

УДК 629.4.027

**ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ВИРОБНИЦТВ З РЕМОНТУ  
ЛОКОМОТИВІВ ЗА ЕКОНОМІЧНИМИ КРИТЕРІЯМИ**

Д-р техн. наук В. Г. Пузир, канд. техн. наук Ю. М. Дацун,  
магістранти Б. С. Дидак, О. А. Вітенко

**DETERMINATION OF THE RATIONAL STRUCTURE OF PRODUCTION FOR THE  
REPAIR OF LOCOMOTIVES ACCORDING TO ECONOMIC CRITERIA**

**D. Sc. (Tech.) V. Puzyr, PhD (Tech.) Y. Datsun, masters B. Dydak, A. Vitenko**

---

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.185.2019.180804>

---

*Визначення оптимальної виробничої структури локомотиворемонтного підприємства за критерієм максимізації загальних прибутків та обмежень на обсяг інвестицій в статті розглядалось як задача комбінаторної оптимізації. Застосування методів динамічного програмування дозволило визначити індивідуальні варіанти виробничої структури для різних обсягів інвестування. За розрахунками, ключовими підрозділами з високою прибутковістю є: тепловозоскладальний, дизельний та цех гідропередач. «Найважчими», з точки зору інвестування, є підрозділи з ремонту колісних пар та електричних машин. Порівняння частоти появи окремих підрозділів у розрахованих варіантах організаційної структури з їх кількістю у існуючих ремонтних підприємствах регіону показує високу узгодженість. Обчислений коефіцієнт Фішера доводить адекватність запропонованого підходу.*

**Ключові слова:** локомотиворемонтне виробництво, виробнича структура, інвестиційні витрати, ремонтний підрозділ, організація.

*It is substantiated in the article that the existing rules and regulations on the structure of locomotive repair production do not conform the basic requirements of modernity because they were developed for the conditions of a planned economy. Modern enterprises focused on satisfaction the needs of a particular customer, working in a competitive environment, short delivery times, stringent product requirements, constant shortage of funds, frequent changes in demand for products are forced to form a more flexible production structure. The most weightiest criteria for investors at organizing a new locomotive repair enterprise and determining its future production structure, should be considered the effectiveness of the investments and the payback period. The greatest influence on the formation of profit from rolling stock repairs is carried out by the factors: the number and degree of depreciation of the rolling stock of the selected series, availability of existing enterprises of this type, availability of an available market for spare parts for the rolling stock of the selected series, availability and motivation of maintenance staff. Under such conditions, determining the optimal production structure of locomotive repair production can be considered as an optimization task, which should take into account the particularities of the region of location and the characteristics of the fleet of the selected series of rolling stock. The application of dynamic programming methods allowed determining individual variants of the production structure for various volumes of investment. According to calculations, the key production units with high profitability are: diesel locomotive assembly shop, diesel shop and hydraulic transmission shop. Difficult production units in terms of investment are shop for repairing wheel sets and shop for repairing electric motors. Comparison of the frequency of occurrence of individual production units in the calculated variants of the organizational structure with their number in the existing repair enterprises of the region shows a high consistency. The calculated Fisher's coefficient proves the adequacy of the proposed approach.*

**Keywords:** Locomotive repair production, production structure, investment costs, repair unit, organization.

**Вступ.** Залізничний транспорт відіграє істотну роль в функціонуванні економіки України. Від якості роботи залізниці безпосередньо залежить функціонування промислового сектора, здатність держави захищати національний суверенітет і безпеку, забезпечення прав громадян на свободу пересування. Відсутність суттєвих інвестицій в залізничну галузь упродовж десятиліть призвела до катастрофічного старіння основних фондів. Така ситуація та спрямованість інфраструктурних перетворень в країні на світовий досвід створення ринкових механізмів спонукає до появи альтернативних операторів як з експлуатації, так і з ремонту рухомого складу залізниць. У зв'язку з цим перед приватними інвесторами постають питання

організації необхідної інфраструктури для забезпечення функціонування означених операторів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Довгий час ремонт локомотивів залізниць України проводився відомчими підприємствами з типовою виробничою та організаційною структурою. Основні вимоги до них викладені в ряді державних та галузевих нормативних документів розробки 70-80-х років минулого століття [1, 2] і були, що цілком слушно, орієнтовані на умови планової економіки в період екстенсивного її розвитку. В період становлення ринкових відносин такий підхід буде призводити до необґрунтованих матеріальних витрат. Сучасні підприємства, орієнтовані на задоволення потреб конкретного замовника, працюють в

умовах конкуренції, коротких термінів поставок, жорстких вимог до продукції, постійного браку коштів, частих змін попиту на продукцію і тому змушені формувати більш гнучку виробничу структуру. Пошук методів підвищення ефективності функціонування виробництв спонукав до появи комплексного підходу та нової архітектури виробничих систем, що отримала назву «Гнучкі виробничі системи» (Flexibility Manufacturing Systems – FMS) [3, 4, 5]. Їм притаманні широке застосування автоматизованого технологічного обладнання та швидке перенастроювання технологічних процесів.

Розвиток інформаційних та мережевих технологій став поштовхом до реалізації нових організаційно-виробничих форм – віртуальних підприємств, що характеризуються динамічною та адаптивною структурою [6, 7]. В [8] вирішується задача оцінки та оптимального пошуку можливих виконавців і ресурсів під час застосування концепції віртуальних підприємств з ремонту локомотивів. Однак такий підхід доцільний тільки для існуючих виробництв, що мають власну виробничу та організаційну структуру.

У випадку, коли локомотиворемонтне виробництво тільки створюється, постає питання його технологічної підготовки і, насамперед, визначення оптимальної виробничої структури. Доцільно вирішувати його з урахуванням сучасних підходів до організації виробництва, прийнявши за критерій оптимізації капітальні витрати.

**Визначення мети та завдання дослідження.** Метою цього дослідження є розроблення методики визначення раціональної структури нового виробництва з ремонту локомотивів під час технологічної підготовки.

Для досягнення сформульованої мети потрібно розв'язати такі завдання:

1. Проаналізувати існуючі вимоги до структури локомотиворемонтних виробництв щодо їх відповідності сучасним умовам.

2. Визначити найбільш значущі критерії для інвесторів під час організації нового локомотиворемонтного підприємства та визначення його майбутньої виробничої структури.

3. Сформулювати та вирішити задачу визначення оптимальної виробничої структури локомотиворемонтного підприємства за обраними критеріями.

4. Оцінити узгодженість отриманих результатів обчислень із фактичними, визначити адекватність запропонованого підходу за критерієм Фішера.

**Основна частина дослідження.** У державному стандарті «Технологічна підготовка виробництва. Терміни та визначення основних понять» під виробничою структурою розуміється перелік цехів та служб підприємства із зазначенням зв'язків між ними. Регламентується просторова форма організації виробничого процесу, склад і розміри підрозділів підприємства, форми їх взаємозв'язків між собою, співвідношення підрозділів за потужністю, чисельністю працівників, а також розміщення підрозділів на території підприємства.

Виробнича структура підприємства відображає характер розподілу праці між окремими підрозділами, а також їх кооперовані зв'язки в єдиному виробничому процесі. Вона істотно впливає на ефективність і конкурентоспроможність підприємства. Склад, розміри виробничих підрозділів, ступінь їх пропорційності, раціональність розміщення на території підприємства, стійкість виробничих зв'язків впливають на ритмічність виробництва і рівномірність випуску продукції, визначають витрати виробництва та рівень доходу підприємства.

В умовах планової економіки ремонтні підприємства державної власності мали типову виробничу структуру [1, 2]. Для тепловозоремонтного виробництва у обсязі капітальних ремонтів передбачалась виробнича структура із основними та допоміжними цехами. До основних цехів

відносили ті, що виробляли продукцію: складальні (тепловозоскладальний, дизельний, візковий, електромашинний, електроапаратний, колісний, цех гідропередач), заготівельні (ковальський, ливарний), оброблювальні (гальванотермічний, механічний). Групу допоміжних склали цехи: інструментальний, нестандартного обладнання, ремонтно-механічний, енергосиловий, ремонтно-будівельний, транспортний [9]. Створення підприємства такого рівня із розгалуженою структурою в теперішній час неможливе з причин інвестиційної непривабливості. Тому під час організації ремонту рухомого складу та його окремих вузлів дедалі більшого поширення набувають підприємства з гнучкою структурою [10, 11]. Визначення майбутньої виробничої структури такого підприємства є одним із перших і найважливіших етапів, що здійснюється в рамках технологічної підготовки. Від правильності визначення виробничої структури залежить подальша ефективність та успішність підприємства. Найбільш вагомими критеріями під час організації нового виробництва, зокрема

для інвесторів, є ефективність вкладених інвестицій та термін їх окупності.

Розрахунок терміну окупності проекту залежить від рівномірності розподілення прибутків від інвестицій за роками. Якщо прибуток розподіляється за роками рівномірно, то термін окупності визначають за формулою [12]

$$T_{ок} = \frac{i}{p}, \quad (1)$$

де  $i$  – інвестиційні витрати;

$p$  – середньорічний чистий прибуток.

Якщо як інвестиційний проект подавати організацію гнучкого (віртуального) тепловозоремонтного виробництва, то термін окупності доцільно визначати за окремими ремонтними підрозділами. Причому до уваги необхідно брати ті підрозділи, що виробляють продукцію (тепловозоскладальний – «ТЗ», дизельний – «Д», візковий – «В», електромашинний – «ЕМ», електроапаратний – «ЕА», колісний – «К», цех гідропередач – «ГП»)

$$T_{ок} = \frac{i_{ТЗ}}{P_{ТЗ}} + \frac{i_{Д}}{P_{Д}} + \frac{i_{В}}{P_{В}} + \frac{i_{ЕМ}}{P_{ЕМ}} + \frac{i_{ЕА}}{P_{ЕА}} + \frac{i_{К}}{P_{К}} + \frac{i_{ГП}}{P_{ГП}}. \quad (2)$$

Інвестиційні витрати на організацію кожного ремонтного підрозділу можуть суттєво відрізнитись. Це залежить від ступеня прогресивності технології ремонту, необхідних документації, технологічного обладнання, вимірювального інструменту, виробничого персоналу та приміщень. Прибутки від ремонту різних вузлів рухомого складу теж мають суттєву різницю, їх значення можуть змінюватись навіть в залежності від регіону розташування підприємства. Найбільший вплив на формування прибутків від ремонту рухомого складу здійснюють чинники:

- кількість та ступінь зношеності парку рухомого складу обраної серії (в регіоні та в країні);

- наявність існуючих підприємств такого типу (в регіоні та в країні);

- наявність доступного ринку запасних частин для рухомого складу обраної серії;

- наявність та вмотивованість ремонтного персоналу в регіоні.

В таких умовах визначення оптимальної виробничої структури локомотиворемонтного виробництва може розглядатись як оптимізаційна задача, що має враховувати особливості регіону

розташування і характеристики парку обраної серії рухомого складу.

Для її постановки необхідно прийняти множину ремонтних підрозділів  $n$ , дані щодо обсягів інвестицій для організації кожного ремонтного підрозділу  $i_j$  та значення середньорічних прибутків  $p_j$  від роботи кожного підрозділу. Для кожного конкретного випадку загальні обсяги інвестицій обмежені певним значенням  $M$ . Необхідно визначити оптимальний склад ремонтних підрозділів виробничої структури, щоб загальні прибутки були максимальні за умови виконання обмежень на обсяг інвестицій. Поставлену задачу можна розглядати як задачу комбінаторної оптимізації [13, 14] та подати у вигляді

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n i_j \cdot x_j \leq M \\ x_j \in \{0; 1\}, j = \overline{1, n}; \\ x_j - \text{цілі} \end{cases}, \quad (3)$$

де оптимізаційним критерієм є функція:

$$F(x) = \sum_{j=1}^n p_j \cdot x_j \rightarrow \max. \quad (4)$$

Нехай  $x_j = \{0; 1\}$  –  $j$ -й ремонтний підрозділ і якщо він буде входити до складу підприємства, то  $x_j = 1$ , інакше  $x_j = 0$ .

За вихідні дані приймалися розрахункові значення інвестицій для організації ремонтних підрозділів та прогнозовані значення прибутків для умов харківського регіону. З метою узгодження розмірності значень дані щодо прибутку прийнято такими, що відповідають програмі ремонту 30 тепловозів на рік (рис. 1).

Поставлена задача розв'язувалась методами динамічного програмування. Обсяги загальних інвестицій змінювались від максимальних 3,2 млн у. о. до мінімальних 0,2 млн у. о. з кроком 0,2 млн у. о. Результати розрахунків наведені в матриці (див. таблицю).

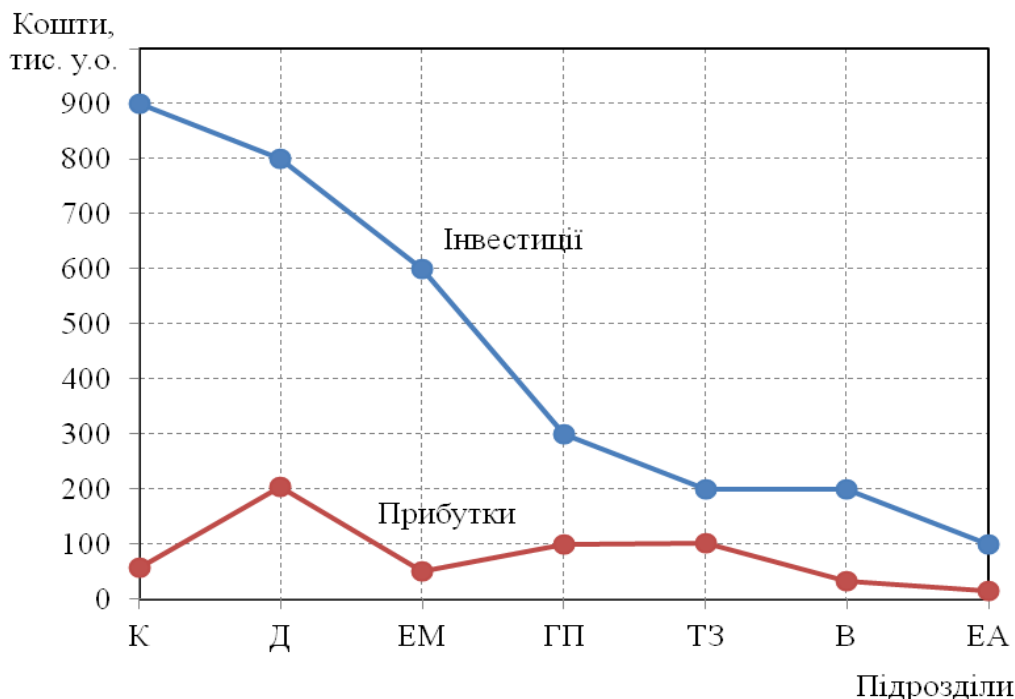


Рис. 1. Економічні показники окремих підрозділів тепловозоремонтного виробництва

Матриця вирішення задачі визначення раціональної структури нового виробництва з ремонту локомотивів

Обсяг інвестицій, млн у. о.	Ремонтні підрозділи						
	ТЗ	Д	В	ЕМ	ЕА	К	ГП
3,2	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	0	1	1
2,8	1	1	0	1	0	1	1
2,6	1	1	1	0	1	1	1
2,4	1	1	1	1	1	0	1
2,2	1	1	1	1	1	0	1
2	1	1	0	1	1	0	1
1,8	1	1	1	0	1	0	1
1,6	1	1	1	0	1	0	1
1,4	1	1	0	0	1	0	1
1,2	1	1	1	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0
0,8	1	0	1	0	1	0	1
0,6	1	0	0	0	1	0	1
0,4	1	0	1	0	0	0	0
0,2	1	0	0	0	0	0	0

Аналіз результатів показує, що за різних обсягів інвестування виробнича структура підприємства може суттєво різнитись. Однак за будь-яких умов фінансування тепловозоскладальний виробничий підрозділ має обов'язково входити до структури виробництва. Це пояснюється незначними витратами під час його організації та суттєвою прибутковістю роботи. На підтвердження цього можна зазначити, що сьогодні в Україні існує цілий ряд приватних підприємств, які здійснюють ремонти тепловозів здебільше промислового транспорту, маючи в активах лише тепловозоскладальний цех. Ремонт основних вузлів і агрегатів в такому випадку проводиться підрядними організаціями.

Згідно з розрахунками, також можна виділити підрозділи з ремонту дизелів та гідропередач, що характеризуються

високою прибутковістю роботи та мають високу частоту входження до виробничої структури.

Підрозділи з ремонту колісних пар та електричних машин під час організації потребують придбання дорогого обладнання, що спричинює великий обсяг фінансових витрат. Ці підрозділи характеризуються меншою частотою попадання до складу виробничої структури.

Якщо обчислити суми значень отриманої матриці по стовпцях, можна отримати гістограму, що покаже частоту входження кожного ремонтного підрозділу до складу виробництва за різних обсягів фінансування. Порівнявши отримані значення з кількістю існуючих ремонтних виробництв відповідної направленості в регіоні, можна оцінити адекватність отриманих результатів (рис. 2).

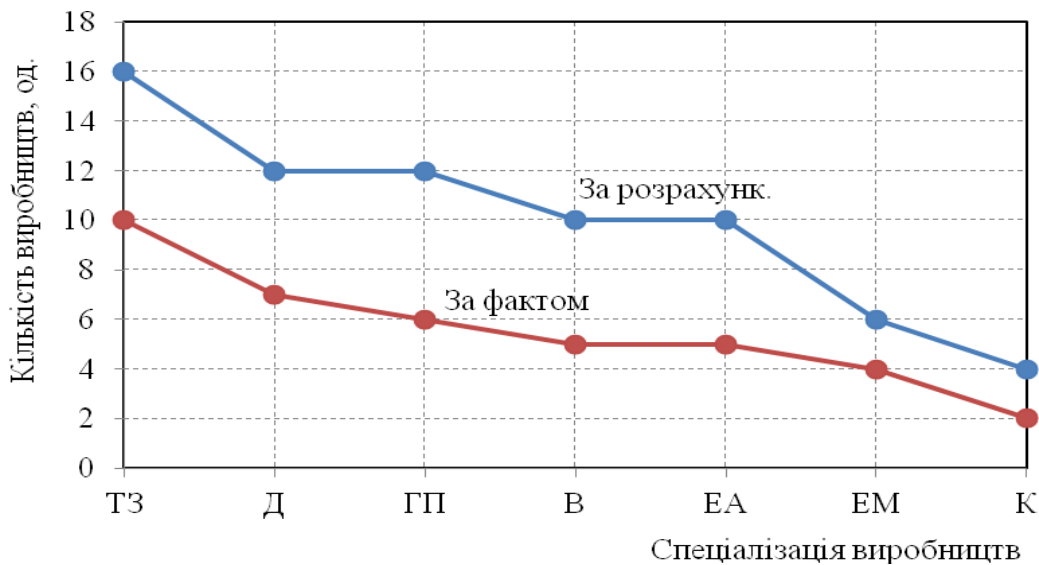


Рис. 2. Порівняння розрахункової та фактичної кількості ремонтних виробництв за спеціалізаціями

Розрахункові значення добре узгоджуються із фактичними. Обчислений коефіцієнт Фішера склав  $F = 65,58$ . Табличне значення критерію зі ступенями свободи  $k_1=1$  та  $k_2=5$  становить  $F_{\text{табл}} = 6,61$ . Відповідність числових значень рівнянню  $F > F_{\text{табл}}$  доводить адекватність запропонованого підходу.

**Висновки.** Існуючі норми та правила щодо структури локомотиворемонтних виробництв розроблялись для умов планової економіки та не відповідають основним вимогам сучасності.

Під час організації нового локомотиворемонтного підприємства та визначення його майбутньої виробничої структури найбільш вагомими критеріями для інвесторів слід вважати ефективність вкладених інвестицій та термін їх окупності.

Визначення оптимальної виробничої структури локомотиворемонтного підприємства за критерієм максимізації загальних прибутків та обмежень на обсяг інвестицій

запропоновано розглядати як задачу комбінаторної оптимізації. Застосування методів динамічного програмування дозволило визначити індивідуальні варіанти виробничої структури для різних обсягів інвестування. За розрахунками, ключовими підрозділами з високою прибутковістю є: тепловозскладальний, дизельний та цех гідропередач. «Найважчими», з точки зору інвестування, є підрозділи з ремонту колісних пар та електричних машин.

Порівняння частоти появи окремих підрозділів у розрахованих варіантах організаційної структури з їх кількістю у існуючих ремонтних підприємствах регіону показує високу узгодженість. Обчислений коефіцієнт Фішера склав  $F = 65,58$ , що у порівнянні з табличним значенням критерію зі ступенями свободи  $k_1=1$  та  $k_2=5$ ,  $F_{\text{табл}} = 6,61$  дає відповідність рівнянню  $F > F_{\text{табл}}$  та доводить адекватність запропонованого підходу.

### Список використаних джерел

1. Ведомственные нормы технологического проектирования электровозных, тепловозных, моторвагонных депо, экипировочных устройств и пунктов технического обслуживания. Москва: Транспорт, 1991. 47 с.

2. Сборник типовых проектов локомотивных депо железных дорог СССР. Москва: Транспорт, 1979. 98 с.
3. Design of Flexible Production Systems – Methodologies and Tools / by T. Tolio. Berlin: Springer, 2009. 300 p.
4. Manufacturing Systems – Theory and Practice / by G. Chryssolouris. New York: Springer Verlag, 2005. 606 p.
5. Mohamed Z. Flexible Manufacturing Systems: Planning Issues and Solutions. London: Routledge, 2018. 192 p.
6. Malakooti B. Operations and Production Systems with Multiple Objectives. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2014. 1114 p.
7. Puranam, P. Vanneste, B. Corporate Strategy: Tools for Analysis and Decision-Making. Cambridge: University Printing House, 2016. 322 p.
8. Дацун Ю. М. Методи формування віртуальних виробництв з ремонту локомотивів. *Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп.* 2017. № 171. С. 76-82.
9. Малоземов Н. А., Иунихин А. И., Каплунов М. П. Тепловозоремонтные предприятия. Организация, планирование и управление. Москва: Транспорт, 1979. 264 с.
10. Tartakovskiy E., Ustenko O., Puzyr V., Datsun Y. Systems Approach to the Organization of Locomotive Maintenance on Ukraine Railways. *Rail Transport - Systems Approach* / ed. A. Śladkowski. Cham. Springer, 2017. P. 217-239. doi: 10.1007/978-3-319-51502-1\_5.
11. Дацун Ю. М. Оцінка критеріїв формування віртуального підприємства з ремонту локомотивів. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля.* 2017. № 3(233). С. 64–67.
12. Schwarzbichler M., Steiner C., Turnheim D. Financial Steering: Valuation, KPI Management and the Interaction with IFRS. Cham. Springer, 2018. 480 p.
13. Korte B, Vygen J. Combinatorial Optimization: Theory and Algorithms. Berlin. Springer Science & Business Media, 2007. 627 p.
14. Zgurovsky M., Pavlov A. Combinatorial Optimization Problems in Planning and Decision Making: Theory and Applications. Cham. Springer, 2018. 518 p.

---

Пузир Володимир Григорович, д-р техн. наук, завідувач кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)730-19-99.

E-mail: puzyr.v.g@gmail.com.

Дацун Юрій Миколайович, канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)730-19-99.

E-mail: remlocomot@gmail.com.

Дидак Богдан Степанович, магістрант Українського державного університету залізничного транспорту.

Вітенко Олексій Андрійович, магістрант Українського державного університету залізничного транспорту.

Puzyr Volodymyr, D. Sc. (Tech.), Professor, Department of Maintenance and Repair of Rolling Stock, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)730-19-99. E-mail: puzyr.v.g@gmail.com.

Datsun Yurii, PhD (Tech.), Associate Professor, Department of Maintenance and Repair of Rolling Stock, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)730-19-99. E-mail: remlocomot@gmail.com.

Dydak Bohdan, master, Ukrainian State University of Railway Transport.

Vitenko Olexiy, master, Ukrainian State University of Railway Transport.

Статтю прийнято 24.06.2019 р.