

УДК 656.073.436

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.146.2014.73745>

**УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ПЕРЕВЕЗЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ НА
ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ**

Д-р техн.наук, професор Т.В. Бутько, І.С. Розгон

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОК ОПАСНЫХ ГРУЗОВ НА
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

Д-р техн.наук, професор Т.В. Бутько, И.С. Розгон

**IMPROVEMENT OF ORGANIZATION OF TRANSPORTATIONS OF DANGEROUS LOADS ON
RAILWAY TRANSPORT**

Doct. of techn. science, professor T. Butko, I. Rozgon

Наведено статистику перевезень небезпечних вантажів з розподілом по роках та місяцях за результатами діяльності Одеської залізниці. Сформовано модель планування процесу перевезень вагонів з небезпечними вантажами за умови мінімізації ризиків, яка може бути основою автоматизованої системи планування.

Ключові слова: небезпечний вантаж, динаміка, статистика, розподіл, технологія перевезень.

Приведена статистика перевозок опасных грузов с распределением по годам и месяцам по результатам деятельности Одесской железной дороги. Сформирована модель планирования процесса перевозок вагонов с опасными грузами при условии минимизации рисков, которая может быть основой автоматизированной системы планирования.

Ключевые слова: опасный груз, динамика, статистика, распределение, технология перевозок.

Statistics of transportations of dangerous loads are resulted with distributing on years and months on results activity of the Odessa railway. The model of planning of process of transportations of carriages is formed with dangerous loads on condition of minimization of risks, which can be basis of CAS of planning.

Keywords: dangerous load, dynamics, statistics, distributing, technology of transportations.

Вступ. Протягом 2011-2014 рр. відбувається зростання обсягів перевезень небезпечних вантажів (НВ), разом з цим спостерігається тенденція зростання транспортних подій за участю небезпечних вантажів різних класів безпеки. Аналіз причин аварій і катастроф показав, що 10 % випадків припадає на організаційні питання, зокрема на неправильні дії диспетчерського персоналу та працівників станції, тобто невиконання вимог інструкцій з безпеки руху при здійсненні поїзної та маневрової роботи, порушення вимог безпеки під час експлуатації рухомого складу та об'єктів інфраструктури залізничного транспорту. Дана ситуація вимагає вирішення задачі підвищення рівня безпеки при організації перевезень небезпечних вантажів на основі розробки раціональної технології управління їх перевезень на рівнях тактичного і оперативного планування.

Одним з найбільш складних етапів в організації перевезень небезпечних вантажів на залізничному транспорті є процес планування маршруту прямування вагонів, який визначає з урахуванням діючого плану формування вантажних поїздів напрямок прямування та категорію поїзда, станції запинки та розклад руху. Від рівня планування залежить безаварійність процесу перевезення небезпечних вантажів з урахуванням швидкості і точності доставки.

Актуальність. У даний час спостерігається тенденція збільшення обсягу використання хімічних, радіоактивних та інших речовин, що несуть у собі потенційну небезпеку. З кожним роком виникають нові підприємства, які використовують у своєму виробничому процесі радіаційні, вибухові і отруйні речовини. Споживачами речовин, виробів і матеріалів, що мають небезпечні властивості, є всі галузі промисловості, що викликає необхідність в їх практично безперервному перевезенні. Таким чином, актуальною лишається задача надання якісних послуг з перевезення вищезазначених НВ за умови високого рівня безпеки перевізного процесу і забезпечення мінімальних витрат на здійснення перевезень.

Аналіз попередніх досліджень. Значний внесок у вирішення завдань вдосконалення організації перевезень небезпечних вантажів на залізничному транспорті, оперативного управління, процесу планування маршруту прямування вагонів та оптимальної схеми напрямку вагонопотоків зробили такі вчені та практики: Н.С. Green, R.E. Barlow, H. Kumamoto, A.J. Bourne, F.N. Proschan, E.J. Henly, E. Apl, E. Erkut, C. ReVelle, А.Г. Базазян, В.М. Акулінічев, В.Н. Андросюк, А.Л. Кармолін, А.В. Костров, П.С. Грунтов, В.М. Самсонкін, А.М. Островський, В.І. Медведєв, Л.Е. Шейнман, С.І. Музикіна та інші.

Аналіз наукових досліджень щодо перевезення НВ свідчить, що в основному теоретичні розробки виконувались для умов автомобільного транспорту. При цьому вони спрямовані на оцінку потенційної небезпеки через врахування можливих ризиків та економічних наслідків [1]. Таким чином, виникає актуальне науково-прикладне завдання удосконалення технологій перевезень НВ на залізничному транспорті, що передбачає формування наукових підходів для створення теоретичної бази автоматизації процесу перевезень на тактичному та оперативному рівнях, яка базується на оцінці можливих ризиків.

Викладення основного матеріалу. Для дослідження загальної тенденції перевезення небезпечних вантажів сформовано динаміку їх розподілу за 2011-2014 рр. в умовах Одеської залізниці [2-4], що наведено на рис. 1, аналіз якої доводить, що на фоні зменшення обсягів перевезення небезпечних вантажів у порівнянні з 2011 роком спостерігається достатньо стала тенденція обсягів перевезень. Це підтверджується основними параметрами (\bar{N} - середня кількість вагонів з НВ, σ - середнє квадратичне відхилення, k_y - коефіцієнт нерівномірності).

Для більш детального аналізу процесу перевезення НВ на Одеській залізниці сформована динаміка розподілу за місяцями 2013 р. (рис. 2, а) і за 6 місяців 2014 р. (рис. 2, б). Аналіз цієї діаграми доводить наявність коливань обсягів перевезень в залежності від

впливу сезонного фактора. Найбільша кількість перевезень вагонів з НВ припадає на зимові

періоди року.

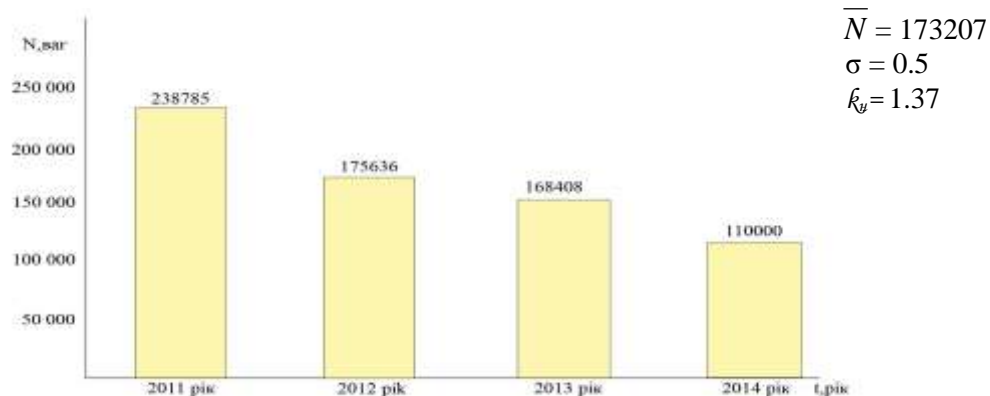
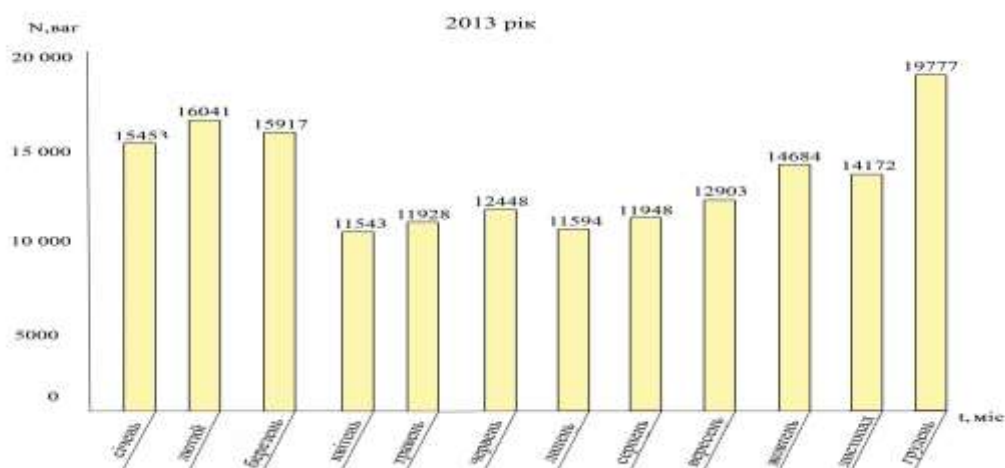


Рис. 1. Динаміка розподілу кількості вагонів з НВ всіх класів на Одеській залізниці по роках

а)



б)

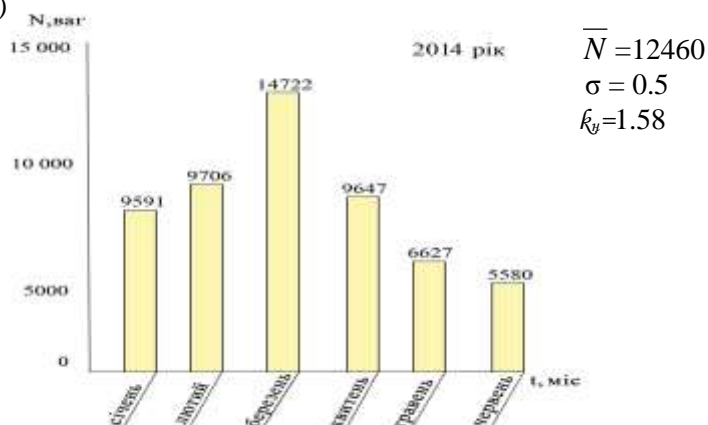


Рис. 2. Динаміка розподілу кількості вагонів з небезпечними вантажами всіх класів на Одеській залізниці по місяцях за 2013 та 6 місяців 2014 років.

Аналіз транспортних подій 2012 року на Одеській залізниці (рис. 3) показав, що найбільша чисельність подій припадає на вантажі небезпеки третього та четвертого

класів. При перевезенні небезпечних вантажів усіх класів потрібно вирішення питань, щодо формування гнучких методів оперативного управління процесом перевезень.

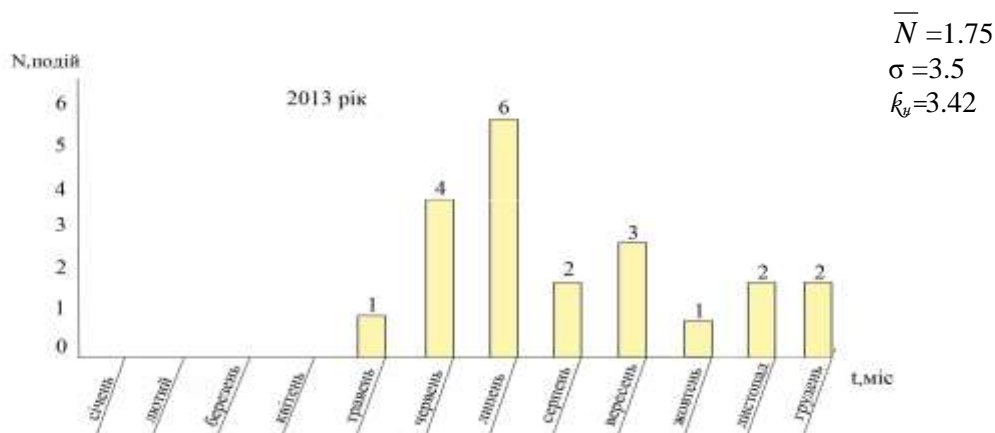


Рис. 3. Динаміка кількості транспортних подій на Одеській залізниці у 2012 році

З цією метою виникає задача формалізації процесу пошуку маршрутів прямування вагонів з НВ на основі критеріїв мінімізації експлуатаційних витрат.

Першим етапом вирішення вищезазначеної задачі на концептуальному рівні є формалізація процесу просування вагонів з НВ, яку доцільно зобразити у вигляді графової структури $G=(V, E)$. Вершини цього графа $v_i, v_j \in V$ слід розглядати як технічні станції залізничної мережі ($i=\overline{1, N}$ – номер станції), а кожна дуга $e_{ij}, e_{ij} \in E$ описує категорію і напрямок прямування вантажного поїзда ($j=\overline{1, N}$), у состав якого можливо включити вагони з НВ (дільничний, наскрізний тощо). По суті дуги графа визначають діючий план формування вантажних поїздів на полігоні залізничної мережі. Окрім етапу проходження в складі поїзда, вагони з НВ проходять найбільш небезпечні операції з розформування-формування на технічних станціях, що слід враховувати в запропонованій графовій структурі. Для урахування даної умови в роботі запропоновано розбити вершини графіка на декілька псевдовершин, які з'єднані дугами, що

відповідають технологічним ланцюгам обробки вагонів на i -й технічній станції, тобто описують усі операції з вагонами від прибуття на станцію в складі поїзда відповідної категорії до відправлення в поїзді іншого напрямку з відповідною категорією. Це дозволяє перейти від графа $G=(V, E)$ до псевдографа $G^*=(V^*, E^*)$, V^* – розширення множини вершин, що визначає початок та кінець операцій з вагонами на технічній станції, а множина E^* – це розширена множина дуг, яка, крім напрямків прямування поїздів відповідних категорій, включає дуги, що відповідають технологічному ланцюгу обробки вагонів. Об'єднання напрямків прямування та технологічних ланцюгів обробки вагонів в єдину множину є доцільним, оскільки вони мають єдину фізичну природу, а саме – час прибуття вагонів на відповідних дугах. Внаслідок того, що розмірність псевдографа $G^*=(V^*, E^*)$ збільшується, доцільно прийняти наскрізну нумерацію, де $i=\overline{1, M}$. Позначимо через s -вершину, що відповідає станції відправлення вагонів з НВ, а через t -вершину, що є станцією призначення відповідних вагонів $(s, t, i, j \in V^*)$, рис. 4.

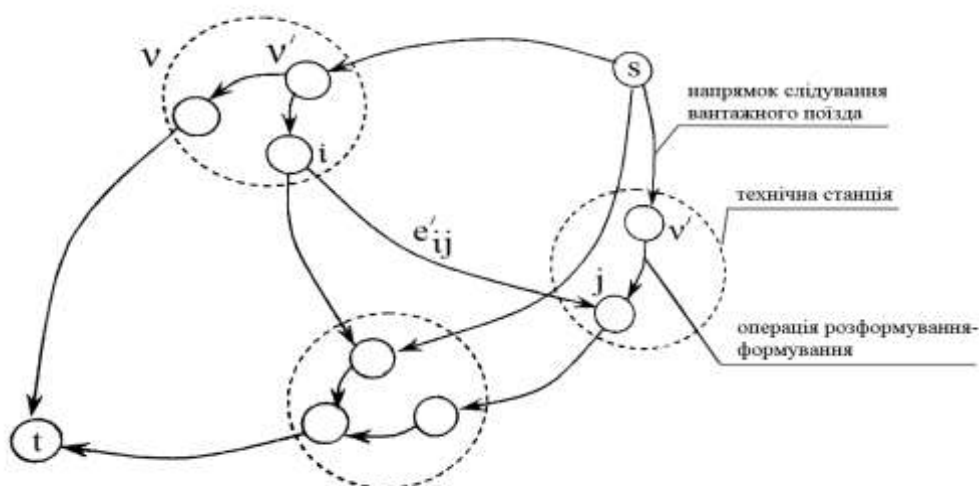


Рис. 4. Граф залізничної мережі $G=(V, E)$

Для оцінки експлуатаційних витрат за маршрутом прямування вагонів запропоновано кожній дузі e_{ij} графа G присвоїти параметр c_{ij} , що характеризує відповідно до опису дуги: вартість прямування вагонів у поїзді відповідної категорії або вартість проходження технологічного ланцюга обробки вагонів на технічній станції полігону мережі.

За таких умов критерієм ефективності вибору маршруту прямування вагонів з небезпечними вантажами є мінімізація сумарних витрат щодо прямування вагонів у поїздах та обробки на станціях

$$F = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min_{\{x_{ij}\}} \quad (1)$$

та обмеження, що враховують безперервність маршруту, а кожен проміжний пункт на шляху проходження може бути відвіданий тільки один раз:

для перерахування всіх k -х дуг, що входять до i -ї вершини маршруту,

$$\sum_k x_{ki} = 1, i = \overline{2, M}, \quad (2)$$

для перерахування всіх j -х дуг, що виходять із i -ї вершини маршруту,

$$\sum_j x_{ij} = \overline{1, M-1}, \quad (3)$$

Якщо ж i -я вершина не входить у найкоротший маршрут, то відповідна сума як для вхідних, так і вихідних дуг вершини графа має дорівнювати нулю. Тоді для будь-якого пункту мережі, крім початкового і кінцевого, має виконуватися умова:

$$\sum_k x_{ki} - \sum_j x_{ij} = 0, \quad (4)$$

У початковому пункті $\sum_j x_{sj} = 1$, у кінцевому $\sum_k x_{kt} = 1$, $x_{ij} \geq 0$ для всіх i, j ,

де

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо маршрут прокладено із } i \text{ до } j, i, j = \overline{1, M}; \\ 0, & \text{в іншому випадку.} \end{cases}$$

Транспортна система в задачі є орієнтованим графом-двополюсною мережею, s – номер станції відправлення, t – номер станції призначення $s, t \in V$. Всі пункти маршруту можна розділити на початковий, проміжний і кінцевий. Очевидно, що в кожному

проміжному пункті має бути по одній вхідній та вихідній дузі, а для початкового та кінцевого пунктів може бути тільки одна вихідна або вхідна дуга відповідно. Таким чином, обмеження (2-3) відображають вимогу на те, щоб у кожній вершині на маршруті із входу виходила лише одна дуга і у вхід заходила теж одна дуга. Обмеження (4) забезпечує рівність числа дуг, що входять та виходять у кожному проміжному вершині.

Використання критерію (1) та обмежень (2-4) дозволяє знайти найкоротший маршрут прямування вагонів з НВ від вершини s до t , але для формування варіанту прямування вагонів за умови підвищеної надійності необхідним є визначення на графі G' декількох k достатньо коротких простих шляхів (ланцюгів) з вершини відправлення до вершини прибуття.

Для виключення із множин можливих маршрутів неприпустимо складних та дорогих варіантів перевезення НВ необхідним є дотримання умови неперевикнення критичних експлуатаційних витрат.

$$F^k \leq C,$$

де F^k - сумарна вартість k -го маршруту, грн; C - граничні експлуатаційні витрати, що допустимі при перевезенні залізничним транспортом вантажу відповідного класу небезпеки, грн.

Для вирішення поставленої задачі запропоновано використати алгоритм Йена [5], схема якого припускає застосування алгоритму Флойда-Воршелла [6] для пошуку одного оптимального маршруту між двома вершинами на мережі.

Висновки. Для забезпечення організації перевезень небезпечних вантажів на залізничному транспорті доведена необхідність формалізації процесів перевезень вагонів з НВ на тактичному рівні, які передбачають вибір маршруту прямування поїздів з мінімальними

ризиками та експлуатаційними витратами. Для формалізації процесу вибору маршруту прямування вагонів з небезпечними вантажами є пошук маршрутів прямування вагонів за умовою мінімізації експлуатаційних витрат. При цьому необхідно представити топологію залізничної мережі, що відбиває діючий план формування поїздів та особливості технології обробки вагонів на технічних станціях і, як наслідок, дозволяє комплексно оцінити вартість технології перевезення небезпечних вантажів. Перевагою в перевезенні НВ є можливість врахування потенційних небезпечних ситуацій на шляху прямування вагонів в умовах існуючої технічної та експлуатаційної надійності інфраструктури.

Для поліпшення роботи Одеської залізниці щодо забезпечення безпеки перевезень небезпечних вантажів потрібна розробка додаткових заходів, які передбачають:

- встановлення контролю за відповідністю рухомого складу вимогам Правил перевезення вантажів, Додатка 2 до СМГС та Правил реєстрації та експлуатації власних вантажних вагонів;

- при роботі з вагонами, завантаженими НВ, забезпечувати контроль норм прикриття в поїздах і під час виконання маневрів, згідно з вимогами Інструкції з руху поїздів і маневрової роботи на залізницях України та Правил перевезень небезпечних вантажів;

- пропускання транспортних поїздів, у складі яких є вагони, завантажені небезпечними вантажами, в обхід великих залізничних станцій та вузлів згідно з Правилами перевезень небезпечних вантажів;

- встановлення діючого контролю з боку чергових по дирекціях, поїзних диспетчерів, чергових по станціях за прямуванням поїздів, у складі яких є вагони, завантажені небезпечними вантажами класу 1 ВМ [7].

Список використаних джерел

1. Положення про систему управління безпекою руху поїздів у Державній адміністрації залізничного транспорту України [Текст]. – Затв. Наказом № 27 Міністерства інфраструктури України від 1.04.2011 р., зареєстр. в Міністерстві юстиції України 17.06.2011 р. за №729/19467. – 48 с.
2. Аналіз стану безпеки руху поїздів у комерційному господарстві Одеської залізниці за підсумками роботи за 2011 рік [Текст] / Одеська залізниця. – Одеса, 2012. – 14 с.
3. Аналіз стану безпеки руху поїздів у комерційному господарстві Одеської залізниці за підсумками роботи за 2012 рік [Текст] / Одеська залізниця. – Одеса, 2013. – 16 с.

4. Аналіз стану безпеки руху поїздів у комерційному господарстві Одеської залізниці за підсумками роботи за 2013 рік [Текст] /Одеська залізниця. – Одеса, 2014. – 18 с.
5. Yen, J.Y. Finding the K shortest loopless paths in a network [Текст] /J.Y.Yen//Management Science.-1971.-№17.-Р. 712-716.
6. Кормен, Томас Х. Алгоритмы: построение и анализ=Introduction to Algorithms [Текст] / Томас Х. Кармен, Чарльз И. Лейзерсон, Рональд Л. Ривест, Клиффорд Штайн. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2006. – 1296 с.
7. Правила перевезення небезпечних вантажів [Текст]: Наказ міністерства транспорту та зв'язку України від 25.11.2008 № 1430. – Зареєстр. в Міністерстві юстиції України 26.02.2009 р. за №180/16196, із змінами, внесеними Наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 05.11.2009 р. № 1135. Зареєстр. в Міністерстві юстиції України 30.11.2009 р. за № 1151/17167. – 672 с.

Бутько Тетяна Василівна, д-р техн. наук, професор кафедри управління експлуатаційною роботою, Українська державна академія залізничного транспорту. Тел. (097)4424525.

Розгон Іван Сергійович, слухач гр.МЗ-ОПУТ-Б12 Інституту перепідготовки та підвищення кваліфікації Української державної академії залізничного транспорту.Тел. (063)1394262.

Butko Tetyana Vasilivna, doct. of sciences, professor department of “Upravlinnya yekspluatatsiynoi robotoyu” Ukraine State Academy of Railway Transport. Tel. (097)4424525.

Rozgon Ivan Sergiyovich listener gr.MZ-OPUT-B-12 Institut of retraining and in-plant training the Ukrainian state academy of railway transport. Tel. (063)1394262.