

УДК 658.58.012.2: 623.004.67

ДАНЬКО В.Н., к.т.н., зам. начальника локомотивного депо "Октябрь"
(ГП "Южная железная дорога")

Определение информационной достаточности запасных частей при обслуживании технологического оборудования

Предложена методика определения достаточности запасных частей при обслуживании технологического оборудования локомотивного депо. Классифицированы ситуации и предложены основные структуры обеспечения запасными частями, которые наиболее часто используются на практике, а также предложены методы их количественного определения.

Ключевые слова: достаточность, запасные части, комплект, обменный фонд, пополнение, ремонтный орган, сервис, снабжение, структура, тепловоз.

Введение и состояние вопроса

В период глубоких системных преобразований в локомотивном хозяйстве железных дорог Украины стремительно развиваются и углубляются структурные и функциональные взаимозависимости. Это, с одной стороны усложняет, а с другой укрепляет экономические связи, без которых современные локомотивные депо, которые осуществляют обслуживание и ремонт тягового подвижного состава, функционировать и развиваться не могут. В особенности это относится к материально-техническому обеспечению, когда в условиях перехода к рыночным отношениям необходима разработка современных информационных методов повышения эффективности связей между поставщиками и потребителями при организации содержания технологического оборудования.

Анализ последних исследований и публикаций

Формирование теории управления запасами как научной дисциплины началось в середине 1950-х годов. Обстоятельное развитие этого этапа приведен в работах [6, 11]. Имеется ряд учебных пособий [1, 2, 3, 5, 7, 8, 9, 10, 13], где с математической точки зрения раскрывается сущность формирования объема запасов, а также основные закономерности применительно к различным отраслям промышленности. В одной из последних работ [11], на основе обобщения в качестве главного показателя использовано условие обеспечения заданной надежности снабжения. В то же время необходимо отметить, что большинство этих разработок имеют ограниченную применимость из-за невозможности определения издержек в результате потери предпочтения, волевого назначения норм запасов, а также отсутствия комплексного подхода к составным

частям совокупных запасов на всем пути их движения и их распределению между звеньями исследуемых систем. Исходя из этого, в данной статье предложена комплексная методика формирования и оценки достаточности запасов запасных частей с учетом основных производственных звеньев при организации обслуживания технологического оборудования локомотивного депо.

Основной материал

Как известно пополнение любых запасов $Z_{3,4}$ всегда происходит с некоторой задержкой относительно момента выдачи на него требования [11]. Эти пополнения можно подразделить на:

- мгновенное (задержка поставки очень мала);
- с задержкой на фиксированный срок;
- с задержкой на случайный интервал времени с известным или неизвестным вероятностным распределением;
- экстренное пополнение.

Технологическое оборудование можно принять как большой сложный объект. Поэтому можно выделить в нем три основные структурные подсистемы организации снабжения запасными элементами:

- одиночный комплект $Z_{3,4}^O$, представляющий количество запасных элементов, которые придаются непосредственно данному оборудованию для обеспечения его работоспособности;

- комплект запасных элементов ремонтного органа $Z_{3,4}^{PO}$, представляющий количество запасных элементов, которые придаются только ему, с целью обеспечения его работоспособности. Функционирование ремонтного органа (РО) заключается в устранении отказов в неисправных узлах или деталях оборудования, которые к нему поступают для их восстановления. Таким образом,

ремонтний орган призначений для відновлення поступивших к нему об'єктів і повинен бути забезпечений своїм запасом $Z_{3,4}^{PO}$;

- обмінний фонд ремонтного органу $Z_{3,4}^{OF-PO}$, представляючий собою кількість більш малих запасних елементів, які надаються ремонтному органу, який може обслуговувати як одиничний комплект $Z_{3,4}^O$, так і поступаючі в ремонтний орган вузли.

Ці структурні підсистеми можуть поєднатися між собою в різних варіантах. Виходячи з цього запропоновано 7 варіантів структур забезпечення обслуговування запасними елементами (СОЗЭ), які найбільш часто використовуються на практиці. Вони представлені на рис. 1.

Перший варіант відображає найбільш поширену СОЗЭ, в якій запас $Z_{3,4}^O$ поповнюється безпосередньо з зовнішнього джерела. Під цим зовнішнім джерелом тут і далі буде розумітися зовнішній склад, база, завод і т.д., обмеженість яких при поповненні елементів в розрахунок прийматися не буде. В разі відмови у обладнання, будь-якого елемента в комплект $Z_{3,4}^O$ поступає заявка, яка негайно задовольняється, якщо відповідний запасний елемент там є. При відсутності запасного елемента заявка стає в "очередь" і чекає поки не з'явиться можливість її задовольнити. Довжина черги незадоволених заявок може бути різною і залежить від основних принципів і умов функціонування системи матеріально-технічного постачання.

комплект $Z_{3,4}^O$, може бути задоволено або негайно, або з деякою затримкою.

Во другому варіанті комплект $Z_{3,4}^O$ поповнюється з ремонтного органу PO , який в свою чергу має свій комплект $Z_{3,4}^{PO}$, який поповнюється з зовнішнього джерела.

Третій варіант передбачає, що кожному типу технологічного обладнання надано свій комплект $Z_{3,4}^O$. Ці комплекти поповнюються також з ремонтного органу PO , який в свою чергу має свій комплект $Z_{3,4}^{PO}$ і поповнюється з зовнішнього джерела (як і во другому варіанті).

В четвертому варіанті для обслуговування надається свій обмінний комплект елементів $Z_{3,4}^{OF-PO}$, який безпосередньо поповнюється з ремонтного органу PO .

Для п'ятого варіанта встановлюється, що кожен комплект $Z_{3,4}^O$ для обслуговування поповнюється з свого обмінного комплекта елементів $Z_{3,4}^{OF-PO}$, який теж безпосередньо поповнюється з ремонтного органу PO .

В шостому варіанті поповнення комплекта $Z_{3,4}^O$ для обслуговування передбачається безпосередньо від декількох ремонтних органів $PO-1$ і $PO-2$ в різних поєднаннях.

Сьомий варіант передбачає поповнення елементів для обслуговування з обмінного комплекта елементів $Z_{3,4}^{OF-PO}$, який теж безпосередньо поповнюється з ремонтних органів $PO-1$ і $PO-2$ в різних поєднаннях.

Для оцінки достаточності конкретного комплекта $Z_{3,4}^O$, необхідні наступні дані.

1. Кількість типів сменных елементів N_0 в изделиі;
2. По кожному типу сменных конструктивних елементів складається формуляр з початковими даними

$$\left[\begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline i & \Lambda_{iO} & T_{iO} & n_{iO} & \rho_{iO} \\ \hline \end{array} \right], \quad (1)$$

де i - номер типу елементів по номенклатурі комплекта $Z_{3,4}^O$; Λ_{iO} - інтенсивність потоку заявок на елементи i -го типу від изделия в комплект $Z_{3,4}^O$; T_{iO} - середнє час відновлення одного елемента

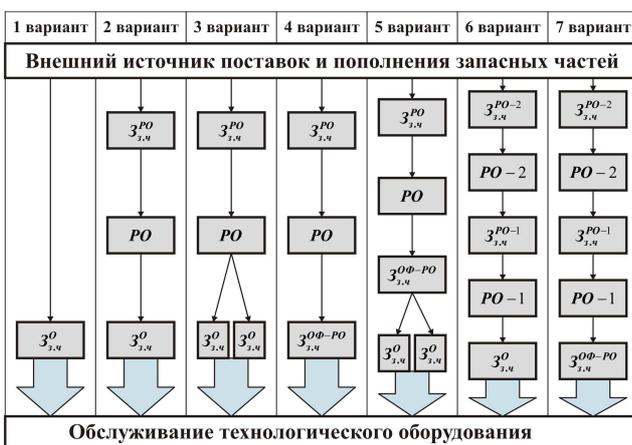


Рис. 1. Варіанти забезпечення запасними елементами

Таким чином, в першому варіанті заявка на запасний елемент, яка надійшла від об'єкта в

i -го типа в $Z_{3,4}^O$ (т.е. среднее время, которое проходит между изъятием запасного элемента из комплекта $Z_{3,4}^O$ и поступлением в этот комплект аналогичного исправного элемента взамен изъятых); n_{iO} - начальное количество запасных элементов i -го типа в комплекте $Z_{3,4}^O$; ρ_{iO} - максимальная возможная длина очереди неудовлетворенных заявок на элементы i -го типа в $Z_{3,4}^O$. (Целое положительное значение ρ_{iO} соответствует случаям ограниченной очереди неудовлетворенных заявок. При $\rho_{iO} = 0$ принято, что длина очереди является неограниченной).

Интенсивность Λ_{iO} определяется потоком замен элементов i -го типа в изделиях (не обязательно совпадающим с потоком отказов), а также потоком отказов элементов i -го типа при хранении в комплекте $Z_{3,4}^O$

$$\Lambda_{iO} = k_{ie}(m_i \lambda_i + l_i \lambda_i) + (1 - k_{ie})(m_i + l_i) \lambda_{ixp} + n_i \lambda_{ixp}, \quad (2)$$

где m_i - количество основных элементов i -го типа в изделии; l_i - количество резервных элементов i -го типа в изделии; k_{ie} - коэффициент интенсивности эксплуатации изделия; λ_i - интенсивность отказов одного основного элемента i -го типа; λ_{ixp} - интенсивность отказов одного основного элемента i -го типа при хранении.

Для того чтобы вычислить показатель достаточности $O\Phi - PO$ необходимы следующие начальные данные.

1. $N_{O\Phi}$ - количество типов элементов, на которые могут прийти заявки в $O\Phi - PO$;

2. По каждому из $N_{O\Phi}$ типов элементов задать формуляр исходных данных:

i	$\Lambda_{iO\Phi}$	$T_{iO\Phi}$	$n_{iO\Phi}$
-----	--------------------	--------------	--------------

), (3)

где $\Lambda_{iO\Phi}$ - интенсивность потока заявок на запасные элементы i -го типа, поступающих в $O\Phi - PO$ от обслуживаемых образцов объекта или комплекта $Z_{3,4}^O$, т.е. среднее количество заявок на элементы i -го типа

в единицу времени; $T_{iO\Phi}$ - среднее время ремонта одного элемента i -го типа в PO ; $n_{iO\Phi}$ - начальное количество элементов i -го типа в $O\Phi - PO$.

Для того чтобы вычислить значение $\Lambda_{iO\Phi}$ необходимо просуммировать по всем образцам объекта в группе, обслуживаемой данным PO интенсивности потоков замен элементов i -го типа в объекте [13]

$$\Lambda_{iO\Phi} = \sum_{K=1}^S \Lambda_{iO\Phi}^K, \quad (4)$$

где S - количество образцов объектов в группе; $\Lambda_{iO\Phi}^K$ - интенсивность потока замен элемента i -го типа в K -ом образце объекта.

Интенсивность потока замен элемента i -го типа в K -ом образце объекта $\Lambda_{iO\Phi}^K$ определяется как

$$\Lambda_{iO\Phi}^K = k_{ie}(m_i \lambda_i + l_i \lambda_i) + (1 - k_{ie})(m_i + l_i) \lambda_{ixp} + n_i \lambda_{ixp}, \quad (5)$$

где m_i - количество основных элементов i -го типа в изделии; l_i - количество резервных элементов i -го типа в изделии; k_{ie} - коэффициент интенсивности эксплуатации изделия; λ_i - интенсивность отказов одного основного элемента i -го типа; λ_{ixp} - интенсивность отказов одного основного элемента i -го типа при хранении.

Для того чтобы вычислить показатель достаточности $Z_{3,4}^O$ для ремонтного органа PO требуются следующие исходные данные.

1. N_{PO} , - количество типов комплектующих элементов, которые могут потребоваться для работы PO ;

2. По каждому типу комплектующих элементов задать формуляр исходных данных:

j	Λ_{jPO}	α_{jPO}	T_{jPO}	τ_{jPO}	n_{jPO}
-----	-----------------	----------------	-----------	--------------	-----------

), (6)

где j - номер типа элементов по номенклатуре $Z_{3,4}^O$; Λ_{jPO} - интенсивность потока заявок на элементы j -го типа, поступающих в $Z_{3,4}^{PO}$, т.е. среднее количество

заявок на елементи j -го типу в одиницю часу; α_{jPO} - тип стратегії поповнення запасу елементів j -го типу в $Z_{3,4}^{PO}$. Значення α_{jPO} може приймати значення 1, 2, 3. При $\alpha_{jPO} = 1$ запас елементів j -го типу поповнюється періодично. При $\alpha_{jPO} = 2$ поповнення запасу елементів j -го типу проводиться з екстремними доставками, т.е., крім планового періодичного відновлення запасу, допускається ще і внепланове відновлення його до первісного рівня, якщо елемент j -го типу потрібен для роботи PO , а запас елементів j -го типу в $Z_{3,4}^{PO}$ відсутній. При $\alpha_{jPO} = 3$ запас елементів j -го типу в $Z_{3,4}^{PO}$ поповнюється за рахунок ремонту відмовивших елементів в спеціальному PO_s (відмінному від того PO , якому наданий даний $Z_{3,4}^{PO}$); T_{jPO} - основний параметр стратегії поповнення запасу елементів j -го типу. При $T_{jPO} = 1$ або $T_{jPO} = 2$ значення α_{jPO} є періодом поповнення запасу елементів j -го типу. При $T_{jPO} = 3$ значення α_{jPO} є середнім часом ремонту одного елемента j -го типу; τ_{jPO} - додатковий параметр стратегії поповнення запасу елементів. При $\tau_{jPO} = 1$ або $\tau_{jPO} = 3$ значення α_{jPO} дорівнює нулю. При $\tau_{jPO} = 2$ значення α_{jPO} є середньою тривалістю екстремної доставки елементів з зовнішнього джерела поповнення; n_{jPO} - початкова кількість елементів j -го типу в $Z_{3,4}^{PO}$.

Для розв'язання задачі розрахунку всього $Z_{3,4}^{PO}$ потрібні наступні початкові дані.

1. N_{PO} - кількість типів комплектуючих елементів, які можуть знадобитися для $Z_{3,4}^{PO}$.

2. По кожному типу запасних елементів складається формула початкових даних

j	Λ_{jPO}	α_{jPO}	T_{jPO}	τ_{jPO}	C_{jPO}
-----	-----------------	----------------	-----------	--------------	-----------

, (7)

де параметри j , Λ_{jPO} , α_{jPO} , T_{jPO} , τ_{jPO} мають той же зміст, що і в формулі (6), а C_{jPO} - витрати на 1 елемент j -го типу $Z_{3,4}^{PO}$.

Визначення показателя достаточності $Z_{3,4}^{PO}$ проводиться за формулою

$$\Delta_{PO}^{TP} = \frac{\sum_{j=1}^{N_{PO}} \Lambda_{jPO} \Delta_{jPO}}{\Lambda_{PO}}, \quad (8)$$

де Δ_{PO}^{TP} - показник достаточності запасу елементів j -го типу в $Z_{3,4}^{PO}$.

В залежності від стратегії поповнення запасу елементів j -го типу в $Z_{3,4}^{PO}$ (т.е. в залежності від заданого значення $\alpha_{jPO} = 1, 2, 3$) показник достаточності елементів j -го типу в $Z_{3,4}^{PO}$ може бути визначений за наступними формулами.

1. В разі $\alpha_{jPO} = 1$ (коли поповнення запасу елементів j -го типу в $Z_{3,4}^{PO}$ відбувається періодично) показник достаточності визначається за виразом

$$\Lambda_{jPO} \Delta_{jPO} = \frac{1}{a_j} e^{-a_j} \sum_{k=1}^{\infty} K \sum_{i=n_{jPO}+K+1}^{\infty} \frac{a_j^i}{i!}, \quad (9)$$

де

$$a_j = \Lambda_{jPO} T_{jPO}. \quad (10)$$

Визначення за даною формулою проводиться наступним чином. Спочатку розраховується величина

$$\epsilon_j = \frac{a_j \epsilon_{PO} \Lambda_{PO}}{2 N_{PO}}, \quad (11)$$

де ϵ_{PO} - задана точність розрахунку показника достаточності.

За таблицями розподілу Пуассона [12]

$$F(n, a) = e^{-a} \sum_{K=n}^{\infty} \frac{a^K}{K!}, \quad (12)$$

отыскиваются значения $F(n_{jPO} + 2, a_j)$, $F(n_{jPO} + 3, a_j)$, ..., до тех пор, пока в первый раз не выполнится неравенство

$$F(n_{jPO} + K^* + 1, a_j) \leq \frac{\varepsilon_j}{K^*}. \quad (13)$$

В соответствие с найденными значениями $F(n_{jPO} + K^* + 1, a_j)$, $K = 1, 2, \dots, K^*$ определяется величина

$$\Lambda_{jPO} \Delta t_{jPO} = \frac{1}{a_j} \sum_{K=1}^{K^*} K \cdot F(n_{jPO} + K, a_j). \quad (14)$$

2. В случае $\alpha_{jPO} = 2$ (когда пополнение запаса элементов j -го типа в $Z_{3,4}^{PO}$ происходит периодически с экстренными доставками) показатель достаточности определяется из выражения

$$\Lambda_{jPO} \Delta t_{jPO} = \left(\frac{\tau_{jPO}}{T_{jPO}} \right) \omega(n_{jPO}, a_j) \left(\frac{1 + \Lambda_{jPO} \tau_{jPO}}{2} \right), \quad (15)$$

где

$$\omega(n_{jPO}, a_j) = e^{-a} \sum_{K=li=K}^{\infty} \sum_{(n_{jPO}+1)}^{\infty} \frac{a_j^i}{i!} \quad (16)$$

и

$$a_j = \Lambda_{jPO} T_{jPO}. \quad (17)$$

Для того чтобы вычислить значения функции $\omega(n_{jPO}, a_j)$, заданной суммой бесконечного ряда (16), поступаем следующим образом. По таблицам распределения Пуассона определяем значения $F(n_{jPO} + 1, a_j)$, $F(2n_{jPO} + 2, a_j)$..., до тех пор, пока первый раз не будет выполнено неравенство

$$F(K^* \cdot n + K, a) \leq \frac{\varepsilon_{PO}}{N_{PO}}, \quad (18)$$

где ε_{PO} - заданная точность вычисления показателя достаточности.

По найденным значениям $F(K^* \cdot n + K, a)$ определяется

$$\omega(n, a) = \sum_{K=1}^{K^*} F(K^* \cdot n + K, a). \quad (19)$$

3. В случае $\alpha_{jPO} = 3$ (когда элементы j -го типа в $Z_{3,4}^{PO}$ могут быть отремонтированы) показатель достаточности запаса элементов определяется как

$$\Lambda_{jPO} \Delta t_{jPO} = e^{-a_j} \sum_{K=n_{jPO}+1}^{\infty} (K - n_{jPO}) \frac{a_j^K}{K!} \quad (20)$$

и

$$a_j = \Lambda_{jPO} T_{jPO}. \quad (21)$$

На основании расчетов по данной методике была определена достаточность количества запасных частей по каждому варианту их формирования для выполнения обслуживания и ремонта технологического оборудования локомотивного депо. На основании полученных данных сформирована база данных, которая составляет основу для автоматизированного рабочего места по технологическому оборудованию.

Заключение

По предложенной методике выделено семь основных информационных вариантов формирования запасов с учетом пополнения их от внешних источников, а также соответствующих ремонтных подразделений, выполняющих восстановление узлов и деталей технологического оборудования. Предложены алгоритмы определения информационной достаточности сформированных вариантов запасов, которые учитывают количественные и качественные характеристики заявок с места замены, интенсивность потока замен деталей, номенклатуру деталей для конкретного типа технологического оборудования, а также техническую оснащенность ремонтно-восстановительных органов. На основании данной методики сформирована база данных для информационной оценки достаточности запасных частей технологического оборудования локомотивного депо.

Литература

1. Беляев, Ю.А. Дефицит, рынок и управление запасами [текст] / Ю.А.Беляев. – М.: Университет дружбы народов, 1991. – 228с.
2. Феклисов, Г.И. Математическое обеспечение систем управления запасами [текст] / Г.И. Феклисов. – М.: Статистика, 1977. – 112с.
3. Голдобина, Н.Н. Управление запасами средств производства [текст] / Н.Н.Голдобина. – Л.: ЛФЭИ, 1991. – 71с.
4. Головин, И.Н. Расчет и оптимизация комплектов запасных элементов радиоэлектронных систем [текст] / И.Н. Головин, Б.В.Чуварыгин, А.Э. Шура-Бура. – М.: Радио и связь, 1984. – 216с.
5. Инютина, К.В. Совершенствование планирования и организация материально-технического снабжения производственных объединений [текст] / К.В. Инютина. – Л.: Машиностроение, 1986. – 246с.
6. Inventory models. / Ed. by A. Chican. – Akademiai kiado, Budapest, 1990. – 419 pp.
7. Лагуткин, В.М. Экономико-математические методы в снабжении [текст] / В.М. Лагуткин. – М.: Экономика, 1971. – 367с.
8. Лукинский, В.С. Модели и методы теории логистики [текст] / В.С. Лукинский. – СПб.: Питер, 2007. – 223с.
9. Микитьянц, С.Р. Модели процессов материально-технического снабжения [текст] / С.Р. Микитьянц. – Л.: Ленинградский университет, 1974. – 99с.
10. Первозванский, А.А. Математические методы в управлении производством [текст] / А.А. Первозванский. – М.: Наука, 1975. – 615с.
11. Рыжиков, Ю.И. Теория очередей и управление запасами [текст] / Ю.И. Рыжиков. – СПб.: Питер, 2001. – 376с.
12. Вентцель, Е.С. Исследование операций [текст] / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1990. – 286с.
13. Зеваков, А.М. Методические основы решения задач по управлению запасами [текст] / А.М. Зеваков. – Караганда, 1989. – 98с.

Danko V.N. The determination of information sufficiency of spare parts while servicing process equipment. Methodology of spare parts sufficiency determination while servicing process equipment of locomotive depot has been offered. Situations have been classified and main structures of the provision with spare parts which are most frequently used on practice have been offered and the methods of their quantitative determination have been offered as well.

Key words: sufficiency, spare parts, set, exchange fund, replenishment, maintenance body, service, supply, structure, diesel locomotive.

Данько В.М. Визначення інформаційної достатності запасних частин при обслуговуванні технологічного обладнання. Запропоновано методику визначення достатності запасних частин при обслуговуванні технологічного обладнання локомотивного депо. Класифіковані ситуації й запропоновані основні структури забезпечення запасними частинами, які найбільш часто використовуються на практиці, а також запропоновані методи їх кількісного визначення.

Ключові слова: достатність, запасні частини, комплект, обмінний фонд, поповнення, ремонтний орган, сервіс, постачання, структура, тепловоз.

Рецензент д.т.н., професор Бабанин А.Б. (УкрГАЖТ)

Поступила 13.05.2013г.