

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ КОМБІНОВАНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ

А. М. Котенко

Доктор технічних наук, професор*

E-mail: dtnkot@mail.ru

О. С. Крашенін

Доктор технічних наук, доцент**

E-mail: glelan@mail.ru

О. О. Шапатіна

Аспірант, асистент

*Кафедра «Управління вантажною і комерційною роботою»***

Кафедра «Експлуатація та ремонт рухомого складу»*

***Українська державна академія залізничного транспорту

пл. Фейєрбаха, 7, м. Харків, Україна, 61050

E-mail: olga-paradigma@yandex.ru

У статті наведена технологія бімодальних перевезень, при якій знімається проблема «мертвої ваги» у вигляді автомобільної рухомої частини, що постійно прямує з кузовом вагона.

Побудовано графи станів залізничних модулів зі зміною та без зміни ходової частини в експлуатації, на підставі яких складена система диференціальних рівнянь Колмогорова та визначені річні експлуатаційні витрати

Ключові слова: процеси комбінованих перевезень, математичне моделювання перевезень, графи станів процесів перевезень

В статті приведена технологія бімодальних перевозок, при котрій снимається проблема «мертвого вesa» в виде автомобільної подвижної частини, постійно слeдує з кузовом вагона.

Построєні графи состояний залізничних модулів з изменением и без изменения ходовой частини в експлуатації, на основани котрых составлена система дифференціальних уравнений Колмогорова и определены годовые експлуатаційні расходи

Ключевые слова: процессы комбинированных перевозок, математическое моделирование перевозок, графы состояний процессов перевозок

1. Вступ

Розвиток технічних засобів і способів перевезень вантажів в умовах переходу економіки на ринкові відносини дозволяє суттєво підвищувати ефективність перевезень.

Разом з цим інерційність реагування на ці зміни може привести до стагнації галузі, а в умовах конкуренції до втрати інтересу з боку замовників. Тому в умовах сучасних реалій для залізничного транспорту актуальним постає питання щодо взаємовигідного об'єднання і взаємодії з автомобільним транспортом, використовуючи їх позитивні сторони та нівелюючи негативні, і створення комбінованого виду перевезень. Застосування комбінованих перевезень стає актуальним ще й у зв'язку із вступом України до Європейської транспортної системи, де ширина залізничної колії відрізняється від ширини колій держав СНД.

Згідно «Комплексної програми оновлення залізничного рухомого складу України на 2008–2020 роки», яку введено в дію наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 14 жовтня 2008 р. № 1259, «Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010–2019 роки», затвердженої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. № 1390, «Стратегії розвитку залізничного транспорту України до 2020 року», затвердженої розпорядженням Кабінету Міністрів України

від 16 грудня 2009 р. № 1555-р поставлені задачі щодо удосконалення процесів перевезень вантажів і оновлення рухомого складу. В рамках цих задач можливе обґрунтування ефективності процесів перевезень вантажів на основі їх математичного моделювання. Реалізація проведених досліджень дозволить забезпечити необхідний рівень ефективності і зменшити експлуатаційні втрати на перевезення.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питанням розвитку змішаних, комбінованих, інтермодальних перевезень приділялось значна увага у багатьох роботах вітчизняних та закордонних вчених.

У роботах [1, 2] відзначається ефективність при застосуванні контейнерних та контрейлерних перевезень, при цьому забезпечується доставляння вантажів «від дверей до дверей», знижується завантаженість магістральних доріг, але не вирішується проблема «мертвої ваги» при прямуванні автомобілю з причепом або тягача з напівпричепом у складі автопоїзда.

У статтях [3, 4] розглядаються переваги у застосуванні бімодальної технології перевезення вантажів на території України, при цьому не повністю знімається проблема «мертвої ваги», що створюється автомобільною рухомою частиною, яка постійно прямує з кузовом

вагона, відсутня можливість перевезення вантажів без зміни ходової частини, коли власник вантажу має залізничну під'їзну колію.

Згідно з експлуатаційним досвідом [5, 6] бімодальна технологія може застосовуватись лише при перевезенні вантажів спеціальними вагонами (платформами) та спеціальними поїздами, в основному для перевезення вантажів в універсальних та спеціальних контейнерах, що обмежує номенклатуру вантажів, які перевозяться.

Перевага проекту, що наведений в роботі [7], полягає у включенні до бімодального зчепу напівприцепу-цистерни, що дає можливість перевезення продукції нафтопереробної та хімічної промисловості.

У статті [8] висвітлені переваги бімодальної системи, основною з яких є повніше завантаження поїзда корисним вантажем порівняно з системою змінних кузовів на платформах та з сидловими напівпричепами на вагонах зі зниженою навантажувальною площадкою за рахунок меншої маси тари, але не повністю знімається проблема «мертвої ваги».

У роботі [9] розглядається можливість приєднати групу вагонів бімодальної системи до складу вантажного поїзда, коли немає достатньої кількості вантажу у вантажовідправника, щоб заповнити увесь маршрутний поїзд.

3. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є покращення процесу комбінованих перевезень вантажів шляхом моделювання станів залізничних модулів (вагонів) зі зміною та без зміни ходової частини в експлуатації.

Для досягнення мети визначені такі задачі:

- розгляд підходів до організації бімодальних перевезень;
- побудова графів станів процесів перевезень вантажів за різними технологіями;
- формування системи диференціальних рівнянь на основі графів станів і їх рішення для визначення ймовірностей станів системи перевезень за різними технологіями;
- визначення критеріїв оцінки ефективності перевезень для оцінки кращого варіанту.

4. Математичне моделювання бімодальної технології перевезень вантажів

В сучасних умовах постає необхідність у використанні комбінованого виду перевезень, де б вирішальне місце посідав залізничний транспорт, а допоміжну роль відігравав автомобільний. Одним з таких видів перевезень є бімодальні перевезення. Дана технологія перевезення вантажів залізничним транспортом із послідовним заміщенням його на автомобільний проводиться як зі зміною ходової частини, так і без зміни ходової частини у випадку, коли власник вантажу має залізничну під'їзну колію.

Розглянемо технологію, яка відповідає вимогам, що необхідні для впровадження бімодальних перевезень [10].

Залізничний вагон 1 (рис. 1) має одночасно змінні залізничну 2 та автомобільну 3 ходові частини (візки).

Технологія зміни ходових частин показана на рис. 2. Після завантаження вантажу у вантажовідправника вагон доставляють маневровим локомотивом 11, як показано на рис. 1, на залізничну станцію на залізничній ходовій частині 2, де за допомогою домкратів 4 вагон 1 піднімають – залізнична ходова частина 2 викочують, а автомобільну – підкочують під вагон, і таким чином змінюють на автомобільну ходову частину (візок) 3 – за декілька хвилин. Домкрати 4 встановлюють з обох сторін вагона на залізничних коліях (рис. 3). Вагон 1 на автомобільній ходовій частині 3 витягують автотягачем 9 (рис. 4), який має повітрозбірники 12, компресор 13, поворотний автозчепний пристрій 14, гальмівні рукава 15. Далі вагон відправляють на станцію призначення, де операції повторюють у зворотному напрямі.

Для гальмування у процесі перевезень автомобільна рухома частина має пневматичні гальма 5, залізнична рухома частина – гальмівні рукава 16, маневровий локомотив 11 має автозчепний пристрій 10. Для вписування у криві та перехідні дільниці колії, залізничну рухома частина 2 виконують з можливістю вільно повертатися у горизонтальній площині навколо вертикального шворня 6.

Для зручності виконання операцій зміни візків, площадка, на якій виконуються операції 7, знаходиться на рівні головок 8.

Таким чином, розглянута технологія перевезення вантажів залізничним транспортом з послідовною зміною його на автомобільний при бімодальній системі перевезення має ряд переваг та дозволяє:

- уникати «мертвої ваги» у вигляді автомобільної рухомої частини, що постійно прямує з кузовом вагона;
- перевозити вантажі без зміни ходової частини, коли власник вантажу має залізничну під'їзну колію.

На рис. 1–4 показано позиції: 1 – напіввагон; 2 – залізнична ходова частина; 3 – автомобільна ходова частина; 4 – домкрати; 5 – пневматичні гальма; 6 – вертикальний шворень; 7 – поверхня площадки автошляху; 8 – рівень головок рейок; 9 – автотягач; 10 – поворотний автозчепний пристрій вагона; 11 – маневровий локомотив; 12 – повітрозбірники; 13 – компресор; 14 – поворотний автозчепний пристрій автотягача; 15 – гальмівні рукава автотягача; 16 – гальмівні рукава вагона.

Розглянемо математичні моделі переробки вагонів при прямуванні від вантажовідправника до вантажодержувача у вигляді графів станів та диференціальних рівнянь. Мережу станів в математичних моделях можна розглядати як систему масового обслуговування [11, 12].

Для визначення загальних витрат побудуємо графи станів та складемо систему диференціальних рівнянь Колмогорова. Імовірності станів вантажних модулів зі зміною ходової в експлуатації представимо у вигляді наступного розміченого графа (рис. 5).

Згідно з графом станів (рис. 5) введені такі позначення:

P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 – відповідно імовірності знаходження вантажу під вантажними операціями, прямування вантажу автомобільним ходом, зміни автомобільної рухомої частини на залізничну з тим же вантажем на станції відправлення, прямування

вантажу залізничним ходом, зміни залізничної ходової частини на автомобільну з тим же вантажем на станції призначення;

$\lambda_{12}, \lambda_{21}, \lambda_{23}, \lambda_{34}, \lambda_{45}, \lambda_{52}$ – відповідно інтенсивності переходу із стану знаходження вантажу під вантажними операціями до прямування вантажу автомобільним ходом, із стану прямування вантажу автомобільним ходом до стану знаходження вантажу під вантажними операціями, із стану прямування вантажу автомобільним ходом до стану зміни автомобільної ходової частини на залізничну з тим же вантажем на станції P_2 відправлення, із стану зміни автомобільної ходової частини на залізничну з тим же вантажем на станції відправлення до стану прямування вантажу залізничним ходом, із стану прямування вантажу залізничним ходом до стану зміни залізничної ходової частини на автомобільну з тим же вантажем на станції призначення, із стану зміни залізничної ходової частини на автомобільну з тим же вантажем на станції призначення до стану прямування вантажу автомобільним ходом.

Згідно з розміченим графом станів запишемо систему диференціальних рівнянь зміни станів в експлуатації

$$\begin{cases} \frac{dP_1}{dt} = \lambda_{21}P_2 - \lambda_{12}P_1; \\ \frac{dP_2}{dt} = \lambda_{12}P_1 + \lambda_{52}P_5 - P_2(\lambda_{23} + \lambda_{21}); \\ \frac{dP_3}{dt} = \lambda_{23}P_2 - \lambda_{34}P_3; \\ \frac{dP_4}{dt} = \lambda_{34}P_3 - \lambda_{45}P_4; \\ \frac{dP_5}{dt} = \lambda_{45}P_4 - \lambda_{52}P_5. \end{cases} \quad (1)$$

При нормувальній умові

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = 1.$$

Система досліджується за початковими умовами:

$$t = 0; P_1 = 1; P_2 = P_3 = P_4 = P_5 = 0. \quad (2)$$

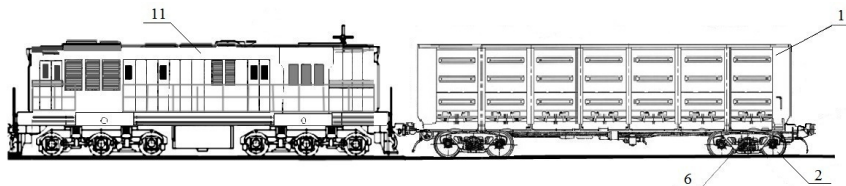


Рис. 1. Вагон на залізничному візку, який тягне локомотив

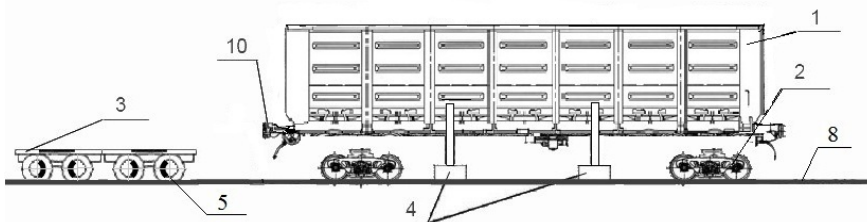


Рис. 2. Зміна візків з залізничних на автомобільні при піднятих домкратах

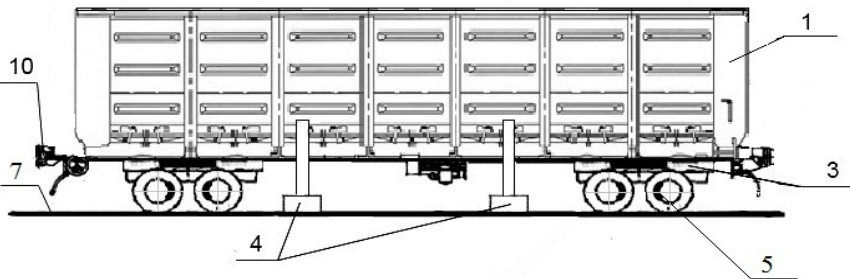


Рис. 3. Вагон на автомобільному візку при опущених домкратах

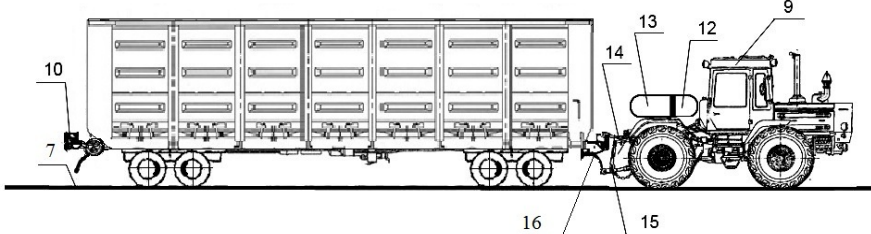


Рис. 4. Вагон на автомобільному візку, який тягне автотягач

Як і в попередньому випадку, представимо імовірності станів залізничного модуля (вагону) без зміни ходової частини в експлуатації у вигляді розміченого графа (рис. 6).

Згідно з графом станів (рис. 6) введені такі позначення:

P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 – відповідно імовірності знаходження вагону під вантажними операціями, доставляння вантажу автотягачем без зміни ходової частини по залізничній колії від вантажовідправника, транспортування вантажу по залізничній колії до станції відправлення, транспортування вантажу по залізничній колії до станції призначення, доставляння вантажу автотягачем без зміни ходової частини по залізничній колії до вантажоодержувача;

$\lambda_{12}, \lambda_{21}, \lambda_{23}, \lambda_{32}, \lambda_{34}, \lambda_{43}, \lambda_{45}, \lambda_{54}$ – відповідно інтенсивності переходу із стану знаходження вагону під вантажними операціями до стану доставляння вантажу автотягачем без зміни ходової частини по залізничній колії від вантажовідправника, із стану доставляння вантажу автотягачем без зміни ходової частини по залізничній колії від вантажовідправника до стану знаходження вагону під вантажними операціями, із стану доставляння вантажу автотягачем без зміни ходової частини по залізничній колії від вантажовідправника до стану транс-

портування вантажу по залізничній колії до станції відправлення, із стану транспортування вантажу по залізничній колії до станції відправлення до стану доставляння вантажу автотягачем без зміни ходової частини по залізничній колії від вантажовідправника, із стану транспортування вантажу по залізничній колії до станції відправлення до стану транспортування вантажу по залізничній колії до станції призначення, із стану транспортування вантажу по залізничній колії до станції призначення до стану доставляння вантажу автотягачем без зміни ходової частини по залізничній колії до вантажоодержувача, із стану доставляння вантажу автотягачем без зміни ходової частини по залізничній колії до вантажоодержувача до стану транспортування вантажу по залізничній колії до станції призначення.

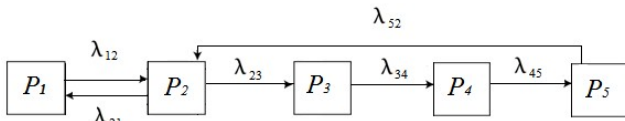


Рис. 5. Розмічений граф станів залізничного модуля (вагону) зі зміною ходової частини в експлуатації

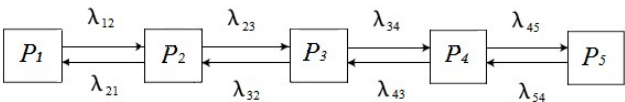


Рис. 6. Розмічений граф зміни станів залізничного модуля (вагону) без зміни ходової частини в експлуатації

Згідно з графом станів запишемо систему диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dP_1}{dt} = \lambda_{21}P_2 - \lambda_{12}P_1; \\ \frac{dP_2}{dt} = \lambda_{12}P_1 + \lambda_{32}P_3 - P_2(\lambda_{21} + \lambda_{23}); \\ \frac{dP_3}{dt} = \lambda_{23}P_2 + \lambda_{43}P_4 - P_3(\lambda_{32} + \lambda_{34}); \\ \frac{dP_4}{dt} = \lambda_{34}P_3 + \lambda_{54}P_5 - P_4(\lambda_{43} + \lambda_{45}); \\ \frac{dP_5}{dt} = \lambda_{45}P_4 - \lambda_{54}P_5. \end{cases} \quad (3)$$

При нормувальній умові

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = 1.$$

Система досліджується за початковими умовами:

$$t = 0; P_1 = 1; P_2 = P_3 = P_4 = P_5 = 0. \quad (4)$$

Інтегрування систем диференціальних рівнянь для конкретних значень вхідних параметрів ($N, \lambda_{12}, \lambda_{23}, \lambda_{34}, \lambda_{45}, \lambda_{52}, \lambda_{21}$) виконано на ПЕОМ за програмою MathCAD. За результатами розрахунків побудовані графічні залежності $P = f(t)$.

Дослідження моделі технології комбінованого руху для систем (1) і (3) представлено на рис. 7, 8, з яких видно, що на імовірність сталого режиму найбільший вплив мають:

– згідно із рис. 7: P_2 – імовірність прямування вантажу автомобільним ходом, P_3 – імовірність зміни автомобільної рухомої частини на залізничну з тим же вантажем на станції відправлення;

– згідно із рис. 8: P_2 – імовірність доставляння вантажу автотягачем без зміни ходової частини по залізничній колії від вантажовідправника, P_3 – імовірність транспортування вантажу по залізничній колії до станції відправлення.

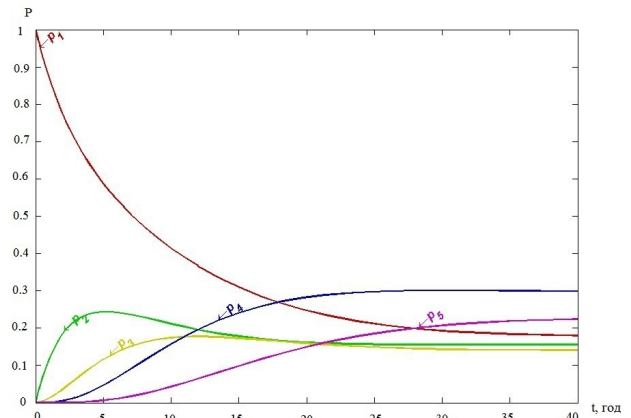


Рис. 7. Імовірність станів залізничного вагону зі зміною ходової частини в експлуатації

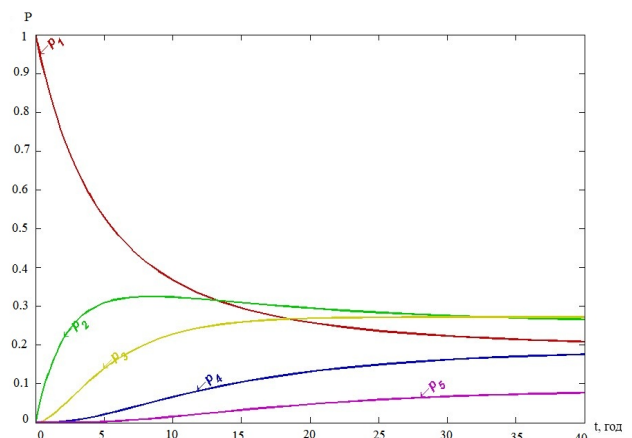


Рис. 8. Імовірність станів залізничного вагону без зміни ходової частини в експлуатації

Цільова функція ефективності використання кожної з технологій перевезень має наступний вигляд

$$C_{\text{тр}} = \sum C_i P_i \rightarrow \min, \quad (5)$$

де C_i – відповідні експлуатаційні витрати; P_i – імовірності i -станів перевезень.

Згідно з [13, 14] були визначені річні експлуатаційні витрати при бімодальній технології перевезень вантажів зі зміною та без зміни ходової частини в експлуатації, що наведені на рис. 9.

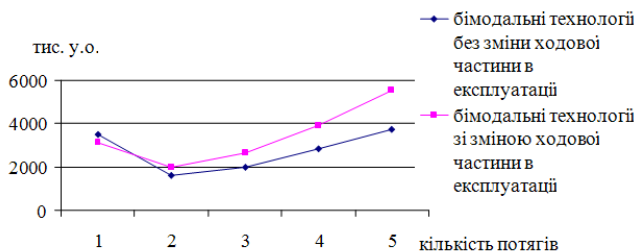


Рис. 9. Річні експлуатаційні витрати при біомодальній технології перевезень вантажів зі зміною та без зміни ходової частини в експлуатації

При впровадженні технології згідно з рис. 1–4 та [10] залишається можливість перевезень вантажів без зміни ходової частини в експлуатації, коли власник вантажу має залізничну під'їзну колію.

Як видно з рис. 9, при 1 потязі менші витрати при біомодальній технології перевезень будуть зі зміною ходової частини в експлуатації, тоді як при кількості потягів від 2 до 5 менші річні експлуатаційні витрати досягаються при біомодальній технології перевезень саме без зміни ходової частини в експлуатації, що підтверджує доцільність використання даної технології із застосуванням автотягача.

5. Висновки

На підставі формування системи диференціальних рівнянь було отримано рішення для визначення ймовірностей станів системи перевезень за різними технологіями. Побудовані графі станів, що визначені на основі рішення системи диференціальних рівнянь руху в комбінованих перевезеннях, надають можливість визначити ступінь ефективності управління комбінованими перевезеннями вантажів для підтримки прийняття оптимальних рішень оперативними працівниками в задачах, що розв'язуються на автоматизованих робочих місцях оперативних працівників залізниць.

За результатами розрахунків були визначено, що при кількості потягів 1 раціональним варіантом перевезень є технологія зі зміною ходової частини в експлуатації, тоді як при кількості потягів від 2 до 5 – без зміни ходової частини в експлуатації за критерієм мінімальних річних експлуатаційних витрат. При кількості потягів 5 ефективність біомодальної технології перевезень без зміни ходової частини в експлуатації на 32,73 % вище, ніж зі зміною ходової частини в експлуатації.

Література

1. Котенко, А. М. Інтермодальні перевезення. Перспективи розвитку [Текст] / А. М. Котенко, П. С. Шилаєв // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2009. – № 54. – С. 31–36.
2. Котенко, А. М. Математичне моделювання руху комбінованих поїздів [Текст] / А. М. Котенко, В. І. Шевченко, П. С. Шилаєв // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2010. – № 113. – С. 19–23.
3. Пшінько, О. М. Біомодальні технології перевезень – ключ до нових сегментів транспортного ринку [Текст] / О. М. Пшінько, С. В. Мямлін, Р. Г. Коробйова, Д. М. Козаченко, Ч. Фоскетт // Залізничний транспорт України. – 2009. – № 5. – С. 20–22.
4. Пшінько, О. М. Можливості впровадження біомодальних технологій перевезень контейнерів на транспортному ринку України [Текст] / О. М. Пшінько, С. В. Мямлін, Р. Г. Коробйова, Д. М. Козаченко, Ч. Фоскетт // Вагонний парк. – 2011. – № 2. – С. 46–48.
5. Ruger, B. Kombiniertes Verkehr als Rettung des Schienengüterverkehrs [Text] / B. Ruger // Technische Universität Wien (Institut für Eisenbahnenwesen, Verkehrswirtschaft und Seilbahnen). – 2003. – № 5. – P. 1–27.
6. Blaze, J. Lessons from the North American Rail / Intermodal Experience [Text] / J. Blaze, A. Zarembski // Rail International. – 2004. – № 5. – P. 14–22.
7. Madeja, J. Gospodarcze, techniczne, ekologiczne i społeczne aspekty wprowadzenia bimodalnego systemu transportnego [Text] / J. Madeja // Referatu Sempozium «Techniczne Środki Transportu Drogowo-Szynowego». – 1994. – № 1. – P. 7–21.
8. Seidelmann, Ch. Zur Wirtschaftlichkeit bimodaler Transportsysteme [Text] / Ch. Seidelmann // Internationales Verkehrswesen. – 1992. – № 4. – P. 106–111.
9. Kaderavek, P. RailRunner Looks to Europe [Text] / P. Kaderavek // Railvolution. – 2012. – №4/12. – P. 126.
10. Спосіб перевезення вантажів залізничним вагоном та його розвантаження на роторному вагонперекидачі [Текст] : пат. 84955 Україна: МПК(2013.01) B61F 7/00, B60S 5/00, B60S 11/00 / Котенко А. М., Дунаєвський Л. М., Шилаєв П. С., Шилаєв П. С., Мкртчян Д. І., Шапатіна О. О., Берестова Т. Т. – власник Українська державна академія залізничного транспорту. – №U201304202; заявл. 04.04.13, опубл. 11.11.13, Бюл. №21. – 8с.
11. Смехов, А. А. Математические модели процессов грузовой работы [Текст] / А. А. Смехов. – М.: Транспорт, 1982. – 256 с.
12. Вентцель, Е. С. Исследование операций [Текст] / Е. С. Вентцель. – М.: Советское радио, 1972. – 552 с.
13. Макаренко, М. В. Збірник тарифів на перевезення вантажів залізничним транспортом у межах України та пов'язані з ними послуги: офіційне видання УЗ [Текст] / М. В. Макаренко, В. В. Чорний, Ю. А. Меркулов та ін.; під керів. В.В. Чорного. – К.: 2009. – 198 с.
14. Котенко, А. М. Оцінка ефективності роудрейлерних перевезень [Текст] / А. М. Котенко, О. О. Шапатіна, М. О. Воропай // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2013. – № 142. – С. 24–31.