

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ОВТ

УДК 658.7

О.О. Морозов

Національна академія Національної гвардії України, Харків

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ОБСЯГУ ОБМІННОГО ФОНДУ АГРЕГАТИВ ДЛЯ РЕМОНТУ ОЗБРОЄННЯ І ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

Наводиться методика визначення обсягу обмінного фонду агрегатів для ремонту ОВТ. Для урахування впливу виробничих можливостей органів з ремонту агрегатів на своєчасність ремонту техніки та логістичних витрат на утримання такого фонду алгоритм вирішення шуканої задачі базується на розгляді системи обмінного фонду агрегатів. Рішенням задачі є обсяг ОФ агрегатів, який враховує нестационарність потоку їх відмов та мінімізує логістичні витрати.

Ключові слова: обмінний фонд агрегатів, ремонт техніки, інтенсивність відмов агрегатів, ремонтний орган

Постановка проблеми

Сучасними тенденціями в організації експлуатації озброєння та військової техніки (ОВТ) є впровадження стратегій експлуатації за технічним станом та використання знеособленого (агрегатного) методу ремонту. Це дозволяє не визначати міжремонтний ресурс, повністю використовуючи запаси працездатності або індивідуальні ресурси зразків ОВТ та ремонтувати їх тоді, коли вони досягнуть встановленого для них граничного стану, який визначається відмовою або станом перед відмовою. З іншого боку, це вимагає впровадження сучасних систем контролю технічного стану, глибини діагностування причин несправності до складальної одиниці (далі – агрегат), створення обмінних фондів (ОФ) агрегатів.

Обсяги та номенклатура ОФ агрегатів повинні забезпечувати оперативне відновлення працездатності техніки, а з іншого боку, бути необтяжливими з точки зору мобільності ремонтних органів та логістичних витрат на їх утримання. Тому важливою є задача обґрунтування обсягів ОФ агрегатів. При вирішенні такої задачі слід враховувати ланцюг "ремонтний орган (РмОр) ОВТ – склад агрегатів – РмОр агрегатів – склад агрегатів – РмОр ОВТ", який являє собою систему ОФ агрегатів. Обмежені виробничі можливості РмОр агрегатів можуть стати причиною утворення черг в очікуванні ремонту ОВТ або черг на ремонт агрегатів. Завищені обсяги ОФ агрегатів – це додаткові логістичні витрати на їх утримання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз робіт [1-8] з проблеми забезпечення потреби в запасних агрегатах для знеособленого ремонту ОВТ показав, що вони не дозволяють урахувати специфічні особливості ремонту такої техніки, умов експлуатації, в яких функціонує ОВТ (навантаження, що перевищують нормативні, бойові пошкодження і т.д.). Дослідження, проведені за цією тематикою, розглядають процедури обґрунтування обсягів та номенклатури ОФ, але не систему ОФ агрегатів, що не дозволяє враховувати всього комплексу питань, пов'язаних з особливостями застосування ОВТ та її відновлення. Це істотно впливає на обґрунтованість обсягів ОФ агрегатів. Отже, запропонований апарат визначення обсягів ОФ агрегатів для ремонту ОВТ не повною мірою відповідає потребам обґрунтованого визначення обсягів таких фондів. Доказом служить значний матеріальний збиток РмОр від децентралізованих закупівель агрегатів, зберігання наднормативних запасів і простоїв через відсутність необхідних агрегатів при ремонті ОВТ.

Мета статті – розроблення методики визначення обсягів обмінного фонду агрегатів для ремонту техніки.

Виклад основного матеріалу

Обмінний фонд агрегатів можна розглядати як дискретну систему з безперервним часом і кінцевою множиною станів агрегатів [9].

Обґрунтованим є припущення, що на зразку ОВТ може бути встановлений тільки один агрегат

певного виду (типу), тому прийемо, що на зразках ОВТ знаходиться m агрегатів. Обмінний фонд запасних агрегатів представлений q одиницями.

За цих умов доцільно розглядати наступні стани системи ОФ агрегатів:

x_0 – немає агрегатів у ремонті, всі вони на складі РмОр або експлуатуються; x_1 – один агрегат у ремонті; x_2 – два агрегати в ремонті;...; x_q – q агрегатів у ремонті (на складі немає запасних агрегатів); x_{q+1} – $(q+1)$ агрегат у ремонті, один зразок ОВТ простоює;...; x_m – m агрегатів у ремонті, на складі немає запасних агрегатів, вся техніка простоює.

З урахуванням введених станів граф станів агрегатів та переходами між цими станами можна представити у наступному вигляді (рис. 1)

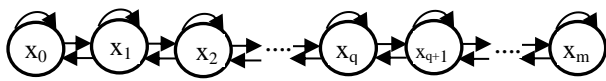


Рис. 1. Стани системи ОФ агрегатів і переходів між ними

Потік відмов агрегатів прийемо стаціонарним пуассонівським. Параметри потоку відмов виявляються в процесі ресурсних випробувань і заздалегідь відомі для будь-яких агрегатів [10].

Ймовірність p_m того, що за час τ відбудеться рівно m відмов агрегатів, буде дорівнювати

$$p_m(\tau) = \frac{(\lambda\tau)^m}{m!} e^{-\lambda\tau}, \quad (1)$$

де λ – щільність потоку відмов агрегатів, що припадає на одиницю часу.

Ймовірність того, що не відбудеться жодної відмови агрегатів ($m=0$), буде

$$p_0(\tau) = e^{-\lambda\tau}. \quad (2)$$

Важливою характеристикою потоку відмов є закон розподілу довжини проміжку часу між сусідніми відмовами. Нехай T – проміжок часу між двома довільними відмовами агрегатів. Тоді функція розподілу часу T буде визначатися як

$$F(t) = P(T < t).$$

Ймовірність протилежної події буде визначатися як

$$1 - F(t) = P(T \geq t). \quad (3)$$

З урахуванням виразу (2) ймовірність $P(T \geq t)$ знаходимо за формулою (3) як $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$, $t > 0$.

Щільність ймовірності безвідмовної роботи агрегатів визначається як

$$f(t) = \frac{F(t)}{dt} = \lambda e^{-\lambda t}, \quad t > 0. \quad (4)$$

Агрегати, що відмовили, надходять до ремонтного органу. Крім характеристик вхідного потоку агрегатів, що вимагають ремонту (заявок на

обслуговування), ефективність функціонування системи ОФ залежить від характеристик продуктивності РмОр: числа каналів обслуговування n та продуктивність кожного каналу.

Прийнявши, що час $T_{обс}$ має показовий розподіл, де $G(t) = P(T_{обс} < t)$ – функція його розподілу, а $g(t) = G(t)/dt$ – щільність розподілу. Обґрунтованість такого припущення ґрунтується на тому, що при знеособленому ремонті ОВТ діагностуванням визначаються несправні агрегати (деталі або вузли), які замінюються справними з обмінного фонду.

Отже, щільність розподілу часу $T_{обс}$ має вигляд

$$g(t) = \mu t^{-\mu}, \quad t > 0, \quad (5)$$

де μ – величина, зворотна середнього часу обслуговування однієї заявки

$$\mu = \frac{1}{m_{t_{обс}}}, \quad m_{t_{обс}} = M[T_{обс}].$$

Допущення про пуассонівський характер потоку заявок (4) і показовий розподіл часу обслуговування (5) важливі тим, що дозволяють застосувати в теорії масового обслуговування апарат марковських випадкових процесів.

Нехай p_k – стаціонарна ймовірність знаходження системи ОФ в стані x_k при $0 \leq k \leq n$, де n – кількість каналів обслуговування ремонтного органу.

Для ймовірності p_k виконується умова

$$\sum_{k=0}^n p_k = 1. \quad (6)$$

Для системи з відмовами одержимо наступне

$$p_1 = \frac{\lambda}{\mu} p_0. \quad (7)$$

І, узагальнюючи (7) при $0 \leq k \leq n$, отримаємо

$$p_k = \frac{\lambda^k}{k! \mu^k} p_0. \quad (8)$$

Через вирази (5) і (6) визначимо ймовірності p_0 і p_k

$$p_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^n \frac{a^k}{k!}}, \quad (9)$$

де $a = \lambda/\mu$ – приведена щільність потоку заявок, тобто середнє число заявок, що припадає на час обслуговування однієї заявки.

З урахуванням виразів (8) і (9) одержимо остаточно

$$p_k = \frac{a^k}{k!} \frac{1}{\sum_{k=0}^n \frac{a^k}{k!}}, \quad 0 \leq k \leq n. \quad (10)$$

Ймовірність відмови в обслуговуванні заявки $p_{відм}$ в цьому випадку буде дорівнювати ймовірності того, що заявка, яка надійшла, знайде всі канали РмОр зайнятими. Ймовірність $p_{відм}$ можна знайти з формули (10) при $k = n$

$$p_{відм} = P_n = \frac{a^n}{n!} \cdot \frac{1}{\sum_{k=0}^n \frac{a^k}{k!}}. \quad (11)$$

Розглядаючи РмОр як систему з очікуванням, заявка, що застала всі його канали зайнятими, стає в чергу і чекає, поки не звільниться будь-який канал. Розглянемо випадок системи з очікуванням, де заявки не залишають черги і рано чи пізно будуть обслужені. Такий випадок найбільш близький до реальної системи ОФ агрегатів.

Стационарний режим у такій системі має місце тільки при $a < n$, тобто коли середнє число заявок, що припадає на час обслуговування однієї заявки, не виходить за можливості n -канальної системи. Якщо ж $a \geq n$, то число заявок у черзі буде із часом необмежено зростати. Таких ситуацій у практиці варто уникати, тому будемо вести розрахунки для сталого режиму.

Розрахунок ймовірностей стану системи проводиться за формулами [9]:

$$p_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^n \frac{a^k}{k!} + \frac{a^{n+1}}{n!(n-a)}}. \quad (12)$$

Для $0 \leq k \leq n$, коли черги не утворюються і всі заявки, що прийшли, обслуговуються

$$p_k = \frac{\frac{a^k}{k!}}{\sum_{k=0}^n \frac{a^k}{k!} + \frac{a^{n+1}}{n!(n-a)}}. \quad (13)$$

Для $k = n + s$, $s \geq 0$, де s – число заявок, що перебувають у черзі на обслуговування

$$p_{n+s} = \frac{\frac{a^{n+s}}{n!n^s}}{\sum_{k=0}^n \frac{a^k}{k!} + \frac{a^{n+1}}{n!(n-a)}}. \quad (14)$$

Максимальна черга в розглянутому випадку буде мати місце в стані x_m і дорівнюватиме $s_{\max} = m - n$. Черга буде мати місце в станах x_k при $n < k \leq m$.

Середнє число заявок, що перебувають у черзі, визначається з формули

$$m_s = \frac{\frac{a^{n+1}}{n \cdot n! \left(1 - \frac{a}{n}\right)^2}}{\sum_{k=0}^n \frac{a^k}{k!} + \frac{a^{n+1}}{n!(n-a)}}. \quad (15)$$

Для оптимізації ОФ агрегатів як цільову функцію виберемо обсяг річних витрат на утримання ОФ агрегатів обсягом q одиниць. Прийmemo спрощення, що ці витрати $L(q)$ складені двома основними елементами: вартість зберігання $L^1(q)$ і штрафи $L^2(q)$ за відсутність на складі агрегату на заміну

$$L(q) = L^1(q) + L^2(q). \quad (16)$$

Штраф за відсутність агрегатів на складі нараховується в станах x_k при $q + 1 \leq k \leq m$.

Розрахуємо його так на підставі математичного очікування кількості агрегатів у ремонті для дискретного випадку

$$L^2(q) = d \sum_{k=q+1}^m (k - q) p_k, \quad (17)$$

де d – ціна штрафу за відсутність агрегату на складі і відповідне простоювання техніки.

Плата за зберігання агрегатів на складі нараховується в станах x_k при $0 \leq k \leq q$ та може розраховуватися як по середньому числу агрегатів, що зберігаються на складі – $L_1^1(q)$, так і по загальному числу запасних агрегатів у системі – $L_2^1(q)$ [11]

$$L_1^1(q) = h \sum_{k=0}^q (q - k) p_k. \quad (18)$$

$$L_2^1(q) = hq, \quad (19)$$

де h – ціна зберігання.

При першому варіанті (18) розрахунок ігноруються витрати, що виникають при зберіганні агрегатів поза складом. У другому варіанті (19) плата нараховується за максимальним комплектом ОФ, а не за кількістю справних агрегатів. Прийmemo другий варіант розрахунку (19) як найбільш часто застосовуваний у задачах даного типу.

Підставляючи формули (17) і (19) в (16), одержимо

$$L(q) = L^1(q) + L^2(q) = d \sum_{k=q+1}^m (k - q) p_k + hq. \quad (20)$$

$$L(q) \rightarrow \min.$$

Шуканим є значення q^{opt} , яке мінімізує функцію $L(q)$. З урахуванням дискретності q оптимальний ОФ агрегатів q^{opt} знаходимо з умові

$$\begin{cases} L(q^{opt} + 1) - L(q^{opt}) \geq 0, \\ L(q^{opt} - 1) - L(q^{opt}) \geq 0. \end{cases} \quad (21)$$

Підставимо (20) в (21) і одержимо нерівності:

$$\begin{cases} h - d \sum_{k=q^{opt}+1}^m p_k \geq 0, \\ d \sum_{k=q^{opt}}^m p_k - h \geq 0. \end{cases} \quad (22)$$

Підстановкою конкретного розподілу $\{p_k\}$ обчислюється q^{opt} .

При значній віддаленості РмОр необхідно враховувати додаткове зниження обсягу ОФ за час T_{mp} доставки агрегату в ремонт і назад. При найпростішому потоці заявок цей розподіл для фіксованого T_{mp} підпорядкований закону Пуассона [9]

$$a_j = \frac{(\lambda T_{mp})^j}{j!} e^{-\lambda T_{mp}}, \quad j = 0, 1, \dots \quad (23)$$

де a_j – ймовірність появи j заявок за час T_{mp} .

Для випадкового часу із щільність розподілу $v(t)$

$$a_j = \int_0^{\infty} \frac{(\lambda t)^j}{j!} e^{-\lambda t} v(t) dt, \quad j = 0, 1, \dots \quad (24)$$

Результуюче зниження обсягу ОФ отримується згорткою розподілів числа агрегатів, що перебувають у транспортуванні і безпосередньо в ремонті.

Протягом часу експлуатації параметр потоку відмов $\lambda(t)$ не завжди постійний (рис. 2). Це пов'язано зі старінням агрегатів [12].

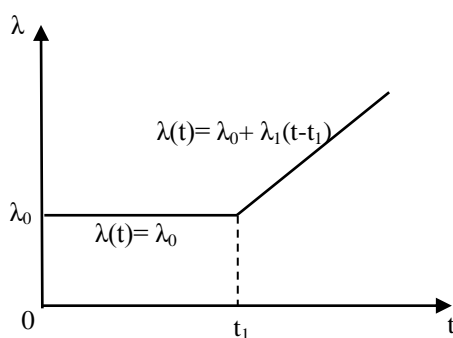


Рис. 2. Модель зміни інтенсивності відмов

Функцію $\lambda(t)$ представляють наступною аналітичною моделлю

$$\lambda(t) = \begin{cases} \lambda_0, & t < t_1, \\ \lambda_0 + \lambda_1(t - t_1), & t \geq t_1 \end{cases}, \quad (25)$$

де λ_0 – початкова інтенсивність відмов, t_1 – момент часу, коли починається різке зростання

інтенсивності відмов, λ_1 – параметр зміни інтенсивності відмов.

Раніше розрахунки проводилися для випадку $\lambda(t) = \lambda_0$. Прийнятій моделі зміни інтенсивності відмов відповідає щільність ймовірності часу безвідмовної роботи

$$f(t) = e^{-\int \lambda(t) dt} = \begin{cases} \lambda_0 e^{-\lambda_0 t}, \\ [\lambda_0 + \lambda_1(t - t_1)] e^{-(\lambda_0 - \lambda_1 t_1)t - \frac{\lambda_1}{2}(t - t_1)^2} \end{cases} \quad (26)$$

Таким чином, методику можна використовувати і для нестационарного пуассонівського потоку відмов агрегатів.

Висновки

1. При визначенні обсягів ОФ агрегатів необхідно враховувати вплив на механізм його формування всього ланцюга "ремонтний орган (РмОр) ОВТ – склад агрегатів – РмОр агрегатів – склад агрегатів – РмОр ОВТ", який являє собою систему ОФ агрегатів.

2. При вирішенні шуканої задачі необхідно враховувати логістичні витрати на обмінний фонд.

3. Пропонована методика розрахунку обмінного фонду агрегатів для ремонту техніки дозволяє формувати їх раціональний запас.

Список літератури

1. Бажинов А.В. Прогнозирование потребности в запасных частях к транспортным машинам: монография. – Харьков: ХНАДУ, 2012. – 128 с.
2. Галимова Е.О. Обоснование методики формирования резерва запасных частей для транспортных предприятий нефтегазового комплекса: дис.сертация ... кандидата технических наук: 05.22.10, Тюмень, 2006. – 145 с.
3. Филатов М.И. Формирование резерва запасных частей для ремонта транспортно-технологических машин [Текст] / М.И. Филатов, О.В. Юсупова // Вестник ОГУ. – №10 (171). – 2014. – С. 213-218.
4. Ковалев Р.Н. Повышение эффективности эксплуатации транспортных средств путем прогнозирования потребности в запасных частях [Электронный ресурс] / Р.Н. Ковалев, А.С. Степанов, С.А. Черницын // Фундаментальные исследования. – №6 (часть 7). – 2014. – С. 1361-1364.
5. Иванов В.П. Ремонт машин. Технология, оборудование, организация: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – Новополюк: УО «ПГУ», 2006. – 468 с.
6. Тимофеев Л.П. Организационно-экономический механизм технической сервиса сложной сельскохозяйственной техники [Текст] / Л.П. Тимофеев // Вестник КрасГАУ. – №7. – 2009. – С. 3-10.
7. Тахтамыев Х.М. Основы технологического расчета автотранспортных предприятий: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2011. – 352 с.

8. Мальцев В.А. Особенности определения требуемого состава и количества запасных частей для ремонта образцов военной техники [Текст] / В.А. Мальцев, В.Н. Нестеров // Известия ТулГУ – Вып. 2. – 2015. – С. 118-128.

9. Лукин А.И. Системы массового обслуживания: Анализ систем массового обслуживания с отказами в военной практике. – М.: Воениздат, 1980. – 189 с.

10. Надёжность технических систем: Справочник / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырёв, В.В. Болотин и др./ Под ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.

11. Рыжиков Ю.И. Управление запасами. – М.: Наука, 1969. – 340 с.

12. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем: Учеб. пособие. – М.: Высшая школа, 1982. – 231 с.

Рецензент: д.т.н., проф. О.М. Крюков, Національна академія Національної гвардії України, Харків.

Методика определения объема обменного фонда агрегатов для ремонта вооружения и военной техники

А.А. Морозов

Внедрение агрегатного метода ремонта вооружения и военной техники (ВВТ) требует решения задачи обоснования необходимых объемов обменного фонда (ОФ) исправных агрегатов. В большинстве работ задача определения объемов ОФ агрегатов решается с точки зрения обеспечения своевременности и оперативности ремонта ВВТ. При этом практически во внимание не берутся издержки на содержание таких фондов, что может приводить к их избыточности.

На практике ОФ агрегатов должен отвечать двум взаимоисключающим требованиям: обеспечивать необходимую оперативность ремонта ВВТ и не быть избыточным с точки зрения затрат на его содержание. При этом необходимо учитывать и производственные возможности ремонтного органа по ремонту и ВВТ, и агрегатов. Для учета этих требований решение задачи обоснования объемов ОФ агрегатов решается в рамках так называемой системы обменных фондов агрегатов.

Обменный фонд агрегатов в работе представляется как дискретная система с непрерывным временем и конечным множеством состояний агрегатов. При этом поток отказов агрегатов принимается стационарным пуассоновским. Для известных параметров потока отказов агрегатов это позволяет рассчитывать их вероятности отказа. Принятые допущения о пуассоновском потоке заявок и показательном времени их обслуживания позволило для решения сформулированной задачи использовать аппарат марковских случайных процессов. Ремонтный орган представляется многоканальной системой с ожиданием. Разработанный и предложенный в работе подход к определению объемов обменного фонда агрегатов позволяет рассчитывать вероятности состояний системы ОФ.

Для оптимизации объема обменного фонда агрегатов в качестве целевой функции используется объем годовых затрат на его содержание.

Ключевые слова: агрегатный метод ремонта, вооружение и военная техника, обменный фонд агрегатов, система обменного фонда, ремонт техники, интенсивность отказов агрегатов, ремонтный орган

Method for determining the volume of the exchange fund for aggregates for the repair of weapons and military equipment

A. Morozov

The introduction of an aggregate method of repairing weapons and military equipment (WME) requires solving the problem of justifying the necessary volumes of exchangeable funds (EF) of serviceable units. In most of the work, the task of determining the volumes of the EF units is being solved from the point of view of ensuring the timeliness and timeliness of the repair of weapons and military equipment. In this case, practically no attention is paid to the costs of maintaining such funds, which can lead to their redundancy.

In practice, the EF units must meet two mutually exclusive requirements: to ensure the necessary operational efficiency of the WME repair and not be redundant in terms of the costs of its maintenance. In this case, it is necessary to take into account the production capabilities of the repair body for repair and military equipment, and units. In order to take into account these requirements, the solution of the problem of justifying the volumes of the EF units is solved within the so-called system of exchange funds of aggregates.

The exchange fund of aggregates in the work is represented as a discrete system with continuous time and a finite set of aggregate states. In this case, the flow of failures of aggregates is assumed to be stationary Poisson.

For known parameters of the failure flow of aggregates, this makes it possible to calculate their failure probability. The assumed assumptions about the Poisson flow of applications and the indicative time of their service made it possible to use the apparatus of Markov random processes to solve the formulated problem. The repair body is a multi-channel system with expectation. The approach developed and proposed in the work to determine the volumes of the exchange fund of aggregates makes it possible to calculate the probabilities of the states of the system EF.

To optimize the volume of the aggregate exchange fund, the volume of annual expenses for its maintenance is used as an objective function.

Keywords: aggregate repair method, armament and military equipment, exchange of aggregates, exchange fund system, machinery repair, failure rate of units, repair unit