УДК 649.42 DOI: https://doi.org/10.18664/1994-7852.164.2016.92622

ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЗЕРВІВ РЕМОНТНОГО ГОСПОДАРСТВА ПРИ ПЕРЕХОДІ НА УТРИМАННЯ ШРС

Д-р техн. наук О. С. Крашенінін, М. М. Костюченко, С. І. Соколенко

ОБОСНОВАНИЕ РЕЗЕРВОВ РЕМОНТНОГО ХОЗЯЙСТВА ПРИ ПЕРЕХОДЕ НА СОДЕРЖАНИЕ СПС

Д-р техн. наук А. С. Крашенинин, Н. Н. Костюченко, С. И. Соколенко

JUSTIFICATION RESERVE MAINTENANCE MANAGEMENT DURING THE TRANSITION TO THE SRS CONTENT

Supervisor prof. A. S. Krasheninin, N. N. Kostyuchenko, S. I. Sokolenko

Система утримання ШРС в умовах України на першому етапі передбачає організацію ТО та ТР силами постачальників ШРС, а в подальшому її адаптування в ремонтну галузь для можливості виконання ТО, ПР у будь-якому депо.

Відповідно до цього в статті проаналізовано питання щодо визначення методики оцінки резервів ремонтного господарства депо.

Показано, що пошук резервів ремонтного господарства доцільно проводити за допомогою положень теорії масового обслуговування. На основі визначення основних характеристик ТМО показана процедура їх пошуку і лімітуючі параметри системи.

Ключові слова: *ШРС – швидкісний рухомий склад; пропускна спроможність; ремонтна потужність депо.*

Система содержания ШРС в условиях Украины на первом этапе предусматривает организацию ТО и ТР силами поставщиков ШРС, а в дальнейшем ее адаптацию в ремонтную отрасль для возможности выполнения ТО, ПР в любом депо.

В соответствии с этим в статье проанализированы вопросы определения методики оценки резервов ремонтного хозяйства депо.

Показано, что поиск резервов ремонтного хозяйства целесообразно проводить с помощью положений теории массового обслуживания. На основе определения основных характеристик ТМО показана процедура их поиска и лимитирующие параметры системы.

Ключевые слова: *СПС - скоростной подвижной состав; пропускная способность; ремонтная мощность депо.*

System maintenance cabinets in Ukraine under the first phase involves the organization of TO and TS own cabinets suppliers, and further adapt it to the repair industry to be able to perform maintenance, PR, in any depot.

Accordingly, the article analyzes the issue of determining the methodology for assessing the reserves replacement depot management.

It is shown that the search for reserves appropriate to repair the economy by means of the theory of mass service. Based on the definition of the main characteristics of TMO shows the procedure of finding and limiting system parameters.

The main indicators of quality of repair operation capacity management adopted plots repair.

This was defined probability of the system, describing the capacity and the likelihood of liberties positions, the probability of employment, length of the queue is not serviced requests for repairs, the average waiting time beginning service.

The article presents the calculated results of which determined the optimum size power repair areas. Also built depending graphic that enable visual perception of the impact of various factors on the areas of power repair depot.

Keywords: *SPS - speed rolling stock; bandwidth; repair depot power.*

Вступ. Реформування економіки країни неможливе без перебудови ключових галузей промисловості. Залізничний транспорт залишається одним з видів транспорту, що забезпечує масове перевезення населення в приміському і дальньому сполученні. За останні роки привабливість залізничного транспорту дещо знизилась з ряду причин, і в тому числі через конкуренцію з автомобільними перевезеннями. В умовах стагнації галузі і зношеності основних фондів все трудніше забезпечити привабливість послуг залізниць на фоні росту цін і нерозвинутого сервісу.

В цих умовах одним з напрямків підвищення інтересу клієнтів до послуг залізниць є перехід на швидкісне сполучення на дальніх відстанях.

Досвід розвитку швидкісного руху за кордоном показує, що це ключовий напрям створення конкурентоспроможності і привабливості залізниць [1].

Разом з цим слід враховувати, що перехід на високошвидкісне сполучення потребує значних зусиль з перебудови ремонтного господарства.

Вже зараз слід готуватися до концепції утримання рухомого складу, коли організація ремонту буде відбуватися незалежно від депо приписки, що передбачає визначення резервів потужностей ремонтного господарства [4,5,6].

Аналіз основних досліджень і публікацій. Питанням визначення та поліпшення техніко-економічних показників функціонування тягового рухомого складу (ТРС) в нашій країні і за кордоном приділяється значна увага.

УкрДУЗТ і ряд науково-дослідних організацій і вузів виконали цикл науково-дослідних робіт щодо розробки методологій визначення життєвого циклу локомотивів [1].

Ці дослідження напряму взаємопов'язані з питанням ефективного утримання ТРС [2,3].

Розробці і оптимізації технічного обслуговування і ремонту рухомого складу присвячені роботи Бабаніна О.Б., Ісаєва І.Т., Калабухіна Ю.Є., Капіци М.І., Мямліна С.В., Стрекопитова В.В., Тартаковського Е.Д., Четвергова В.А. та інших вчених.

Мета статті полягає в розробці методики визначення резервів потужностей ремонтних ділянок локомотивних депо на основі моделювання їх роботи методами теорії масового обслуговування (ТМО).

Виклад основного матеріалу. При переході на утримання ШРС в умовах України слід відмітити необхідність на деякий час підтримувати їх технічний стан силами постачальників ШРС і в подальшому адаптувати ремонтну галузь для виконання ТО, ПР в будь-якому депо.

Виробнича програма ремонтного підприємства може визначатися виходячи з очікуваної середньої інтенсивності надходження заявок на обслуговування і ремонт.

Проте, щоб уникнути накопичення кількості заявок і надмірного збільшення термінів очікування ними початку ремонту, виробнича потужність каналів (обслуговуючих позицій) підприємства, тобто потокових технологічних ліній, стендів, обладнання повинна бути дещо більшою, ніж виробнича програма підприємства.

Методи теорії масового обслуговування дозволяють визначитися з необхідним і достатнім відсотком такого перевищення [7,8]. За термінологією ТМО приймаємо:

1) n – число обслуговуючих каналів – кількість ремонтних ліній або стендів, відповідного призначення;

2) λ – потік вимог – середнє добове надходження заявок;

3) v - кількість обслуговуваних в одиницю часу кожним каналом вимог – добова виробнича потужність однієї ремонтної позиції.

Згідно з положеннями ТМО, необмеженого збільшення черги обслуговуваних заявок і переповнення каналів можна уникнути тільки при дотриманні такої нерівності [7]:

$$\alpha = \frac{\lambda}{v} \pi\, n. \qquad (1)$$

Це можна пояснити неминучими в виробничих умовах перервами в технологічному процесі і простоями обладнання.

Розглянемо наступну задачу. Нехай необхідно відремонтувати за рік 500 реле локомотивів.

Середньодобове надходження заявок (реле) на ремонт при такій програмі, або потік заявок, λ = 20; приймаємо, що число каналів n = 2, робота в одну зміну.

Потрібно визначити:

- при якому перевищенні виробничою потужністю ремонтних ліній N_1 потоку заявок λ чи при якому відповідному значенні α черга заявок на ремонт не досягне 100 од., а терміни очікування початку ремонту – 5 діб;

- з якою інтенсивністю буде зменшуватися довжина черги і терміни очікування початку ремонту в міру зростання $(N_1-\lambda)/\lambda$, %, і відповідно при зменшенні чисельного значення α.

Методика вирішення поставлених завдань буде полягати в послідовному визначенні ймовірності незайнятості жодного каналу (ремонтної лінії) - P_0, ймовірності зайнятості однієї P_1 і обох P_2 каналів із забезпеченням усіх заявок; ймовірності наявності черги заявок *Роч* і на підставі цих даних в розрахунку середньої величини черги заявок (очікування ремонту) і середнього часу очікування ними початку ремонту [7,8,9,10]. Для вирішення використовуємо наступні залежності ТМО.

Імовірність того, що зайнято і обслуговує усі вимоги точно k обслуговуючих каналів, дорівнює

$$P_k = \frac{\dfrac{a^k}{k!}}{\sum\limits_{k=0}^{n} \dfrac{a^k}{k!} + \dfrac{a^{n+1}}{n!(n-\alpha)}} \text{ при } 0 \le k \ge n. \qquad (2)$$

Окремий випадок, коли всі обслуговуючі канали вільні:

$$P_0 = \frac{1}{\sum\limits_{k=0}^{n} \dfrac{a^k}{k!} + \dfrac{a^{n+1}}{n!(n-\alpha)}}. \qquad (3)$$

Імовірність наявності черги необслугованих заявок

$$P_{оч} = 1 - (P_0 + P_1 + P_2 ... P_n). \qquad (4)$$

Середня довжина черги незабезпечених заявок M

$$M = \frac{\dfrac{a^{n+1}}{n \cdot n!\left(1-\dfrac{a}{n}\right)^2}}{\sum\limits_{k=0}^{n} \dfrac{a^k}{k!} + \dfrac{a^{n+1}}{n!(n-\alpha)}}. \qquad (5)$$

Середній час очікування початку обслуговування

$$T = \frac{P_{оч}}{nv - \lambda}. \qquad (6)$$

Перевіримо спочатку, чи буде достатнім перевищення виробничою потужністю підприємства запланованої програми на 25 од. При такому перевищенні:

N – річна програма підприємства дорівнює 5000 од.;

N_p – річна розрахункова виробнича потужність підприємства, N_p = 5025 од.;

N_1 – змінна виробнича потужність, N_1 = 20,1 шт.;

v – виробнича потужність однієї лінії, v = 10,05 шт.;

n – число каналів (обслуговуючих позицій), n = 2;

λ – прийнятий потік вимог (середнє надходження заявок), λ = 20;

δ – перевищення виробничою потужністю потоку, що надходить до ремонту, у відсотках

$$\delta = \frac{N_1 - a}{\lambda} = 0{,}5\%;$$

$$a = \frac{\lambda}{v} = \frac{20}{10{,}05} = 1{,}99; \quad a^2 = 3{,}96; \; a^3 = 7{,}88.$$

Імовірність зайнятості обох каналів (ремонтних позицій) з залежності (3)

$$P_0 = \frac{1}{1 + 1{,}990 + 1{,}980 + \dfrac{7{,}88}{2{,}1(2 - 1{,}990)}} = \frac{1}{399} = 0{,}0025.$$

Імовірність зайнятості одного P_1 і двох P_2 каналів із забезпеченням ремонтів всіх заявок з залежності (2)

$$P_1 = \frac{1{,}990}{399} \approx 0{,}0050; \; P_2 = \frac{1{,}980}{399} \approx 0{,}0050.$$

Імовірність наявності черги з залежності (4):

$$P_{оч} = 1 - (0{,}0025 + 0{,}0050 + 0{,}0050) = 0{,}9875.$$

Середня довжина черги заявок, що очікують ремонт, з залежності (5)

$$M = \frac{\dfrac{7{,}88}{2 \cdot 2(1 - 0{,}995)^2}}{399} = 197{,}4 \approx 197 \text{ шт.}$$

Середній час очікування початку ремонту з залежності (6)

$$T = \frac{0{,}9875}{2 \cdot 10{,}05 - 20} = 9{,}875 \approx 10 \text{ діб.}$$

Прийняте перевищення виробничою потужністю ремонтного підприємства, його програми або потоку заявок на ремонт не є достатнім, так як і черга очікування ремонту, і час очікування початку ремонту значно перевершують задані межі.

Визначимо тепер, чи буде достатнім перевищення виробничою потужністю

підприємства його програми на 50 од. При такому перевищенні:

N_p – річна розрахункова виробнича потужність ремонтного підприємства, N_p = 5050 шт.,

N_1 – змінна виробнича потужність, N_1 = 20,2 шт.,

v – виробнича потужність однієї лінії, v = 10,10 шт.,

$$\frac{N_1-\lambda}{\lambda}=1{,}0\%;\quad a=1{,}98;\quad a^2=3{,}92;\quad a^3=7{,}76.$$

Інші розрахункові параметри не змінюються.

Імовірність зайнятості обох каналів буде

$$P_0=\frac{1}{1+1{,}980+1{,}960+\dfrac{7{,}76}{2(2-1{,}980)}}=\frac{1}{399}=0{,}0050.$$

Імовірність зайнятості одного і двох каналів

$$P_1=\frac{1{,}980}{199}\approx 0{,}0099;\ P_2=\frac{1{,}960}{199}\approx 0{,}0098.$$

Імовірність черги *Роч* = 1- (0,0050 + + 0,0099 + 0,0098) = 0,9750.

Середня довжина черги

$$M=\frac{\dfrac{7{,}76}{4(1-0{,}990)^2}}{199}=97{,}4\approx 97\ \text{шт.}$$

Середній час очікування початку ремонту

$$T=\frac{0{,}9750}{2\cdot 10{,}10-20}\approx 5\ \text{діб.}$$

Таким чином, в цьому випадку поставлені вище умови майже задовольняються, так як час очікування заявками початку ремонту досягає 5 діб. Подальші розрахунки проводимо аналогічним порядком при послідовному збільшенні виробничої потужності підприємства в порівнянні з його програмою

$\left(\dfrac{N_1-\lambda}{\lambda}\right)$ на 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,5 та 6,0 %.

У табл. 1 наведені результати розрахунку довжин черги і часу очікування ремонту в залежності від відсотка перевищення виробничою потужністю ремонтного підприємства потоку заявок на ремонт. Дані таблиці показують, що обмеження черги заявки на ремонт деталей 100 од. і часу очікування ними початку ремонту 5 діб забезпечуються при збільшенні виробничої потужності підприємства по відношенню до його програми на 1,5 %. При подальшому збільшенні $\dfrac{N_1-\lambda}{\lambda}$ довжина черги і час очікування початку ремонту ще більш скорочуються; однак при збільшенні $\dfrac{N_1-\lambda}{\lambda}$ більш ніж на 3-4 % інтенсивність зменшення зазначених величин падає, що наочно ілюструється графіком, поданим на рис. 1.

Слід, однак, відзначити, що час очікування заявками початку ремонту залежить не тільки від співвідношення $\dfrac{N_1-\lambda}{\lambda}$, але і від виробничої програми підприємства. Зі збільшенням виробничої програми зменшуються середні терміни очікування заявками початку ремонту. Це підтверджується результатами розрахунку, виконаного стосовно до чотирьох заявок, виконання яких доцільно за різними програмами. Вихідні дані і результати такого розрахунку наведено в табл. 2. З таблиці видно, що терміни очікування деталями початку ремонту скорочуються обернено пропорційно збільшенню їх виробничої програми (рис. 2).

Таблиця 1

Розрахунок середніх довжин черги і часу очікування початку ремонту заявок (реле)

Розрахункова виробнича потужність підприємства, шт.			Значення співвідношень		Імовірність				Середня довжина черги заявок, що очікують ремонту, М	Середній час очікування заявками ремонту, Т, діб
Річна	Змінна	Одним каналом	$\frac{N_1-\lambda}{\lambda}$	$\alpha=\frac{\lambda}{v}$	незайнятості каналу, *Po*	зайнятості одного каналу, P_1	зайнятості двох каналів, P_2	Черги, *Poч*		
5025	20,1	10,05	0,50	1,990	0,0025	0,0050	0,0050	0,9875	197	10
5050	20,2	10,10	1,00	1,980	0,0050	0,0099	0,0098	0,9750	97	5
5075	20,3	10,15	1,50	1,970	0,0076	0,0149	0,0147	0,9628	64	3,2
5100	20,4	10,20	2,00	1,960	0,0101	0,0198	0,0194	0,9507	48	2,4
5125	20,5	10,25	2,50	1,951	0,0126	0,0246	0,0240	0,9388	38	1,9
5150	20,6	10,30	3,00	1,941	0,0152	0,0295	0,0288	0,9265	31	1,5
5225	20,9	10,45	4,50	1,913	0,0230	0,0440	0,0420	.0,8910	20	1,0
5300	21,2	10,60	6,00	1,886	0,0283	0,0534	0,0505	0,8678	16	0,7

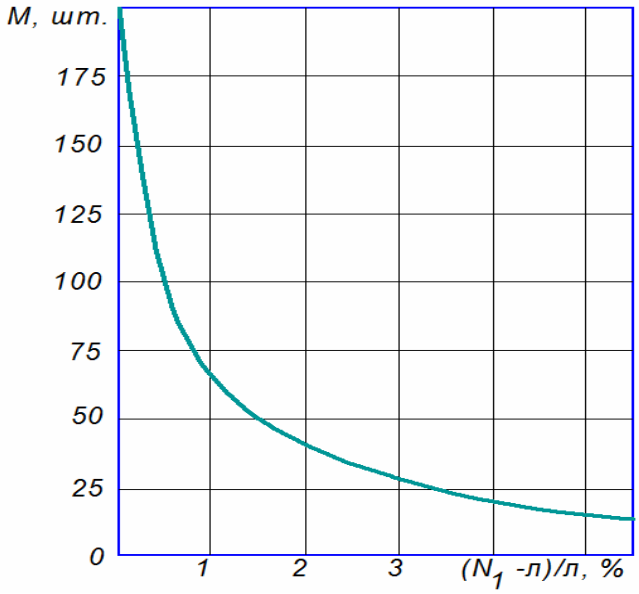

Рис. 1. Залежність середньої довжини черги заявок, що очікують ремонту, від відсотка перевищення виробничою потужністю підприємства потоку заявок на ремонт

Таблиця 2

Вихідні дані і результати розрахунку

Вихідні та розрахункові дані	Деталь			
	1	2	3	4
Річна виробнича програма, тис. шт.	2,5	10	15	20
Прийнятий середньодобовий потік заявок (надходження заявок на ремонт) λ, шт.	10	40	60	80
Прийняте число обслуговуючих каналів, n	2	2	2	2
Середній час очікування заявками початку ремонту, діб, при $(N_1 - \lambda)/\lambda$ дорівнює:				
0,5 при α = 1,990	20,0	5,0	3,3	2,5
1,0 » α = 1,980	10,0	2,4	1,6	1,2
1,5 » α = 1,970	6,4	1,6	1,1	0,8
2,0 » α = 1,960	4,8	1,2	0,8	0,6
2,5 » α = 1,951	3,8	1,0	0,6	0,5
3,0 » α = 1,941	3,1	0,8	0,5	0,4
4,5 » α = 1,913	2,0	0,5	0,3	0,25
6,0 » α = 1,886	1,4	0,4	0,2	0,18

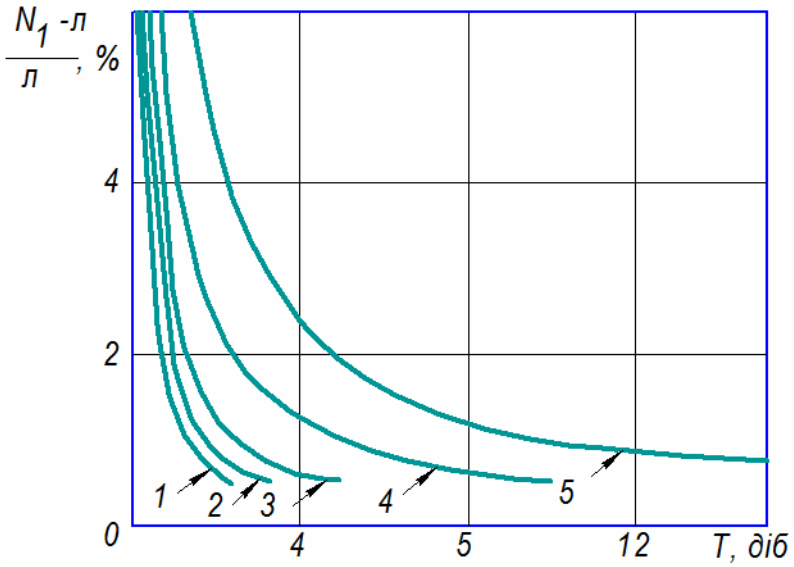

Рис. 2. Залежність середнього часу очікування початку ремонту заявки від виробничої програми і відсотка перевищення виробничою потужністю підприємства потоку їх заявок на ремонт:
1 – N = 20000 од., λ = 80; 2 – N = 15000 од., λ = 60; 3 – N = 10000 од., λ = 40;
4 – N = 5000 од .; λ = 20; 5 – N = 2500 од., λ = 10

Висновки:

1. Необхідність забезпечення ШРС послугами ремонтного господарства не тільки приписного парку, а і ШРС інших депо потребує врахування забезпечення резервних потужностей депо для виконання

нормативів простою в ТО, ПР і високого рівня якості ремонту;

2. З урахуванням експлуатаційної ситуації величина резерву повинна не перевищувати відповідної межі доцільності і зайвих потужностей ремонтного господарства;

3. Розглянута методика показує необхідність врахування особливостей системи ТО, ПР і раціональної зони її дії.

Список використаних джерел

1. Методы оценки жизненного цикла тягового подвижного состава железных дорог [Текст]: монография / Э. Д. Тартаковский, С. Г. Грищенко, Ю. Е. Калабухин [и др.]. – Луганск: Изд-во «Ноулидж», 2011. – 174 с.

2. Галкин, В. Г. Надежность тягового подвижного состава [Текст]: учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. / В. Г. Галкин, В. П. Парамзин, В. А. Четверов. – М.: Транспорт, 1981. – 184 с.

3. Северцев, Н. А. Надежность сложных систем в эксплуатации и отработке [Текст]: учеб. пособие для вузов / Н. А. Северцев. – М.: Высш. школа, 1989. – 432 с.

4. Оцінка показників ТО при подовженні терміну експлуатації ТРС по наробці [Текст] / Е. Д. Тартаковський, О. В. Устенко, О. С. Крашенінін [та ін.] // зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 132. – С. 5-11.

5. Крашенінін, О. С. Покращення організації технічного обслуговування та поточного ремонту тягового рухомого складу в післянормативний термін його використання [Текст] / О. С. Крашенінін, О.О. Шапатіна, Ю.В. Черняк // Транспортні інновації. – К., 2011. – № 9. – С. 26-28.

6. Крашенінін, О. С. Оцінка ефективності системи подовження терміну служби ТРС більш нормативного і оновлення експлуатаційного парку [Текст] / О. С. Крашенінін, П. О. Харламов // Вісник Східноукраїнського університету ім. Володимира Даля: наук. журнал. – Луганськ, 2012. – № 3(174). – С. 109-113.

7. Вентцель, Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология [Текст] / Е. С. Венцель. – 2-е изд. — М.: Наука, 1988. — 208 с.

8. Венцтель, Е. С. Теория вероятностей [Текст] / Е. С. Вентцель. – 4-е изд. – М.: Наука, 1969.

9. Гнеденко, Б. В., Элементарное введение в теорию вероятностей [Текст] / Б.В. Гнеденко, А.Я. Хинчин. – 7-е изд. – М.: Наука, 1970.

10. Колмогоров, А. Н. Основные понятия теории вероятностей [Текст] / А.Н. Колмогоров. – 2-е изд. – М.: Наука, 1974.

11. Ansell J. Risk, Analysis, Assessment and Management / J.Ansell, F.Wharton - Wiley, 1992.

12. Zadeh L.A. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision process / Zadeh L.A. // IEEE Trans. Sys. Man. Cyb, SMC - 3, 1977. - No.l.

Крашенінін Олександр Семенович д-р техн. наук, професор кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (097)991-70-99. E-mail: glelan@mail.ru.
Костюченко Микола Миколайович, магістр TEMPUS кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (093) 767-04-79. E-mail: ohotnikoyan@mail.ru.
Соколенко Сергій Іванович, магістр магістр TEMPUS кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (093) 281-56-01. E-mail: Santabooboo@mail.ru.

Krasheninin Alexander S. Ph.D. prof. Department Maintenance and repair of rolling stock Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (097) 991-70-99. E-mail: glelan@mail.ru.
Nikolai Kostyuchenko, master tel. (093) 767-04-79, e-mail: ohotnikoyan@mail.ru.
Sergei Sokolenko, master tel. (093) 281-56-01.E-mail: Santabooboo@mail.ru.

Стаття прийнята 23.09.2016 р.