

УДК 656.2.072.2

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВЕЛИЧИНИ РЕЗЕРВУ ЧАСУ НА НАДІЙНІСТЬ ГРАФІКА РУХУ ШВИДКІСНИХ ПОЇЗДІВ

Асп. Г. О. Прохорченко, А. І. Щербацька, М. М. Ткачук

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ РЕЗЕРВА ВРЕМЕНИ НА НАДЕЖНОСТЬ ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ СКОРОСТНЫХ ПОЕЗДОВ

Асп. Г. О. Прохорченко, А. И. Щербацкая, М. М. Ткачук

RESEARCH EFFECT OF THE RESERVE TIME RELIABILITY HIGH SPEED TRAIN SCHEDULE

Н. Prokhorchenko, A. Scherbatska, M. Tkachuk

Робота присвячена дослідженню впливу величини резерву часу між поїздами на надійність графіка руху поїздів. Проаналізовано досвід використання величини резерву між поїздами, виявлено залежності дільничної швидкості, величини часу затримок всіх поїздів на дільниці від величини часу первинної затримки швидкісних поїздів.

Ключові слова: графік руху поїздів, надійність графіка руху поїздів, резерв часу.

Работа посвящена исследованию влияния величины резерва времени между поездами на надежность графика движения поездов. Проанализирован опыт использования величины резерва между поездами, выявлены зависимости участковой скорости, величины времени задержек всех поездов на участке от величины времени первичной задержки скоростных поездов.

Ключевые слова: график движения поездов, надежность графика движения поездов, резерв времени.

The work is devoted to research the effect of reserve time between trains on the reliability of the train schedule. In terms of implementation speed movement in Ukraine determination of this value is of particular relevance because it is important to reduce the length of the trip and at the same time compliance accuracy and reliability of the train schedule. This paper analyzes the domestic and foreign experience of using reserve values between trains detected depending polling rate, the value of the primary and secondary time delay of trains at the station on the value of primary delay time of high-speed trains. A simulation of railway station with different size high-speed trains delayed departure at the beginning of the stations that limit station. A statistical analysis intervals departure station to the original station station found continuous distribution laws intervals departure station for each of the directions of movement.

Keywords: schedule of train, train schedule reliability, reserve time.

Вступ. В умовах розвитку швидкісного руху пасажирських поїздів перед залізницями України постає завдання забезпечення надійності та точності наданих послуг з перевезення пасажирів. Дані показники відображають якість

обслуговування, що виражається у здатності дотримуватися розкладу руху, обіцяного пасажирам. В основі запропонованого пасажирам розкладу руху лежить нормативний документ – нормативний графік руху поїздів (ГРП),

який є планом розподілу часу слідування потрібної кількості поїздів різних категорій через залізничну мережу [1,2]. ГРП для кожного поїзда визначає план послідовного розподілу часу проходження за дільницями маршруту – нитку графіка руху швидкісного пасажирського поїзда, за якою забезпечує безперебійний, злагоджений технологічний процес перевезення. Однією з перешкод слідуванню поїзда за встановленими нормативними нитками графіка є вплив різного роду випадкових факторів, до яких можна віднести непередбачувані відмови технічних засобів (локомотивів, вагонів, колій, пристроїв СЦБ і зв'язку, контактної мережі тощо) та відмови з організаційно-технологічних причин (помилкові дії працівників різних служб, відсутність колій приймання для поїздів на станції, збої у прослідуванні інших поїздів через дільницю).

Одним із інструментів для поліпшення показників точності та надійності ГРП шляхом згладжування наслідків порушення нормативного розкладу руху є закладання у планові елементи технології пропуску поїзда резерву часу – кількість часу, на який може бути затримано виконання етапу процесу руху поїзда за ниткою без наслідків для наступних етапів в послідовності виконання ГРП. Даний запас часу може бути використаний в ситуації, коли є ризик затримки поїзда відносно встановленого графіка руху поїздів. Однак в умовах швидкісного руху поїздів, де важливим є зменшення тривалості подорожі, встановлення величини резервів часу є завданням компромісу між конкуренто-спроможністю пасажирського поїзда на маршруті та надійністю ГРП. За таких умов дослідження, спрямовані на пошук оптимальних величин резерву та способів їх розподілу у графіку руху, є актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Завдання встановлення резерву часу для ниток слідування пасажирських поїздів серед провідних вітчизняних вчених

поширення не набуло, однак отримало розвиток серед провідних закордонних вчених. Зокрема, В. Schittenhelm [3] у своїх дослідженнях описує оптимальне використання застосовування часу додавання поїздів з використанням різних стратегій планування на залізницях Данії, L. Kroon, R. Dekker [4] у своїх роботах проводили аналіз затримок поїздів на залізницях Голландії, Швейцарії, Німеччини та визначили порогові значення затримок для різних категорій поїздів цих країн. Дослідження F. Cerreto, O. Nielsen, S. Harrod [5,6] присвячені аналізу затримок поїздів на залізницях Данії, поділу їх за видами та вивченню еволюції затримок поїздів. Всі дослідження спрямовані на поліпшення якості складання графіка руху поїздів, зменшення часу на перевезення пасажирів та вантажів та продуктивне використання рухомого складу. Однак дані дослідження повністю не можуть бути застосовані для використання на залізницях України, оскільки у своїй більшості орієнтовані на використання циклічних графіків руху поїздів, що не застосовуються на більшості залізничної мережі України.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою даного дослідження є вивчення впливу величини резерву часу між двома нитками поїздів на надійність графіка руху швидкісних поїздів. Це дозволить встановити найбільш раціональні норми резервів часу між швидкісними і звичайними поїздами на дільниці, підвищити якість складання графіка руху поїздів на залізницях України, що, як наслідок, дозволить забезпечити прийнятний рівень надійності та точності надання послуг з перевезення пасажирів швидкісними поїздами.

Основна частина дослідження. На даний час на залізницях України з метою стійкого виконання графіка руху поїздів у процесі його розробки передбачаються певні резерви, які на кожній дільниці не повинні перевищувати значення,

розраховані за спеціальною формулою, яка визначає додатковий час, що залежить від прийнятого рівня надійності графіка руху поїздів та коефіцієнта швидкості, які встановлюються за “Інструкцією з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць України” [7].

Для можливості зміни порядку пропуску поїздів в оперативному режимі при створенні ГРП на кожному перегоні виділяють вільні від прослідування поїздів інтервали (на одноколіній дільниці – на обмежувальному перегоні, на двоколіній – по кожному напрямку зі зміщенням, дозволяє мати у графіку після пропуску 5 % добової кількості поїздів деякий резерв у часі). Тривалість такого інтервалу повинна дорівнювати часу руху поїзда по цьому перегону. Між вільними смугами повинно прокладатися 10-12 % добової кількості вантажних поїздів. Для створення умов стійкого виконання графіка руху на двоколіїних лініях після пропуску 8-10 % добової кількості поїздів передбачається збільшений на 6-8 хв інтервал. Наявність такого інтервалу дозволяє скоротити вплив відхилень перегінних часів руху від нормативів на дільничну швидкість вантажних поїздів. Подібна практика існує на залізницях Білорусі, Казахстану тощо. Однак дані стратегії мають певні недоліки – узагальнення резервного часу не дозволяє встановити необхідні розміри резервів у нитці для конкретної категорії поїздів, які мають різний пріоритет. Відсутність будь-якої конкретизації призводить до встановлення величин резервів часу в кожному конкретному випадку експертним шляхом, ґрунтуючись на практичному досвіді інженерів – графістів та без будь-яких досліджень впливу прийнятих рішень на надійність графіка руху.

У більшості країн Західної Європи існує резервний час відповідно до досліджень Міжнародного союзу залізниць, який залежить пропорційно від довжини шляху [8-10] і збільшується з максимальною швидкістю, однак кожен

менеджер інфраструктури використовує власну стратегію виділення резервного часу. Так, датський менеджер залізничної інфраструктури Rail Net Denmark використовує диференційований резерв часу в залежності від дальності слідування поїзда (регіональний чи дальній поїзд), в деяких випадках навіть збільшуючи удвоє резерв, рекомендований Міжнародним союзом залізниць. Цікавим є досвід використання стратегії Швейцарської федеральної залізниці (нім., Schweizerische Bundesbahn, SBB), що з 2004 року ввела комплексний фіксований інтервал у ГРП з поділом мережі залізниць на дві категорії районів в залежності від завантаження [5, 8]: райони, що працюють на рівні або майже на межі пмаксимальної пропускної спроможності; райони з резервними потужностями – “компенсаційні зони”. Для досягнення високого рівня пунктуальності компанія SSB почала використовувати нову стратегію застосування резервного часу. У районах, що працюють на рівні або майже на межі максимальної пропускної спроможності дільниць, нитки графіка прокладаються на ГРП з максимальним часом ходу поїздів на перегоні і мінімальним резервним часом в розкладі. Це робиться з метою мінімізації знаходження поїздів у районі “вузьких” місць. У той час як в “компенсаційних зонах” нитки поїздів плануються з великими значеннями резервного часу з метою забезпечення точності прибуття поїздів у райони, що працюють на рівні або майже на межі максимальної пропускної спроможності дільниць.

Враховуючи, що для залізниць України майже відсутні конкретизовані правила встановлення резервів часу у нитці пасажирських поїздів, зокрема швидкісних, в даній статті запропоновано дослідити вплив величини резерву часу на надійність графіка руху швидкісних поїздів та інших поїздів на дільниці. Враховуючи, що найбільш невивченим є час для відновлення у нитці, вибрано для

дослідження один із впливових елементів його реалізації – резерв часу до міжпоїзного інтервалу між двома взаємопов’язаними нитками поїздів (англ., *buffer times between trains*).

Для проведення експериментальних досліджень було вибрано елемент дільниці С – В з десятима станціями, за яким проходять маршрути швидкісних поїздів сполученням Харків-Київ. Для дослідження використано вихідні дані нормативного графіка руху поїздів на даній дільниці. У непарному напрямку 30 ниток вантажних поїздів та 19 ниток пасажирських, з яких чотири нитки швидкісних поїздів. У парному напрямку 28 ниток вантажних поїздів, 21 нитка пасажирських поїздів, з яких з яких чотири нитки швидкісних поїздів.

Для дослідження впливу затримки на показники руху всіх поїздів на дільниці використано розроблену математичну модель автоматизованого розрахунку графіка руху поїздів [11], яка була реалізована у середовищі Matlab як основа імітаційного моделювання, за яким

генерується задана величина часу затримки швидкісних поїздів та час відновлення їх руху. Після цього виконується побудова раціонального ГРП з урахуванням відмов та розраховуються статистичні параметри розповсюдження затримки.

Оскільки швидкісні поїзди в графіку руху поїздів мають вищий пріоритет над іншими категоріями поїздів в нормативному графіку, то лише їх затримка має великий вплив на надійність ГРП. Таким чином, в роботі запропоновано виконати моделювання затримки чотирьох швидкісних поїздів. Проведено імітаційне моделювання роботи дільниці Совнаркомівська – Вакулинці з різною величиною затримки чотирьох швидкісних поїздів на початку відправлення зі станцій, що обмежують дільницю. За кожним з напрямків руху на дільниці отримані залежності дільничної швидкості, величини часу первинних та вторинних затримок всіх поїздів на дільниці від величини часу первинної затримки кожного з чотирьох швидкісних поїздів, що наведені на рис. 1-2.

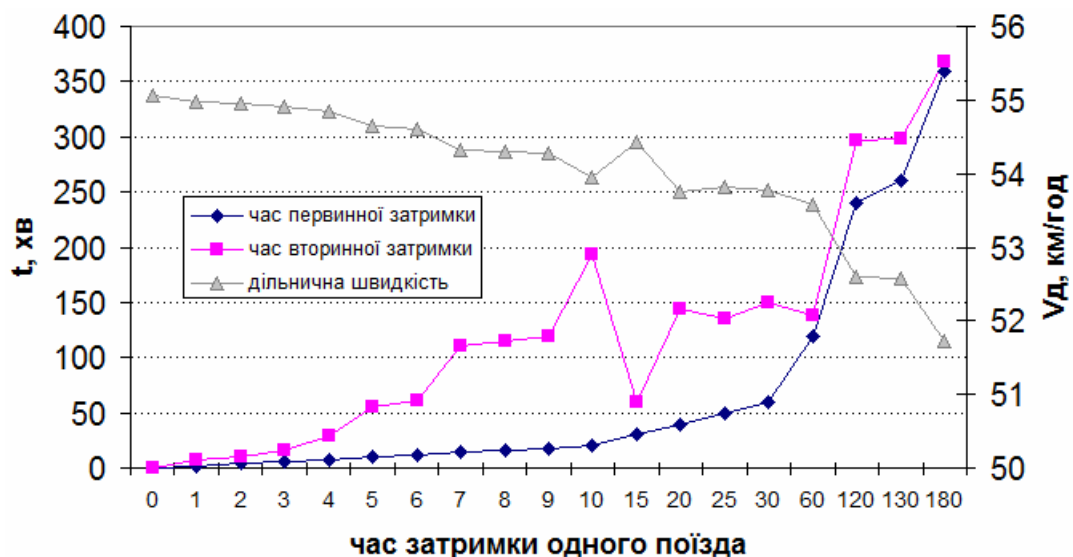


Рис. 1. Залежність дільничної швидкості, величини часу первинних та вторинних затримок всіх поїздів на дільниці від величини часу первинної затримки кожного з чотирьох швидкісних поїздів у парному напрямку руху

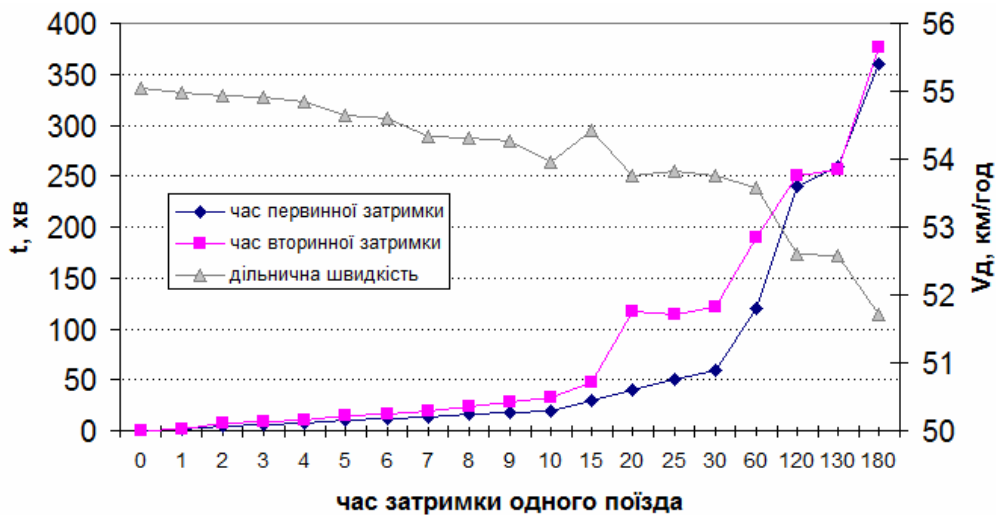


Рис. 2. Залежність дільничної швидкості, величини часу первинних та вторинних затримок всіх поїздів на дільниці від величини часу первинної затримки кожного з чотирьох швидкісних поїздів у непарному напрямку руху

Із залежності на рис. 1 видно, що при збільшенні затримки до 10 хв в парному напрямку виникає пік величини вторинних затримок всіх поїздів на дільниці, що складає 193 хв, тоді як дільнична швидкість складає 53,9 км/год, що менше нормативної дільничної швидкості на 2%. Слід зазначити, що подальше збільшення величини затримки включно до 60 хв майже не впливає на падіння дільничної швидкості. Це підтверджує існування критичних меж встановлення резерву часу між поїздами у ГРП, які ефективно впливають на забезпечення надійності.

За тих самих умов в непарному напрямку (див. рис. 2) видно, що вторинні затримки всіх поїздів мають незначне збільшення та складають 32 хв. Розрахунок дільничної швидкості проводився для обох напрямків, і тому не потребує повторного аналізу.

Для більш детального аналізу впливу величини затримки побудовані для обох напрямків залежності кількості затримок всіх поїздів у графіку руху (без урахування ниток швидкісних поїздів) від величини часу первинної затримки кожного з чотирьох швидкісних поїздів, що наведені на рис. 3-4.

Із залежності на рис. 3 можна зробити висновок: при величині десятихвилинної затримки швидкісних поїздів кількість затриманих поїздів інших категорій становить п'ять, в той час як восьмихвилинна затримка є критичною межею та викликає затримку семи поїздів. Більш важливим показником надійності ГРП є кількість затриманих поїздів. Таким чином, можна зробити висновок, що резерв у 8 хв є більш прийнятним, ніж 10 хв, так як майже за рівнозначними показниками дільнична швидкість все ж таки більша при 8 хв на 0,63% від десятихвилинного показника. Це дозволить пришвидшити рух поїздів на дільниці, що прямо впливає на економічні показники перевезень.

Аналіз залежності на рис. 4 свідчить про незначний вплив величини затримки на кількість затриманих поїздів у непарному напрямку. В діапазоні 8–10 хв відбувається незначне збільшення кількості затриманих поїздів – від одного поїзда до трьох. Таким чином, за аналогією з висновком по парному напрямку можна стверджувати, що восьмихвилинна затримка є більш прийнятною.



Рис. 3. Залежність кількості затримок всіх поїздів у графіку руху від величини часу первинної затримки кожного з чотирьох швидкісних поїздів у парному напрямку

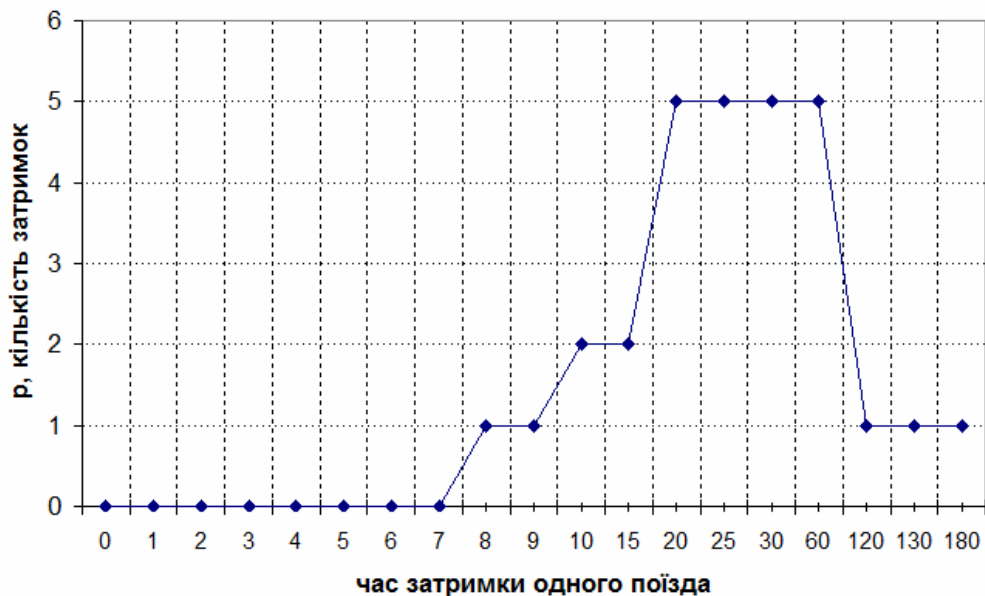


Рис. 4. Залежність кількості затримок всіх поїздів у графіку руху від величини часу первинної затримки кожного з чотирьох швидкісних поїздів у непарному напрямку

Для аналізу впливу восьмивихвилинної затримки на надійність нормативного ГРП в роботі виконано статистичний аналіз інтервалів відправлення поїздів на дільницю з початкових станцій дільниці. Знайдено неперервні закони розподілу інтервалів відправлення поїздів на

дільницю за кожним із напрямків руху. Встановлено, що час між поїздами за відправленням із станції Совнаркомівська підпорядковується закону Ерланга третього порядку з показником $\lambda=0,036273$ (рис. 5). Математичне сподівання складає 27,57 хв, середньоквадратичне відхилення – 16,02 хв.

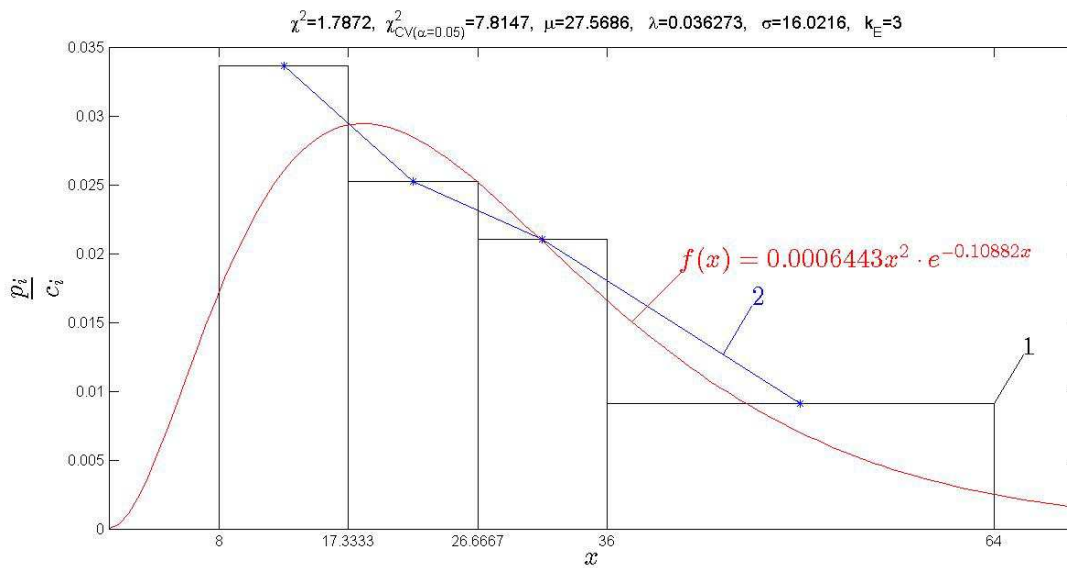


Рис. 5. Гістограма частот, емпірична та теоретична функції розподілу інтервалу між поїздами за відправленням у непарному напрямку на станції Совнаркомівська згідно з нормативним ГРП

Встановлено, що час між поїздами за відправленням із станції Вакулинці підпорядковується закону Ерланга другого порядку з показником $\lambda=0,034164$ (рис. 6). Математичне сподівання складає 29,27 хв, середньоквадратичне відхилення – 19 хв.

Перевірка правдоподібності гіпотез про приналежність дослідних даних до заданого виду імовірнісного закону проводилася за допомогою критерію Пірсона при рівні значущості 0,05.

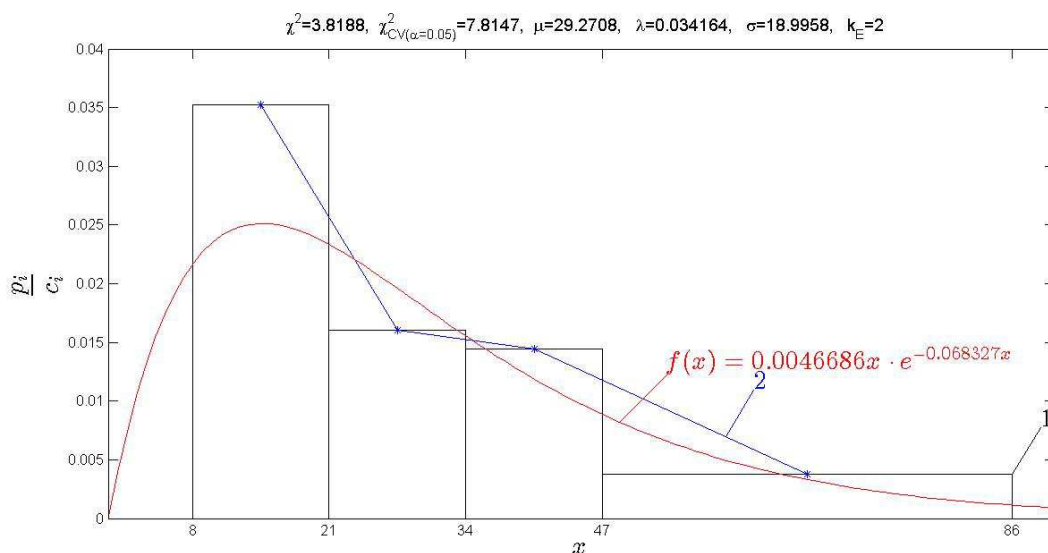


Рис. 6. Гістограма частот, емпірична та теоретична функція розподілу інтервалу між поїздами за відправленням у парному напрямку на станції Вакулинці згідно з нормативним ГРП

Слід зазначити: проведення моделювання з восьмивхвилинною затримкою швидкісних поїздів при корегованому ГРП з аналогічною величиною резервного інтервалу часу між нитками швидкісного і звичайних поїздів у графіку показало статистичні результати, подібні до нормативних, з такими самими законами розподілу за напрямками відправлення на дільницю. Це підтверджує схожість макропоказників відкорегованого ГРП з нормативним та доводить можливість застосування даного підходу для встановлення уточнених резервів часу у ГРП.

Висновки. Проаналізувавши досвід закордонних залізниць та залізниць України в частині виділення резерву часу між нитками поїздів при складанні графіка руху поїздів, можна зробити висновок про необхідність перегляду існуючого підходу до визначення цієї величини та її впливу на надійність ГРП. Виявлено, що при експлуатації закордонних залізниць кожен менеджер інфраструктури використовує

власну стратегію виділення резервного часу, однак жодна стратегія не може бути повністю застосована на залізницях України. Відсутня методологія вибору для кожної нитки графіка резерву часу для забезпечення надійності графіка руху швидкісних поїздів. Запропонований нами підхід щодо дослідження впливу величини резерву часу між двома нитками поїздів на дільниці на основі імітаційного моделювання дозволяє виявити раціональний рівень величини резервів та оцінити їх вплив на показники експлуатаційної роботи дільниці. Отримані результати моделювання показали високу перспективність даних досліджень.

Застосування такого підходу в подальшому дозволить дослідити вплив резерву часу в умовах розповсюдження затримки на інші дільниці мережі та сформулювати найбільш ефективні стратегії розподілу резервів часу на дільницях, що значно підвищить надійність виконання ГРП.

Список використаних джерел

1. Інструкція зі складання графіка руху поїздів на залізницях України ЦД-0040 [Текст]: затв. наказом Укрзалізниці № 170-Ц від 05.04.2002. – вид.офіц. – К.: Транспорт України, 2002. – 164 с.
2. Каретников, А. Д. График движения поездов [Текст] / А. Д. Каретников, Н. А. Воробьев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М: Транспорт, 1979. – 301 с.
3. Schittenhelm, B. Planning with timetable supplements in railway timetables Berndt Schittenhelm. – Trafikdage på Aalborg Universitet, 2011. – P. 1-18.
4. Kroon, L. G., Dekker, R., Vromans, M. J. Cyclic Railway Timetabling: A Stochastic Optimization Approach, Railway Optimization 2004, LNCS 4359, Springer Verlag 2007. – P. 41-66.
5. Cerreto, F., Nielsen, O. A., Harrod, S., & Nielsen, B. F. Causal Analysis of Railway Running Delays. Paper presented at 11th World Congress on Railway Research (WCRR 2016), Milan, Italy.
6. Cerreto, F. Micro-simulation based analysis of railway lines robustness. 6th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis. Tokyo, Japan: IAROR. Retrieved 2015, from http://orbit.dtu.dk/fedora/objects/orbit:140777/datastreams/file_112408001/content.
7. Інструкція з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць України ЦД-0036 [Текст]: затв. наказом Укрзалізниці № 143/Ц від 14 березня 2001 р.: навч.-метод. посіб. / О.Ф. Вергун, Н.В. Липовець, В.М. Боголій. – К.: Транспорт України, 2002. – 376 с.
8. UIC leaflet 406 R, Capacity. UIC International Union of Railways, France, 2e édition. – Version traduite. List of recent publications, 2013. – 60 p.
9. Zhou, X. Bi-criteria train scheduling for high-speed passenger railroad planning applications [Text] / X.Zhou, M.Zhong // European Journal of Operational Research. – 2005. – №167(3). – P. 752-771.

10. Caprara, A. Modelling and solving the train timetabling problem [Text] / A. Caprara, M. Fischetti, P. Toth // Operational Research. – 2002. - №50(5). – P. 851-861.

11. Бутько, Т. В. Формування процедури автоматизації розробки графіку руху поїздів на основі алгоритму штучних бджолиних колоній [Текст] / Т.В. Бутько, Г.О. Прохорченко // Транспортні системи та технології перевезень: зб. наук. праць ДНУЗТ ім. акад. В.Лазаряна. – 2015. – № 9. – С. 10-15.

Прохорченко Галина Олегівна, асистент, кафедра управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-88. E-mail: galaproh@meta.ua.

Щербацька Анастасія Іллівна, магістр групи 21-VI-ОПУТм, кафедра управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 730-10-88. E-mail: uermp@ukr.net.

Ткачук Максим Михайлович, магістр групи МЗ-Темпус-16/1-1-ОПУТ, кафедра управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 730-10-88. E-mail: uermp@ukr.net.

Scherbatska Anastsia, master student Department of Management of operational work, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.(057) 730-10-88. E-mail uermp@ukr.net.

Prokhorchenko Halyna, assistant, Department of Management of operational work, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.(057) 730-10-88. E-mail: galaproh@meta.ua.

Tkachuk Maksim, master student Department of Management of operational work, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057) 730-10-88. E-mail uermp@ukr.net.

Стаття прийнята 24.05.2017 р.