

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

UDC [51-74:629.48:656.4]

M. I. KAPITSA<sup>1</sup>, T. S. HRYSHECHKINA<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Dep. «Locomotives», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine, tel. +38 (0562) 33 19 61, e-mail dnuzt@diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-3800-2920

<sup>2\*</sup>Dep. «Higher Mathematics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine, tel.+38 (0562) 36 26 04, e-mail gitann@rambler.ru, ORCID 0000-0003-1570-4150

### RATIONAL RECOVERY MODEL OF DEPOT PROCESSING EQUIPMENT AT THE INDUSTRIAL ENTERPRISE

**Purpose.** The problem of the maximum resources recovery of rolling stock repair depot of industrial enterprise with limited resources consumption, which are used in the system is today's topical question. The main factors that affect the repair depot operation of industrial enterprise are reviewed. The most significant factors, affecting the quality of the repair depot, are emphasized for further study, specifically - the state of the major repair equipment of a sector. There is a need to minimize the impact of the unsatisfactory state of this factor. **Methodology.** The formed task of major equipment rational repairing in the mathematical sense is based on the solution of a vector optimization problem. In this case the target functions are the monetary funds spending and time expenditure for repairing. **Findings.** The mathematical model of optimal equipment maintainability of the repair department at the industrial enterprise was developed by the authors. On the example the choice model of optimal path for equipment repairing of enterprise repair department is described. **Originality.** As a result of the conducted research the repairing system of major equipment of industrial enterprise sectors was improved. As the mathematical model of rational system recovery of industrial enterprise repair depot we recommend apparatus of class problems of vector optimization. **Practical value.** Using the proposed model of major equipment repair system of the repair depot at the industrial enterprise will improve the quality of the department by increasing the efficiency of primary resources - time and monetary funds - which are spent by the sector in order to repair its techniques.

*Keywords:* industrial transport; repair system; mathematical modeling; system analysis; vector optimization

#### Introduction

The major task of the industrial enterprise repair depot is ensuring maximum resource recovery of rolling stock with limited resources consumption that are used in the system [3, 6].

The following factors affect essentially the work of industrial enterprise repair section:

- Existing park units state of rolling stock [4];
- State of repair equipment sector [10];
- Planning and regulation system of repairs [7];
- Accounting procedure of materials and spares use [11].

Many different types of locomotives and cars that are operated, outdated methods of repairs planning and regulation, transparent accounting of materials lead to unproductive work of a repair sector. This is, in turn, affects the effectiveness of an enterprise performance as a whole [9]. And one of the most important factors determining the performance quality of a repair sector is its workability of major repair equipment.

#### Purpose

The aim of this work is search and investigation of new methods and ways in order to improve

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

workability of major repair equipment of a repair sector in the industrial enterprise.

Operable technical state depends on the quality and speed of its failures removal that occur during operation of the equipment [13].

Let us consider the case when a repair shop does not perform repair at a prescribed time due to equipment failure [1]. There is a problem of finding a rational way of restoring its workability. That is, the repair shop equipment of a depot at the industrial enterprises needs to be recovered as quickly as possible and with minimal expenditure of money [2]. This statement leads us to the following problem of vector optimization:

$$\begin{pmatrix} T(\gamma) \\ C(\gamma) \end{pmatrix} \rightarrow \min, \quad (1)$$

where  $\gamma$  – is a method of (trajectory, plan) the equipment repairing;  $T(\gamma)$  – is time expenditure for the equipment repairing;  $C(\gamma)$  – is funds expenditure.

### Methodology

We will discuss in more detail the problem (1) in the case of failure of a stand for armature shaft inspection of the traction motor (TM) (see Fig. 1). Function of the stand is to control the armature shaft of TM for transversal and longitudinal cracks.

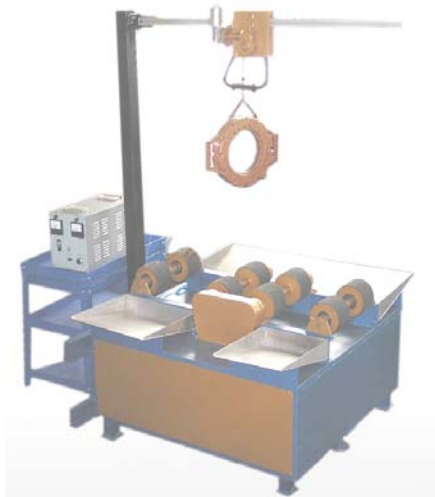


Fig. 1. Stand for armature shaft inspection of TM

Stand functionality:

- setting two TM armatures on a stand;
- identification of transversal and longitudinal cracks of the TM armature shaft;

– mechanical shaft rotation of TM armature on track roller.

In case of the stand failure the plan concerning its repair will include several stages (phases):

$$\gamma = [v_1, v_2, \dots, v_n],$$

where  $v_i$  – is the set of activities on the  $i$  stage;  $n$  – total number of repair stages.

That is, for the stand of armature shaft inspection of TM sequence  $\gamma$  may have the following form:  $v_1$  – failure identification and preparation of equipment for the repair;  $v_2$  – dismantling;  $v_3$  – repair;  $v_4$  – mounting;  $v_5$  – testing and launch.

At the each stage there is a plurality of actions that can be performed:

$$v_i = \{w_1, w_2, \dots, w_{k(i)}\}.$$

Each of these actions is characterized as follows:  $t(w_j)$  – time expenditure under the implementation  $w_j$ ;  $c(w_j)$  – funds expenditure under the implementation  $w_j$ .

Total time and overhaul cost are determined depending on the choice of action at each stage of repair:

$$T(\gamma) = \sum_{i=1}^n \sum_{w_j \in v_i} t(w_j),$$

$$C(\gamma) = \sum_{i=1}^n \sum_{w_j \in v_i} c(w_j).$$

The number of options  $N$  for repairing depends on the number of stages and activities at each stage:

$$N = \prod_{i=1}^n k_i,$$

where  $k_i$  – the number of operations on the  $i$  stage.

So a problem of the vector optimization (1) assumes the following form:

$$\begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n \sum_{w_j \in v_i} t(w_j) \\ \sum_{i=1}^n \sum_{w_j \in v_i} c(w_j) \end{pmatrix} \rightarrow \min.$$

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Solving problem (1) we mean finding such sets of repair options that each of its elements (a repair plan  $\gamma$ ) will be effective so each pair  $\gamma_1$  and  $\gamma_2$  from this set are not comparable among themselves [5].

A repair plan  $\gamma$  is called effective, when any variation of it leads to increase one of the parameters (e.g. cost) and decrease the other (in this case, the runtime of repair).

Two sets  $\gamma_1$  and  $\gamma_2$  are not comparable, if there are at least two indexes from (1) such that one index is better (bigger) in terms of repair  $\gamma_1$ , and the other is better under  $\gamma_2$ .

A necessary and sufficient condition for the repairing plan effectiveness  $\gamma$  is described in [1] and is as follows. If there is any additional value of the coefficient  $\lambda$  at each stage of repair one should choose measures accordingly to conditions:

$$\sum_{w_j \in v_i} c(w_j) + \lambda \sum_{w_j \in v_i} t(w_j) = \min_{1 \leq j \leq k(i)}, i = \overline{1, n}. \quad (2)$$

Coefficient  $\lambda$  can be interpreted as a kind of «scales» that determine the importance of this or that index.

For example, if  $\lambda = 0$  condition has the following view:

$$\sum_{w_j \in v_i} c(w_j) = \min_{1 \leq j \leq k(i)} .$$

This means that the company strives to minimize funds that are spent for repair. Time expenditure is not taken into account.

When  $\lambda \rightarrow \infty$  condition has the following form:

$$\sum_{w_j \in v_i} t(w_j) = \min_{1 \leq j \leq k(i)} .$$

That is, in this case a priority during the repairing is time of its conducting.

Thus, going over meanings  $\lambda \in [0, \infty)$ , we obtain parametric identification of effective repairing plans.

**Findings**

On the base on the proposed mathematical apparatus we will consider the following example.

Let the stand for armature shaft inspection of TM is in non-working state. We will divide its repair plan for five consecutive stages or phases. (Fig. 2).



Fig. 2. Schematic representation of the phases

The first stage is fault identification and preparation of the stand for repair. We select three options for preparing. The second stage is the dismantling. The next stage is directly repair. It can be conducted with five different modes, each of them differ by runtime and expences. The phase of mounting and debugging are the next. The last stage is testing and launch. Schematic representation of the repair trajectory is shown on Fig. 3.

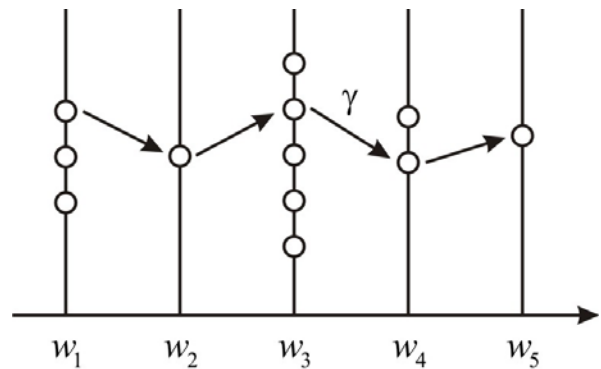


Fig. 3. Schematic representation of trajectory

Time and funds expenditures for each option at each stage are determined with an expert manner. Obtained data are represented as follows. Matrix spending funds:

$$CI := \begin{bmatrix} 1 & 5 & 3 & 0 & 0 \\ 4 & 7 & 0 & 0 & 0 \\ 8 & 10 & 4 & 20 & 50 \\ 17 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 5 & 9 & 15 & 0 \end{bmatrix} .$$

Matrix time expenditure:

$$TI := \begin{bmatrix} 7 & 5 & 3 & 0 & 0 \\ 4 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 4 & 3.5 & 3 & 2.5 \\ 1.7 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & 3 & 2.1 & 1.5 & 0 \end{bmatrix} .$$

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

In this case the total number of options for the stand repair is:

$$N = \prod_{i=1}^5 k_i = 120.$$

View of all options for repairing in space of functionals is presented in Fig. 4.

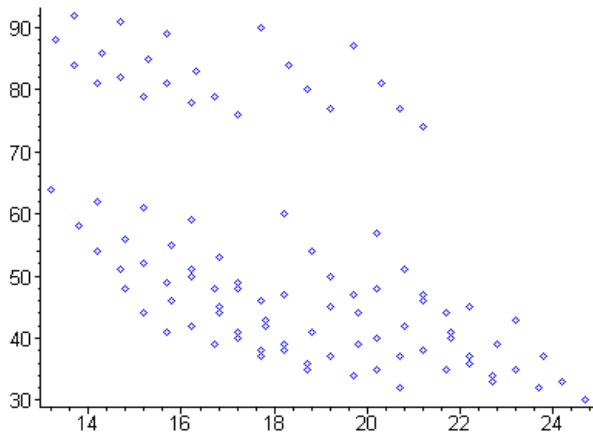


Fig. 4. Dependence of time expenditure for the repairing. Axis OX - time expenditure in hours. Axis SO - funds expenditure in UAH.

Graphical interpretation of the obtained results is shown in Fig. 5.

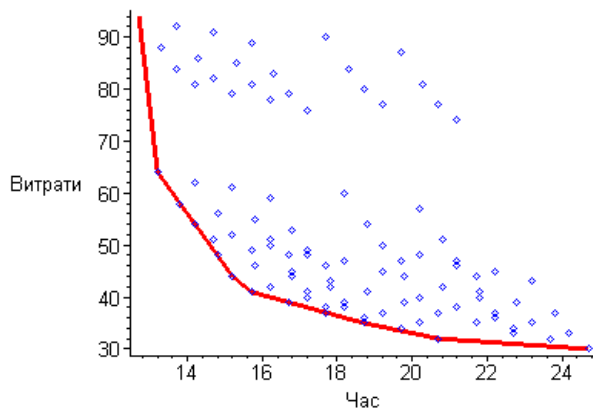


Fig. 5. Best options for repairing

Using the mathematical model described above, we will find the best options for repairing:

$$[w_{1,1}, w_{2,1}, w_{3,1}, w_{4,1}, w_{5,1}], 30, 24.7$$

$$[w_{1,2}, w_{2,1}, w_{3,1}, w_{4,1}, w_{5,1}], 32, 20.7$$

$$[w_{1,2}, w_{2,2}, w_{3,1}, w_{4,1}, w_{5,1}], 35, 18.7$$

$$[w_{1,3}, w_{2,2}, w_{3,3}, w_{4,1}, w_{5,1}], 41, 15.7$$

$$[w_{1,3}, w_{2,2}, w_{3,3}, w_{4,1}, w_{5,2}], 44, 15.2$$

$$[w_{1,3}, w_{2,2}, w_{3,4}, w_{4,1}, w_{5,4}], 64, 13.2$$

$$[w_{1,3}, w_{2,2}, w_{3,5}, w_{4,1}, w_{5,4}], 94, 12.7$$

Calculations are performed in the Maple mathematical package of symbolic computation.

### Originality and practical value

The system of major equipment repair of a repair sector has been improved by solving the problem of vector optimization for rational repairing. In this case, the target functions are the monetary funds and time for repairing that a sector spends for repairing of their equipment.

Using the proposed model of rational repairing will improve the quality of a sector by increasing the efficiency of primary resources - time and funds - which a sector spends for repairing of their technical means.

### Conclusions

The proposed model will provide the repair depot of industrial enterprises to higher levels of its functioning efficiency and reduce the resource intensity of its operation. Using the proposed method of the equipment efficient recovery, a repair depot of the industrial enterprise is able to distribute time and funds efficiently to carry out restoration works. This in turn will reallocate the enterprises savings.

### LIST OF REFERENCE LINKS

1. Бусленко, Н. П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. – М. : Наука, 1978. – 400 с.
2. Войнов, К. И. Прогнозирование надежности механических систем / К. И. Войнов. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1978. – 208 с.
3. Капіца, М. І. Розвиток наукових основ удосконалення систем утримування тягового рухомого складу : автореф. дис. д-ра техн. наук : 05.22.07 / Капіца Михайло Іванович; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – 40 с.
4. Логистика ремонта железнодорожного подвижного состава / С. Н. Корнилов, А. Н. Рахмангулова, Е. П. Дудкин, А. А. Горшенин. – Магнитогорск : МГТУ им. Г. И. Носова, 2005. – 182 с.

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

5. Мямлин, В. В. Обоснование алгоритма решения задачи векторной оптимизации по двум показателям при выборе гибкой технологии ремонта вагонов / В. В. Мямлин, А. А. Босов, С. В. Мямлин // Вісн. Днепропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – Д., 2011. – Вип. 36. – С. 54–57.
6. Нагорний, Є. В. Оцінка економічної ефективності вдосконалення системи транспортного обслуговування вантажовласників у транспортних вузлах / Є. В. Нагорний, Т. В. Столяр // Зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – Вып. 23. – 2008. – С. 31–34.
7. Нагорний, Е. В. Методика определения дополнительных платежей за сокращение времени нахождения грузов в транспортных узлах / Е. В. Нагорный, Т. В. Столяр // Актуал. вопр. упр. процессами перевозок на трансп. : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. – Алма-Ата : КазАТК, 2007. – Том 2. – С. 9–14.
8. Прохоров, Г. В. Пакет символьных вычислений Maple V / Г. В. Прохоров, М. А. Леденев, В. В. Колбеев. – М. : Компания «Петит», 1997. – 200 с.
9. Саркисян, С. А. Анализ и прогноз развития больших технических систем / С. А. Саркисян, В. М. Ахундов, Э. С. Минаев. – М. : Наука, 1982. – 280 с.
10. Ящура, А. И. Система технического обслуживания и ремонта общепромышленного оборудования : справ. / А. И. Ящура. – М. : ЭНАС, 2006. – 320 с.
11. Giua, A. Modeling and supervisory control of railway networks using Petri nets / A. Giua, C. Seatzu // IEEE Trans. on Automation Science and Engineering. – 2008. – Vol. 5, № 3. – P. 431–445. doi: 10.1109/TASE.2008.916925.
12. Richard, Klima E. Applications of Abstract Algebra with Maple / Klima E. Richard, Neil Sigmon, Ernest Stitzinger // London : CRC Press LLC, 1999. – 250 p.
13. Szymanski, Z. Modern Predictive Diagnostic Method of Induction Traction Motor Based on FEM, BEM / Z. Szymanski // Computer Technology and Application. – 2012. – № 3. – P. 678–684.

М. І. КАПЦА<sup>1</sup>, Т. С. ГРИШЕЧКИНА<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Каф. «Локомотиви», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (0562) 33 19 61, ел. пошта dnuzt@diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-3800-2920

<sup>2\*</sup>Каф. «Вища математика», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (0562) 36 26 04, ел. пошта gitann@rambler.ru, ORCID 0000-0003-1570-4150

## МОДЕЛЬ РАЦІОНАЛЬНОГО ВІДНОВЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЕПО ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

**Мета.** Особливо актуальним на сьогодні є питання забезпечення максимального відновлення ресурсів рухомого складу ремонтного депо промислового підприємства при обмеженому розході ресурсів, які використовуються в системі. Розглядаються основні чинники, які впливають на роботу ремонтного підрозділу промислового підприємства. Серед них для подальшого дослідження виділяються найбільш вагомі фактори, які впливають на якість роботи ремонтного депо – стан основного ремонтного обладнання підрозділу. Виникає необхідність мінімізувати вплив незадовільного стану даного чинника. **Методика.** Запропонована задача раціонального проведення ремонту основного обладнання ремонтного підрозділу в математичному плані базується на розв'язанні задачі векторної оптимізації. Цільовими функціями в даному випадку приймаються витрати коштів на проведення ремонтних робіт та час проведення ремонту обладнання. **Результати.** Авторами розроблено математичну модель оптимального відновлення працездатності основного обладнання ремонтного підрозділу промислового підприємства. На прикладі описується модель вибору оптимальних шляхів проведення ремонту обладнання ремонтного підрозділу підприємства. **Наукова новизна.** У результаті проведеного дослідження удосконалено систему проведення ремонту основного обладнання підрозділів промислового підприємства. В якості математичної моделі раціонального відновлення системи ремонту депо промислового підприємства запропоновано апарат задач класу векторної оптимізації. **Практична значимість.** Використання запропонованої моделі системи ремонту основного обладнання ремонтного депо промислового підприємства дозволить підвищити якість роботи підрозділу шляхом збільшення ефективності використання основних ресурсів – часу та коштів, – які підрозділ витрачає на проведення ремонту своїх технічних засобів.

**Ключові слова:** промисловий транспорт; система ремонту; математичне моделювання; системний аналіз; векторна оптимізація

М. И. КАПИЦА<sup>1</sup>, Т. С. ГРИШЕЧКИНА<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Каф. «Локомотивы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (0562) 33 19 61, эл.почта dnuzt@diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-3800-2920

<sup>2\*</sup>Каф. «Высшая математика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (0562) 36 26 04, эл.почта gitann@rambler.ru, ORCID 0000-0003-1570-4150

## МОДЕЛЬ РАЦИОНАЛЬНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЕПО ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

**Цель.** Особенно актуальным сегодня является вопрос обеспечения максимального восстановления ресурсов подвижного состава ремонтного депо промышленного предприятия при ограниченном расходе ресурсов, которые используются в системе. Рассмотрены основные факторы, влияющие на работу ремонтного отдела промышленного предприятия. Среди них для дальнейшего исследования выделяются наиболее значимые факторы, влияющие на качество работы ремонтного депо – состояние основного ремонтного оборудования подразделения. Возникает необходимость в минимизации влияния неудовлетворительного состояния данного фактора. **Методика.** Сформированная задача рационального проведения ремонта основного оборудования отдела в математическом плане базируется на решении задачи векторной оптимизации. Целевыми функциями в данном случае являются затраты денежных средств на проведение ремонтных работ и затраты времени. **Результаты.** Авторами разработана математическая модель оптимального восстановления работоспособности оборудования ремонтного отдела промышленного предприятия. На примере описана модель выбора оптимальных путей проведения ремонта оборудования ремонтного отдела предприятия. **Научная новизна.** В результате проведенного исследования усовершенствованы система проведения ремонта основного оборудования подразделений промышленного предприятия. В качестве математической модели рационального восстановления системы ремонта депо промышленного предприятия предложен аппарат задач класса векторной оптимизации. **Практическая значимость.** Использование предложенной модели системы ремонта основного оборудования ремонтного депо промышленного предприятия позволит повысить качество работы отдела путем увеличения эффективности использования основных ресурсов – времени и денежных средств, – которые подразделение тратит на проведение ремонта своих технических средств.

**Ключевые слова:** промышленный транспорт; система ремонта; математическое моделирование; системный анализ; векторная оптимизация

### REFERENCES

1. Buslenko N.P. *Modelirovaniye slozhnykh system* [Modeling of complex systems]. Moscow, Nauka Publ., 1978. 400 p.
2. Voynov K.I. *Prognozirovaniye nadezhnosti mekhanicheskikh system* [Reliability prediction of mechanical systems]. Leningrad, Mashinostroeniye Publ., 1978. 208 p.
3. Kapitsa M.I. *Rozvytok naukovykh osnov udoskonalennia system utrymuvannia tiahovoho rukhomoho skladu*. Avtoreferat Diss. [Scientific bases development of retention systems improvement of traction rolling stock. Author's abstract]. Dnipropetrovsk, 2010. 40 p.
4. Kornilov S.N., Rakhmangulova A.N., Dudkin Ye.P., Gorshenin A.A. *Logistika remonta zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava* [Repair logistics of railway rolling stock]. Magnitogorsk, MGTU im. G. I. Nosova Publ., 2005. 182 p.
5. Myamlin V.V., Bosov A.A., Myamlin S.V. *Obosnovaniye algoritma resheniya zadachi vektornoj optimizatsii po dvum pokazatelyam pri vybore gibkoy tekhnologii remonta* [Algorithm justification for solving the vector optimization problem upon two indexes when selecting flexible technology of a repair]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2001, issue 36, pp. 54-57.
6. Nahornyi Ye.V., Stoliar T.V. *Otsinka ekonomichnoi efektyvnosti vdoskonalennia systemy transportnoho obsluhovuvannia vantazhovlasnykiv u transportnykh vuzlakh* [Economic efficiency evaluation of a transport

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

- service system of freight owners in transport hubs]. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDAZT* [Proc. of Ukrainian State Academy of Railway Transport], 2008, no. 23, pp. 31-34.
7. Nahornyi Ye.V., Stoliar T.V. Metodika opredeleniya dopolnitelnykh platezhey za sokrashcheniye vremeni nakhozheniya gruzov v transportnykh uzlakh [Method of determining the additional payments for reducing time spent of cargo in transport units]. *Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Aktualnyye voprosy upravleniya protsessami perevozok na transporte»* [Proc. of the Int. Scientific and Practical Conf. «Actual issues of transportation process control on the transport»]. Alma-Ata, 2007, vol. 2, pp. 9-14.
  8. Prokhorov G.V., Ledenev M.A., Kolbeyev V.V. *Paket simvolnykh vychisleniy Maple V* [Package of symbolic computation Maple]. Moscow, Kompaniya «Petit» Publ., 1997. 200 p.
  9. Sarkisyan S.A., Akhundov V.M., Minayev E.S. *Analiz i prognoz razvitiya bolshikh tekhnicheskikh sistem* [Analysis and projection of large technical systems development]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 280 p.
  10. Yashchura A.I. *Sistema tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta obshchepromyshlennogo oborudovaniya* [Maintenance and repair system of the general industrial equipment]. Moscow, ENAS Publ., 2006. 320 p.
  11. Giua A., Seatzu C. Modeling and supervisory control of rail-way networks using Petri nets. *IEEE Trans. on Automation Science and Engineering*, 2008, vol. 5, no. 3, pp. 431-445. doi: 10.1109/TASE.2008.916925.
  12. Klima Richard E., Sigmon Neil, Stitzinger Ernest. Applications of Abstract Algebra with Maple. CRC Press LLC, 1999. 250 p.
  13. Szymanski Z. Modern Predictive Diagnostic Method of Induction Traction Motor Based on FEM, BEM. *Computer Technology and Application*, 2012, no. 3, pp. 678-684.

*Prof. V. V. Artemchuk, D. Sc. (Tech.); Prof. A. V. Sokhatskyi, D. Sc. (Tech.) recommended this article to be published*

Received: Apr. 24, 2014

Accepted: June 17, 2014