УДК 658.7.011.1 DOI: https://doi.org/10.18664/1994-7852.174.2017.127573

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАПАСІВ ЗАПАСНИХ ЧАСТИН ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УТРИМАННЯ ТЕПЛОВОЗІВ

Інж. Т. О. Ольховська (РФ «Південна залізниця»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАПАСОВ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ТЕПЛОВОЗОВ

Инж. Т. А.Ольховская (РФ «Южная железная дорога»)

DEFINITION OF CHARACTERISTICS OF STOCKS OF SPARE PARTS FOR MAINTENANCE OF THE MAINTENANCE OF DIESEL LOCOMOTIVES

Eng. T. O. Olxovska (RF Southern Railway)

У статті розглянуті питання формування запасів запасних частин для обслуговування тепловозів, які дозволяють якісно оцінювати їх рівень з погляду теорії масового обслуговування. На основі отриманих даних запропонований метод розрахунку для визначення раціонального кількісного розміру запасних частин, які можна відремонтувати, й таких, які можна тільки утилізувати. Створено номограми залежностей, які враховують імовірність відмов і час поповнення деталей, що вийшли з ладу, які практично дають можливість обслуговуючому персоналу оперативно визначати потрібну кількість запасних частин того або іншого типу й формувати на цій основі їх відповідний запас.

***Ключові слова**: деталі, запас, відмова, потік, система, тепловоз, елемент.*

В статье рассмотрены вопросы формирования запасов запасных частей для обслуживания тепловозов, которые позволяют качественно оценивать их уровень с точки зрения теории массового обслуживания. На основе полученных данных предложен метод расчета для определения рационального количественного размера запасных частей, которые можно отремонтировать, и таких, которые можно только утилизировать. Созданы номограммы зависимостей, которые учитывают вероятность отказов и время пополнения вышедших из строя деталей, которые практически дают возможность обслуживающему персоналу оперативно определять нужное количество запасных частей того или другого типа и формировать на этой основе их соответствующий запас.

***Ключевые слова**: детали, запас, отказ, поток, система, тепловоз, элемент.*

In clause questions of formation of stocks of spare parts for service of diesel locomotives which allow estimating qualitatively their level from the point of view of the theory of mass service are considered. On the basis of the lead researches it is certain, that the basic condition of stable logistics at service of locomotives is formation and the control of stocks of corresponding kinds of details over all kinds of storage (shops, platforms, pantries). Thus it was considered, that such supply has mass character. The method which allows on the basis of statistical characteristics and parameters of reliability, during operation of the locomotive is offered, to estimate the charge of limiting spare parts. On the basis of the received data the procedure of payments for definition of the rational quantitative size of spare parts which can be repaired and such which can be utilized only is offered. Are created schedule dependence's which consider probability of refusals and time of updating of the failed details which practically enable the attendants imperatively to define the

necessary quantity of spare parts of this or that type and to form on this basis their corresponding stock.

***Keywords**: details, a stock, refusal, a stream, system, a diesel locomotive, an element.*

Вступ. Запаси мають складну статико-динамічну природу. Статичність їх проявляється в тому, що на момент часу, який визначається, конкретний продукт не витрачається й не переміщується. Динамічність запасів витікає з того, що на складі, де здебільшого вони зберігаються, ситуація постійно змінюється: тобто одні продукти відпускаються, а інші надходять. Взагалі ефективність логістичних систем підвищилася б при відсутності запасів, у створення та утримання яких вкладаються чималі кошти. Однак на практиці обійтися без запасів зовсім неможливо. Запаси запасних частин і матеріалів є дуже важливим матеріальним ресурсом, без якого неможлива робота ремонтного виробництва. Існує багато моделей поповнення запасів, підходи до яких можуть значно відрізнятися між собою. Істотно це залежить у першу чергу від виду запасних частин за характером їх подальшого використання. Одні запасні частини після їх відмови можуть бути відновлені (відремонтовані) і у подальшому встановлені на локомотив, а інші після виходу їх з ладу можна тільки утилізувати. Виходячи із цього формалізація задачі з управління запасами за видами запасних частин є актуальною й своєчасною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Формування теорії управління запасами як наукової дисципліни розпочалося в середині 1950-х років. Докладний розвиток цього етапу наведений у роботах [1, 2, 3]. Є ряд навчальних посібників [4, 5, 6, 7, 9, 10, 13], де з математичної точки зору розкривається сутність формування обсягу запасів, а також основні закономірності стосовно до різних галузей промисловості. Так, у роботі [10] автори роблять аналіз виробничих запасів виходячи з розгляду їх як важливого елементу, що розподіляється за трьома напрямками: аналіз виробничих ресурсів, аналіз витрат на виробництво та аналіз ефективності використання запасів. У багатьох дослідженнях (як вітчизняних, так і закордонних) в процесі аналізу запасів [4, 17, 20] пропонується застосовувати показники моделі економічно обґрунтованого розміру замовлення, яка відома як модель Уілсона, або модель EOQ (Economic Order Quantity model). Підкреслюється, що вона дає змогу оцінити оптимальний розмір запасів та їх вплив на кінцеві результати діяльності підприємства. Висновок формули Уілсона [3] ґрунтується на необхідності мінімізації витрат на закупівлю продуктів і їх утримання на складі у класичному математичному аналізі. При цьому останнім часом з'явилася безліч модифікацій цієї моделі за рахунок включення додаткових факторів. Таке ускладнення утруднило її практичне застосування, оскільки для розрахунків не завжди вистачає необхідної інформації. Автори [4, 11, 12, 18, 19] у своїх дослідженнях відмічають, що більшість існуючих розробок має обмежену застосовність через неконкретність у визначенні обсягу в результаті втрати переваг, вольового призначення норм запасів, а також (що найголовніше) відсутності комплексного підходу до складових частин сукупних запасів.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою даного дослідження є створення методу розрахунку запасів запасних частин для організації ТО і ремонту тепловозів. Для досягнення цього вирішені такі завдання:

- створення аналітичних залежностей, за якими можна здійснювати розрахунок запасів різних видів запасних частин щодо їх подальшого використання;
- розробка графічних залежностей, на підставі яких (без виконання розрахунків)

можна визначати потрібну кількість запасних частин для забезпечення ними технології обслуговування та ремонту тепловозів.

Основна частина дослідження. Процес відмов деталей локомотивів в експлуатації є випадковим, тобто не можна достатньо точно спрогнозувати, яка деталь і в який час може відмовити. Виходячи з цього для утримання локомотивів у справному та працездатному стані комплект запасних частин (у подальшому – елементів) повинен забезпечити своєчасну їх заміну з певною ймовірністю [14].

Для ТО локомотивів постачання має масовий характер. Це дозволяє при розгляді процесу забезпечення запасними частинами використовувати математичний апарат теорії масового обслуговування. При цьому можна зробити наступні припущення [14].

1. Є система обслуговування запасними елементами, яка складається з великої кількості однотипних елементів, що входять у комплект $З_{з.ч}$. Під системою мається на увазі система технічного обслуговування тепловозів (ТО), а сам тепловоз – як об'єкт цієї системи. У систему на обслуговування надходить необмежений найпростіший потік вимог, що складається із таких найпростіших потоків:

- потік відмов деталей Λ_1, які знаходяться у роботі під час експлуатації тепловоза з параметрами потоку відмов

$$\Lambda_1 = m\,\lambda_1, \qquad (1)$$

де λ_1 – інтенсивність відмов деталей тепловоза, які знаходяться у роботі під час експлуатації тепловоза;

m – кількість елементів;

- потік відмов (ремонтів) Λ_2 деталей, для комплекту $З_{з.ч}$ із параметрами

$$\Lambda_1 = n_з\,\lambda_2, \qquad (2)$$

де λ_2 – інтенсивність відмов (ремонтів) деталей для комплекту $З_{з.ч}$;

$n_з$ – кількість деталей даного типу.

Тоді при наявності запасних елементів цього типу в $З_{з.ч}$ сумарний потік відмов складе

$$\Lambda_c = \Lambda_1 + \Lambda_2 = m\,\lambda_1 + n_з\,\lambda_2. \qquad (3)$$

2. При надходженні потоку вимог від тепловоза (який знаходиться на ТО) або від комплекту запасних частин $З_{з.ч}$ на запасний вузол або деталь він негайно задовольняється одним із вільних елементів. При відсутності такого елемента система приймає заявку на обслуговування (чергову вимогу), але при цьому виникає певна ймовірність простою локомотива, який очікує ремонту [14].

3. Кожний елемент комплекту $З_{з.ч}$ може одночасно обслуговувати тільки одна чергова вимога. Проведеними дослідженнями на кафедрі "Експлуатація та ремонт рухомого складу" УкрДУЗТ було встановлено, що час обслуговування однієї вимоги одним елементом $З_{з.ч}$ підпорядкований експоненціальному закону з відповідним математичним очікуванням і часом обслуговування $t_{обсл}$.

4. У кожний момент часу система забезпечення об'єкта одним типом запасних елементів $З_{з.ч}$ може знаходитися в одному з таких станів:

- у комплекті $З_{з.ч}$ є всі елементи;
- у комплекті $З_{з.ч}$ відсутній один з необхідних елементів;
- зайняті два елементи комплекту $З_{з.ч}$;

……

……..

- зайняті $n_з$ – 1 елементів комплекту $З_{з.ч}$ (стан n);
- зайняті все $n_з$ елементів комплекту $З_{з.ч}$ (стан $n_з$ + 1).

Отже, можливі всього $n_з + 1$ станів системи забезпечення запасними елементами. Імовірність того, що в момент часу t зайнято рівно s елементів $З_{з.ч}$, можна визначити з виразу [14]

$$P_s(t)=\left[\frac{(t_p\Lambda_c)^s}{s!}\right](1-e^{-vt})^s\ e^{-t_p\Lambda_c(1-e^{-vt})}, \tag{4}$$

де t_p – середній час ремонту або заміни деталі із запасів $З_{з.ч}$;

v – інтенсивність потоку ремонту або заміни деталі із запасів $З_{з.ч}$.

Інтенсивність потоку ремонту або заміни деталей зі $З_{з.ч}$ визначається як [14]

$$v=\frac{1}{t_p}. \tag{5}$$

Імовірність того, що в момент часу t зайнято не більше $n_з$ елементів $З_{з.ч}$, визначається як сума ймовірностей $n+1$ неспільних станів від $s=0$ до $s=n_з$. Тоді

$$P_{s\le n_з}(t)=e^{-t_p\Lambda_c(1-e^{-vt})}\sum_{s=0}^{n_з}\left[\frac{(t_p\Lambda_c)^s}{s!}\right](1-e^{-vt}). \tag{6}$$

Імовірність того, що в момент часу t зайнято більше $n_з$ елементів $З_{з.ч}$ (подія протилежна попередній), буде складати

$$P_{s\le n_з}(t)=1-\sum_{s=0}^{n_з}P(t)=1-e^{-t_p\Lambda_c(1-e^{-vt})}\sum_{s=0}^{n_з}\left[\frac{(t_p\Lambda_c)^s}{s!}\right](1-e^{-vt}). \tag{7}$$

Розглянемо граничний випадок при $t\to\infty$.
Тоді

$$\lim_{t\to\infty}P_{s\le n_з}(t)=P_s(t)=1-e^{-t_p\Lambda_c}\ \sum_{s=0}^{n_з}\left[\frac{(t_p\Lambda_c)^s}{s!}\right]. \tag{8}$$

Позначивши $t_p\lambda_c$ t_p λ_c через ρ, імовірність можна визначити як

$$P_n(\rho)=1-e^{-\rho}\ \sum_{s=0}^{n_з}\left[\frac{(\rho)^s}{s!}\right]. \tag{9}$$

Отриманий вираз використаний для розрахунку потрібної кількості запасу вузлів і деталей $З_{з.ч}$, які можуть бути відновлені для ТО тепловозів 2ТЕ116. Для розрахунку прийнята припустима ймовірність простою об'єкта, що очікує ремонту, і

за таблицями функцій $\sum_{s=0}^{n_з}\left[\frac{(\rho)^s}{s!}\right]$ при відомому $\boldsymbol{\rho}$ визначена кількість запасних частин $\boldsymbol{n_з}$.

Для реалізації даного методу в локомотивних депо РФ "Південна залізниця" був зібраний статистичний матеріал і проведений розрахунок потрібної кількості запасних вузлів та деталей тепловозів при проведенні ТО, які можуть бути відновлені.

За цими розрахунками були отримані такі залежності щодо визначення запасу вузлів і деталей, які можуть бути відновлені:

- при $\boldsymbol{P_n}(\boldsymbol{\rho}) = 0{,}15$:

$$f(n_з) = 0{,}0075\, n_з^2 + 0{,}8753\, n_з - 2{,}057\,; \tag{10}$$

- при $\boldsymbol{P_n}(\boldsymbol{\rho}) = 0{,}1$:

$$f(n_з) = 0{,}0045\, n_з^2 + 0{,}454\, n_з - 2{,}1314\,; \tag{11}$$

- при $\boldsymbol{P_n}(\boldsymbol{\rho}) = 0{,}05$:

$$f(n_з) = 0{,}004\, n_з^2 + 0{,}0577\, n_з - 0{,}261; \tag{12}$$

- при $\boldsymbol{P_n}(\boldsymbol{\rho}) = 0{,}01$:

$$f(n_з) = 0{,}0025\, n_з^2 + 0{,}0031\, n_з - 1{,}6384. \tag{13}$$

За цими залежностями розрахована та складена номограма, яка дозволяє визначати розрахункову кількість запасних вузлів і деталей тепловозів 2ТЕ116, які можуть бути відновлені (рисунок). За даною методикою складений перелік таких запасних частин.

Для запасних частин, які не підлягають відновленню, тобто коли середній час ремонту або заміни деталі із запасів $\boldsymbol{З_{з.ч}}$ складає $\boldsymbol{t} \to \infty$, а $\boldsymbol{v} \to 0$, після підстановки цих обмежень у вираз (7) і розкриття невизначеності $0 \to \infty$, одержимо

$$\lim_{v \to 0} P_{s \ge n_з}(t) = P_n(t) = 1 - e^{-\Lambda_c t} \sum_{s=0}^{n_з}\left[\frac{(\Lambda_c\, t)^s}{s!}\right]. \tag{14}$$

У цьому виразі значення $\Lambda_c\, \boldsymbol{t}$ є математичним очікуванням числа запасних елементів за час експлуатації $\boldsymbol{t}$. Для розкриття даного виразу приймемо, що об'єкт має інтенсивність відмов Λ_c. Розподіл щільності ймовірності часу безвідмовної роботи $\boldsymbol{f(t)}$ при експоненціальному законі розподілу відмов має вигляд

$$\boldsymbol{f(t)} = \Lambda_c \boldsymbol{e}^{-\Lambda_c \boldsymbol{t}} = \left(\frac{1}{\boldsymbol{T}_0}\right) \boldsymbol{e}^{-\frac{\boldsymbol{t}}{\boldsymbol{T}_0}}. \tag{15}$$

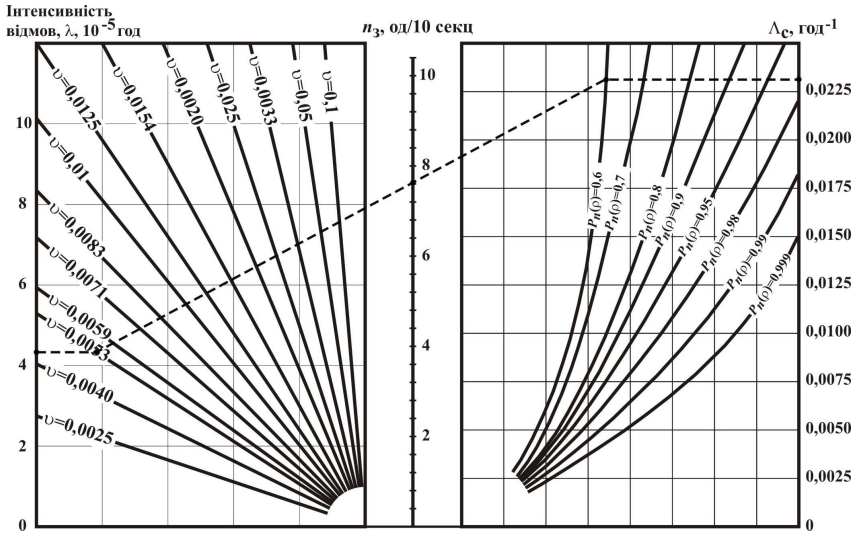

Рис. Номограма для визначення кількості запасних вузлів і деталей тепловозів 2ТЕ116, які можуть бути відновлені

Приймається, що система повинна виконувати задані функції протягом часу ***t*** (передбачуваний період експлуатації). За цей час у системі може відбутися випадкова кількість відмов ***n***, яка обумовлена ненадійністю її окремих елементів. Замість елемента, що відмовив, щоразу із запасу вилучається новий елемент. Тому число витрачених елементів $\boldsymbol{n_з}$ за час ***t*** буде дорівнювати числу відмов ***n***.

За цих умов імовірність того, що за час ***t*** об'єкт вимагатиме точно $\boldsymbol{n_з}$ запасних елементів, визначиться за формулою Пуассона [14]

$$P_з(t) = \left[\frac{(\Lambda_c t)^{n_з}}{n_з!}\right] e^{-\Lambda_c t}, \qquad (16)$$

де $\Lambda_c \boldsymbol{t}$ – математичне очікування кількості запасних елементів за час експлуатації ***t***.

Математичне очікування в цьому випадку можна визначити як

$$M_n = n_з = \sum_{n=0}^{\infty} n_з P_з(t) = \sum_{n_з}^{\infty} \left[\frac{n_з\,(\Lambda_c\, t)}{n_з!}\right] e^{-\Lambda_c t}. \qquad (17)$$

Перший член суми даного виразу при $\boldsymbol{n_з}$ = 0 буде дорівнювати нулю. Отже, його можна перетворити до такого вигляду:

$$n_{cp} = \Lambda_c t\, e^{-\Lambda_c t} \sum_{n_з=1}^{\infty} \frac{(\Lambda_c t)^{n_з-1}}{(n_з-1)!}. \qquad (18)$$

Позначимо $\boldsymbol{n_з} - 1 = \boldsymbol{k}$. Тоді

$$\boldsymbol{n_{cp}} = \Lambda_c \boldsymbol{t}\, \boldsymbol{e}^{-\Lambda_c \boldsymbol{t}} \sum_{\boldsymbol{k}=1}^{\infty} \frac{(\Lambda_c \boldsymbol{t})^{\boldsymbol{k}}}{\boldsymbol{k!}} = \Lambda_c \boldsymbol{t}\, \boldsymbol{e}^{-\Lambda_c \boldsymbol{t}}\, \boldsymbol{e}^{\Lambda_c \boldsymbol{t}} = \Lambda_c \boldsymbol{t}. \quad (19)$$

Таким чином, вираз (9) можна записати у вигляді

$$P_n(t) = 1 - e^{-n_{cp}} \sum_{s=0}^{n_з} \left[\frac{(n_{cp})^s}{s!} \right]. \quad (20)$$

Задаючись припустимою ймовірністю простою локомотива через нестачу запасної частини $\boldsymbol{P_n(t)}$, а також значенням часу експлуатації $\boldsymbol{t}$ і знаючи величину Λ_c, можна знайти $\boldsymbol{n_{cp}}$, а потім за формулою (20) визначити кількість запасних елементів $\boldsymbol{n_з}$.

Висновки:

1. У роботі визначено, що основною умовою стабільного матеріально-технічного постачання при утриманні локомотивів є формування й контроль запасів відповідних видів запасних частин на всіх видах зберігання (цехах, площадках, коморах). Враховано, що таке постачання має масовий характер. Це у свою чергу дозволило при розгляді процесу забезпечення запасними частинами застосувати математичний апарат теорії масового обслуговування.

2. На основі отриманих залежностей запропонований порядок розрахунку щодо визначення раціонального кількісного розміру запасних частин, які можна поновити, та таких, що потребують утилізації.

3. За виконаними розрахунками створені номограми розподілу кількісних характеристик, які дозволяють за статистичними даними визначати час і обсяг поповнення запасів запасних частин і матеріалів.

4. Подальший розвиток даного дослідження передбачає створення методично-довідкового забезпечення, за яким у локомотивних депо обслуговуючий персонал може оперативно визначати потрібну кількість запасних частин того чи іншого типу та формувати на цій основі відповідний запас для організації проведення технічного обслуговування або ремонту тепловозів.

Список використаних джерел

1. Бержанір, І. А. Проблеми та напрями вдосконалення обліку виробничих запасів [Текст] / І. А. Бержанір, Т. А. Демченко // Економічний простір. – 2016. - № 107. – С. 161-168.
2. Бродецкий, Г. Л. Управление запасами [Текст] / Г. Л. Бродецкий. – М.: Эксмо, 2008. – 352 с.
3. Букан, Дж. Научное управление запасами [Текст] / Дж. Букан, Э. Кенигсберг. – М.: Наука, 1967. – 424 с.
4. Бутинця, Ф. Ф. Економічний аналіз [Текст] : навч. посібник / Ф. Ф. Бутинця. – Житомир: ПП "Рута", 2003. – 680 с.
5. Галушка, З. І. Стратегічний менеджмент [Текст] : навч. посібник / З. І. Галушка, І. Ф. Комарницький. – Чернівці: Рута, 2006. – 248 с.
6. Кислий, В. М. Логістика. Теорія та практика [Текст] : навч. посібник / В. М. Кислий, О. А. Біловодська, О. М. Олефіренко. – К.: Центр учбової літератури, 2010. – 360 с.

7. Крикавський, Є. В. Логістичне управління [Текст] : підручник / Є. В. Крикавський. – Львів: Видавництво НУ "Львівська політехніка", 2005. – 684 с.

8. Лукинский, В. С. Модели и методы теории логистики [Текст] : учебник / В. С. Лукинский. – М.: "Питер", 2003. – 176 с.

9. Оспіщев, В. І. Вступ до спеціальності "Логістика" [Текст] : навч. посібник / В. І. Оспіщев. – Харків: ХНАМГ, 2008. – 106 с.

10. Прокопенко, І. Ф. Методика та методологія економічного аналізу [Текст] : навч. посібник / І. Ф. Прокопенко, В. І. Ганін. – К.: Центр учбової літератури, 2008. – 430 с.

11. Савицька, Г.В. Економічний аналіз діяльності підприємства [Текст] / Г.В.Савицька. – К.: Знання, 2004. – 654 с.

12. Сакович, В. А. Модели управления запасами [Текст] : учеб. пособие / В. А. Сакович. – Минск: Наука и техника, 1986. – 319 с.

13. Тридід, О. М. Логістика [Текст] : навч. посібник / О. М. Тридід, С. В. Азаренкова, С. В. Мішина. – К.: Знання, 2008. – 566 с.

14. Четвергов, В. А. Надежность локомотивов [Текст] / В. А. Четвергов, А. Д. Пузанков. – М.: Маршрут, 2003. – 415 с.

15. Alem D., Alistair C., Moreno A. Stochastic network models for logistics planning in disaster relief [Text] // European Journal of Operational Research. – Vol. 255, Issue 1, 16 November 2016. – P. 187-206.

16. Chen W., Guinet A., Ruiz A. Modeling the logistics response to a bioterrorist anthrax attack [Text] // European Journal of Operational Research. – Vol. 254, Issue 2, October 2016. – P. 458-471.

17. Dube N., Van der Vaart T., Teunter, R. Host government impact on the logistics performance of international humanitarian organizations [Text] // Journal of Operations Management. – Vol. 47–48, November 2016. – P. 44-57.

18. Kwesi-Buor J., Menachof D., Talas R. Scenario analysis and disaster preparedness for port and maritime logistics risk management [Text] // Accident Analysis & Prevention, In press, corrected proof, Available online 1 August 2016.

19. Oualid Kherbash, Marian Liviu Mocan. A Review of Logistics and Transport Sector as a Factor of Globalization [Text] // Procedia Economics and Finance. – Vol. 27, 2015. – P. 42-47.

20. Sami B., Márquez-Ramos L., Inmaculada M. Relationship between logistics infrastructure and trade: Evidence from Spanish regional exports [Text] // Transportation Research Part A: Policy and Practice. – Vol. 72, February 2015. – P. 47-61.

21. Teodor G., Crainic G. Montreuil B. Physical internet enabled Hyperco nnected City Logistics [Text] // Transportation Research Procedia. – Vol. 12, 2016. – P. 383-398.

Ольховська Тетяна Олександрівна, інженер, РФ "Південна залізниця". Тел.: (093) 151-73-15.

Olxovska Tatyana A., engineer, RF "Southern Railway". Tel.: (093) 151-73-15.

Стаття прийнята 11.12.2017 р.