

УДК 656.2

ПЕРЕДУМОВИ РОЗРОБКИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВАГОНОПОТОКАМИ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ

Інженери В. М. Прохоров, Ю. А. Рябушка

ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВАГОНОПОТОКАМИ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ УКРАИНЫ

Инженеры В. Н. Прохоров, Ю. А. Рябушка

BACKGROUND OF DEVELOPMENT OF AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF FREIGHT RAILCAR TRAFFIC ON THE RAILWAYS OF UKRAINE

Engineer V. M. Prokhorov, Yu. A. Riabushka

У статті аналізуються передумови створення автоматизованої системи управління (АСУ) вагонопотоками на залізницях України. Зазначається необхідність застосування комплексного підходу при створенні АСУ. Запропонована трирівнева архітектура АСУ. Пропонується у рамках єдиної інтегрованої системи вирішувати задачу побудови оптимального плану формування поїздів (ПФП) і задачу оперативного планування роботи технічних станцій. Запропонована архітектура обчислювального кластера.

Ключові слова: *план формування поїздів, автоматизована система керування, управління вагонопотоками, обчислювальний кластер, стратегічний контроль.*

В статье анализируются предпосылки создания автоматизированной системы управления (АСУ) вагонопотоками на железных дорогах Украины. Отмечается необходимость применения комплексного подхода к созданию АСУ. Предложена трехуровневая архитектура АСУ. Предлагается в рамках единой интегрированной системы решать задачу построения оптимального плана формирования поездов (ПФП) и задачу оперативного планирования работы технических станций. Предложена архитектура вычислительного кластера.

Ключевые слова: *план формирования поездов, автоматизированная система управления, управление вагонопотоками, вычислительный кластер, стратегический контроль.*

This article analyzes the prerequisites of automated control system (ACS) for control of railcar traffic on the railways of Ukraine. The article notes that such a system should cover all levels of the hierarchical system of freight transportation, and so when its construction required an integrated approach. As proposed three-tier architecture of ACS that consists of a network (strategic) level, regional (tactical) level and linear (operational) level. It is proposed within a single integrated system to solve the problem of constructing an optimal trains formation plan (TFP) and the task of operational work planning of technical stations of Ukrainian railway network that would ensure the most accurate execution of the plan. The use of the concept of strategic control, which will not only ensure comprehensive monitoring and analysis of the TFP and day and night shifts technical plans of the stations, but also help in deciding on the need for correction or recalculation of TFP of regional and network level. The architecture of computing cluster for the implementation of day and night shifts work plans for technical stations simultaneously to all stations of regional branches had been proposed.

Keywords: *trains formation plan, automated control system, railcar traffic control, computer cluster, strategic control.*

Вступ. Однією з основних задач організації вантажних залізничних перевезень є розробка економічної, ефективної і гнучкої системи організації вагонопотоків. Для вирішення цієї задачі на сучасному рівні створюються математичні моделі залізничних систем і процесів, сучасний рівень розвитку обчислювальної техніки дозволяє на їх базі успішно здійснювати постановку і вирішення складних оптимізаційних задач. Одночасно з тим стрімко розвиваються інформаційні технології. Для досягнення синергетичного ефекту необхідно створити концепцію автоматизованої системи керування, яка б об'єднала всі ключові задачі управління вантажними перевезеннями на базі сучасних інформаційних технологій у єдиному інформаційно-керуючому просторі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У наукових публікаціях останніх років тема створення автоматизованих систем управління роботою вантажного парку вагонів та вагонопотоками звучить все частіше, що свідчить про актуальність теми.

У статті [1] запропонований алгоритм розподілу під навантаження іновагонів, який використовує модель на базі нечіткої логіки, запропонована модель автоматизованої інформаційно-керуючої системи з функціями моніторингу дислокації, прогнозування строків доставки вантажів, але основну увагу приділено іновагонам.

У статті [2] запропоновані математичні моделі на базі використання нейронечітких мереж для визначення доцільності формування і маршруту слідування групових поїздів, хоча слід зазначити, що в останні роки кількість формування групових поїздів на залізницях України дуже скоротилася. Також у статті запропонована оригінальна методика оперативного корегування плану формування поїздів на основі використання еволюційного відбору.

У статті [3] запропонована система управління рухом поїздів, яка здійснює прогнозування і перебудову розкладів руху вантажних поїздів у режимі реального часу, система побудована на базі концепції управляючих прогнозуючих моделей (англ. Model predictive control, MPC), яка використовує системи диференціальних рівнянь.

У статті [4] запропонована модель оперативного управління сортувальною станцією, яка подає взаємодію між рівнями станційних операцій у вигляді потоків багатопарової мережі, для оптимізації моделі використовуються методи цілочисельного і змішаного програмування.

Визначення мети та задачі дослідження. Практична реалізація розроблених математичних моделей розрахунку ПФП і виконання його основних параметрів на опорних станціях мережі потребує реалізації інтегрованого процесу планування перевезеннями в масштабах всієї залізничної мережі України з підтримкою оперативного контролю його виконання. За таких умов набуває важливого значення створення автоматизованої системи управління вагонопотоками, яка дозволить інтегрувати всі етапи організації вагонопотоків у поїзди на мікро- і макрорівнях управління в межах єдиного інформаційного середовища.

Для ефективного вирішення задачі формування поїздів з максимальною економією витрат при формуванні і просуванні вантажних поїздів необхідно створити і впровадити інформаційно-керуючу систему, яка б забезпечила ефективний збір даних для моделей розрахунку плану формування поїздів і плану роботи опорних станцій мережі, а також забезпечила б своєчасне доведення планів до виконавців, всебічний контроль виконання планів і своєчасне їх корегування, забезпечила максимальний рівень автоматизації прийняття рішень при

керуванні процесом формування, відправлення і просування поїздів, максимальну інформаційну і програмну підтримку оперативно-керуючому персоналу, ефективне використання сучасних досягнень у галузях інформаційних технологій, комп'ютерних мереж і зв'язку.

Виходячи з цього необхідно сформулювати вимоги до побудови нової єдиної інформаційно-керуючої системи, яка буде охоплювати всі рівні процесів формування і просування вантажопотоків: збір вихідних даних, планування, впровадження і виконання планів, контроль виконання. Також необхідно окреслити основні принципи інтеграції і функціонування цієї системи у ролі підсистеми АСК ВП УЗ-Є.

Основна частина дослідження.

Корегування ПФП на основі автоматизованої процедури пошуку раціональних варіантів організації вагонопотоків надасть можливість станціям працювати як єдиний

технологічний комплекс. Ефективне використання цієї можливості дозволить забезпечити високий рівень їх оперативної співпраці з метою безперешкодного просування вагонопотоків, зменшуючи обіг вагона. Запропонований підхід до вирішення поставленої задачі дозволить раціонально розподілити сортувальну роботу між технічними станціями мережі залізниць та забезпечити своєчасну доставку вантажів у погоджених з замовником термінах [5].

Для комплексного вирішення задачі побудови плану формування поїздів, а також інших ключових задач системи вантажних залізничних перевезень, таких як, наприклад, задача розрахунку графіка руху, задача точного розрахунку наявної пропускної спроможності [6], необхідно раціонально розподілити обчислювальні ресурси. Запропонована модель АСК має трирівневу архітектуру, яка наведена на рис. 1.

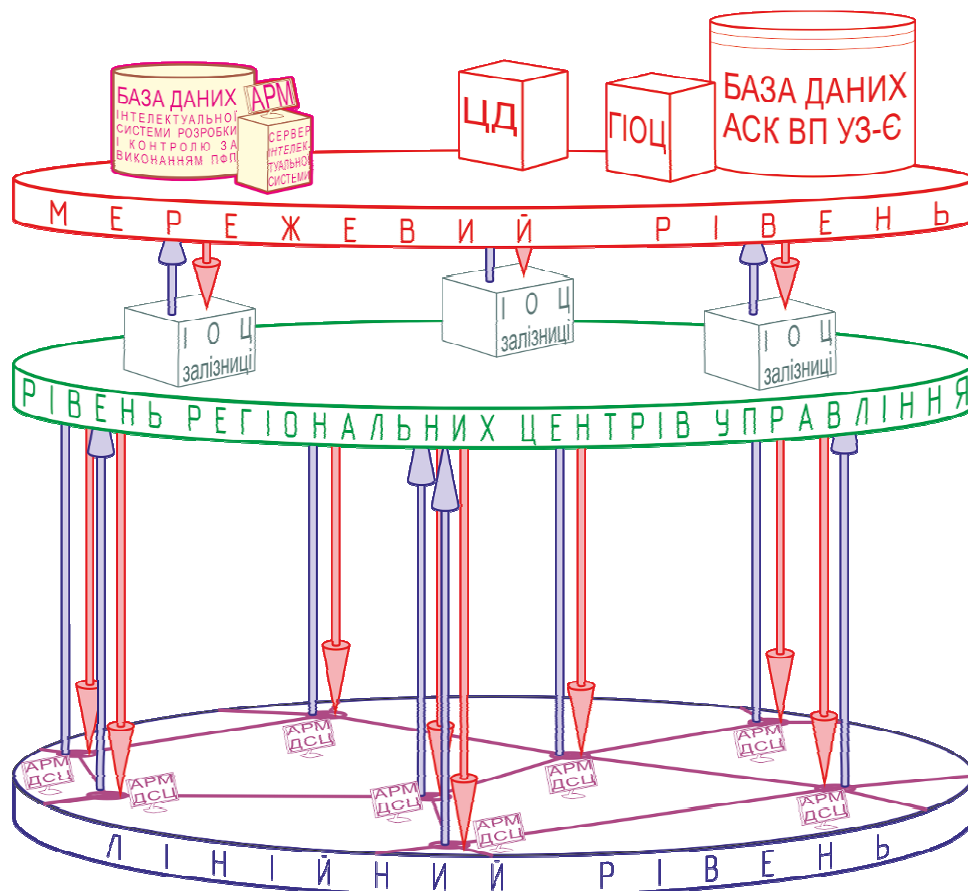


Рис. 1. Архітектура автоматизованої системи управління вагонопотоками

Мережевий рівень є стратегічним. Основна задача, яка вирішується на цьому рівні – побудова плану формування вантажних однокорпусних поїздів для всієї мережі залізниць. Як було зазначено раніше, за традиційною технологією, яка на даний час використовується на Укрзалізниці, мережевий план розраховується з періодичністю один раз на рік. Такий термін періодичності обумовлений в першу чергу складністю розрахунків і відсутністю технології розрахунку плану формування поїздів для всієї мережі одночасно. Запропонована автоматизована система, маючи у своєму

складі інструментарій, який включає математичну модель стохастичної комбінаторної оптимізації, а також засоби моніторингу, дозволить корегувати як увесь план цілком, так і його частини, кожен раз, коли в цьому буде виникати потреба. Така система є адаптивною.

Не менш важливою функцією, яка також виконується на стратегічному рівні і забезпечує гнучкість і адаптивність автоматизованої системи керування процесом формування поїздів, є функція стратегічного контролю. Сучасні підходи до здійснення стратегічного контролю базуються на інтерактивній моделі (рис. 2).

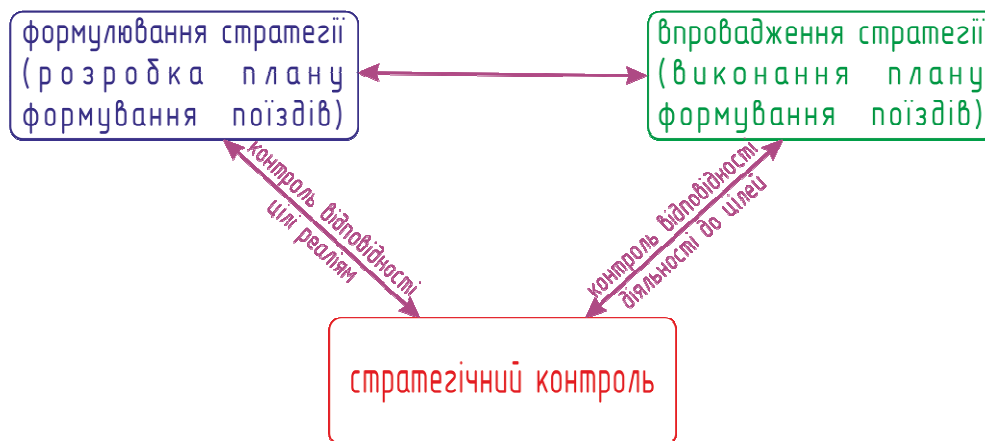


Рис. 2. Сучасний метод стратегічного контролю, який пропонується застосувати в АСК

Таким чином, на стратегічному рівні повинні здійснюватись два види стратегічного контролю. По-перше, це контроль відповідності поставленої цілі реаліям. Тобто якщо, наприклад, розміри вантажопотоків змінилися і виконання існуючого плану формування поїздів неможливо скорегувати будь-якими додатковими заходами, на стратегічному рівні повинно бути прийняте рішення про здійснення перерахунку або часткового перерахунку плану.

Інший вид стратегічного контролю потрібен для виявлення причин невиконання плану, які пов'язані не з

невідповідністю плану і поточних розмірів вантажопотоків, а з якістю рішень, які приймаються на нижніх рівнях системи, а також з якістю виконання цих рішень на лінійному рівні.

На лінійному рівні інтелектуальної системи управління формуванням поїздів також повинен здійснюватись і оперативний контроль. До оперативного контролю можна віднести, наприклад, контроль за відповідністю порядку постановки вагонів у поїзди плану формування поїздів і вимогам правил технічної експлуатації залізниць України. Тобто оперативні види контролю не

потребують стратегічного аналізу, а потрібні лише для оперативного виявлення відхилень для своєчасного їх усунення.

Таким чином, мережевий рівень автоматизованої системи управління вагонопотоками, який є стратегічним рівнем системи, відповідальний за побудову плану формування поїздів для всієї мережі, здійснення стратегічного контролю, результатом якого може бути ініціація повного або часткового перегляду плану формування поїздів, вироблення управлінських рішень, які направлені на зміну стратегії виконання діючого плану формування поїздів і адресовані на рівень регіональних центрів управління.

Для виконання цих задач на мережевому рівні необхідне облаштування

автоматизованого робочого місця інженера з плану формування поїздів. Програмна частина повинна складатися з програмного забезпечення для побудови плану формування поїздів для всієї залізничної мережі, яке використовує математичну модель стохастичної комбінаторної оптимізації. Апаратну частину запропоновано виконати у вигляді апаратного комплексу, який включає персональний комп'ютер інженера, обчислювальний кластер малої потужності і локальну базу даних, яка розміщена на двох серверах, весь цей апаратний комплекс об'єднаний за допомогою швидкої локальної комп'ютерної мережі, як наведено на рис. 3.

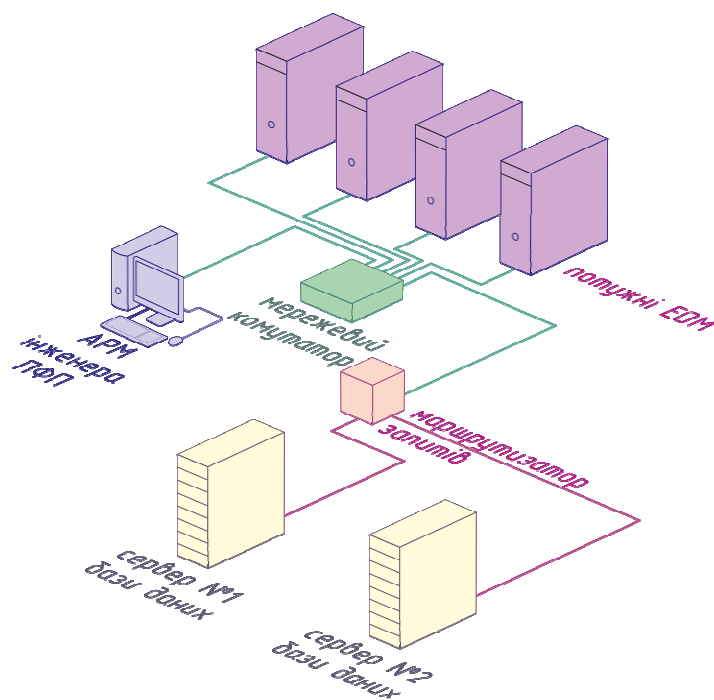


Рис. 3. Архітектура обчислювального кластера автоматизованої системи керування вагонопотоками, який обслуговує АРМ інженера з плану формування поїздів

База даних розміщується на двох дублюючих серверах, які під'єднані до локальної мережі через маршрутизатор запитів. Маршрутизатор запитів – спеціальний пристрій, який відноситься до

класу пристроїв, які мають назву розподілювачі навантаження (англ. load balancers). Задача цього пристрою – направляти запити до серверів баз даних за спеціальним алгоритмом, для того щоб не

допустити їх перевантаження. Маршрутизатор запитів під'єднаний до локальної комп'ютерної мережі через швидкісний мережевий комунікатор типу switch або router, до якого також під'єднані декілька потужних ЕОМ, що є основними обчислювальними потужностями кластера. До цієї локальної мережі також під'єднаний комп'ютер, який входить до складу АРМ інженера з плану формування поїздів, що є основним оператором автоматизованої системи управління формуванням поїздів на стратегічному рівні. Окрім програмного забезпечення для побудови плану формування поїздів на ЕОМ, що входять у склад обчислювального кластера, встановлене також програмне забезпечення для здійснення стратегічного контролю за процесом формування поїздів і виконанням плану формування поїздів по всій мережі в масштабі реального часу.

База даних інтелектуальної системи управління формуванням поїздів отримує дані з єдиної централізованої автоматизованої системи керування вантажними перевезеннями на залізничному транспорті України АСК ВП УЗ-Є. База даних інтелектуальної системи під'єднана до оперативної частини бази даних АСК ВП УЗ-Є через систему ведення відображених моделей (СВВМ). Оперативна частина бази даних є першим рівнем ієрархічної бази даних АСК ВП УЗ-Є, дані в оперативну базу даних надходять безпосередньо зі станційних АРМ. На даному рівні забезпечується найвищий ступінь інтегрованості та оперативності даних. СВВМ являє собою сервер застосувань, який у своїй оперативній пам'яті містить та підтримує в актуальному стані оперативну частину даних типових оперативних моделей. База даних інтелектуальної системи також під'єднана до розрахункових компонентів типових моделей (РКТМ), що розташовані на другому рівні бази даних АСК ВП УЗ-Є, який розташований в її архівній частині. На рівні РКТМ здійснюється об'єднання логічно пов'язаних даних

різних моделей, розрахунок ряду показників, подання інформації в зручному для подальшої обробки вигляді. Ступінь повноти та інтегрованості на даному рівні нижчий, ніж в оперативних моделях, але структура збереження простіша і ефективніша для обробки.

База даних інтелектуальної моделі під'єднана також і до третього рівня бази даних АСК ВП УЗ-Є через компонент доступу до даних DAS (Data Access Service). Третій рівень являє собою аналітичну базу даних і містить розраховані та узагальнені показники роботи УЗ та відповідні планові показники. Регламент розрахунків – після закриття звітної доби виконується добовий розрахунок. Крім того, після закінчення звітного періоду (місяць, квартал, 6, 9 місяців, рік) розраховуються підсумкові дані за відповідний період.

Таким чином, система управління вантажопотоками має доступ до всіх необхідних оперативних даних, що дозволить їй застосувати інструменти аналізу і прогнозу для підготовки вихідних даних для моделей, які розташовані на рівні регіональних центрів управління.

Рівень регіональних центрів управління представлений відділами плану формування поїздів, які входять до складу інформаційно-обчислювальних центрів залізниць (ІОЦ). На цьому рівні в ІОЦ залізниць в автоматизованому режимі одночасно необхідно розробляти оперативні плани роботи для всіх опорних станцій підконтрольних полігонів. Для вирішення цієї задачі також необхідні обчислювальні потужності, які можна облаштувати також у форматі обчислювального кластера, або використовувати вільні потужності ІОЦ, якщо це можливо. Для обчислень необхідно використовувати програмне забезпечення, яке базується на математичній моделі комбінаторної оптимізації.

На рис. 4. подано контур управління автоматизованої системи управління вагонопотоками.



Рис. 4. Контур управління автоматизованої системи управління вагонопотоками на залізницях України

Основне завдання управління, яке здійснюється на стратегічному рівні – стратегічний контроль за показниками виконання плану формування на мережевому рівні. І якщо відхилення показників від нормативних значень носять системний характер, здійснюється перерахунок мережевого плану формування поїздів, збір вихідних даних для розрахунку також ведеться постійно.

Одним із показників, який відслідковується і аналізується на стратегічному рівні, є параметр накопичення. Аналіз параметра накопичення здійснюється по кожному призначенню по кожній сортувальній станції. Оцінюються середні значення параметра накопичення за добу,

тиждень, місяць і за весь період дії поточного мережевого плану формування. Проводяться оцінка і аналіз відхилень фактичних значень вагонопотоків від тих, що використовувались у розрахунках поточного плану формування поїздів. Також аналізуються такі показники фактичного виконання плану, як питома вага маршрутного навантаження, економія приведених вагоно-годин від організації відправницьких маршрутів. Також аналізуються показники виконання плану, які оцінюють якість роботи сортувальних станцій і відхилення фактичного рівня їх завантаження від розрахункового. Такий всебічний аналіз показників виконання плану формування по окремих станціях, полігонах і

мережі в цілому здійснюється постійно з метою прийняття рішення про продовження дії поточного плану або про його корегування на рівні окремих полігонів, або перерахунок мережевого плану в цілому.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Вирішити задачу побудови системи управління вагонопотоками на сучасному рівні неможливо без створення інформаційно-керуючої системи, яка інтегрує у єдиному інформаційно-обчислювальному просторі найбільш важливі оптимізаційні задачі, що охоплюють всі рівні управління процесом вантажних перевезень, такі як розрахунок

плану формування поїздів і побудова оперативних планів роботи опорних технічних станцій. Особливу увагу при створенні такої системи необхідно приділити підсистемі контролю, яка забезпечить багаторівневий стратегічний контроль, що у свою чергу забезпечить високу якість управлінських рішень, що генеруються системою, правильне їх виконання, якісний аналіз і своєчасне корегування. Застосування обчислювальних кластерів дасть змогу вирішувати задачу побудови оперативного плану роботи опорних технічних станцій на рівні регіональних філій одночасно для всіх станцій полігону.

Список використаних джерел

1. Білецький, Ю. В. Удосконалення технології управління вагонопотоками з використанням автоматизованих систем управління [Текст] / Ю.В. Білецький, А.А. Сергієнко, Н.М. Найш // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2015. – №1(218). – С. 236-239.
2. Прохорченко, А. В. Удосконалення технології корегування плану формування поїздів на основі погодженої організації групових поїздів оперативного призначення [Текст] / А.В. Прохорченко, Л. В. Корженівський // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2008. – № 6/6(36). – С.37-40
3. Corman, F. Closing the loop in real-time railway control: Framework design and impacts on operations / F. Corman, E. Quaglietta // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2015. – 54 (0). – P. 15 – 39.
4. Shi Tie. A mixed integer programming model for optimizing multi-level operations process in railroad yards / Shi Tie, Xuesong Zhou. // Transportation Research Part B. – 2015. – 80. – P. 19-30.
5. Butko, T. V. Formalization of the technology of arranging tactical group trains / T. V. Butko, A. V. Prokhorchenko, A. Kyman // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. – 3 (76). – P. 38-43.
6. Panchenko, S. V. Formation of an automated traffic capacity calculation system of rail networks for freight flows of mining and smelting enterprises / S. V. Panchenko, T.V. Butko, A. V. Prokhorchenko, L.O. Parkhomenko // Natsional'nyi Hirnychyi Universytet. Naukovyi Visnyk. – 2016. – Vol.2. – P. 93-99.

Прохоров Віктор Миколайович, інженер кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту.

Рябушка Юлія Анатоліївна, інженер кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057)730-10-88.

Prokhorov Viktor Mykolaiovych, engineer of cathedra of management of operational work, Ukrainian State University of Railway Transport.

Riabushka Yulia Anatoliivna, engineer of cathedra of management of operational work, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057) 7301088.

Стаття прийнята 27.09.2016 р.