravchenkourf@gmail.com

Стебницька Єлизавета Михайлівна, магістр за освітньо-науковою програмою «Організація перевезень і управління на транспорті (залізничний транспорт)», кафедра управління експлуатаційною роботою

---

Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0003-3719-3769. Тел.: +38 (057) 730-10-88. E-mail: estebnitskaya@gmail.com

Прохорченко Андрій Володимирович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0003-3123-5024. Тел.: +38 (066) 635-76-01. E-mail: prokhorchenko@kart.edu.ua

Киман Андрій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент кафедри управління вантажною та комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0002-4000-3287. Тел.: +38 (057) 730-10-75. E-mail: uermp@kart.edu.ua

Кірієнков Артем Євгенович, магістр за освітньо-науковою програмою «Організація перевезень і управління на транспорті (залізничний транспорт)», кафедра управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0003-3731-3409. Тел.: +38 (057) 730-10-88. E-mail: akirienkov999@gmail.com.

Kravchenko Mykhailo Anatoliyovych, graduate student of the Department of Operational Management of the Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0001-7445-8952. Тел.: +38 (057) 730-10-88. Email: m.kravchenkourf@gmail.com

Stebnytska Elizaveta Mykhailivna, Master of Educational and Scientific Program "Organization of Transportation and Management of Transport (Railway Transport)", Department of Operational Management of the Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0003-3719-3769. Тел.: +38 (057) 730-10-88. Email: estebnitskaya@gmail.com

Prokhorchenko Andrii Vladimirovich, Dr. Tech. Sciences, Professor, Professor of the Department of Operational Management of the Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0003-3123-5024. Тел.: +38 (66) 635-76-01. Email: prokhorchenko@kart.edu.ua

Kimani Andrii Mykolayovych, Cand. tech. Sciences, Associate Professor of Freight and Commercial Management of the Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0002-4000-3287. Тел.: +38 (057) 730-10-75. Email: uermp@kart.edu.ua

Kirienkov Artem Yevhenovych, Master of Educational and Scientific Program "Organization of Transportation and Management of Transport (Railway Transport)", Department of Operational Management of the Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0003-3731-3409. Тел.: +38 (057) 730-10-88. Email: akirienkov999@gmail.com. Статтю прийнято 12.11.2021 р.

Статтю прийнято 22.03.2022 р.