

УДК 656.22

**ДИСПЕТЧЕРСЬКЕ КЕРУВАННЯ РУХОМ ПРИ ДИФЕРЕНЦІАЦІЇ НАСИЧЕНОСТІ ПОЇЗДІВ НА ДІЛЬНИЦІ**

Канд. техн. наук О. А. Малахова, магістранти А. М. Уманець, П. М. Яблонський

**ДИСПЕТЧЕРСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ ПРИ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ НАСЫЩЕННОСТИ Поездов НА УЧАСТКЕ**

Канд. техн. наук О. А. Малахова, магистранты А. Н. Уманец, П. Н. Яблонский

**DISPATCH CONTROL OF THE MOVEMENT AT THE DIFFERENTIATION OF THE CONSUMPTION OF TRAINS AT THE SITE**

Cand. of Tech. Sc. O. A. Malakhova, gs of ESIRAT A. Umanets, P. Yablonskyy

*У роботі показано, що основним завданням при управлінні рухом є забезпечення безпеки. Від правильного планування роботи дільниці залежить можливість безперервного відправлення поїздів та задоволення вимог пасажирів. Ефективність використання залізничних ліній та управлінських рішень поїзного диспетчера багато в чому залежить від насичення їх поїздами. В роботі показано, що збільшення щільності потоку викликає різницю величин інтервалів між поїздами на вході та виході з дільниці.*

**Ключові слова:** диспетчер, поїзд, розклад, рух, керування.

*В работе показано, что основной задачей при управлении движением является обеспечение безопасности. От правильного планирования работы участка зависит возможность бесперебойного отправления поездов и удовлетворения требований пассажиров. Эффективность использования железнодорожных линий и управленческих решений поездажного диспетчера во многом зависит от насыщенности их поездами. В работе показано, что увеличение плотности потока вызывает разницу величин интервалов между поездами на входе и выходе с участка.*

**Ключевые слова:** диспетчер, поезд, расписание, движение, управление.

*The paper shows that the main task in traffic management is security. The main dispatching management tool is the train schedule. From the correct planning of the site depends on the possibility of uninterrupted departure of trains and meeting the requirements of passengers. The efficiency of the use of railway lines and managerial decisions of the train controller largely depends on the saturation of their trains. To prevent oversaturation of sections by trains, that is, exceeding the maximum number of trains that can simultaneously be on the site, it is necessary to regulate the saturation of sections by trains. This task should be solved at the stages of shift-day and current planning of train work. It is also shown that an increase in the flux density causes a difference in the values of the intervals between the trains at the entrance and exit from the site. The minimum interval for driving on high-speed sections is calculated, which must correspond to the braking distance.*

**Keywords:** dispatcher, train, schedule, traffic, control.

**Вступ.** Управління рухом і забезпечення безпеки – це завжди важливі і складні завдання на залізниці. Впровадження швидкісного руху на залізницях України сформувало перед працівниками транспорту нові завдання з організації руху поїздів. Одним з основних завдань розвитку залізничного транспорту в умовах структурної реструктуризації і зниження інвестицій в розвиток їх основних засобів та інфраструктури є питання забезпечення безпеки руху.

Основними причинами порушень безпеки руху на залізничному транспорті є несправність колії, проїзд заборонених сигналів, злами і падіння на колії деталей вагонів і відмови його буксового вузла, порушення правил приймання і відправлення поїздів, зіткнення автотранспортних засобів з поїздами. У всіх випадках причини аварійності пояснюються недостатньою надійністю основних технічних засобів транспорту, а також помилковими діями оперативного персоналу, як на лінійному рівні, так і на рівні диспетчерського керування, і, набагато рідше, непередбаченим впливом зовнішнього середовища.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одним з основних документів, що регламентують перевезення на високошвидкісних магістралях, порядок використання інфраструктури та порядок дії управлінського персоналу на європейських залізницях, є директива 96/48 ЄЕС [1].

Загальна мета даного документа полягає у забезпеченні узгодженості функціонування структурних підсистем, призначених для використання на високошвидкісних магістралях. Крім того, головним чином існують єдині операційні інтерфейси між залізничними підприємствами та диспетчерським апаратом, де можливе використання програмних продуктів за єдиним протоколом.

Аналіз публікацій з даної проблематики дозволяє підкреслити актуальність теми дослідження. Так, у [2]

приділяється увага плануванню пропуску поїздів диспетчером. Зокрема, шляхом введення обмеженої кількості зупинок поїздів для схрещень та обгонів у процесі пропуску по дільниці. Можливою є мінімізація загальної тривалості часу між реальним і очікуваним часом відправлення поїзда на високошвидкісній залізничній магістралі. У роботі [3] показано, що при пропуску поїздів можуть мати місце затримки і відхилення від графіків руху внаслідок внутрішніх або зовнішніх збоїв. Затримки можуть перерости в операційні конфлікти між сусідніми поїздами, що може порушити організацію пропуску поїздів і погрожуватиме експлуатаційній безпеці. Однак, в даних роботах не визначений мінімальний час стоянки поїздів та інтервал попутного відправлення при звичайних експлуатаційних подіях та при збоях.

Останнім часом було розроблено досить багато імітаційних моделей та оптимізаційних середовищ, здатних розв'язувати завдання управління рухом поїздів в реальному часі. Так, у [4] запропонована структура для оцінки ухвалення рішення диспетчером в умовах неповноти вхідної інформації за допомогою системи ROMA у поєднанні з імітаційним середовищем EGTRAIN. Рішення поїзних диспетчерів під час експлуатаційних збоїв описані у [5]. Порядок відправлення поїздів при виникненні збоїв пропонується проводити із застосуванням моделі цілочисельного програмування, яка сформульована таким чином, щоб мінімізувати загальну затримку поїздів та кількість скасованих поїздів при зберіганні обмежень пропускнуої спроможності станцій. Питанням складання прогнозного розкладу відправлення швидкісних поїздів присвячена робота [6]. Для планування порядку відправлення швидкісних поїздів запропоновано модель Rail Scheduling and Rolling Stock (RSch-RS). Але в даних роботах не висвітлені питання щодо змінно-добового планування відправлення

поїздів та їх пропуску з максимальним використанням пропускнуої спроможності.

**Мета та завдання дослідження.**

Метою роботи є удосконалення диспетчерського керування рухом поїздів на дільницях на основі розробки методичних рекомендацій щодо підвищення якості та безпеки руху. Для досягнення поставленої мети необхідне розв'язання таких завдань:

- встановити закономірності поїзної роботи на дільницях при різній насиченості поїздами;

- дослідити вплив різних чинників на пропуск поїздів по дільницях.

**Викладення основного матеріалу.**

Згідно з [7], рухом поїздів на дільниці повинен керувати тільки один працівник – поїзний диспетчер, який відповідає за виконання графіка руху поїздів на дільниці, що він обслуговує.

Основним інструментом диспетчерського управління служить графік виконаного руху, призначений для виконання основних функцій поїзного диспетчера: контролю, планування і регулювання руху поїздів, на якому поїзний диспетчер відзначає всі дані про рух, а також усі порушення нормальної роботи на дільниці та їх причини.

Дії поїзного диспетчера, як активні, так і пасивні, виконуються паралельно, постійно накладаючись одна на одну. При відхиленні поїздів від графіка з різних причин поїзному диспетчеру в короткий час доводиться розв'язувати складні багатоваріантні завдання. Щоб досягти хороших результатів, диспетчер повинен весь час бути «попередом поїздів», постійно плануючи порядок їх пропуску. Водночас він повинен передбачати всі експлуатаційні події: схрещення, обгони, затримки при русі «по видаленню» тощо. Для цього він подумки продовжує на своєму графіку лінії ходу поїздів, визначаючи час звернення

цих подій і намічаючи регульовальні заходи.

На ці операції поїзний диспетчер витрачає від 25 до 35 відсотків свого робочого часу. Звільнивши його від них, можна значно підвищити ефективність його роботи або збільшити протяжність дільниці.

Ефективність використання залізничних ліній та управлінських рішень поїзного диспетчера багато в чому залежить від насичення їх поїздами. Зміна насиченості дільниць поїздами призводить до суттєвих змін використання пропускнуої спроможності та дільничної швидкості руху. При збільшенні на дільницях числа поїздів зростає їх взаємний вплив один на одного. У цих умовах виникнення навіть незначних перешкод руху викликає істотне зниження середньої швидкості проходження всіх поїздів. Тому важливим завданням є визначення допустимого насичення дільниць поїздами і встановлення впливу перенасичення на показники експлуатаційної роботи.

При збільшенні насиченості дільниці поїздами машиністи знижують швидкість для забезпечення безпеки руху. Для визначення оптимальних умов руху поїздів досліджено зв'язок між швидкістю руху по дільниці і щільністю потоку поїздів.

Нехай  $x$  – довжина дільниці. Розглянемо малий відрізок цієї дільниці між точками  $x$  і  $x + dx$ . Зміна числа поїздів на цьому відрізку за час  $dt$  може бути знайдена як різниця між кількістю поїздів, що прибувають в точку  $x$  і відправляються з точки  $x + dx$ , тобто  $ndt - \left( n + \frac{dn}{dx} dx \right) dt$ .

Аналогічним чином розраховується залежність між швидкістю та зміною щільності моментів часу відправлення. На рис. 1 наведено вплив щільності потоку на швидкість руху поїздів.

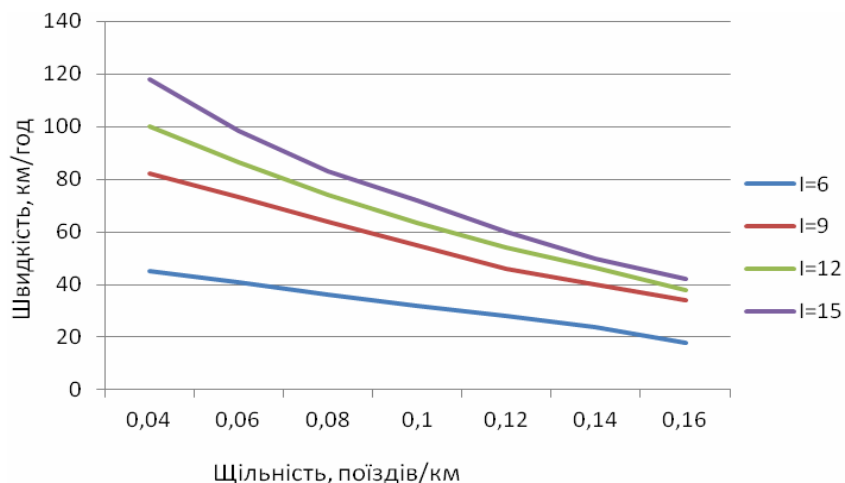


Рис. 1. Вплив щільності потоку поїздів на швидкість руху, середній інтервал між поїздами на вході і виході з дільниці

Нехай швидкість руху  $V$  в точці  $x$  визначається тільки щільністю  $\lambda$  в  $x$ :  $V = V(\lambda(x, t))$ . Нехай також  $V' = \frac{dV}{d\lambda}$ .

Прийmemo середнє прискорення  $\frac{dV}{dt}$  таким, що відповідає середній швидкості потоку  $V$ . Тоді маємо

$$\frac{dV}{dt} = \frac{d\bar{V}}{dx} \frac{dx}{dt}$$

Припустимо, що  $\frac{dx}{dt} = V$ , тоді

$$\frac{dV}{dt} = V' \frac{d\lambda}{dt} + V \left( \frac{d\lambda}{dx} \right). \quad (1)$$

Якщо  $n = \lambda V$ , маємо

$$\frac{d\lambda}{dt} = -\frac{dn}{dx} = -\lambda \frac{dV}{dx} - V \frac{d\lambda}{dx}. \quad (2)$$

Тоді рівняння (2) перетворюється до такого вигляду:

$$\frac{d\lambda}{dt} = -\lambda V' \frac{dV}{dx}.$$

Якщо припустити, що  $\lambda(V')^2 = C^2 \lambda^m$ , або  $V' = C^2 \lambda^{(m-1)/2}$ , то

$$\frac{d\lambda}{dt} = -C^2 \lambda^m \frac{d\lambda}{dx}, \quad (3)$$

де  $C$  – невід'ємна константа з розмірністю швидкості.

Рівняння у вигляді

$$V = V_0 \left\{ 1 - \left( \frac{\lambda}{\lambda_0} \right)^{(m+1)/2} \right\}, \quad (4)$$

де  $\lambda_0$  – максимальна щільність потоку, при досягненні якої всі поїзди на дільниці зупиняються;

$V_0$  – швидкість вільного руху поїздів, але ця величина не реалізовується навіть при невеликій щільності поїздів для дільниць, на яких відбувається обмеження швидкості  $V_l$ . На такій дільниці можна виразити ефект обмеження швидкості лінійною функцією.

Отримані результати доводять, що збільшення щільності потоку викликає різницю величин інтервалів між поїздами на вході та виході з дільниці.

Перенасичення дільниці поїздами приводить до того, що збільшення поїздів на вході дільниці викликає зменшення дільничної швидкості та невиконання нормативів графіка руху. Своєчасна зміна щільності потоку поїздів на дільницях дозволяє ефективно керувати перевізним процесом.

Досягнення максимальних розмірів руху поїздів і виконання нормативів графіка при поточному плануванні можливо тільки при створенні оптимальних умов роботи дільниць.

Оптимальні умови роботи дільниць характеризуються максимальним числом поїздів, які одночасно можуть перебувати на дільниці.

Максимальне число поїздів, які одночасно можуть перебувати на дільниці при паралельному двокільному графіку, можна розрахувати за формулою [8]

$$N = \left[ \frac{L}{\left(\frac{I}{60}\right)V_x} \right], \quad (5)$$

де  $N$  – максимальне число поїздів, які одночасно можуть знаходитися на дільниці;

$L$  – довжина дільниці, км;

$I$  – мінімальний міжпоїзний інтервал;

$V_x$  – ходова швидкість поїздів, км/год.

Для недопущення перенасичення дільниць поїздами, тобто перевищення максимальної кількості поїздів, які одночасно можуть перебувати на дільниці, необхідно регулювати насичення дільниць поїздами. Це завдання повинно розв'язуватись на стадіях змінно-добового і поточного планування поїзної роботи.

На дільницях з високошвидкісним рухом необхідно враховувати особливості розмежування поїздів блок-дільницями.

В процесі проведення попередніх випробувань рухомого складу, що обслуговують високошвидкісний рух, виявлено збільшення гальмівних шляхів в залежності від температури диска. Уточнення довжин гальмівних шляхів проводилося за результатами випробувань в процесі підконтрольної експлуатації при негативних температурах зовнішнього повітря [1]. Значення гальмівних шляхів наведено у таблиці.

З урахуванням гальмівного шляху на швидкісних магістралях досліджено вплив різних чинників на максимальне число поїздів, які одночасно можуть перебувати на дільницях різної довжини (рис. 2).

Дослідження впливу швидкості на максимальне число поїздів, які одночасно можуть перебувати на дільницях різної довжини, показало, що при збільшенні швидкості більше 200 км/год на дільниці не може знаходитися більше одного поїзда.

Таблиця

Гальмівний шлях

Швидкість початку гальмування, км/год	Гальмівний шлях, м, не більше
140	985
160	1160
200	1660
220	2015
250	2610

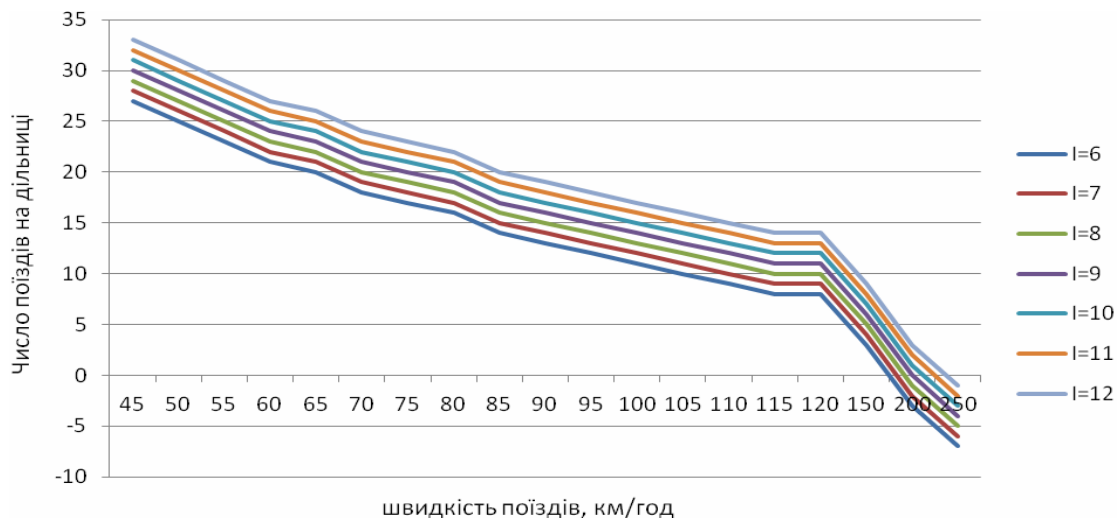


Рис. 2. Залежність максимального числа поїздів, які одночасно можуть знаходитися на ділянці ( $N$ ), від максимально допустимої швидкості

**Висновки.** В роботі наведено роль диспетчерського апарату у виконанні графіка руху поїздів. Планування пропуску поїздів по ділянці впливає на можливість безперервного відправлення та повного задоволення вимог пасажирів. Збільшення кількості поїздів призводить до ускладнень в плануванні пропуску поїздів. Таким чином, в роботі розраховані залежності

максимального числа поїздів, які одночасно можуть знаходитися на ділянці, від швидкості руху. Виконані розрахунки показали, що для поїздів, які рухаються зі швидкістю 200 км/год, збільшується гальмівний шлях та для забезпечення безпеки необхідно, щоб поїзди були розмежовані інтервалом у 25 хв.

### Список використаних джерел

1. Directive 96/48/EC -Interoperability of the trans - European high speed rail system // Technical Specification for Interoperability «Operations and traffic management. Sub – System. – 1996. – 155 p.
2. Yang, L. Collaborative optimization for train scheduling and train stop planning on high-speed railways [Text] / L.Yang, J. Qi Shukai Li, Y.Gao // Omega. – 2016. – Volume 64, – P. 57-76.
3. Zhuang H. High-Speed Railway Train Timetable Conflict Prediction Based on Fuzzy Temporal Knowledge Reasoning [Text] / H. Zhuang, L. Feng a, Ch. Wena, Q. Peng, Q. Tang // Engineering 2. – 2016. – №2. – P. 366-373.
4. Ahn, Y. Stability analysis of railway dispatching plans in a stochastic and dynamic environment [Text] / Y. Ahn, T. Kowada, H. Tsukaguchi, U. Vandebona //Journal of Rail Transport Planning & Management. – 2013. – Vol. 3. – Issue 4. – P. 137-149.
5. Quaglietta E. Real-time high-speed train rescheduling in case of a complete blockage [Text] / E. Quaglietta, Fr. Corman, Rob M.P. Goverde // Transportation Research Part B: Methodological. – 2015. – Vol. 78. – P. 182-201.
6. Espinosa-Aranda, J.L. Train Scheduling and Rolling Stock Assignment in High Speed Trains[Text] / J. L. Espinosa-Aranda, R. García-Ródenas, L. Cadarso, Á. Marín // Procedia - Social and Behavioral Sciences. – 2014. – Vol. 160. – P. 45-54.

7. Інструкція з руху поїздів і маневрової роботи на залізницях України ЦД 0058 [Текст]: наказ Укрзалізниці від 31.08.2005 р. № 507-Ц. – 458 с.

8. Аунг, Х. З. Создание необходимых условий для организации движения поездов на железнодорожном транспорте Республики Мьянма [Текст] / Х. З. Аунг // Материалы научно-практической конференции «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерений (УКИ-10)» ИПУ РАН. – М.: МИИТ, 2011. – С. 523-528.

---

Малахова Олена Анатоліївна, канд. техн. наук, доцент кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 066-341-84-81.  
E-mail: alena.mal31@gmail.com.

Уманець Андрій Миколайович, магістрант ІППК (Проект TEMPUS IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 067-571-33-33. E-mail: uermp@ukr.net.

Яблонський Павло Миколайович, магістрант ІППК (Проект TEMPUS IV) Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 095-918-90-89. E-mail: palnik1404@gmail.com.

Malakhova Olena, Cand. of Tech. Sc, assistant professor of management operational work of the Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: 050-027-24-07. E-mail: alena.mal31@gmail.com.

Umanets Andriy, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport, group M3-TEMPUS-ОПУТ-16-2. Tel.: 067-571-33-33. E-mail: uermp@ukr.net.

Yablonskyu Pavlo, gs of ESIRAT (project TEMPUS IV) Ukrainian State University of Railway Transport, group M3-TEMPUS-ОПУТ-16-1. Tel.: 095-918-90-89. E-mail: palnik1404@gmail.com.

Стаття прийнята 15.11.2017 р.