

ХАРЧЕНКО Д. Р., магістрант,
КИМАН А. М., канд. техн. наук, доцент,
ЩЕРБИНА М. Є., аспірант,
ПРОХОРЧЕНКО А. В., д-р техн. наук
(Український державний університет залізничного транспорту)

Удосконалення системи обліку виконання графіка руху пасажирських поїздів

Стаття присвячена удосконаленню системи обліку виконання графіка руху пасажирських поїздів за рахунок визначення граничних значень часу затримки для пасажирських поїздів, при перевищенні яких поїзд вважається затриманим. Проведено аналіз діючих систем обліку виконання графіка руху поїздів у різних залізничних системах. Виявлено, що впровадження максимально допустимого часу затримки пасажирських поїздів дає змогу знайти баланс між витратами залізничного перевізника та вимогами щодо якості сервісу пасажирів. З використанням теорії ігор формалізовано процедуру вибору граничних значень часу затримки для пасажирських поїздів, при перевищенні яких поїзд може вважатися затриманим з урахуванням системи «стимулів і штрафів» (Bonus-Malus System). На емпіричних даних проведено розрахунки розв'язання матричної гри, які виявили, що оптимальним варіантом для гравців «пасажир» і «залізничний перевізник» є ситуація, коли при найбільшій доплаті за проїзд, перевищенні затримки більш ніж на п'ять хвилин повертається 27,8 % вартості проїзду. Запропонована в цьому дослідженні математична модель на основі теорії ігор дає змогу побудувати на ринку залізничних пасажирських перевезень систему підвищення якості виконання графіка руху поїздів з урахуванням інтересів перевізника та користувачів послуги з перевезення.

Ключові слова: залізниця, пасажирські перевезення, графік руху поїздів, теорія ігор.

Вступ

В умовах конкуренції на ринку пасажирських перевезень для залізничного транспорту важливим є підвищення рівня виконання графіка руху пасажирських поїздів (ГРПП) як ключового показника стабільності надання основної транспортної послуги для пасажирів. Графік руху поїздів (ГРП) – це нормативно-технологічний документ, що регламентує роботу всіх підрозділів залізничного транспорту з організації руху поїздів [1], а виконання ГРП відображує загальний рівень якісних показників роботи різних підрозділів і підприємств залізниці, що у свою чергу визначають експлуатаційні витрати на здійснення перевезень. Складання ринково-орієнтованого ГРПП з високим рівнем стабільності руху залежить від якісного обліку і аналізу затримок пасажирських поїздів. Наразі система обліку виконання ГРПП в АТ «Укрзалізниця» не дозволяє уніфіковано виявити причини затримок поїздів, що вплинули на виконання ГРПП і функціонально застаріла. Наприклад, при обліку та аналізі графіка

руху затримки поїздів відносять за господарствами, з вини яких ці затримки сталися [2]. Узагальнення порушень ГРПП за господарствами залізниці не можуть відобразити, як той або інший фактор вплинув на рівень виконання ГРПП. Крім того, виконання Угоди про асоціацію між Україною та ЄС передбачає реалізацію недискримінаційного доступу до мережі залізниць України незалежних від держави пасажирських залізничних перевізників. Це вимагає розроблення нової системи обліку виконання ГРПП, де будуть враховані всі учасники, задіяні в перевезенні пасажирів залізничним транспортом України. В умовах обліку важливе значення має встановлення граничних значень часу затримки для пасажирських поїздів, при перевищенні яких поїзд вважається затриманим. Наразі на АТ «Укрзалізниця» не встановлено максимально допустимий граничний час затримки для пасажирських поїздів. За таких умов є актуальним проведення досліджень з удосконалення системи обліку і аналізу виконання графіка руху пасажирських поїздів на мережі залізниць України.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Проблемі підвищення пунктуальності пасажирських поїздів було присвячено чисельні наукові роботи і дослідження. Для побудови більш досконалої системи обліку графіка руху пасажирських поїздів у роботах [3, 4] обговорюється проблема ведення обліку причин порушення ГРПП. Зокрема, у роботі [3] пропонується впровадження нової методики та показників для визначення причин затримок пасажирських поїздів, що допомагають оцінити, наскільки різні ситуації на маршруті прямування поїзда вплинули на порушення ГРПП. Суть методики полягає в тому, що загальна затримка пасажирського поїзда по прибуттю поділяється на складові. Для цього автори впроваджують два нові показники: вплив затримки (визначає, наскільки конкретне порушення вплинуло на загальну затримку) і критичні порушення (показує порушення, через яке пасажирський поїзд порушив нормативний розклад). Однак ця методика може використовуватися лише на залізницях, де облік часу затримки ведеться на кожній станції. У дослідженні [4] пропонується впровадження єдиної класифікації причин затримок. Автори пропонують об'єднати всі затримки за категоріями: через інший поїзд (англ. circulation problems), несправність поїзда, порушення інфраструктури, підготовку до рейсу та через зовнішні фактори. Однак ці категорії досить розпливчасті та можуть лише використовуватися для поверхневого аналізу порушення ГРПП.

Аналізу впливу різних факторів на виникнення затримок приділена увага у статтях [5, 6], де досліджувались основні причини затримок пасажирських поїздів. У статті [5] на прикладі залізниці країни Шрі-Ланки було виявлено, що більшість поїздів були затримані через погодні умови, експлуатаційні причини (проблеми з інфраструктурою, несправність локомотива тощо) або через провину пасажирів. Незважаючи на несумісність залізничних систем Шрі-Ланки та України, проблеми, виявлені у статті [5], властиві також і для пасажирських перевезень у АТ «Укрзалізниця». У роботі [6] була приділена увага детальному вивченню впливу погоди на пунктуальність поїздів у Норвегії. Виявлено, що сурові зими більше впливають на кількість затримок, ніж більш «м'які» погодні умови. Ці висновки корелюють із зимовими умовами експлуатації залізничної системи України.

Слід зазначити, що для удосконалення системи обліку ГРПП необхідно використовувати окремий підхід, що ґрунтується на моделюванні та прогнозуванні рівня виконання ГРПП. Наприклад, у роботі [7] запропоновано дворівневий підхід з використанням методу моделювання «випадковий ліс» для прогнозування затримок пасажирських поїздів на прикладі нідерландських залізниць. На першому рівні

математична модель передбачає поведінку поширення затримки, тобто буде затримка збільшуватись, зменшуватись чи вона залишиться незмінною протягом 20 хв. Після цього на другому рівні модель визначає час затримки. Було виявлено, що така модель може забезпечити точне прогнозування затримок у залізничній системі Нідерландів. Але результати цієї роботи не можна застосувати на мережі залізниць України через різні підходи до складання ГРПП.

У статті [8] було запропоновано впровадження машинного навчання для моделі, що може передбачати затримки пасажирських поїздів. На прикладі даних залізничної системи Франції була побудована модель, що прогнозує можливу затримку поїзда з точністю від 71 до 81 %. Однак автори використовували лише два методи машинного навчання, що може бути недостатньо для коректної роботи запропонованої системи. Робота [9] присвячена впровадженню адаптивного розкладу, який долає наслідки збою в русі пасажирських поїздів. У цій роботі автори запропонували алгоритмічний підхід до зміни графіка руху, який неможливо виконати через збій при експлуатації залізничної мережі. Цей алгоритм забезпечує рівномірне співвідношення між експлуатаційними витратами, відхиленням від початкового розкладу пасажирського поїзда та зручністю для пасажирів.

Роботи [10, 11] присвячені вирішенню проблемних ситуацій між деякими конфліктуючими між собою цілями за допомогою теорії ігор. У роботі [10] автори дослідили оптимальні стратегії для перевезення пасажирів, що враховують як кількість пасажирів, так і прибуток операторів; рівень «заселеності поїзда», який варіюється від вартості квитка, але не було досліджено питання пунктуальності. Використання теорії ігор на залізничному транспорті було ретельно досліджено в роботі [11]. Автори статті використали теорію ігор у визначенні оптимального рівня тарифу на перевезення вантажів. Однак у роботі основна увага приділена лише вантажоперевезенням, тому результати роботи неможливо використати в пасажирському русі.

Слід зазначити, що наразі в Україні недостатня увага приділена дослідженням, що стосуються удосконалення ведення обліку ГРПП. Основна Інструкція [2], що регламентує основні положення ведення ГРПП, була розроблена у 2010 році та вже неактуальна на сьогодні.

Аналіз статей, наведений вище, показує, що більшість залізничних мереж світу ставлять за мету підвищення обліку та рівня виконання ГРПП різними способами та методами. Однак через відмінність залізничної мережі України від інших країн і недостатню кількість праць українських вчених питання удосконалення системи обліку ГРПП потребує додаткового дослідження та вивчення. За таких умов дослідження в напрямі удосконалення

системи обліку виконання графіка руху пасажирських поїздів є актуальними та важливими.

Визначення мети та завдання дослідження

Метою дослідження є підвищення ефективності залізничних пасажирських перевезень на основі удосконалення системи обліку виконання графіка руху пасажирських поїздів за рахунок визначення граничних значень часу затримки для пасажирських поїздів, при перевищенні яких поїзд вважається затриманим. Це забезпечить достатній конкурентний рівень залізничного сервісу на ринку пасажирських перевезень і дасть змогу для стабільності розвитку залізничної пасажирської компанії за рахунок пошуку балансу між витратами залізничного перевізника та вимогами щодо якості сервісу пасажирів.

Для досягнення заявленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз діючих систем обліку виконання графіка руху поїздів у різних країнах Європи, дослідити граничні значення затримок для пасажирських поїздів різних залізничних системах;

- формалізувати процедуру вибору граничних значень часу затримки для пасажирських поїздів, при перевищенні яких поїзд може вважатися затриманим з урахуванням системи «стимулів і штрафів» (англ. Bonus-Malus System);

- на емпіричних даних провести розрахунки та отримати практичні результати.

Основна частина дослідження

Для забезпечення прозорого обліку та аналізу затримок пасажирських поїздів впровадження

граничних значень часу для пасажирських поїздів є одним з факторів, що забезпечує підвищення рівня якості перевезень і ефективності залізничного транспорту з перевезення пасажирів у цілому. Для вирішення поставленого завдання запропоновано провести аналіз діючих систем обліку виконання графіка руху поїздів у різних країнах Європи (табл. 1).

Граничні значення часу для пасажирських поїздів встановлені в більшості країн Європи. Зокрема, у Польщі та Німеччині поїзд вважається затриманим, якщо він прибув на станцію з затримкою більше 5 хв і 59 с. За щорічним звітом з пунктуальності [12], опублікованим Управлінням Залізничним Транспортном у Польщі (пол. Urząd Transportu Kolejowego), загальний рівень виконання ГРПП всіма перевізниками за 2021 рік склав 88,74 %, а в перевізника Deutsche Bahn у Німеччині вчасно прибуло на станцію 84,75 % пасажирських поїздів за той самий період часу. У Швейцарії поріг пунктуальності значно вище, ніж у вищерозглянутих країнах – 3 хв. Рівень виконання ГРПП за 2021 рік склав 91,65 %.

Слід зазначити, що в деяких країнах граничні значення затримок для пасажирських поїздів варіюються залежно від виду сполучення та класності поїзда. Наприклад, для поїздів на мережі французького оператора інфраструктури SNCF Réseau встановлені граничні значення 5 хв 59 с для приміського сполучення та від 5 до 15 хв для дальніх поїздів з урахуванням класності поїзда. Вчасно прибули на станцію 84,9 % поїздів загальної кількості у дальньому сполученні та 92,9 % поїздів – у приміському.

Таблиця 1

Зведена характеристика допустимого рівня затримок для пасажирських поїздів і відсоток виконання ГРПП у деяких країнах Європи

Країна	Граничні значення затримок для пасажирських поїздів	Відсоток виконання ГРПП (2021 рік)
Польща	5 хв 59 с	88,74 %
Німеччина	5 хв 59 с	84,75 %
Швейцарія	3 хв	91,65 %
Франція	Від 5 до 15 хв	84,9 % у прямому та 92,9 % у приміському сполученні
Україна	Відсутні	86,0 % у прямому та 96,2 % у приміському сполученні (за прямуванням)

На сьогодні на мережі залізниць України не існує значень часу затримок пасажирських поїздів, при перевищенні яких поїзд буде вважатися затриманим. Відсутність нижніх меж пунктуальності для пасажирських поїздів створює неможливість ведення

якісного обліку та аналізу затримок пасажирських поїздів. Це у свою чергу призводить до зниження рівня виконання ГРПП та зменшення загальної ефективності залізничного транспорту. Тому, враховуючи наведений

вище аналіз, необхідне встановлення граничного значення часу для пасажирських поїздів.

Для формалізації процедури вибору граничних значень часу затримки для пасажирських поїздів, при перевищенні яких поїзд може вважатися затриманим з урахуванням системи «стимулів і штрафів» (англ. Bonus-Malus System), у роботі запропоновано використати методи теорії ігор [13].

Для формалізації процедури визначення граничного рівня затримки для пасажирського поїзда на першому етапі запропоновано визначити середній рівень відхилення в часі серед всіх затриманих пасажирських поїздів для розрахункового періоду. Розрахувати відхилення від нормативного розкладу – час затримки за допомогою математичного сподівання:

$$M[X] = \sum_{i=1}^n x_i \cdot p_i, \quad (1)$$

де x_i – час затримки пасажирського поїзда;

p_i – імовірність затримки пасажирського поїзда серед усіх затримок за деякий проміжок часу;

n – кількість аналізованих затримок.

Однак, урахуовуючи збитковість залізничних пасажирських перевезень, важливо побудувати систему, що буде забезпечувати збільшення «мотивації» залізничного перевізника в дотриманні виконання ГРПП. Для цього виникає потреба у врахуванні додаткових стримуючих факторів при визначенні граничного часу затримок для пасажирських поїздів. Для залучення більшої кількості пасажирів на залізницю може запроваджуватись маркетингових крок, що передбачає встановлення додаткових штрафних плат з вартості проїзду. Це гарантує повернення $n\%$ вартості сплаченої плати, вказаної у проїзному документі, при затримці поїзда понад встановлений час. Для визначення оптимального рівня кореляції між граничною затримкою, ціною квитка та відсотка повернення його вартості необхідне створення математичної моделі на основі теорії ігор, де ігрова матриця має вигляд [13]

$$\begin{matrix} & B_1 & B_2 & \dots & B_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_m \end{matrix} & \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & c_{mn} \end{pmatrix} \end{matrix}, \quad (2)$$

де A_m – стратегії прийнятих рівнів доплат до вартості проїзду, що, за функцією корисності, повинен сплатити пасажир за бажаний рівень виконання графіка руху поїзда;

B_m – стратегії встановлених граничних рівнів затримки пасажирського поїзда;

c_{mn} – відсоток штрафних доплат за проїзд.

Для кожного граничного рівня затримки пасажирського поїзда та рівня доплат до вартості проїзду розставляється відсоток загальної вартості проїзду, виплачуваний при запізненні поїзда понад встановлений термін, тобто $C_m = \{c_{11}, c_{12}, \dots, c_{mn}\}$. Запропоновано розраховувати c_{mn} за формулою

$$c_{mn} = \frac{P_{\text{проїзд}} \cdot A_m}{B_m + M(X)} \cdot 100\%, \quad (3)$$

де $P_{\text{проїзд}}$ – загальна вартість проїзду, грн.

Якщо $M(X) < B_n$, то формула набуває іншого вигляду:

$$c_{mn} = \frac{(P_{\text{проїзд}} \cdot A_m) \cdot \alpha}{B_m + M(X)} \cdot 100\%, \quad (4)$$

де α – коефіцієнт до рівня ціни, варіюється від 2 до 3.

Крім того, слід зазначити, що при визначенні відсотка повернення вартості проїзду необхідно також урахувати відхилення від математичного сподівання рівня затримки пасажирського поїзда за допомогою побудови графіка розподілу випадкових величин. Для прикладу припустимо, що гравцем «А» виступає умовний «пасажир», а гравцем «В» – «залізничний перевізник». Граничний рівень затримки встановлений на рівні від 1 до 25 хв. Вартість проїзду дорівнює $P_{\text{проїзд}} = 500$ умов. Од., а доплати до нього – від 20 до 80 умов. од. Вихідні дані для визначення затримок поїздів на станції K за деякий проміжок часу відображені на рис.1.

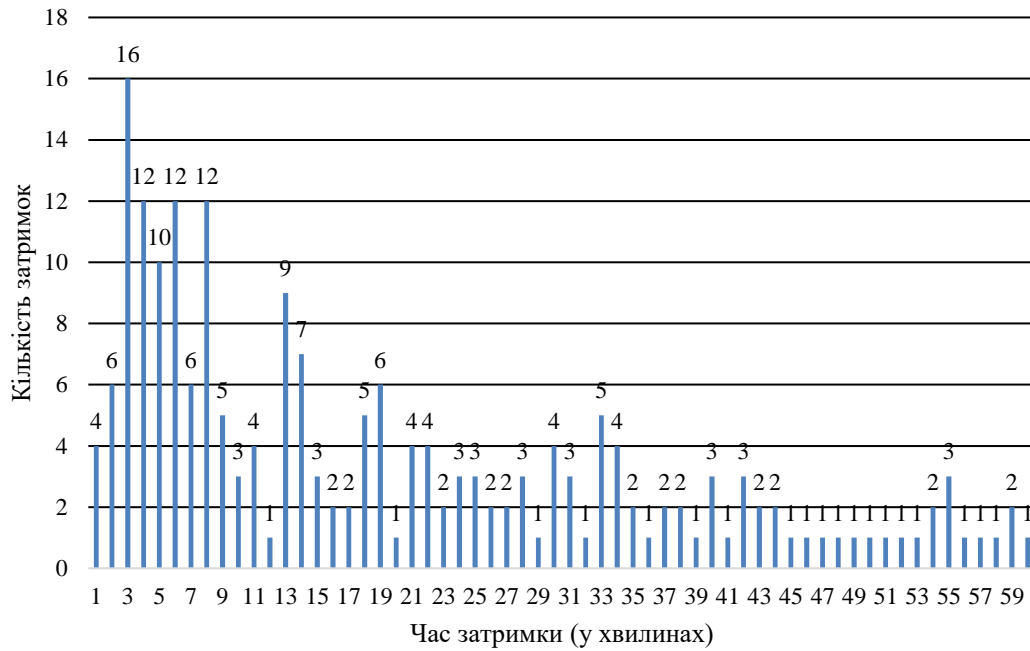


Рис. 1. Кількість і час затримки пасажирських поїздів на станції K

Математичне сподівання затримки для всіх затримок дорівнює $M(X) \approx 25,2$ хв. Проте воно враховує всі затримки, допущені за розглянутий період. Однак на рис. 1 можна побачити, що

найбільшу кількість пасажирських поїздів було затримано в межах від 1 до 35 хв. Враховуючи це, є доречним зменшити діапазон затримок, що розглядалися, до рівня від 1 до 35 хв (рис. 2).

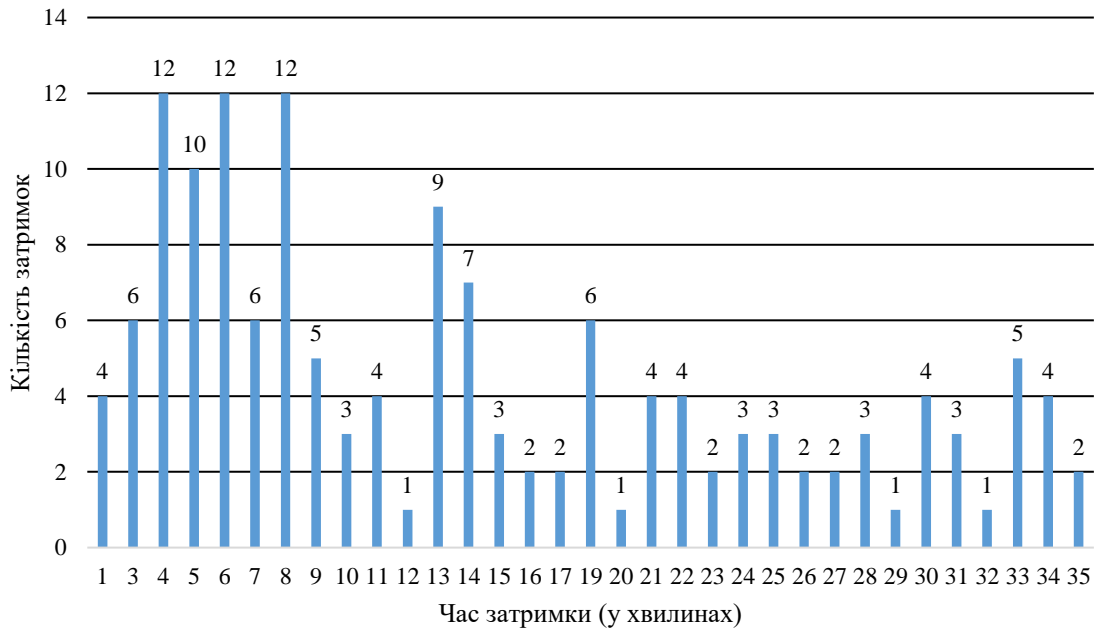


Рис. 2. Кількість і час затримки пасажирських поїздів на станції K (від 1 до 35 хв)

Математичне сподівання тривалості затримки дорівнює $M(X_{1-35\text{ хв}}) \approx 9,56$ хв. Враховуючи це математичне сподівання та розподіл часу затримки пасажирських поїздів, можна побудувати платіжну матрицю гри, до якої вноситься рівень штрафних

виплат до квитка A_m , граничний час затримки для пасажирського поїзда B_n і відсоток вартості квитка, що повертається пасажирову c_{mn} . Платіжна матриця наведена в табл. 2.

Таблиця 2

Матриця виграшів залізниці та пасажирів

		В				
		1	5	15	20	25
А	20	9,5	6,9	12,2	10,1	8,7
	40	18,9	13,7	24,4	20,3	17,4
	60	28,4	20,6	36,6	30,5	26
	80	37,9	27,8	48,9	40,6	34,7

Для розв'язання цієї матриці запропоновано використати метод мінімакс. Для цього необхідно знайти сідлову точку. Найоптимальніші стратегії як

для «залізниці», так і «пасажирів» відображені в табл. 3.

Таблиця 3

Найоптимальніші стратегії для «пасажирів» та «залізничний перевізник»

		В					$b = \max(c_{mn})$
		1	5	15	20	25	
А	20	9,5	6,9	12,2	10,1	8,7	6,9
	40	18,9	13,7	24,4	20,3	17,4	13,7
	60	28,4	20,6	36,6	30,5	26	20,6
	80	37,9	27,8	48,9	40,6	34,7	27,8
$a = \min(c_{mn})$		37,9	27,8	48,9	40,6	34,7	-

Гарантований виграш, визначений нижньою ціною гри, $a = \max(c_{mn}) = 27,8$, що вказує на максимальну чисту стратегію в комірці А4 для «залізничного перевізника». Верхня ціна гри дорівнює $b = \min(c_{mn}) = 27,8$, що вказує на комірку В2, тобто ціна гри дорівнює 27,8. Отже, за розрахунками гри, при заданих вихідних даних оптимальною стратегією для «пасажирів» і «залізничного перевізника» є ситуація, коли при найбільшій доплаті за проїзд у 80 умов. од. (вартість проїзду 580 умов. од.) при перевищенні затримки більш ніж на 5 хв повертається 27,8 % вартості проїзду.

затримки пасажирських поїздів дає можливість більш якісно дослідити відсоток виконання графіка руху. Наразі у АТ «Укрзалізниця» не встановлено нормативно максимально допустимий граничний час затримки для пасажирських поїздів. Для удосконалення системи обліку виконання графіка руху пасажирських поїздів на мережі залізниць України в цьому дослідженні запропоновано на основі методу теорії ігор формалізувати процедуру вибору граничних значень часу затримки для пасажирських поїздів, при перевищенні яких поїзд може вважатися затриманим з урахуванням системи «стимулів і штрафів». На емпіричних даних проведено розрахунки розв'язання матричної гри, які виявили, що оптимальним варіантом для гравців «пасажирів» і «залізничний перевізник» є ситуація, коли при найбільшій доплаті за проїзд при перевищенні затримки більш ніж на 5 хв повертається 27,8 % вартості квитка. Запропонована в цьому дослідженні математична модель на основі

Висновки

Завдяки проведеному аналізу діючих систем обліку виконання графіка руху поїздів у різних залізничних системах було виявлено, що впровадження максимально допустимого часу

теорії ігор дає змогу побудувати на ринку залізничних пасажирських перевезень систему підвищення якості виконання графіка руху поїздів з урахуванням інтересів перевізника та користувачів послуги з перевезення; дослідити і встановити для АТ «Укрзалізниця» граничні значення часу затримки для пасажирських поїздів, при перевищенні яких пасажирський поїзд може вважатися затриманим з урахуванням системи «стимулів і штрафів» (англ. Bonus-Malus System).

Список використаних джерел

1. Інструкція з руху поїздів і маневрової роботи на залізницях України: затв. наказом М-ва транспорту та зв'язку України від 31 серпня 2005 р. № 507. Київ: Вид-во ТОВ «Імпрес», 2005. 464 с.
2. Інструкція з обліку і аналізу виконання графіка руху пасажирських, приміських та вантажних поїздів : ЦЧУ-ЦД-0002 : затв. наказом Укрзалізниці 18.11.2010 р. № 747-Ц. Київ : Імпрес, 2011. 62 с.
3. Joborn M., Ranjbar Z. Understanding causes of unpunctual trains: Delay contribution and critical disturbances. *Journal of Rail Transport Planning & Management*. 2022. Vol. 23. P. 100339. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210970622000397?via%3Dihub#fig3> (last access 05.10.2022). DOI: 10.1016/j.jrtpm.2022.100339.
4. Grechi D., Maggi E. The importance of punctuality in rail transport investigation on the delay determinants. *European Transport*. 2018. Vol. 70. URL: https://www.researchgate.net/publication/330322491_The_importance_of_punctuality_in_rail_transport_investigation_on_the_delay_determinants (last access: 07.10.2022).
5. Damsara P., Sirisoma N. Analysis of Punctuality in Railway Transportation; Coastal Railway Line, Sri Lanka. *113th Annual Conference of Institute of Engineers*. 2019. P. 389- 394. URL: https://www.researchgate.net/publication/336650888_Analysis_of_Punctuality_in_Railway_Transportation_Coastal_Railway_Line_Sri_Lanka. (last access: 27.10.2022).
6. Zakeri G., Olsson N. O. E. Investigating the effect of weather on punctuality of Norwegian railways: a case study of the Nordland Line. *Journal of Modern Transportation*. 2018. Vol. 26. P. 255 – 267. DOI: 10.1007/s40534-018-0169-7.
7. Nabian M. A., Alemazkoo N., Meidani H. Predicting Near-Term Train Schedule Performance and Delay Using Bi-Level Random Forests. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2019. Vol. 2673/5. DOI: 10.1177/0361198119840339.
8. Lbazi S., Jihal H., Azouasi M. Predict France trains delays using visualization and machine learning techniques. *Procedia Computer Science*. 2020. Vol. 175. P. 700-705. DOI: 10.1016/j.procs.2020.07.103.
9. Binder S., Maknoon M. Y., Sharif A. Sh., Bierlaire M. Passenger-centric timetable rescheduling: A user equilibrium approach. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2021. Vol. 132. P. 103368. DOI: 10.1016/j.trc.2021.103368.
10. Stolilova S. Application of game theory in planning passenger rail and road transport on parallel routes. *19th International Scientific Conference Engineering for Rural Development*. 2020. P. 1293 – 1301. URL: https://www.researchgate.net/publication/342380330_APPLICATION_OF_GAME_THEORY_IN_PLANNING_PASSENGER_RAIL_AND_ROAD_TRANSPORT_ON_PARALLEL_ROUTES. (last access: 14.10.2022).
11. Моделирование распределения грузопотоков на направлениях транзитных перевозок железнодорожным транспортом в международном сообщении / Д. Н. Козаченко, Б. В. Гера, В. В. Скалозуб, Ю. Н. Германюк. *Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна*. 2016. № 11. С. 39 - 47. DOI: 10.15802/tstt2016/76829.
12. Punktualność pociągów w 2021 r. Portal statystyczny UTK. URL: <https://dane.utk.gov.pl/sts/analizy-i-opracowania/18652,Punktualnosc-pociagow-w-2021-r.html> (дата звернення: 13.11.2022).
13. Jones A.J. Game Theory. *Mathematical Models of Conflict*. Published by Woodhead Publishing Limited. 2000. 300 p. DOI: 10.1016/B978-1-898563-14-3.50002-1.

Kharchenko D., Kiman A., Snerbyna M., Prokhorchenko A. Improving the system of accounting for the implementation of the passenger train schedule

Abstract. The article is devoted to the improvement of the system of accounting for the implementation of the passenger train schedule by determining the maximum values of the delay time for passenger trains, when exceeded, the train is considered delayed. An analysis of the existing systems of accounting for the implementation of the train schedule in various railway systems is carried out. It is found that the introduction of the maximum permissible delay time for passenger trains allows finding a balance between the costs of the railway carrier and the requirements for the quality of passenger service. Using the game theory, the article formalizes the procedure for selecting the maximum values of the delay time for passenger trains, beyond which the train can be considered delayed, taking into account the Bonus-Malus System. Based on empirical data, the authors calculated the solution of a matrix game, which revealed that the optimal option for the players "passenger" and "railroad" is a situation where the highest fare surcharge, when the delay exceeds five minutes, returns 27.8% of the fare. The

mathematical model proposed in this study based on the latest game theory allows us to build a system for improving the quality of train scheduling in the railway passenger transportation market, taking into account the interests of the carrier and users of the transportation service.

Keywords: railroad, passenger transportation, train schedule, game theory.

Надійшла 10.03.2023 р.

Харченко Дмитро Романович, магістрант, група 221-ОПУТ-Д21, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: 0009-0005-3174-3231. E-mail: uznlt@ukr.net.

Киман Андрій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент кафедри управління вантажною та комерційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0002-4000-3287. Tel.: +38 (057) 730-10-75. Email: uermp@kart.edu.ua.

Щербина Марина Євгенівна, аспірант, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0003-1418-4886. Tel.: +38 (066) 635-76-01. Email: shcherbyna@kart.edu.ua.

Прохорченко Андрій Володимирович, доктор технічних наук, професор кафедри управління експлуатаційною роботою, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0003-3123-5024. Tel.: +38 (066) 635-76-01. Email: prokhorchenko@kart.edu.ua.

Kharchenko Dmytro, master-student, group 221-OPUT-D21, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0009-0005-3174-3231. E-mail: uznlt@ukr.net.

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

Snerbyna Maryna Yevhenivna, graduate student of the Department of Operational Management of the Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0003-1418-4886. Tel.: +38 (066) 635-76-01. Email: shcherbyna@kart.edu.ua

Prokhorchenko Andrii, 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. Tel.: +38 (066) 635-76-01. Email: prokhorchenko@kart.edu.ua