

УДК 656.212

Л. О. ЄЛЬНІКОВА^{1*}

^{1*} Каф. «Станції та вузли», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел. тел. +38 (056) 373-15-12, ел. пошта elida@i.ua, ORCID 0000-0002-7657-2879

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИВАЛОСТІ РУХУ ВАНТАЖНИХ ПОЇЗДІВ МІЖ ТЕХНІЧНИМИ СТАНЦІЯМИ ЗАЛІЗНИЧНОГО НАПРЯМКУ

Однією з ключових задач функціонування залізничного транспорту є вчасна доставка вантажів замовникам транспортних послуг при забезпеченні ефективного використання рухомого складу. Однією з важливих складових, необхідних для вирішення цієї задачі, є отримання якісного прогнозу щодо руху вантажних поїздів між технічними станціями, оскільки це дозволяє чітко планувати як експлуатаційну роботу залізниці по переробці вагонопотоків, так і ефективно організувати її взаємодію з вантажовласниками.

Для точного прогнозу прибуття поїздів необхідно визначити основні фактори, що впливають на величину тривалості руху поїздів між технічними станціями залізничного напрямку, та характер цього впливу. Для проведення досліджень з банку даних АСК ВП УЗ-С були отримані дані про тривалість руху вантажних поїздів на залізничному напрямку Синельниково-І – Нижньодніпровськ-Вузол – П'ятихатки.

В результаті статистичної обробки даних було визначено, що випадкова величина тривалості руху поїзда підпорядковується логарифмічно-нормальному закону розподілу; цю гіпотезу було перевірено та підтверджено за допомогою критерію Пірсона.

Було висунуте припущення, що на тривалість руху поїзда впливають такі фактори: момент відправлення поїзда з сусідньої технічної станції протягом доби, день тижня, місяць, а також маса поїзда та тип локомотива. Кількісну оцінку ступеню зв'язку між тривалістю руху поїзда та кожним вказаним фактором було виконано за допомогою кореляційного аналізу. Виявлено, що на тривалість руху значний вплив має сезонність, тобто місяць відправлення поїзда, помірний вплив мають день тижня та період відправлення поїзда протягом доби, а маса поїзда та тип локомотива мають слабкий вплив

Ключові слова: прогноз, прогнозна модель, тривалість руху поїзда, закон розподілу, кореляційний аналіз.

Одной из ключевых задач функционирования железнодорожного транспорта является своевременная доставка грузов заказчикам транспортных услуг при обеспечении эффективного использования подвижного состава. Одной из важных составляющих, необходимых для решения этой задачи, является получение качественного прогноза движения грузовых поездов между техническими станциями, так как это позволяет четко планировать как эксплуатационную работу железной дороги по переработке вагонопотоков, так и эффективно организовывать ее взаимодействие с грузовладельцами.

Для точного прогноза прибытия поездов необходимо определить основные факторы, влияющие на величину продолжительности движения поездов между техническими станциями железнодорожного направления, и характер этого влияния. Для проведения исследований из банка данных АСУ ГП УЗ-Е были получены данные о продолжительности движения грузовых поездов на железнодорожном направлении Синельниково-І - Нижнеднепровск-Узел - Пятихатки.

В результате статистической обработки данных было определено, что случайная величина продолжительности движения поезда подчинена логарифмически-нормальному закону распределения; эта гипотеза была проверена и подтверждена с помощью критерия Пирсона.

Было выдвинуто предположение, что на продолжительность движения поезда влияют следующие факторы: время отправления поезда из соседней технической станции в течении суток, день недели, месяц, а также масса поезда и тип локомотива. Количественная оценка степени связи между продолжительностью движения поезда и каждым указанным фактором была выполнена с помощью корреляционного анализа. Вывявлено, что на продолжительность движения поезда значительное влияние имеет сезонность, то есть месяц отправления поезда, умеренное влияние имеют день недели и период отправления поезда в течении суток, а масса поезда и тип локомотива имеют слабое влияние.

Ключевые слова: прогноз, прогнозная модель, продолжительность движения поезда, закон распределения, корреляционный анализ.

One of the key problems of railway transport functioning is timely delivery of goods to the customers of transport services while ensuring efficient use of the rolling stock. One of the important components required to solve this problem is to obtain qualitative forecast about the freight trains movement between the technical stations,

as it allows to plan as railways' operational work on processing wagons flow as well as organize effectively its interaction with cargo owners.

For exact forecast of the trains' arrival is necessary to define the main factors that affect the value of the duration of train movement between the technical stations of railway direction, nature of this influence.. For conducting research were obtained data of the duration of freight trains movement from ACS FT UZ-U database on the railway direction Sinelnikovo-I - Nizhnedneprovsk node - Pyatikhatki.

As a result of statistical data processing, it was determined that the random variable of the duration of the train movement obeys the logarithmically-normal distribution law; this hypothesis was tested and confirmed using Pearson criterion.

It has been suggested that the duration of train movement is influenced by such factors: the time departure of the train from the neighboring technical station throughout the day, day, month, the train's mass and the locomotive type. Quantitative assessment of the degree of connection between the duration of the train movement and each indicated factor was made using correlation analysis. It was found that seasonality has a significant effect on the movement duration, ie departure month, day of week and time of departure of the train throughout the day have moderate effect, and the train's mass and the locomotive type have weak influence.

Keywords: forecast, forecast model, the duration of the train movement, distribution law, correlation analysis.

Вступ

Однією з умов успішного розвитку будь-якого підприємства є ритмічність його роботи, яка включає в себе ритмічність збуту готової продукції та отримання сировини для безперебійного випуску продукції. В цьому зв'язку важливою складовою будь-якого виробничого процесу є транспорт, що забезпечує, як доставку сировини до підприємств, так і вивезення готової продукції. Залізничний транспорт України наразі є лідером за обсягами вантажообігу [0], тож проблема якісної організації його роботи завжди є актуальною. Одною з ключових задач функціонування залізничного транспорту є вчасна доставка вантажів замовникам транспортних послуг. Однією з важливих складових, необхідних для вирішення цієї задачі, є отримання якісного прогнозу щодо руху вантажних поїздів між технічними станціями, оскільки це дозволяє чітко планувати як експлуатаційну роботу власне залізниці по переробці вагонопотоків, так і ефективно організувати її взаємодію з вантажовласниками.

Постановка задачі дослідження

Створення прогнозної моделі поїзної роботи залізничного напрямку може вирішити питання, пов'язані з прогнозом прибуття поїздів на технічні станції. Разом з тим, отримання якісного прогнозу поїзної роботи представляє собою досить складну задачу, оскільки процес руху поїздів на залізничних напрямках піддається впливу багатьох факторів і має стохастичний характер [2]. Визначення цих факторів та характеру їх впливу є необхідним при розробці прогнозної моделі залізничного напрямку. Окрім того, рух вантажних поїздів характеризується значною

нерівномірністю: сезонною, тижневою та внутрішньодобовою [3, 4, 5], тому вплив нерівномірності також необхідно враховувати при прогнозуванні руху вантажних поїздів. Важливою задачею при розробці прогнозної моделі залізничного напрямку є прогнозування моментів прибуття вантажних поїздів на технічні станції. Вирішення цієї задачі потребує встановлення факторів та характеру їх впливу на величину тривалості руху поїздів між технічними станціями. Для проведення досліджень з банку даних АСК ВП УЗ-Є був отриманий масив даних про тривалість руху вантажних поїздів на залізничному напрямку Синельникове-I – Нижньодніпровськ-Вузол – П'ятихатки за 15 діб січня, квітня, червня та вересня 2014 року. При цьому по кожному поїзду, окрім тривалості руху між станціями, фіксувались: час та дата (день тижня, місяць) його відправлення з технічної станції, маса поїзда та тип локомотива.

Результати досліджень

На основі результатів статистичної обробки даних АСК ВП УЗ-Є про рух поїздів на залізничному напрямку були визначені параметри відповідних випадкових величин. Так, наприклад, для дільниці Нижньодніпровськ-Вузол – П'ятихатки у квітні місяці математичне очікування випадкової величини тривалості руху поїзда склало $M[t] = 3,69$ год, середнє квадратичне відхилення $\sigma[t] = 0,64$ год. Окрім того, була висунута гіпотеза про логарифмічно-нормальний закон розподілу випадкової величини тривалості руху вантажних поїздів; перевірка гіпотези за критерієм Пірсона χ^2 підтвердила її правильність [6].

При виконанні дослідження було висунуто припущення, що тривалість руху поїзда

між технічними станціями залежить як від моменту його відправлення з сусідньої технічної станції (час відправлення протягом доби, день тижня, місяць), так і від параметрів вантажного поїзда, серед яких було виділено масу поїзда та тип локомотива.

Для визначення ступеню впливу часу (протягом доби) відправлення поїзда з технічної станції на величину тривалості його руху на дільниці, добу було поділено на 8 періодів тривалістю по 3 години. Для кожного такого періоду було визначено закон розподілу випадкової величини тривалості руху поїзда, а також відповідні параметри – $M[t]$, $\sigma[t]$. У результаті виконаних досліджень було виявлено, що в кожному періоді доби випадкова величина тривалості ходу поїзда також

розподілена за логарифмічно-нормальним законом. Кількісну оцінку ступеню зв'язку між часом відправлення поїзда та його тривалістю ходу на дільниці було виконано за допомогою кореляційного аналізу [6]. Так, було визначено, що коефіцієнт кореляції між періодом доби, коли поїзд відправляється з технічної станції, та тривалістю його руху на дільниці становить $R = 0,3$; за шкалою Чеддока це свідчить про помірний зв'язок між вказаними параметрами [7]. Для прикладу, на рис. 1 наведено графіки тривалості руху поїздів на дільниці П'ятихатки – Нижньодніпровськ-Вузол протягом різних місяців в залежності від періоду доби відправлення вантажних поїздів з сусідньої технічної станції.

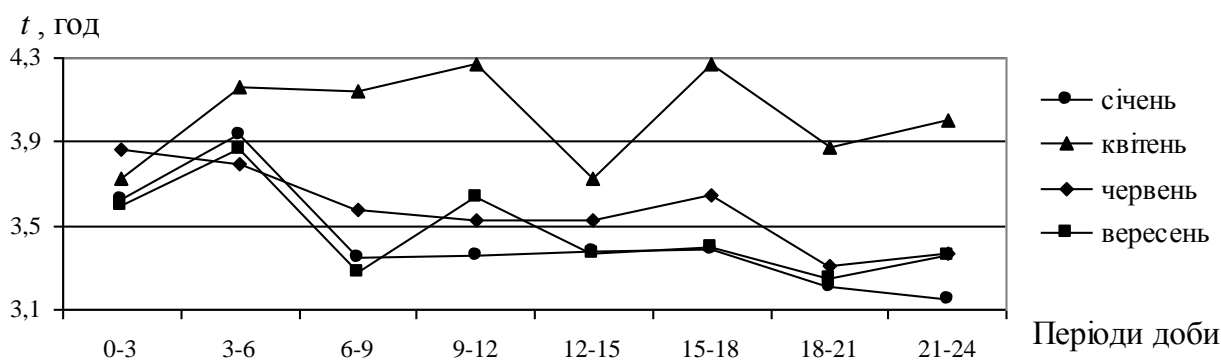


Рис. 1. Графіки тривалості руху вантажних поїздів на дільниці П'ятихатки – Нижньодніпровськ-Вузол в залежності від періоду доби їх відправлення

Як видно, в основному, тривалість руху поїзда знижується до кінця доби. Наприклад, якщо для червня місяця тривалість руху поїзда, відправленого в період $0^{00} \dots 3^{00}$, сягає 3,86 год, то тривалість ходу поїзда, відправленого в останній період доби, становить 3,37 год, тобто майже на 0,5 год (13 %) менше. Також протягом доби можна виділити періоди зростання величини тривалості руху поїздів (періоди $3^{00} \dots 6^{00}$, $9^{00} \dots 12^{00}$, $15^{00} \dots 18^{00}$), а також періоди зниження тривалості руху вантажних поїздів (періоди $6^{00} \dots 9^{00}$, $12^{00} \dots 15^{00}$, $18^{00} \dots 24^{00}$). Слід зазначити, що для кожної дільниці залізничного напрямку існують характерні лише для неї залежності величини тривалості руху поїздів від періоду доби відправлення з сусідньої технічної станції. Наявність помірного зв'язку між цими параметрами спричинює необхідність врахування періоду відправлення поїздів протягом доби при прогнозуванні тривалості їх руху на дільницях.

З наведених на рис. 1 залежностей можна зробити висновок про наявність істотного впливу місяця відправлення на величину тривалості руху поїзда, що можна пояснити зрос-

танням кількості та тривалості «вікон» для проведення планових ремонтних робіт. Так, якщо середнє значення тривалості руху протягом доби в квітні становить 4,02 год, то в січні – 3,42 год, тобто на 0,6 год (15 %) менше. При цьому, коефіцієнт кореляції між місяцем року відправлення вантажного поїзда та тривалістю його ходу на дільниці становить $R = 0,64$, що свідчить про значний зв'язок між цими параметрами [7].

Окрім визначення впливу часу відправлення поїзда на величину тривалості його руху на дільниці, були виконані дослідження щодо виявлення взаємозв'язку між днем тижня відправлення вантажного поїзда з сусідньої технічної станції та тривалістю його руху. Для кожного дня тижня було визначено, що випадкова величина тривалості руху поїзда також розподілена за логарифмічно-нормальним законом. Так, для прикладу, на рис. 2 наведено графіки тривалості руху поїздів на дільниці Нижньодніпровськ-Вузол – П'ятихатки протягом різних місяців в залежності від дня тижня відправлення вантажних поїздів з сусідньої технічної станції.

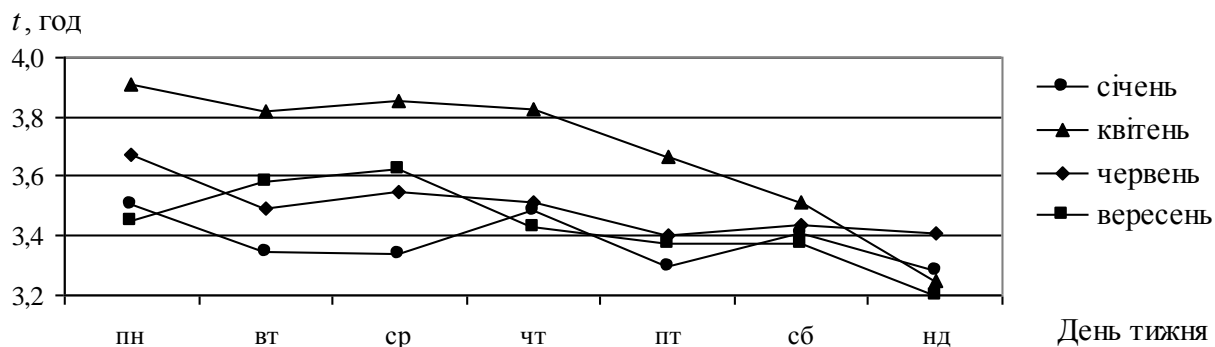


Рис. 2. Графіки тривалості руху вантажних поїздів на дільниці Нижньодніпровськ-Вузол – П'ятихатки в залежності від дня тижня їх відправлення

Як видно з наведених графіків, існує суттєва різниця величини тривалості руху поїздів, відправлених на початку та в кінці тижня, при чому діапазон коливання математичного очікування даної величини складає 3,2...3,9 год, тобто поїзд, відправлений в неділю прийде на технічну станцію в середньому на 0,7 год (20%) швидше, ніж поїзд, відправлений в понеділок. За допомогою кореляційного аналізу було встановлено, що між днем тижня відправлення вантажного поїзда та тривалістю його руху між технічними станціями дільниці існує помірний зв'язок (коефіцієнт кореляції $R=0,375$).

Як відомо, характер руху поїзда по ділянці суттєвим чином визначається типом локомотива та масою состава. В цьому зв'язку було ви-

конане впливу цих параметрів на величину тривалості руху поїздів на дільницях.

Згідно до технічних характеристик тягових рухомих засобів [8, 9], локомотиви, які обертаються на дільницях напрямку Синельникове-І – Нижньодніпровськ-Вузол – П'ятихатки, можна розділити на 4 групи за потужністю: 1 група – ВЛ11 та ВЛ11М, 2 група – ВЛ11М/5 та ВЛ11/6, 3 група – ВЛ8, 4 група – ДЭ1. Для кожної групи була виконана статистична обробка вибірок значень тривалості руху поїздів та визначені параметри законів розподілу для відповідних випадкових величин. Для прикладу, на рис. 3 наведено графіки тривалості руху вантажних поїздів на дільниці П'ятихатки – Нижньодніпровськ-Вузол в залежності від типу локомотива.

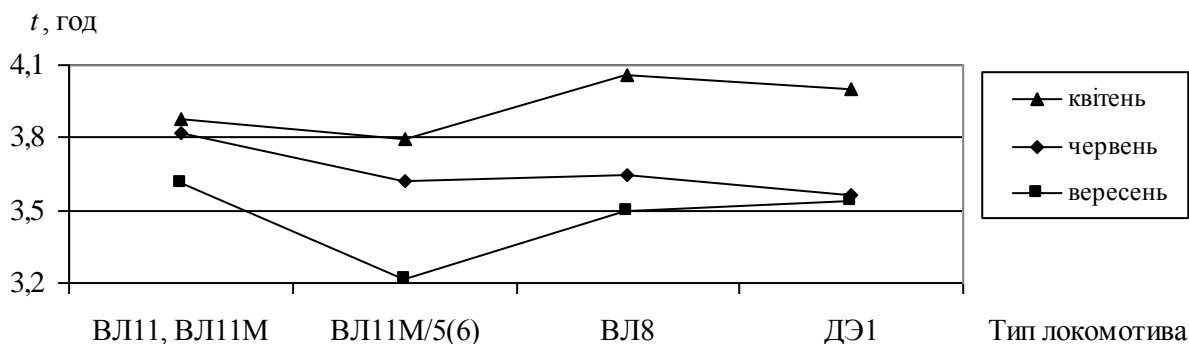


Рис. 3. Графіки тривалості руху вантажних поїздів на дільниці П'ятихатки – Нижньодніпровськ-Вузол в залежності від типу локомотива.

Аналіз наведених графіків показує, що локомотиви другої групи (ВЛ11М/5 та ВЛ11/6) найшвидше долають відстань між сусідніми технічними станціями. Так, наприклад, у вересні, поїзд з локомотивом ВЛ11М/5 у середньому знаходився в русі майже на 20 хв менше, ніж поїзд з локомотивом ВЛ8. Слід зазначити, що аналогічна тенденція спостерігається на всіх дільницях, які досліджувались. Разом з тим, кореляційний аналіз показав, що між типом ло-

комотива та величиною тривалості руху поїзда існує слабкий зв'язок, оскільки коефіцієнт кореляції між цими двома факторами склав $R = 0,19$.

Для дослідження впливу величини маси поїзда на тривалість його руху між технічними станціями напрямку, весь діапазон зафіксованих значень маси поїздів був поділений на інтервали з кроком $\Delta q = 500$ т при максимальному значенню маси поїзда – 6500 т. Для кожного

такого інтервалу було визначено параметри законів розподілу випадкової величини тривалості руху поїздів. Встановлено, що коефіцієнт кореляції між масою поїзда та тривалістю його руху складає $R = 0,245$, що за шкалою Чеддока відповідає слабкому ступеню зв'язку між вказаними параметрами. Слід зазначити, що отримані результати щодо ступеню впливу маси состава на тривалість руху поїздів на дільниці також підтверджуються дослідженнями, виконаними в [10].

Висновки

На якість прогнозу поїзної роботи на залізничному напрямку суттєво впливає точність інформації про тривалість руху поїздів по дільницях, і, відповідно, про моменти їх прибуття на технічні станції. Як показує аналіз, тривалість руху поїздів між технічними станціями визначається не тільки встановленими нормами часу руху по перегонам, але залежить від множини інших факторів, серед яких нерівномірність в роботі залізниць та параметри поїздів.

Результати виконаних досліджень свідчать, що нерівномірність в роботі залізничного транспорту (внутрішньодобова, тижнева та сезонна) мають більший вплив на тривалість руху поїздів між технічними станціями, ніж такі параметри поїздів, як тип локомотива та маса состава. Це свідчить про те, що час знаходження у русі поїздів з однаковими параметрами може суттєво відрізнитись в залежності від часу та дати їх відправлення з суміжної технічної станції. Разом з тим, серед розглянутих факторів не було виявлено такого, який би мав значно сильніший вплив на час руху поїздів, у порівнянні з іншими факторами. В цьому зв'язку автор робить висновок, що для отримання більш точного прогнозу моментів прибуття поїздів на технічні станції необхідно враховувати усі розглянуті фактори при визначенні тривалості руху поїздів на залізничному напрямку.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Транспорт і зв'язок України – 2013. Статистичний збірник [Текст]. – Київ : Державна служба статистики, 2014. – 222 с.
2. Правдин, Н. В. Прогнозирование грузовых потоков [Текст] / Н. В. Правдин, М. Л. Дыкандюк, В. Я. Негрей. – Москва : Транспорт, 1987. – 247 с.
3. Сотников, Е. А. Неравномерность грузовых перевозок в современных условиях и ее влияние на потребную пропускную способность участков [Текст] / Е. А. Сотников, К. П. Шенфельд // Вестник ВНИИЖТ. – 2011. – № 5. – С. 3-9.
4. Вернигора, Р. В. Анализ неравномерности грузовых перевозок на магистральном и промышленном железнодорожном транспорте [Текст] / Р. В. Вернигора, Н. И. Березовый // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – №2/3 (56). – С. 62-67.
5. Вернигора, Р. В. Анализ нерівномірності відправлення поїздів з технічних станцій на залізничному напрямку [Текст] / Р. В. Вернигора, Л. О. Сльнікова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – №3/3 (63). – С. 63-66.
6. Леман, Э. Проверка статистических гипотез [Текст]. – Москва : Наука, 1979. – 408 с.
7. Корреляционно-регрессионный анализ [Електрон. ресурс] / Режим доступа – <http://www.grandars.ru/student/statistika/korrelyacionno-regressionnyy-analiz.html>
8. Правила тяговых расчетов для поездной работы [Текст]. – Москва : Транспорт, 1985. – 287 с.
9. Грузо-пассажирский электровоз ДЭ1 [Електрон. ресурс] / Режим доступа – <http://devs.com.ua>.
10. Бардась, О. О. Підвищення ефективності поїздоутворення шляхом вибору черговості розпуску составів [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 / Бардась Олександр Олександрович. – Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2012. – 21 с.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Герою Б.В. (Україна)

Надійшла до редколегії 27.12.2014.

Прийнята до друку 28.12.2014.