

УДК 656.2

ПРОХОРЧЕНКО А.В., к.т.н., доцент (УкрДАЗТ)

Проблеми розрахунку пропускної спроможності залізничної інфраструктури в умовах ринкових відносин

Робота присвячена питанню аналізу основ визначення пропускної спроможності залізничної інфраструктури в межах ринково-орієнтованого підходу. Запропоновано підхід при якому для уточнення величини пропускної спроможності необхідним є врахування надійності виконання графіку руху поїздів. Наведений аналіз показників оцінки графіку руху поїздів відповідно до стандартів Міжнародного союзу залізниць, що дозволяє визначити існуючі проблеми при проведенні розрахунків пропускної спроможності залізничної інфраструктури.

Ключові слова: пропускна спроможність, залізнична інфраструктура, експлуатаційна надійність, графік руху поїздів.

Вступ і постановка проблеми

В умовах створення ринку залізничних перевезень на основі принципів недискримінаційного доступу до залізничної інфраструктури точна оцінка пропускної спроможності залізничних дільниць і напрямків є фундаментальною основою для вирішення найважливіших експлуатаційних задач при організації перевезень.

Історичний розвиток залізниць на пострадянському просторі призвів до зменшення значення графіку руху поїздів в експлуатаційній роботі та відсутності обмежень щодо завантаження залізничних дільниць, а за таких принципів організації перевезень не приділялось значної уваги до розуміння раціональної межі використання пропускної спроможності. Крім того, дані щодо пропускної спроможності віднесені до Зводу відомостей, що становлять державну таємницю, а отже їх використання в поточній експлуатаційній роботі є обмеженим. В ринкових умовах існуючий стан є неприйнятним і вимагає зміни ситуації та деталізації досліджень щодо визначення пропускної спроможності залізничної інфраструктури.

Вирішення проблеми

Для розширення понять щодо визначення пропускної спроможності необхідним є проведення аналізу закордонного досвіду, зокрема, залізниць з "європейською" моделлю ринку перевезень. Відповідно до Директиви 2001/14/ЄС [1] під "пропускною спроможністю інфраструктури" мається на увазі потенціал планування маршрутів в розкладі руху поїздів, який потрібен для того або іншого елементу інфраструктури на певний період.

Крім того, юридично прописана необхідність проведення аналізу пропускної спроможності при розподілі пропускної спроможності, публікації публічного документу – Повідомлення залізничної мережі (англ., Network Statement), в якому вказується пропускна спроможність кожної залізничної дільниці. У випадку нестачі пропускної спроможності існує можливість визнання дільниці "перевантаженою" – мається на увазі дільниця інфраструктури, в межах якої попит на пропускну спроможність інфраструктури не може бути цілком задоволений на протязі певних періодів часу навіть після узгодження різних заявок на виділення пропускної спроможності. За таких умов організації перевезень набули широкого поширення різні способи розрахунку пропускної спроможності, існує більш різноманітна база щодо визначення понять. Отже, як правило, розрізняють наступні визначення понять пропускної спроможності [2]:

Теоретична пропускна спроможність (англ., Theoretical Capacity, TC) – це кількість поїздів, які могли б прослідувати через дільницю протягом певного інтервалу часу, за умови повністю впорядкованого графіку руху (паралельний з однаковим часом ходу поїздів). Це верхня межа пропускної спроможності лінії, а її спосіб розрахунку є нескладним і базується на аналітичних обчисленнях. При розрахунку теоретичної пропускної спроможності не враховуються резерви, ігноруються наслідки змін в русі і збої, які відбуваються в реальності при слідуванні поїздів по дільниці.

Практична пропускна спроможність (англ., Practical Capacity, PC) – це практична межа "типового" обсягу поїздопотоку, який може бути пропущений через дільницю за умови прийнятного рівня надійності. Відображає реальну послідовність слідування поїздів різних категорій, їх пріоритети та враховує резерв. Якщо теоретична пропускна спроможність являє собою верхню теоретичну межу,

то практична – представляє собою пропускну спроможність, що реально може бути реалізована.

Використана пропускну спроможність (англ., Used Capacity, UC) – це фактичний обсяг поїздопотоків, що пропускається через лінію. Пропускну спроможність, що використовується, відображає фактичний потік поїздів і операції, які відбуваються на лінії. Вона, як правило, нижча за практичну пропускну спроможність.

Доступна пропускну спроможність (англ., Available Capacity, AC) – це різниця між використаною пропускну спроможністю і практичною. Вона характеризує додаткову кількість поїздів, яка може бути пропущена через дільницю. Якщо доступна пропускну спроможність не буде використана, то її вважають втраченою (невикористаною).

Якщо порівняти вище наведені поняття згідно стандарту UIC 406 [3] з існуючими визначеннями на залізницях України, одразу можна знайти відмінності між ними. Так, згідно до Інструкції [4], на залізницях України використовується поняття **наявної пропускну спроможності дільниці** на перегонах, під якою розуміється максимальна кількість вантажних поїздів (пар поїздів) установленної ваги і довжини, які можуть бути пропущені через цю дільницю за одиницю часу (доба, година) відповідно до її технічної оснащеності і прийнятого способу організації руху поїздів. Якщо колії в основному спеціалізовані для пасажирського (приміського) руху, то наявна пропускну спроможність вимірюється у пасажирських поїздах. Визначається така пропускну спроможність для паралельного графіку руху поїздів. Окрім наявної розрізняють **результативну наявну пропускну спроможність дільниці**, яка відповідає найменшій наявній пропускну спроможності окремої дільниці, що розраховується для наступних елементів: по перегонам, по станціям, по пристроям електропостачання електрифікованих ліній.

В Інструкції [4] визначення не наводиться, але в технічній літературі та Інструкції зі складання графіку руху поїздів на залізницях України [5] існує поняття **потрібна пропускну спроможність** (розрахункова) – кількість поїздів, яка необхідна для виконання плану перевезень вантажів і пасажирів.

Для оцінки пропускну спроможності дільниць (споруд і пристроїв) існує поняття розрахункового рівня використання наявної пропускну спроможності, який визначається за допомогою розрахункового коефіцієнта використання пропускну спроможності, що розраховується діленням кількості приведених поїздів на наявну пропускну спроможність відповідного пристрою. Для підрахунку даного коефіцієнту приймаються середні розміри вантажного і пасажирського руху в місяць максимальних перевезень. Окрім розрахункового визначено поняття допустимого коефіцієнта використання пропускну спроможності, що встановлюється нормативно,

порівняння таких коефіцієнтів дозволяє аналізувати ступінь завантаженості дільниці.

Визначення наявної пропускну спроможності більше наближене до поняття так званої теоретичної пропускну спроможності, так само розрахунки ведуться для паралельного графіку без обліку резервів. Однак при розрахунку в аналітичних формулах враховується надійність постійних технічних пристроїв інфраструктури (колії, пристроїв СЦБ і зв'язку, електропостачання) та рухомого складу (локомотиви, вагони), а отже і можливі ймовірні відмови в їх роботі в процесі експлуатації.

Приймаючи до уваги визначення практичної пропускну спроможності, та присутність встановленого рівня надійності в розрахунках наявної пропускну спроможності не можна стверджувати про їх наближеність. Коефіцієнт надійності в розрахунках наявної пропускну спроможності відноситься до надійності пристроїв та рухомого складу, тоді як при визначенні практичної пропускну спроможності мається на увазі надійність виконання графіку – виробничий показник. Найближчим аналогом поняття є так звана експлуатаційна надійність (англ., service reliability), яка використовується в роботах Грунтова П.С., Каретнікова А.Д., Воробйова Н.А., тощо [6, 7]. Різницю в значеннях різних видів надійності можна побачити, порівнюючи їх коефіцієнти. Так, технічну надійність представлено у вигляді нормативного коефіцієнту надійності, який приймає значення від 0,9 до 0,96 залежно від виду тяги і числа головних колій на перегоні [4]. Тоді як відповідно до досліджень [8], практична пропускну спроможність, яка враховує надійність виконання графіку руху та залежить від типу лінії і рівня використання пропускну спроможності, складає близько 60%-75% від теоретичної, яка заздалегідь була визначена.

Відповідно до вище наведених порівнянь стає зрозумілим важливість поняття практичної пропускну спроможності в умовах продажу ниток графіку, оскільки вона дозволяє описати можливості інфраструктури, системи організації руху для пропуску встановленої кількості поїздів у межах очікуваного рівня обслуговування (сервісу). За таких умов важливою властивістю залізничної системи є надійність - це здатність системи (або компонента) виконувати необхідні функції у відповідності з прийнятими умовами протягом певного періоду часу (IEEE 1990) [9]. Залізнична система є надійною, коли поїзди рухаються у відповідності з встановленим графіком руху більшу частину часу [10, 11]. Залежність між теоретичною, практичною пропускну спроможностями та надійністю описується експоненціальною кривою [10], рис. 1.

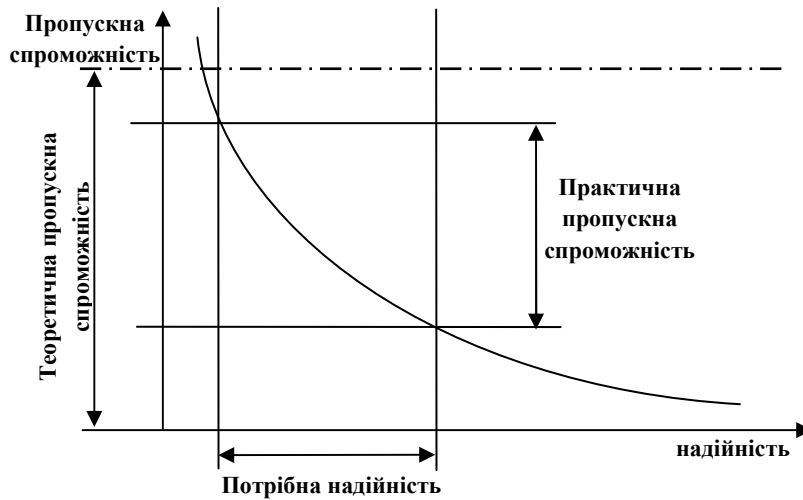


Рис. 1. Залежність між теоретичною, практичною пропускними спроможностями та надійністю

Одразу поряд з надійністю слід розглянути поняття, які характеризують рівень якості виконання графікової технології. Одним із основних показників, який використовується в аналізі виконання ГРП, є пунктуальність (англ., *punctuality*) – це відсоток поїздів, що прибувають в межах певного відхилення від планованого часу прибуття або відправлення [12, 13]. Приймаючи до уваги, що в основі взаємодії компаній, що управляють інфраструктурою та компаніями-перевізниками, лежать контракти на виконання нормативного розкладу слідування поїздів, даний показник дозволяє оцінити розмір штрафних санкцій за невиконання ГРП, а отже є важливим критерієм оцінки якості роботи залізничної системи. Показник пунктуальності ГРП за звітний період публікується на сайтах компаній для доказу ефективності своєї роботи.

Встановлений рівень пунктуальності ГРП впливає на пропускну спроможність дільниці [13]. Залежність між пунктуальністю та пропускну спроможністю наведена на рис. 2.



Рис. 2. Залежність між пунктуальністю та пропускну спроможністю, що може бути використана

Більш системним показником є стабільність (англ., *stability*) – це міра часу і зусиль, які необхідні для повернення до нормальної роботи після збурення системи [11]. Стабільна система поглинає незначні затримки поїздів, тобто дозволяє системі дуже швидко відновити рух поїздів до нормальних умов після виникнення затримок поїздів. Стабільність дуже складно оцінити. Один із підходів [14] пропонує оцінити стабільність графіку руху в залежності від складності операцій. Чим більше конфліктів в розкладі, тим нижча стабільність такого графіку руху поїздів. Одразу можна встановити залежність між стабільністю та складністю операцій, рис. 3.

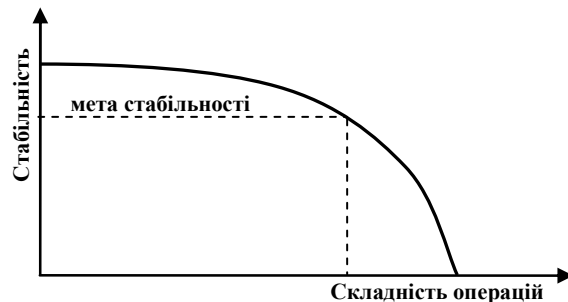


Рис. 3. Залежність між стабільністю та складністю операцій

Поряд із стабільністю слід розглянути поняття відмовостійкості (англ., *robustness*) – спроможність залізничної системи протистояти послідовним затримкам [11]. Оскільки початкові затримки у більшості випадків екзогенні (обумовлені зовнішніми чинниками), вони можуть бути в деякій мірі неминучими, в той же час виникнення таких затримок може призводити до послідовних затримок інших

поїздів через дуже щільний графік. Цей факт призводить до великої проблеми при побудові робастного (відмовостійкого) графіку, який здатний поглинути частину порушень.

Відповідно до вище наведених понять цікавим є освітлення питань щодо розуміння практичної пропускної спроможності в документах Міжнародної організації, що об'єднує національні залізничні компанії з метою спільного вирішення завдань в області розвитку залізничного транспорту – Міжнародний союз залізниць (МСЗ фр., фр. Union Internationale des Chemins de fer, UIC). МЗС заснував проект “Capacity Management”, в межах якого у 2004 році був розроблений стандарт щодо дослідження пропускної спроможності UIC 406 R [3]. Даний документ використовує ринково-орієнтований підхід до визначення пропускної спроможності. Проведені дослідження доводять, що в деяких випадках, окремі залізничні дільниці можуть біти перевантаженими, навіть за умови незначної кількості поїздів.

Відповідно до вище викладеного в загальному вигляді у документі UIC 406 R наведено розуміння практичної пропускної спроможності таким чином [3, 10]: “Як такої пропускної спроможності не існує. Пропускна спроможність залізничної інфраструктури

залежить від способу її використання. Характеристики інфраструктури є параметрами пропускної спроможності, вони включають систему сигналізації, розклад руху з урахуванням рівня пунктуальності (точності дотримання розкладу)”.

Таким чином, практична пропускна спроможність залежить від розташування поїздів в часі, кількості поїздів різних швидкісних категорій, топології дільниці, прийнятого рівня пунктуальності (точності дотримання розкладу), кількості затримок і конфліктів, необхідної комерційної швидкості та заданого інтервалу їх відправлення відповідно до заявок операторів перевезень. Як наслідок, практичну пропускну спроможність можна оцінити лише після встановлення плану перевезень, який формується на основі вимог до графіку руху власника інфраструктури та компаній операторів-перевізників.

Для представлення відношення між параметрами пропускної спроможності, до яких запропоновано віднести кількість поїздів, середню швидкість, неоднорідність і стабільність графіку руху – запропонована якісна модель дотримання балансу пропускної спроможності (англ., Balance Capacity) [10], рис. 4.

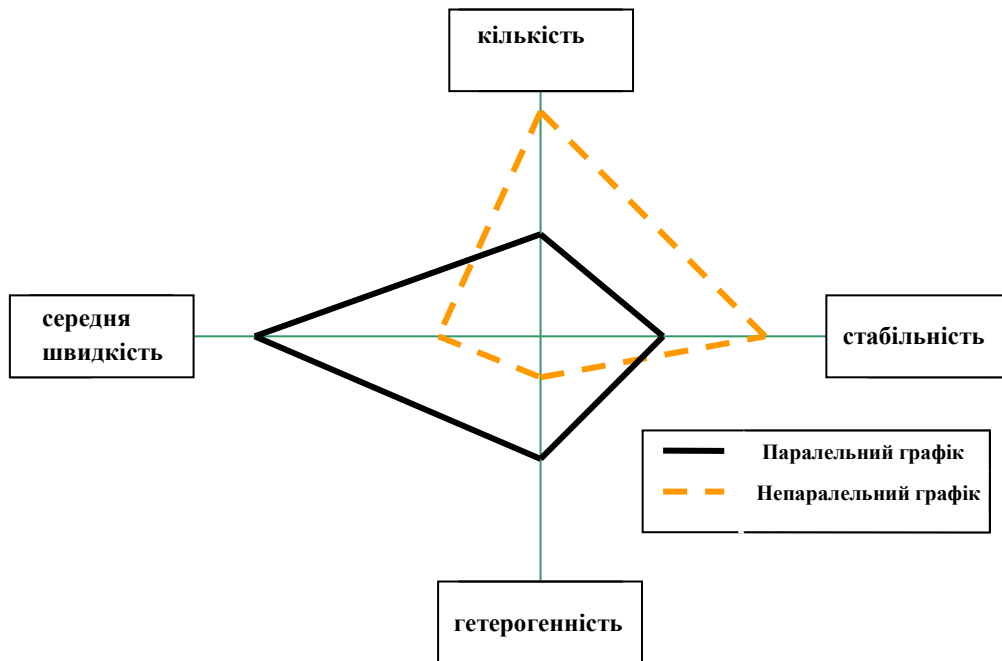


Рис. 4. Баланс пропускної спроможності - UIC 406 R

Дана залежність балансу ґрунтується на таких правилах [2, 3, 10, 15]:

- збільшення кількості поїздів призводить до погіршення якості руху;
- гальмівний шлях збільшується пропорційно середній швидкості, що призводить до збільшення

інтервалів між поїздами, і як наслідок, до зниження пропускної спроможності;

- для підвищення надійності і стабільності розкладу, час відновлення повинен бути доданий до часу руху (щоб уникнути розповсюдження збурень), крім того повинен бути врахований буфер часу в

тривалості проходження поїзда через дільницю. Таке резервування призводить до зменшення пропускної спроможності;

- чим більша різниця між часом руху поїздів різних категорій (наприклад, гетерогенність - властивість, що визначає належність графіку до паралельного або не паралельного), тим менше поїздів може прослідкувати за той самий період часу.

Встановивши пріоритети надання послуг на дільниці відповідно до вище наведених параметрів за правилом балансу, можна наближено відповісти на питання щодо умов роботи заданої залізничної дільниці або напрямку.

Окрім вище зазначених проблем щодо визначення пропускної спроможності окремої залізничної дільниці, необхідно враховувати вплив на величину пропускної спроможності обмежень на дільницях, що знаходяться за межами області аналізу – так званий мережевий ефект [16]. Мережеві ефекти виникають, тому що існує дуже багато маршрутів поїздів для яких розрахункова дільниця є транзитною, крім того на сільовому рівні система перевезень має високий ступінь взаємозалежності, прокладка ниток поїздів на декількох дільницях обмежується складністю здійснення схрещень або обгонів, що призводить до неможливості довільної прокладки ниток. За таких умов одна дільниця не може розглядатися як повністю незалежна частина від всієї залізничної мережі. Як наслідок, пропускна спроможність залізничної дільниці не може бути визначена без урахування, що відбувається на інтерферуючих дільницях [16].

Висновки

Проведений аналіз основ визначення пропускної спроможності залізничної інфраструктури в межах ринково-орієнтованого підходу підтверджує недосконалість існуючих методів розрахунку пропускної спроможності на залізницях України. Необхідність знання величини пропускної спроможності більш наближеної до реальних експлуатаційних умов роботи вимагає введення додаткового поняття – практична пропускна спроможність. За таких умов потребують розвитку дослідження щодо методів розрахунку практичної пропускної спроможності, які дозволять врахувати експлуатаційну надійність системи перевезень.

Література

1. DIRECTIVE 2001/14/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 26 February 2001 on the allocation of railway infrastructure capacity and the levying of charges for the use of railway infrastructure and safety certification/ THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION // Official Journal of the European Communities (OJ L 75/29), 2001.– 18p.
2. Railway capacity analysis: methodological framework and harmonization perspectives / Evangelia Kontaxi, Stefano Ricci //12th WCTR, July 11-15, 2010 – Lisbon, Portugal. – 21 p.
3. UIC leaflet 406 R, Capacity. UIC International Union of Railways, France, 2e édition. – Version traduite. List of recent publications, 2013 – 60 p.
4. Інструкція з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць України ЦД-0036 затвердженої наказом Укрзалізниці від 14 березня 2001 р. № 143/Ц; навч.-метод. посіб./ О.Ф. Вергун, Н.В. Липовець, В.М. Боголій. –К.: Транспорт України, 2002. – 376 с.
5. Інструкція зі складання графіка руху поїздів на залізницях України, затверджена наказом Укрзалізниці від 05.04.2002 № 170-Ц (ЦД-0040), Київ.
6. Грунтов, П. С. Эксплуатационная надежность станций. – М.: Транспорт, 1986. – 247 с.
7. Каретников, А.Д., Воробьев, Н.А. График движения поездов.– М.: Транспорт, 1979. – 301 с.
8. Kraft, E.R. Jam Capacity of Single Track Rail Lines / E.R. Kraft // Proceedings of the Transportation Research Forum, 1982. – 23 (1) – P. 461-671.
9. IEEE Std 493-1990: IEEE Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems.
10. Abril, M. An assessment of railway capacity / M. Abril, F. Barber, L. Ingolotti, M. A. Salido, P. Tormos, A. Lova // Transportation Research Part, 2008 – 44. – P. 774-806.
11. Vromans, M.J.C.M. Reliability of Railway Systems / The Erasmus Research Institute of Management (ERIM). – 2005. – 245 p.
12. Nyström, Birre, Punctuality and Railway Maintenance/ Nyström Birre // LICENTIATE THESIS Luleå: University of Technology Department of Applied Physics and Mechanical Engineering Division of Machine Elements. – 2005. – 76 p.
13. Kaas, A. H. Punctuality model for railways / A. H. Kaas, J. Allan, R. J. Hill, C. A. Brebbia, G. Sciutto, S. Sone // Proc. of the 7th International conference on Computers in Railways. – 2000. – P.853-860.
14. Delorme, X. Stability evaluation of a railway timetable at station level / Xavier Delorme, Xavier Gandibleux, Joaquin Rodriguez // European Journal of Operational Research. – 2009. – Vol. 195 (Issue 3). – P. 780-790.
15. Landex, A. Evaluation of railway capacity / Alex Landex, Anders H. Kaas, Bernd Schittenhelm, Jan Schneider-Tilli// Trafikdage på Aalborg Universitet. – 2006. – 22 p.
16. Landex, A. Network effects in railway systems / Alex Landex // Association for European Transport and contributors. – 2007. – P. 16.

Прохорченко А.В. Проблемы расчета пропускной способности железнодорожной инфраструктуры в условиях рыночных отношений. Работа посвящена вопросу анализа основ определения пропускной способности железнодорожной инфраструктуры в рамках рыночно-ориентированного подхода. Предложен подход, при котором для уточнения величины пропускной способности необходим учет надежности выполнения графика движения поездов. Приведенный анализ показателей оценки графика движения поездов в соответствии со стандартами Международного союза железных дорог позволяет определить существующие проблемы при проведении расчетов пропускной способности железнодорожной инфраструктуры.

Ключевые слова: пропускная способность, железнодорожная инфраструктура, эксплуатационная надежность, график движения поездов.

Prokhorchenko A. Problems of calculation of railway infrastructure capacity in market conditions. The work is devoted to the problem of the analysis of the bases of railway infrastructure capacity determination within the framework of market-oriented approach. An approach in which in order to clarify the value of carrying capacity it is necessary determine the reliability of train schedule performance account has been proposed. The given analysis of indicators to evaluate the train schedule according to the standards of International Railway Union of allows identifying the existing problems in the calculations of railway infrastructure capacity.

Key words: capacity, railway infrastructure, service reliability, train schedule.

Рецензент д.т.н., професор Огар О.М. (УкрДАЗТ)

Поступила 25.04.2014г.