

УДК 656.2

*Прохорченко Андрій, д.т.н.
(професор кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту),
Кравченко Михайло,
(аспірант кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту),
Гурін Дмитро,
(аспірант кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту)*

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ ЗА РОЗКЛАДОМ РУХУ НА МАКРОПОКАЗНИКИ ЗАЛІЗНИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ

У статті досліджено вплив технології перевезень вантажів на особливих умовах за розкладом руху маршрутних поїздів на кількісні та якісні показники експлуатаційної роботи залізничної системи України. Проведені розрахунки складових обороту вантажного вагона. Виконано моделювання за аналітичним підходом зміни обороту вантажного вагона при збільшенні долі перевезень вантажів за договорами на особливих умовах. Виявлений вплив технології перевезень за розкладом руху на скорочення найбільш значного елементу в обороті вагона – простою вагона під вантажними операціями.

Ключові слова: залізниця, експлуатаційна робота, розклад руху маршрутних поїздів, оборот вантажного вагона.

Вступ. В умовах розвитку автошляхів, технічного вдосконалення автомобільного та річкового транспорту останніми роками залізничний транспорт України втрачає свої конкурентні позиції на ринку вантажних перевезень. Одним із напрямів підвищення ефективності роботи залізничного транспорту, і як наслідок, зменшення собівартості перевезень є впровадження технологій перевезень на основі підвищення точності руху поїздопотоків. Залізнична система України належить до залізниць зі змішаним рухом пасажирських і вантажних поїздів з дотриманням розкладу руху тільки пасажирських поїздів. Вантажний рух, що значно переважає в системі, здійснюється без дотримання розкладу руху. По суті, реалізується так звана модель «відправлення за готовністю». Така технологія призводить до значної невизначеності перевізного процесу, що веде до збільшення перевізних ресурсів та неможливості прогнозування термінів доставки вантажів, що негативно впливає на рівень конкурентоспроможності залізничної логістики. У 2019 році для зменшення дефіциту локомотивів та збільшення доходів на залізниці України вперше масово запровадили перевезення вантажів за договорами на особливих умовах – за розкладом руху маршрутних поїздів (РРМП). Реалізація перевезень за РРМП співпала з піковим періодом перевезень, що спричинило дискусії щодо впливу перевезень за РРМП на затори, що виникли в мережі. Крім того, Антимонопольний комітет України надав рекомендації для АТ «Укрзалізниця» від 28 травня 2020 р. № 26-рк щодо вжиття

DOI:10.32703/2617-9040-2020-36-19

Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології», 2020. Вип. 36

заходів, спрямованих на забезпечення рівних умов надання послуг з перевезення вантажів залізничним транспортом під час запровадження перевезень вантажів на особливих умовах – за розкладом руху маршрутних поїздів, які можуть призвести до ущемлення інтересів інших суб'єктів господарювання [1]. Дані рекомендації поставили під сумнів ефективність технології перевезень за розкладом, однак достатні теоретичні обґрунтування впливу зміни технології перевезень на експлуатаційні показники залізничної системи України відсутні. Враховуючи, що рух поїздів за РРМП є прототипом реалізації відкритого доступу до залізничної інфраструктури (процедури продажу нитки графіка), що передбачено Угодою про асоціацію між Україною та Європейським Союзом [2] актуальним є проведення наукових досліджень спрямованих на вивчення впливу технології перевезень вантажів за розкладом руху на макропоказники залізничної системи України, зокрема на поширення затримок в мережі.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Запровадження АТ “Укрзалізниця” перевезень вантажів за розкладом руху маршрутних поїздів відповідає концепції “точної залізниці” (англ., Precision Scheduled Railroading), яку впроваджують залізниці провідних країн світу, що схожі за українськими технологіями, зокрема Канади та США [3]. Трансформація операційної моделі вантажних залізниць Північної Америки ґрунтувалась на дослідженнях впливу підвищення точності планування на експлуатаційні та економічні показники залізничної системи. Одним із таких досліджень є робота [4], що присвячена вивченню взаємозв'язку між пропускною спроможністю лінії, гнучкості розкладу руху, рівнем обслуговування та часткою гнучких та регулярних поїздів, що курсують на залізничній лінії. Результати моделювання за допомогою спеціального програмного забезпечення дозволяють припустити, що введення більш структурованих графіків руху великих вантажних поїздів є ефективною альтернативою інвестиціям у додаткову інфраструктуру другої головної колії на одноколійній лінії, щоб отримати достатню пропускну спроможність для збільшення регулярного інтермодального руху на традиційних вантажних коридорах для масових вантажів.

У 2019 році вперше в історії залізниць України на мережі з листопада 2019 року щомісяця відправлялось від 450 до 550 ниток вантажних поїздів за РРМП. Крім того, в мережі зростає кількість контейнерних поїздів, що традиційно слідують за заздалегідь розробленими розкладами. Подібної практики масового запровадження більш надійних, швидких та точних перевезень вантажів в Україні не було. Однак, запровадження поодиноких спеціалізованих розкладів руху для технологічних маршрутів є усталеною практикою для залізниці України. Це спонукало проводити дослідження ефективності таких перевезень. В роботі [5] приділяється увага вивченню затримок поїздів по маршруту їх слідування за розкладом. За допомогою методів математичної статистики встановлені резерви часу які необхідно закладати в маршрут прямування вантажних поїздів, які слідують за розкладом. Отримані результати можуть бути використані для техніко-економічних розрахунків ефективності переходу промислових підприємств на обслуговування їх за розкладом, але все ж не можуть оцінити вплив таких поїздів на загальні експлуатаційні показники мережі. Дослідження [6] висвітлює питання організації роботи сортувальної станції в умовах дотримання розкладу відправлення вантажних поїздів. В результаті проведених досліджень умов роботи сортувальних станцій при відправленні поїздів за розкладом з використанням гнучких норм маси і довжини складів, встановлено, що гнучке управління поїздоутворенням дозволить скоротити міжопераційні простої, в тому числі простої составів в очікуванні відправлення на 60-80 %. Дане дослідження підтверджує ефективність використання розкладів руху, але ефективність доведена лише для підсистеми “станція-дільниця”. В роботі [7], що присвячена організації передавальних поїздів в розгалужених залізничних вузлах, експериментально проведено порівняння ефективності різних моделей організації передавальних поїздів: за «жорстким графіком», за накопиченням до норми составів та змішаного підходу за «гнучкою моделлю», яка поєднує відправлення за накопиченням до норми состава і «жорстким графіком» одночасно. Організація передавальних поїздів за «жорстким графіком» потребує організації додаткових поїздів, інакше суттєво зростає черга із вагонів у пунктах накопичення. При збільшенні добової кількості поїздів на 10–11 % процес формування та

відправлення стає достатньо надійним та ефективним. Отже, з отриманих результатів випливає, що підвищення точності руху поїздів може призводити до їх збільшення. Дана проблема обговорюється в роботі [3], однак для уникнення негативних наслідків пропонується використовувати спеціальні програмні продукти для інтегрованого планування составоутворення, що передбачають розрахунок раціонального часу та кількості вагонів навантаження згідно плану забирання вагонів та формування з них составів за нормою довжини і маси. Слід зазначити, що дана проблема більш характерна для вагонних відправок, і нівелюється при організації навантаження маршрутних відправок за чітко визначеними термінами (наприклад, за 24 години) до планового часу відправлення за розробленою ниткою графіка.

Одним із показників, який комплексно дозволяє оцінити вплив зміни операційних умов функціонування на ефективність перевізного процесу в залізничній системі, є якісний показник – середній оборот вантажного вагона [8]. Підтвердженням цього є дослідження в роботі [9], де зазначено, що якісні показники експлуатаційної роботи характеризують ефективність використання ресурсів і перспективність прийнятих управлінських рішень. Дослідженню обороту вагона присвячено досить багато робіт. В роботі [10] для визначення впливу всіх складових на оборот вагона використовується метод ланцюгових підстановок. Цей спосіб дає змогу визначити вплив окремих факторів на зміну величини результативного показника. Проведені дослідження доводять, що для зменшення обороту вагона необхідно першочергово зменшувати простій рухомого складу на технічних станціях та простій під вантажними операціями. В даному дослідженні не розглядалось для реалізації даних рекомендацій запровадження руху вантажних поїздів за розкладом. В роботах [11, 12] приділена увага обчисленню вагомості впливу якісних показників на продуктивність вагона та продуктивність локомотива. В роботі [13] досліджено вплив якісних показників використання вагонного парку на продуктивність вагона за 1991-2014 роки. Автори зазначають згубний вплив на функціонування залізничної системи збільшення обороту вагона.

Вище наведений аналіз досліджень доводить, що для багатьох залізничних систем світу підвищення точності руху поїздотоків стало ефективним заходом покращення продуктивності та зменшення перевізних ресурсів. Однак, присутність деякої відмінності залізничної системи України від інших потребує власних досліджень впливу технології перевезень вантажів за розкладом руху на макропоказники залізничної системи. Це дозволить виявити недоліки та переваги. Як зазначено вище, одним із макропоказників залізничної системи, аналіз якого дозволить проаналізувати ефективність підвищення точності перевезень вантажів, є оборот вантажного вагона. Отже, проведення досліджень впливу організації перевезення вантажів за договорами на особливих умовах – за розкладом руху маршрутних поїздів (РРМП) на складові обороту вагона є актуальним.

Мета і завдання дослідження. Мета дослідження полягає у теоретичному обґрунтуванні впливу технології перевезень вантажів за розкладом руху на макропоказники залізничної системи України. Досягнення поставленої мети здійснено шляхом проведення розрахунків складових обороту вантажного вагона, дослідження показників використання локомотивного парку та моделювання за аналітичним підходом зміни обороту вантажного вагона при збільшенні долі перевезень вантажів за договорами на особливих умовах.

Матеріали та методи дослідження. Одним із якісних показників, який комплексно характеризує операційну роботу залізничної системи, є показник “оборот вантажного вагона”. Для аналізу впливу технології перевезень вантажів за РРМП важливо проаналізувати динаміку зміни складових обороту вагона та виявити залежності. Показник оборот вагона можна розділити на три елементи, які характеризують експлуатаційну роботу залізничної системи:

час, що припадає на знаходження вагона у вантажних поїздах (на перегонах і проміжних станціях);

час, що припадає на знаходження вагона на технічних станціях (сортувальних або дільничних) на шляху руху;

час, що припадає на знаходження вагона на станціях навантаження (вивантаження). Схема обороту вантажного вагона наведена на рис. 1.

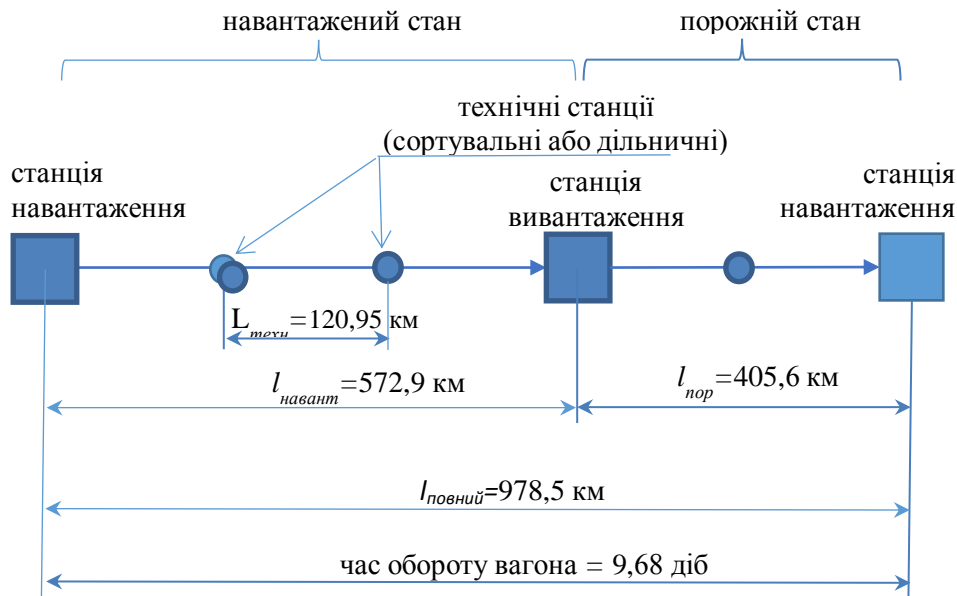


Рис. 1. Схема обороту вантажного вагона за 2019 рік

Формулу розрахунку обороту вагона можна представити в наступному вигляді

$$\mathcal{Q} = \frac{1}{24} \left(\frac{l_{вант}(1 + \alpha)}{V_{\partial}} + k_m \cdot t_{mex} + k_M \cdot t_{\varepsilon p} \right), \text{ діб} \quad (1)$$

де $l_{вант}$ – вантажний рейс вагона, км; α – процент порожнього пробігу до навантаженого, %; V_{∂} – середня дільнична швидкість, км/год; k_m – середня кількість технічних станцій, що проходить вагон за оборот; t_{mex} – простій вагонів на одній технічній станції, год; k_M – коефіцієнт місцевої роботи; $t_{\varepsilon p}$ – простій вагонів під однією вантажною операцією, год;

Запропоновано порівняти різні періоди функціонування залізничної системи

показники 2019 року з 2007 рік як передкризовий рік для економіки України в якому обсяги перевезень були одними з найбільших в залізничній мережі України за часів незалежності, з 2011-2018 роками;

показники 1-3 кварталів 2019 року з 4 кварталом цього ж року та груднем 2019 року для можливості деталізованого аналізувати впливу впровадження в системі перевезень за РРМП та впливу на оборот вагона.

Вихідні дані для проведення аналізу та розрахунків представлені у таблиці 1. Дані були зібрані з відкритих джерел та Довідників показників АТ Укрзалізниця, які щорічно публікує компанія.

Із загального аналізу кількісних та якісних показників від 2007 та періоду 2011–2018 років, що передують 2019 року, простежується стабільний тренд зниження кількісних показників в залізничній системі України, зокрема – робота вагонного парку в середньому на добу U (сума навантаження й приймання навантажених вагонів), зі змінним коливаннями за загальним трендом зростання обороту вагона \mathcal{Q} та простою на технічних станціях t_{mex} (див.

рис. 2). Слід враховувати, що репрезентативним періодом, який характеризує однакові умови функціонування залізничної системи у порівнянні з 2019 роком є 2015-2018 роки. Втрата частини мережі та зміна просторового напрямлення вагонопотоків. У 2019 робота вагонного парка знизилась порівняно з 2015 роком на 11,2 % або на 1667 вагонів, а з 2018 – на 3,7% або на 510 вагонів.

Таблиця 1. Експлуатаційні показники для визначення елементів обороту вагона

| Період | 2.7.Обіг вантажного вагона | 2.16. Вантажний рейс вагона (км) | 2.15. Процент порожнього пробігу до навантаженого % | 3.1. Середня дільнична швидкість (км/год) | 3.2. Середня технічна швидкість (км/год) | 2.13. Простий вагонів на одній технічній станції | 2.12. Простий вагонів під однією вантажною операцією | 2.1. Навантаження вагонів (середн. доб.) | 2.4 Вивантаження вагонів (середн. доб.) | 2.5. Робота (середн. доб.) |
|------------------|----------------------------|----------------------------------|---|---|--|--|--|--|---|----------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 2007 | 5,84 | 511,8 | 0,375 | 36,1 | 42,5 | 7,34 | 36,91 | 16812 | 18640 | 23010 |
| 2011 | 5,85 | 521,4 | 0,66 | 38,6 | 44,5 | 7,53 | 34,71 | 16818 | 16760 | 20401 |
| 2012 | 6,15 | 525,9 | 0,686 | 38,8 | 44,8 | 8,25 | 35,61 | 16254 | 15992 | 19636 |
| 2013 | 7,55 | 502,8 | 0,677 | 39,7 | 45,3 | 8,7 | 56,73 | 16119 | 15447 | 19165 |
| 2014 | 8,66 | 533,8 | 0,668 | 39,5 | 45,6 | 10,11 | 64,52 | 13968 | 13256 | 16736 |
| 2015 | 9,6 | 551,3 | 0,667 | 38,8 | 45,3 | 11,87 | 65,68 | 12559 | 12210 | 14925 |
| 2016 | 8,74 | 561,2 | 0,653 | 38,6 | 45,1 | 10,18 | 62,63 | 11125 | 11037 | 13878 |
| 2017 | 9,26 | 559,4 | 0,677 | 37,7 | 45,2 | 11,41 | 61,81 | 11798 | 11848 | 14366 |
| 2018 рік | 10,35 | 571,4 | 0,666 | 35,2 | 43,3 | 13,3 | 66,55 | 11518 | 11462 | 13768 |
| 2019 рік | 9,68 | 572,9 | 0,700 | 34,2 | 42,1 | 14,5 | 50,57 | 11207 | 11444 | 13258 |
| 1-3 квартал 2018 | 10,2 | 569,1 | 0,667 | 35,6 | 43,7 | 13,09 | 65,56 | 11472 | 11382 | 13736 |
| 1-3 квартал 2019 | 9,44 | 572,20 | 0,800 | 34,5 | 42,4 | 14,0 | 49,57 | 11207 | 11394 | 13309 |
| 4 квартал 2018 | 10,79 | 578,3 | 0,662 | 34,1 | 42,4 | 13,95 | 69,42 | 11653 | 11697 | 13865 |
| 4 квартал 2019 | 10,42 | 573,5 | 0,700 | 33,5 | 41,4 | 16,0 | 53,55 | 11193 | 11591 | 13095 |
| грудень 2018 | 11,44 | 601,2 | 0,675 | 34,3 | 42,5 | 14,17 | 73,38 | 11005 | 11253 | 13143 |
| грудень 2019 | 11,41 | 619,2 | 0,600 | 33,3 | 41,1 | 16,9 | 57,15 | 10245 | 10789 | 11820 |

При незмінних технологіях перевезень і відсутності відновлення основних фондів залізнична система України стабільно зменшувала обсяги перевезень вантажів. В 2019 р. зменшення значно сповільнилось, у порівнянні з 2018 р. робота вагонного парка знизилась лише на 3,7%. Впроваджені у 2019 зміни технології перевезень вантажів – маршрутизація та перевезення за РРМП, політика укрупнення вагонних груп навантаження дозволили значно зменшити оборот вагона – на 6,47% від показника 2018 року. Як наслідок, у 2019 році була виконана майже однакова середньодобова робота вагонного парка у порівнянні з 2018 роком, зменшивши робочий парк на 10% (128 тис. вагонів у порівнянні з 142 тис.вагонів у 2018 р.). Перевезені майже однакові обсяги вантажів меншим парком вагонів.

Для визначення тривалості знаходження вагону за елементами обороту необхідно розрахувати наступні показники: повний рейс вагона; середню кількість технічних станцій, що проходить вагон за оборот; середню кількість технічних станцій, що проходить вагон за вантажний рейс; середню кількість технічних станцій, що проходить вагон за порожній рейс; коефіцієнт місцевої роботи.

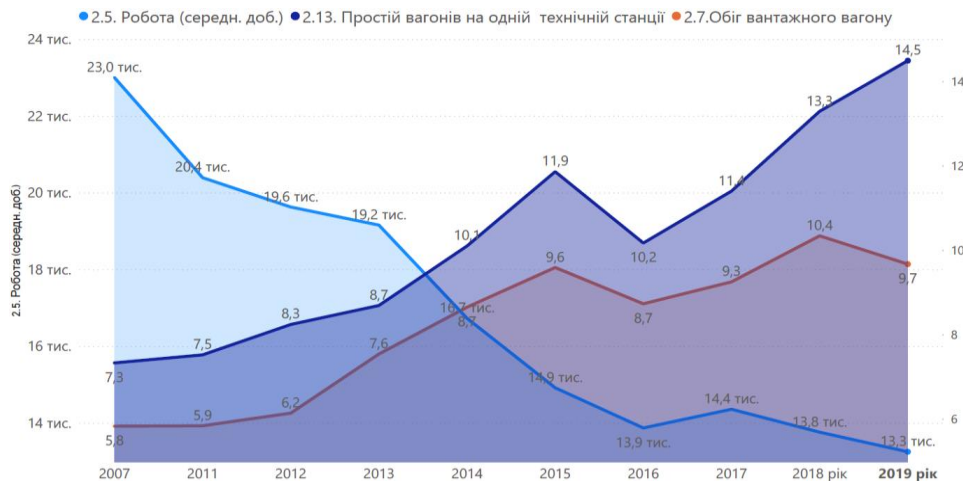


Рис. 2. Динаміка зміни роботи, обігу вагона та простою вагонів на одній технічній станції за період 2007, 2011-2019 рр.

Враховуючи, що після проведених розрахунків вище зазначених показників єдиним параметром у виразі (1) було невідоме k_m , розрахунок якого проведено за зворотнім розв'язком рівняння з одним невідомим. Після визначення середньої кількості технічних станцій, що проходить вагон за оборот, за аналогічним підходом встановлено вагонне плече $L_{техн.}$

Згідно з визначеними показниками за формулою (1) був проведений розрахунок обороту вагона. Складові елементи обороту вагона за 2007 та період 2011-2019 роки наведені на рис. 3.

Стратегія маршрутизації, перевезення за РРМП та узгодження строків навантаження і вивантаження значно зменшила простій вагона під вантажними операціями (див. рис. 3). У порівнянні з 2018 роком простій під вантажними операціями зменшився на 22,2% або на 24,7 години у 2019 році, а у відсотковому відношенні від загальної тривалості обороту даний елемент склав вперше за весь історичний період лише 37,2%.

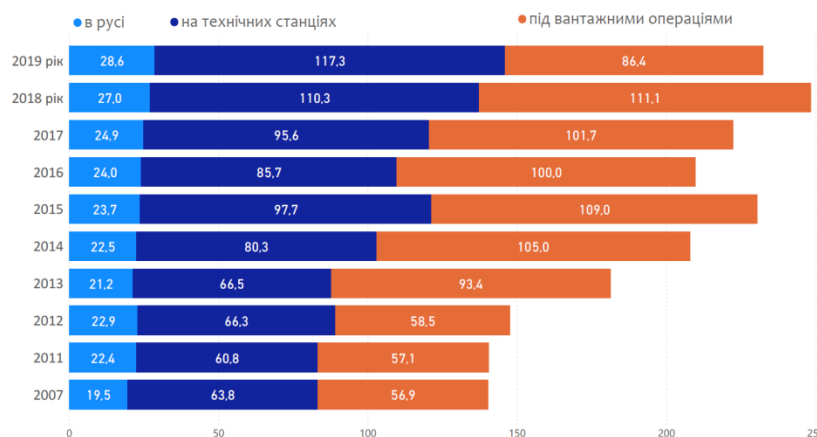


Рис. 3. Складові елементи обороту вагона за 2007 та період 2011 – 2019 рр.

Незначне збільшення у 2019 році тривалості знаходження вагона в русі відповідає основному тренду зростання даного показника з причин погіршення технічного стану інфраструктури та тягового рухомого складу, і стверджувати, що запровадження перевезень за РРМП спричинило збільшення на 1,57 год немає підстав. Якщо деталізовано розкласти елемент знаходження вагона в русі на знаходження на перегонах і проміжних станціях, то збільшення тривалості знаходження на проміжних станціях склало 0,31 години від 2018 року, тоді як у поїздах при русі збільшення склало 1,26 години.

Підтвердженням відсутності впливу, що досліджується, також може бути порівняння тривалості знаходження вагона в русі в 1-3 кварталі 2019 року – 29,4 години з показником 29,3 години у 4 кварталі 2019 року (див. рис. 4-5). Слід зазначити, лише в четвертому кварталі була запроваджена технологія перевезень за РРМП, і згідно з аналізом вплив даної технології на цей елемент відсутній.

Згідно з аналізом зміни коефіцієнта швидкості можна стверджувати, що відношення дільничної до технічної швидкості 0,81 залишилось незмінним у 2019 році в порівнянні з 2018, що може свідчити про відсутність впливу технології перевезень на диспетчеризацію, яка по суті була незмінна протягом двох років. Отже, підтверджені щодо впливу технології перевезень за РРМП на швидкість руху вантажів в мережі не знайдено.

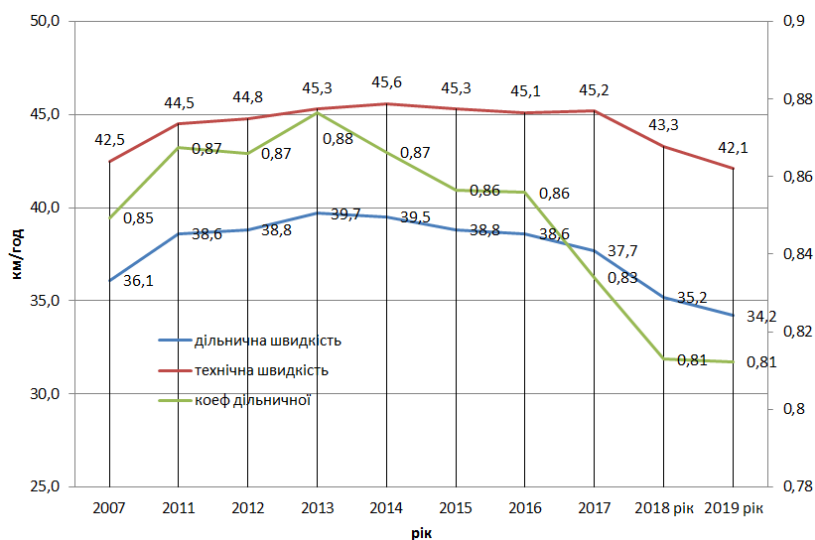


Рис. 4. Динаміка зміни дільничної, технічної швидкості та коефіцієнта швидкості за період 2011 – 2019

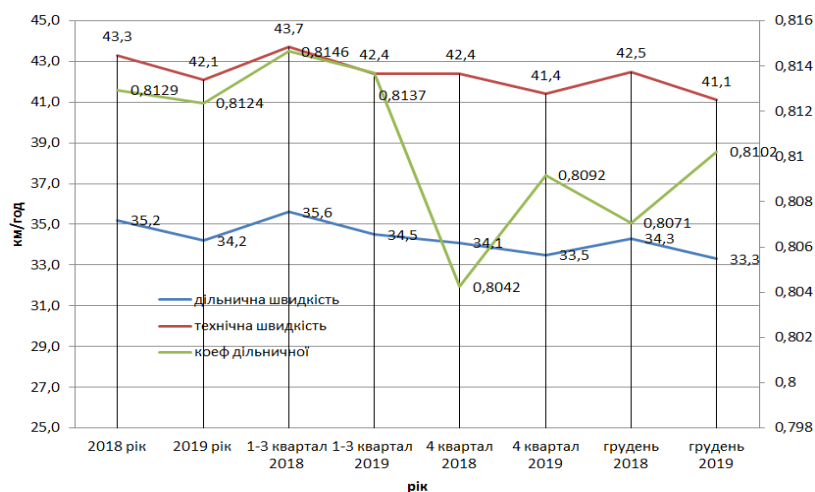


Рис. 5. Динаміка зміни дільничної, технічної швидкості та коефіцієнта швидкості в періодах 2018 та 2019 років

Найбільша частка в загальному обороті припадає на елемент знаходження вагона на технічних станціях – 50,5% або 117,3 годин у 2019 році, що незначно була збільшена порівняно з 2018 лише на 7 %. Даний елемент за період 2015-2019 роки стабільно мав тенденцію до зростання в першу чергу з причини дефіциту локомотивного парку та відсутності дієвої системи управління ним, неефективного плану формування поїздів, що спричиняє значні простої вагонів під накопиченням. Збільшення даного елемента у 2019 році відповідає загальній тенденції. При порівнянні тривалості знаходження вагона на технічних станціях в 1-3 кварталі 2019 року – 113 годин з показником 127,6 години у 4 кварталі 2019 року можна виявити збільшення на 14,6 годин, що пояснюється настанням пікового сезону навантаження та аналогічною тенденцією до збільшення даного показника у 2018 році. Твердження, що збільшення елемента знаходження вагона на технічних станціях у 2019 році, зокрема у 4 кварталі, спричинено запровадженням технології перевезень за РРМП, є значним перебільшенням. Якщо проаналізувати послідовно ланцюг подій у 2019 році, то можна виявити, що основною проблемою в експлуатаційній роботі мережі починаючи з червня-вересня 2019 року стали значні збої в ритмічності руху поїздів на регіональній філії “Південно-Західна залізниця” [14], вивантаження вагонів в портах, що послідовно спричинило каскад затримок поїздопотоків, і, як наслідок, збільшення кількості кинутих вантажних поїздів на всій мережі в піковий період перевезень вантажів – жовтень-січень.

Згідно отриманих даних одного із вантажовідправників була побудована діаграма динаміки кількості кинутих вагонів в середньому за добу за регіональними філіями АТ “Укрзалізниця” (див. рис. 6). Аналіз динаміки кинутих вагонів на діаграмі рис. 6 свідчить, що проблеми в русі поїздів до морських портів стали виникати у послідовно у червні-серпні 2019 року. У жовтні 2019 року спостерігається пік кількості затриманих поїздів. Однак, у даному місяці технологія перевезень за РРМП тільки була впроваджена на кінець місяця. Листопад-грудень стали місяцями, що характеризують стабільну реалізацію даної технології.

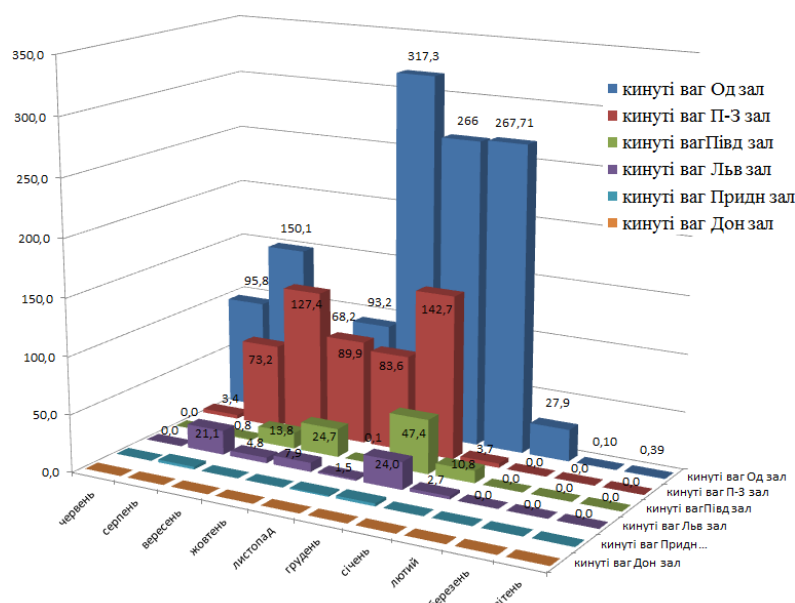


Рис. 6. Динаміка кількості кинутих вагонів вантажовідправника в середньому за добу за регіональними філіями АТ «Укрзалізниця»

Аналіз показників свідчить, що впроваджена технологія перевезень вантажів за РРМП дозволила у 2019 році досягти зменшення в межах навантаженого рейсу кількості технічних станцій з п'яти станцій у 2018 до 4,7 у 2019 році (див. рис. 7).

За загальним показником кількості технічних станцій, що проходить вагон за оборот, також можна стверджувати, що відбулося зниження, але протягом всього досліджуваного періоду

кількість станцій тримається середнього показника - 8. Це свідчить про відсутність значних змін в планах формування вантажних поїздів та реалізації технології перевезень в межах діючих схем обороту локомотивів. Зростання повного рейсу можна пов'язати зі зменшенням обсягів перевезень і, як наслідок, пунктів навантаження стало менше, що спричиняє більший пробіг вагона. Поряд з цим застосування стратегії маршрутизації дозволило збільшити коефіцієнт місцевої роботи та підвищити вагонне плече - середню відстань між технічними станціями, до 120,95 км.

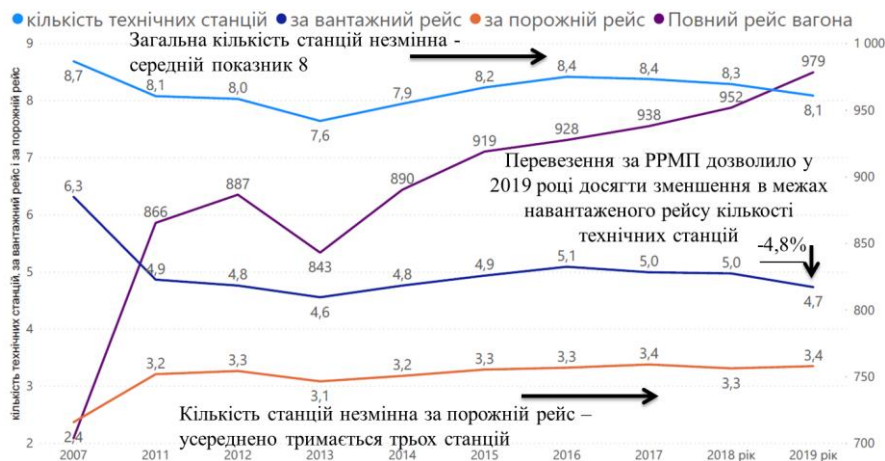


Рис. 7. Динаміка зміни повного рейсу, кількості технічних станцій, що проходить вагон в межах повного рейсу (за вантажний та порожній) за період 2007, 2011-2019 рр.

Для доведення позитивного впливу технології перевезень вантажів за РРМП на макропоказники залізничної системи України, зокрема оборот вантажного вагона, можна провести моделювання за аналітичним підходом впливу збільшення долі в робочому парку вагонів задіяних в технології перевезень за РРМП на загальний оборот.

За елементами обороту вагона можна визначити частки робочого парку вагонів, що знаходились в русі, на технічних станціях та під вантажними операціями

$$n_p = n_{рух} + n_{техн} + n_{вант}, \quad (2)$$

де $n_{рух}$ – середньодобова величина робочого парк, що знаходилась в русі на перегонах і проміжних станціях в поїздах;

$n_{техн}$ – середньодобова величина робочого парк, що знаходилась на технічних станціях;

$n_{вант}$ – середньодобова величина робочого парк, що знаходилась під вантажними операціями;

Враховуючи, що найбільш показовим місяцем вже стабільної реалізації технології перевезень вантажів за РРМП є грудень 2019 року, запропоновано провести моделювання збільшення частки вагонів, що були задіяні в перевезенні за РРМП та дослідити вплив на оборот вантажного вагона.

Найбільш проблемним елементом в обороті вагона, де можливий вплив технології перевезень за РРМП є тривалість знаходження вагонів на технічних станціях. Середньодобову величину робочого парк, що знаходилась на технічних станціях можна визначити за виразом

$$n_{техн} = \frac{t_{техн}}{24} \sum U_{тех}, \quad (3)$$

де $\sum U_{тех}$ — кількість вагонів, що були відправлені в поїздах зі всіх технічних станцій за добу, ваг. Даний показник можна визначити з використанням вже відомих показників за виразом

$$k_m = \frac{\sum U_{тех}}{U} \quad (4)$$



$$\sum U_{тех} = U k_m \quad (5)$$

За грудень 2019 середньодобова робота складала $U = 11820$ вагонів. Отже, $\sum U_{тех} = 11820 \cdot 8,4 = 99288$ вагонів. Якщо припустити песимістичний сценарій, що перевезення за РРМП не змінювали кількість зупинок на технічних станціях від звичайних наскрізних поїздів (тобто до перевезень за РРМП не застосовувалась схема подовження пліч обороту локомотива для зменшення зупинок для технічних операцій), то кількість технічних станцій можна залишити незмінною. Приймаючи, що за грудень при перевезенні за технологією за РРМП були задіяні 33962 вагони, тобто в середньому на добу $33962/31=1096$ вагонів. Тоді кількість вагонів, що бли відправлені в поїздах за РРМП зі всіх технічних станцій складе $\sum U_{тех}^{ppmn} = 1096 \cdot 8,4 = 9206$ вагонів.

$$t_{техн} = \frac{t_{техн}^{звич} \cdot \sum U_{тех}^{звич} + t_{техн}^{ppmn} \cdot \sum U_{тех}^{ppmn}}{\sum U_{тех}} \quad (6)$$

де $t_{техн}^{звич}$ — середня тривалість знаходження технічній станції вагона організованого за звичайною технологією перевезень, год;

$t_{техн}^{ppmn}$ — середня тривалість знаходження технічній станції вагона організованого за РРМП технологією перевезень, год;

$\sum U_{тех}^{звич} = \sum U_{тех} - \sum U_{тех}^{ppmn}$ — кількість відправлених з технічних станцій мережі вагонів робочого парку за добу, що організовані за звичайною технологією перевезень

Простій вагону або тривалість обробки состава на технічних станціях згідно типових норм АТ Укрзалізниця складає 30 хв або 0,5 години, однак простій наскрізних поїздів за РРМП включає очікування запланованої нитки графіка та можливі збої в технології. За таких умов відповідно до статистичних спостережень середню тривалість простою можна прийняти в межах 1,4 години (фактичні дані, що підтверджені статистичним аналізом на одному з маршрутів застосування РРМП показують 0,92 год, що пояснюється закладеним значним резервом у графік руху таких поїздів). Для зменшення помилки, та з причин відсутності точних середніх даних простою на технічних станціях поїздів за РРМП веж краще прийняти завищений показник $t_{техн}^{ppmn} = 1,4$ год.

Якщо прийняти $t_{техн}^{ppmn} = 1,4$ год., єдиним невідомим у виразі є $t_{техн}^{звич}$. Приймемо за долю вагонів, що організовані в перевезенні за РРМП $\gamma_{ppmn} = \frac{9206}{99288} = 0,093$, а робочий парк за РРМП складе $\sum U_{тех}^{ppmn} = \gamma_{ppmn} \sum U_{тех}$, то парк вагонів на технічній станції вагона

організованого за звичайною технологією перевезень можна визначити за виразом $\sum U_{tex}^{36uc} = (1 - \gamma_{ppmn}) \sum U_{tex}$.

Згідно статистичних даних АТ Укрзалізниця за грудень $t_{texn} = 16,93$ год.

$$\begin{aligned}
 t_{texn} &= \frac{t_{texn}^{36uc} \cdot \sum U_{tex}^{36uc} + t_{texn}^{ppmn} \cdot \sum U_{tex}^{ppmn}}{\sum U_{tex}} \\
 &\Downarrow \\
 t_{texn} \cdot \sum U_{tex} &= t_{texn}^{36uc} \cdot \sum U_{tex}^{36uc} + t_{texn}^{ppmn} \cdot \sum U_{tex}^{ppmn} \\
 &\Downarrow \\
 t_{texn}^{36uc} &= \frac{t_{texn} \cdot \sum U_{tex} - t_{texn}^{ppmn} \cdot \sum U_{tex}^{ppmn}}{\sum U_{tex}^{36uc}} \\
 &\Downarrow \\
 t_{texn}^{36uc} &= \frac{t_{texn} \cdot \sum U_{tex} - t_{texn}^{ppmn} \cdot \gamma_{ppmn} \cdot \sum U_{tex}}{(1 - \gamma_{ppmn}) \sum U_{tex}}. \quad (7)
 \end{aligned}$$

Проведені розрахунки показали, що за грудень значення середньої тривалості знаходження на технічній станції вагона організованого за звичайною технологією перевезень складає $t_{texn}^{36uc} = 18,51$ год.

Отже, якщо у виразі залишити незмінними умови роботи залізничної системи у грудні 2019 року, але залишити змінною долю вагонів, що організовані в перевезенні вантажів за РРМП, то вираз набуде запису

$$t_{texn} = \frac{t_{texn}^{36uc} \cdot (1 - \gamma_{ppmn}) \sum U_{tex} + t_{texn}^{ppmn} \cdot \gamma_{ppmn} \cdot \sum U_{tex}}{\sum U_{tex}}. \quad (8)$$

Підставивши даний вираз у загальну трьохчленну формулу розрахунку обороту вагона (1) можна при незмінних інших показниках знайти залежність зміни долі парку вагонів задіяних в перевезенні за РРМП на загальний оборот вагона в залізничній системі України. Залежність зміни обороту вантажного вагона від долі робочого парку вагонів організованих в перевезеннях за РРМП та знаходяться на технічних станціях наведено на рис. 8.

Аналіз свідчить, що за умови незмінних показників експлуатаційної роботи, крім простою на технічних станціях, що залежить від збільшення долі робочого парку, який залучений в перевезеннях за РРМП оборот вантажного вагона може бути значно зменшеним. При досягненні частки у 0,4 або 40 % вагонів організованих за технологією перевезень РРМП оборот вагона зменшиться на 15,98 % або на 1,82 доби від існуючого показника обороту (грудень 2019 року).

Висновки. Результати аналізу роботи залізничної системи України за 2019 рік та розрахунки доводять, що зі збільшенням долі вагонів робочого парку, що організовані в перевезенні вантажів за РРМП в елементі обороту вагона – простій вагона на технічних станціях, дозволяє значно скоротити загальний оборот вагона. Доведеним є значний позитивний вплив даної технології на скорочення найбільш значного елементу в обороті вагона – простою вагона під вантажними операціями.

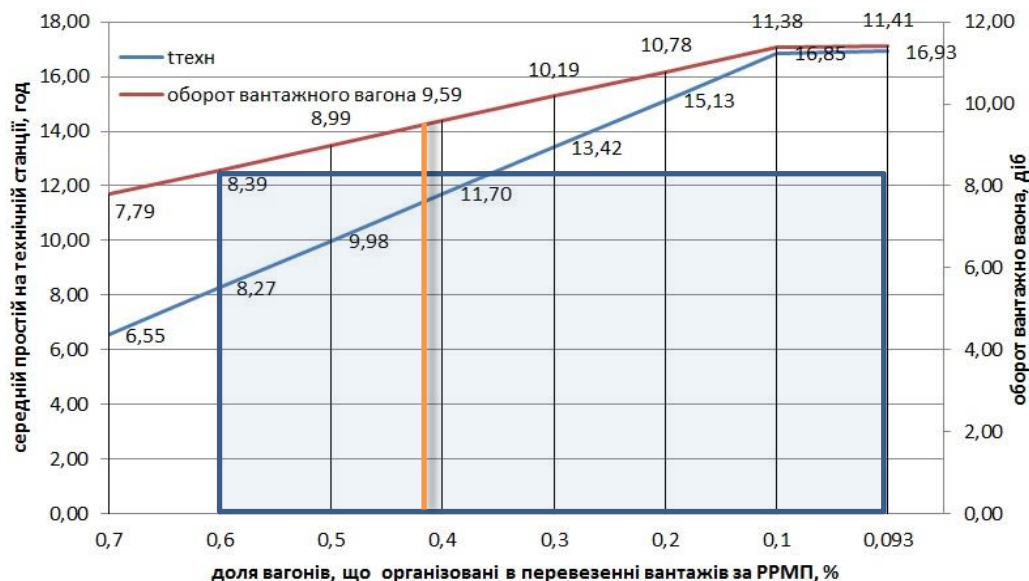


Рис. 8. Залежність зміни обороту вантажного вагона від долі робочого парку вагонів організованих в перевезеннях за РРМП та знаходяться на технічних станціях

Навіть в умовах обмежених даних спостерігається значний вплив на утворення заторів послідовних проблем в мережі, які виникали до запровадження перевезень вантажів за договорами РРМП. В подальшому потребують продовження дослідження з більшим обсягом та репрезентативністю даних щодо кількості кинутих поїздів в мережі. Слід зазначити, що в піковий період перевезень залізнична система отримала аномальне збільшення навантаження. За 2019 рік в експортному сполученні було перевезено руди залізної і марганцева на 41221,97 тис т, що на 10,4% більше від 2018 року, за той же рік зерна та продуктів перемолу було також перевезено рекордний обсяг, що склав 35304,53 тис т, що на 29,93% більше від показника 2018 року. Отже, за результатами проведеного аналізу в даній роботі не виявлено значного негативного впливу на макропоказники залізничної системи від підвищення точності руху поїздотоків, але дослідження потребують продовження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рекомендації АМКУ від 28 травня 2020 р. № 26-рк Про запобігання порушенням законодавства про захист економічної конкуренції: рекомендації. URL: <https://amcu.gov.ua/npras/pro-zapobigannya-porushennyam-zakonodavstva-pro-zahist-ekonomichnoyi-konkurenciyi-3> (дата звернення: 20.10.2020)
2. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським Співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони: ратифіковано законом від 16.09.2014 № 1678-VII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text (дата звернення: 15.10.2020).
3. Ireland P., Case R., Fallis J., Dyke C., Kuehn J., Meketon M. The Canadian Pacific Railway Transforms Operations by Using Models to Develop Its Operating Plans. *Canadian Pacific Railway Interfaces*. 34(1). 2004. P. 5–14.
4. Dick C. T., Darkhan M. Transitioning from flexible to structured heavy haul operations to expand the capacity of single-track shared corridors in North America. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part F Journal of Rail and Rapid Transit*. 233(6). 2019. P. 629–639. doi:10.1177/0954409718804427.
5. Баланов, В. О. Анализ факторов, влияющих на обеспечение движения грузовых поездов по расписанию. *Транспортні системи та технології перевезень* : Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. №10. 2015. С. 5–9. doi: 10.15802/tstt2015/57057.
6. Стахорний Д.Б., Малахова О. А. Удосконалення взаємодії поїздоутворення на технічних станціях з графіком руху поїздів. *Технологический аудит и резервы производства*. № 5(1). 2014. С. 13–17
7. Masiuk V., Myronenko V., Horoshko V., Prokhorchenko A., Hrushevska T., Shcherbyna R., Masiuk N., Khokhlacheva J., Biziuk I., Tymchenko N. Improvement of efficiency in the organization of transfer trains at developed railway nodes by implementing a "flexible model". *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. №3(98).2019. P.32–39. doi.org/10.15587/1729-4061.2019.162143

8. Переста Г.І., Болвановська Т.В. Аналіз впливу складових елементів на величину обороту вантажного вагона. *Транспортні системи і технології перевезок*. 2011. № 1. С.75-77.
9. Сухорукова Т. Г., Александрова О. Ю. Аналіз показників якості використання рухомого складу АТ «Укрзалізниця» та оцінка їх впливу на роботу компанії. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. №68. 2019. С.116 - 125. doi: <https://doi.org/10.18664/338.47:338.45.v0i68.188491>.
10. Марценюк Л. В. Факторний аналіз обігу вантажних вагонів. *Проблеми підвищення ефективності інфраструктури: Збірник наукових праць Національного авіаційного університету*. № 33.2012. С. 141-147.
11. Ейтутіс Г.Д., Габа В.В. Матричний підхід щодо впливу якісних показників на ефективність використання рухомого складу. *Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Економіка і управління»*. № 33. 2015. С.90-104.
12. Зіць О. Є. Удосконалення методики оцінки використання інвентарного парку вантажних вагонів ПАТ "Укрзалізниця". *Проблеми економіки транспорту : Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. № 11. 2016. С. 26-30.
13. Ейтутіс Г., Зіць О. Продуктивність вагона – комплексний показник використання вантажних вагонів ПАТ "Укрзалізниця". *Економіст*. № 3. 2016. С. 9-11.
14. Причиной введения масштабных ограничений грузоперевозок по ЮЗЖД называют дефицит тяги и локомотивных бригад. Центр транспортних стратегій: веб сайт. URL: https://cfts.org.ua/news /2019/09/11 /prichinoi_vvedeniya_masshtabnykh_ ogranicheniy_g ruzoperevozok_po_yuzzhd_nazyvayut_ defitsit_tyagi_i_lokomotivnykh_brigad_55192 (дата звернення 22.10.2020).

REFERENCES

1. Rekomendatsiyi AMKU vid 28 travnya 2020 r. № 26-rk Pro zapobigannya porushennyam zakonodavstva pro zahist ekonomichnoyi konkurentsii: rekomendatsiyi [Recommendations of the AMCU of May 28, 2020 № 26-rk On prevention of violations of legislation on protection of economic competition: recommendations.] (2020) Retrieved from <https://amcu.gov.ua/npas/pro-zapobigannya-porushennyam-zakonodavstva-pro-zahist-ekonomichnoyi-konkurencii-3>.
2. Uгода pro asotsiatsiyu mizh Ukrainoyu, z odniefi storoni, ta Evropeyskim Soyuzom, Evropeyskim Spivtovaristvom z atomnoyi energiyi i yihnimi derzhavami-chlenami, z inshoyi storoni: ratifikovano zakonom vid 16.09.2014 № 1678-VII.(2014) [Association Agreement between Ukraine, on the one hand, and the European Union, the European Atomic Energy Community and their Member States, on the other hand: ratified by the law of 16.09.2014 № 1678-VII.] Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text.
3. Ireland, P., Case, R., Fallis, J., Dyke, C., Kuehn, J., & Meketon M.(2004) The Canadian Pacific Railway Transforms Operations by Using Models to Develop Its Operating Plans. *Canadian Pacific Railway Interfaces*,34(1), 5–14.
4. Dick, C. T., & Darkhan, M.(2019) Transitioning from flexible to structured heavy haul operations to expand the capacity of single-track shared corridors in North America. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part F Journal of Rail and Rapid Transit*, 233(6), 629-639.doi:10.1177/0954409718804427.
5. Balanov, V. O. (2015) Analiz faktorov, vliyayuschih na obespechenie dvizheniya gruzovyih poezdov po raspisaniyu [Improving the interaction of train formation at technical stations with the train schedule]. *Transportni sistemi ta tehnologiyi perevezek : Zbirnik naukovih prats Dnipropetrovskogo natsionalnogo universitetu zaliznichnogo transportu imeni akademika V. Lazaryana [Transport systems and technologies of transportation: Collection of scientific works of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan]*, 10, 5 - 9. doi: 10.15802/tstt2015/57057.
6. Stahorniy, D.B., & Malahova, O. A.(2014) Udoskonalennya vzaemodiyi poyizdoutvorennya na tehnicnih stantsiyah z grafikom ruhu poyizdiv [Improving the interaction of train formation at technical stations with the train schedule]. *Tehnologicheskii audit i rezervyi proizvodstva [Technological audit and production reserves]*, 5(1), 13-17.
7. Masiuk V., Myronenko V., Horoshko V., Prokhorchenko A, Hrushevska T., Shcherbyna R., & Tymchenko N. (2019) Improvement of efficiency in the organization of transfer trains at developed railway nodes by implementing a "flexible model". *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*,3(98),32-39. doi.org/10.15587/1729-4061.2019.162143
8. Peresta, G.I., & Bolvanovska, T.V.(2011) Analiz vplivu skladovih elementiv na velichinu oborotu vantazhnogo vagona [Analysis of the influence of components on the turnover of a freight car]. *Transportnyie sistemy i tehnologii perevozok [Transport systems and transportation technologies]*, 1,75-77.
9. Suhorukova, T. G., & Aleksandrova, O. Yu.(2019) Analiz pokaznikov yakosti vikoristannya ruhomogo skladu AT «Ukrzaliznitsya» ta otsinka yih vplivu na robotu kompaniyi [Analysis of indicators of quality of use of rolling stock of JSC "Ukrzaliznitsya" and assessment of their impact on the company's work]. *Visnik ekonomiki transportu i promislivosti [Bulletin of Transport Economics and Industry]*, 68,116 - 125. doi: <https://doi.org/10.18664/338.47:338.45.v0i68.188491>.
10. Martsenyuk, L. V.(2012) Faktorniy analiz obigu vantazhnykh vagoniv [Factor analysis of freight cars turnover]. *Problemi pidvischennya efektyvnosti infrastrukturi: Zbirnik naukovih prats Natsionalnogo aviatsynogo universitetu [Problems of improving the efficiency of infrastructure: Collection of scientific works of the National Aviation University]*, 33, 141-147.
11. Eytutis, G.D., & Gaba, V.V.(2015) Matrichniy pidhid schodo vplivu yakisnykh pokaznikov na efektyvnist vikoristannya ruhomogo skladu [Matrix approach to the impact of qualitative indicators on the efficiency of rolling stock use]. *Zbirnik naukovih prats DETUT. Seriya «Ekononika i upravlinnya» [Collection of scientific works DETUT. Economics and Management Series]*,33,90-104.

12. Eytutis, G., & Zits, O. (2016) Produktivnist vagona – kompleksniy pokaznik vikoristannya vantazhnykh vagoniv PAT "Ukrzaliznitsya" [Improving the methodology for assessing the use of the inventory of freight cars of PJSC "Ukrzaliznytsia"]. *Ekonomist [Economist.]*, 3, 9-11.

13. Zits, O. E. (2016) Udoskonalennya metodiki otsinki vikoristannya Inventarnogo parku vantazhnykh vagoniv PAT "Ukrzaliznitsya". *Problemi ekonomiki transportu : Zbirnik naukovykh prats Dnipropetrovskogo natsionalnogo universitetu zaliznichnogo transportu imeni akademika V. Lazaryana*, 11, 26-30.

14. Prichinoy vvedeniya masshtabnykh ogranicheniy gruzoperevozok po YuZZhD nazyvayut defitsit tyagi i lokomotivnykh brigad [The reason for the introduction of large-scale restrictions on freight traffic on the South-Western Railway is called the lack of traction and locomotive crews]. (2020) *Tsentr transportnih strategiy [Center for Transport Strategies]*. Retrieved from : https://cfts.org.ua/news/2019/09/11/prichinoy_vvedeniya_masshtabnykh_ogranicheniy_gruzoperevozok_po_yuzzhd_nazyvayut_defitsit_tyagi_i_lokomotivnykh_brigad_55192.

Прохорченко Андрей, д.т.н.

(профессор кафедры управления эксплуатационной работой Украинского государственного университета железнодорожного транспорта),

Кравченко Михаил,

(аспирант кафедры управления эксплуатационной работой Украинского государственного университета железнодорожного транспорта),

Гурин Дмитрий,

(аспирант кафедры управления эксплуатационной работой Украинского государственного университета железнодорожного транспорта).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ ПО РАСПИСАНИЮ ДВИЖЕНИЯ НА МАКРОПОКАЗАТЕЛИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СИСТЕМЫ УКРАИНЫ

В статье исследовано влияние технологии перевозок грузов на особых условиях по расписанию движения маршрутных поездов на количественные и качественные показатели эксплуатационной работы железнодорожной системы Украины. Проведенные расчеты составляющих оборота грузового вагона. Выполнено моделирование с аналитическим подходом изменения оборота грузового вагона при увеличении доли перевозок грузов по договорам на особых условиях. Выявлено влияние технологии перевозок по расписанию движения на сокращение наиболее значительного элемента в обороте вагона - простой вагона под грузовыми операциями.

Ключевые слова: железная дорога, эксплуатационная работа, расписание движения маршрутных поездов, оборот грузового вагона.

Andrii Prokhorchenko, D.Sc.(tech)

(Professor of the Department of Operational Management of the Ukrainian State University of Railway Transport),

Mykhailo Kravchenko,

(graduate student of the Department of Operational Management of the Ukrainian State University of Railway Transport),

Dmitry Gurin,

(graduate student of the Department of Operational Management of the Ukrainian State University of Railway Transport).

STUDY OF THE INFLUENCE OF FREIGHT TRANSPORT TECHNOLOGY ON TRAFFIC SCHEDULE ON MACRO INDICATORS OF THE RAILWAY SYSTEM OF UKRAINE

The article examines the influence of freight transportation technology on special conditions according to the schedule of route trains on the quantitative and qualitative indicators of the operational work of the railway system of Ukraine. The calculations of the components of the freight

car turnover are carried out. It was found that the strategy of routing, transportation by RRMP and coordination of loading and unloading terms significantly reduced the downtime of the car under freight operations. The analysis of indicators shows that the implemented technology of cargo transportation according to the RRMP allowed in 2019 to achieve a reduction within the busy flight of the number of technical stations from five stations in 2018 to 4.7 in 2019. The comparative analysis of technical and district speed is carried out and the speed coefficient is calculated. According to the analysis of the change in the speed factor, it can be stated that the ratio of precinct to technical speed remained unchanged in 2019 compared to 2018, which may indicate the lack of impact of transportation technology on dispatching, which was essentially unchanged for two years. Simulation according to the analytical approach of change of turnover of a freight car at increase in a share of transportations of freights under contracts on special conditions is executed. Calculations prove that with the increase of the share of cars of the working fleet, organized in the transportation of goods by RRMP in the element of car turnover - simple car at technical stations, can significantly reduce the overall turnover of the car. The influence of the technology of transportation according to the schedule on the reduction of the most significant element in the turnover of the car - the downtime of the car under freight operations.

Keywords: railway, operational work, schedule of trains, freight car turnover.