

УДК 355/359.07

doi: 10.53816/23061456\_2025\_1–2\_23

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА  
РЕМОНТНЫХ ОРГАНОВ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РЕМОНТА  
ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ**

**THE METHOD OF DETERMINING THE RATIONAL NUMBER  
OF REPAIR ORGANS TO PERFORM REPAIRS**

*Канд. воен. наук А.Н. Каптюх, канд. техн. наук А.М. Мишаков*

*Ph.D. A.N. Kaptyukh, Ph.D. A.M. Mishakov*

*Военная академия материально-технического обеспечения им. А.В. Хрулева*

В статье обоснованы технические инструменты решения актуальной задачи пропускной способности ремонтного органа в системе восстановления военной техники и раскрыты более подробно шаги определения достаточного количества ремонтных отделений, располагаемых на различных уровнях. При малом количестве отделений уровень пропускной способности ремонтного органа не позволит восстановить всю поступающую военную технику в течение очередного цикла накопления (сутки боевых действий), что приводит к возрастающей загрузке ремонтного органа. Ключевым направлением для оперативного принятия решения на ремонт поврежденных образцов военной техники является расчет необходимого количества ремонтных отделений для ремонта различных образцов военной техники, но также, в зависимости от их загрузки, определение места их размещения в ремонтном органе различных уровней.

**Ключевые слова:** пропускная способность, ремонтный орган, система, загрузка, военная техника.

The article substantiates the technical tools for solving the urgent problem of the capacity of the repair body in the military equipment restoration system and reveals in more detail the steps for determining a sufficient number of repair departments located at various levels. With a small number of departments, the level of capacity of the repair body will not allow restoring all incoming military equipment during the next accumulation cycle (day of hostilities), which leads to an increasing workload of the repair body. The key direction for the prompt decision-making on the repair of damaged samples of military equipment is the calculation of the required number of repair departments for the repair of various samples of military equipment, but also, depending on their workload, determining the location of their placement in the repair body of various levels.

**Keywords:** throughput, repair body, system, workload, military equipment.

Система восстановления военной техники имеет сложную пространственную структуру, основными элементами которой являются ремонтные отделения и подразделения. Существующая

система восстановления поврежденной военной техники предполагает передачу не восстанавливаемых в подразделениях образцов военной техники в вышестоящие ремонтные органы. В течение

ние временного интервала продолжительностью  $T$  на сборном пункте поврежденных машин накапливаются поврежденные образцы, подлежащие ремонту в ремонтном органе. По окончании рассматриваемого временного интервала осуществляется групповое транспортирование (передача в указанных районах) поврежденных образцов военной техники в ремонтный орган, где проводится их ремонт. После этого все образцы возвращаются в штатные части и подразделения. Наиболее важным показателем, определяющим пропускную способность ремонтного органа, является количество располагаемых в нем ремонтных отделений. При малом количестве отделений уровень пропускной способности ремонтного органа не позволит восстановить всю поступающую военную технику в течение очередного цикла накопления (сутки боевых действий), что приведет к возрастающей от цикла к циклу загрузке ремонтного органа. В таких условиях актуальной является задача определения достаточного количества ремонтных отделений, располагаемых на различных уровнях [1–4, 8–11].

Ниже представлена методика расчета требуемого количества разнотипных ремонтных отделений в ремонтном органе.

Предположим, что время функционирования образцов военной техники является случайной величиной с экспоненциальным распределением ( $\lambda_s, s = \overline{1, S}$  — интенсивность потока отказов образцов  $s$ -го типа,  $S$  — общее количество типов восстанавливаемых образцов).

Также имеется  $H$  типов ремонтных отделений. При этом  $M_h, h = \overline{1, H}$  — количество ремонтных отделений  $h$ -го типа, располагаемых ремонтных органов.

Условно определим, что номенклатура образцов военной техники, составляющих подгруппы, восстанавливаемых в каждом ремонтном органе, известна. При этом восстановление в вышестоящем ремонтном органе является однофазным, то есть образец полностью восстанавливается в одном ремонтном органе (*рем. взвод, рвб, орвб*), при необходимости ремонтными отделениями. Образцы одной группы являются однородными по восстановлению, то есть случайная величина — время восстановления в ремонтном органе образцов одной группы — имеет одинаковое распределение. Предположим,

что указанная случайная величина распределена экспоненциально с различной для разных подгрупп военной техники интенсивностью восстановления  $\mu_h, h = \overline{1, H}$ . Обозначим  $t_{3s}$  — продолжительность транспортирования (эвакуации) в вышестоящий ремонтный орган  $s$ -го образца находящегося в  $j$ -м ремонтном органе низшего звена (дивизион — *рвб, рвб-орвб*). Время пребывания в ремонтных органах группы всех поступивших образцов военной техники обозначим  $\tau$ .

Необходимо определить такие значения  $M_h^*, h = \overline{1, H}$ , которые с заданной вероятностью  $P_3$  обеспечивали бы восстановление группы всех поступивших в вышестоящий ремонтный орган отказавших образцов военной техники за время  $T$  к моменту поступления следующей группы (следующие сутки боевых действий):

$$P\{\tau < T\} = P_3. \quad (1)$$

После прихода группы образцов военной техники в *рвб (орвб)* она разбивается на подгруппы, которые обслуживаются независимо ремонтными отделениями соответствующих  $h$ -х типов. Тогда для вероятности  $P\{\tau < T\}$  имеем:

$$P\{\tau < T\} = P\left\{\bigwedge_{h=1}^H (\tau < T)\right\} = \prod_{h=1}^H P\{\tau_h < T\}, \quad (2)$$

где  $\tau_h$  — время восстановления подгруппы поступивших в вышестоящий ремонтный орган образцов  $h$ -х ремонтных отделений. С учетом выражения (2) неравенство (1) преобразуем к виду:

$$\prod_{h=1}^H P\{\tau_h < T\} \geq P_3,$$

которое заведомо выполняется, если

$$\forall h = \overline{1, H} : P\{\tau_h < T\} \geq P_3^{1/H}. \quad (3)$$

Таким образом, поставленная задача декомпозируется на ряд независимых задач определения количества ремонтных отделений одного типа исходя из условий (3). Поэтому для простоты рассуждений рассмотрим ремонтный орган одного типа, на котором восстанавливается вся номенклатура поступающих образцов военной техники.

Обозначим  $l_j, j = \overline{1, J}$  — количество образцов, поступающих в вышестоящий ремонтный

орган с  $j$ -го ремонтного органа в момент времени  $t_j$  (от начала нового цикла накопления);  $g_s, s = \overline{1, S}$  — количество образцов  $s$ -го типа, накопленных во всех ремонтных органах за время  $T$ ;  $R$  — общее количество образцов, накопленных за время  $T$  во всех ремонтных органах и поступающих в вышестоящий ремонтный орган;  $P_r$  — вероятность того, что размер поступившей группы отказавших образцов равен  $r = 0, 1, \dots, R$ ;  $\tau_r$  — время восстановления в ремонтном органе группы из  $r$  образцов;  $P_s^m(t), s \geq 0, 0 \leq m \leq s$  — вероятность того, что к моменту  $t$  в ремонтном отделении будет восстановлено ровно  $m$  образцов при условии, что в начальный момент времени их было ровно  $s$  и на отрезке  $(0, t)$  другие образцы не поступали.

С учетом введенных обозначений  $P_r$  определяется по формуле:

$$P_r = \sum_{g_1 + \dots + g_s = r} \prod_{s=1}^S \binom{n_s}{g_s} (1 - e^{-\lambda_s T})^{g_s} e^{-\lambda_s T(n_s - g_s)}, \quad (4)$$

где  $\binom{n_s}{g_s}$  — число сочетаний из  $n$  по  $g$

( $\forall n, g: n \geq 0, 0 \leq g \leq n$ ). Запись суммы в выражении (4) означает, что в нее включаются только те члены, для которых выполняется следующее условие:

$$\sum_{s=1}^S g_s = r.$$

Для расчета времени восстановления одного конкретного образца вооружения  $n_s = g_s = 1$ , введем понятие коэффициента эвакуации  $K_3$ , который позволит скорректировать при дальнейших расчетах необходимые производственные возможности ремонтных органов и на их основании определить уровень ремонтного органа, в котором будет осуществляться ремонт образца в установленные сроки.

С учетом выражения (4), значение коэффициента будет рассчитываться:

$$K_3 = (1 - e^{-T(1-\Delta T)})^{t_3},$$

где  $T$  — время, имеющееся для восстановления образца военной техники;

$\Delta T$  — время за период восстановления, затрачиваемое на ожидание эвакуации;

$t_3$  — продолжительность эвакуации до ремонтного органа.

Используя формулу полной вероятности (2), для  $P\{\tau < T\}$  получим выражение:

$$P\{\tau < T\} = \sum_{r=1}^R P_r P\{\tau_r < T\}.$$

При этом  $P\{\tau < T\}$  находим по формуле:

$$P\{\tau < T\} = \sum_{l_1 + \dots + l_j = r} \left( \sum_{m_1=0}^{S_1} P_{S_1}^{m_1}(a_1) \sum_{m_2=0}^{S_2} P_{S_2}^{m_2}(a_2) \times \dots \times \right. \\ \left. \times \sum_{m_{j-1}=0}^{S_{j-1}} P_{S_{j-1}}^{m_{j-1}}(a_{j-1}) P_{S_j}^{m_j}(a_j) \right),$$

где для сокращения записи приняты следующие обозначения:

$$a_1 = t_j; a_j = t_j - t_{j-1}, j = \overline{2, J-1};$$

$$a_j = T - t_j; S_1 = l_1; S_j = \sum_{i=1}^j l_i - \sum_{i=1}^{j-1} m_i, j = \overline{2, J}.$$

Таким образом, для вычисления вероятности  $P\{\tau < T\}$  необходимо определять  $P_s^m(t)$  для различных значений  $s$  и  $m$ .

Рассмотрим следующие варианты:

1.  $s \leq m$ . В этом случае все  $s$  имеющихся в ремонтном органе поврежденных образцов военной техники поступает на обслуживание:

$$P_s^m(t) = \binom{s}{m} (1 - e^{-\mu t})^m e^{-\mu t(s-m)}.$$

2.  $S > M$ . При таком варианте все ремонтные отделения остаются занятыми до тех пор, пока не будут восстановлены поврежденные образцы  $V = S - M$ . Поток восстановлений является пуассоновским с интенсивностью  $\mu M$ , а  $P_s^m(t)$  определяется по формуле [5, 6]:

$$P_s^m(t) = \frac{(\mu M t)^m}{m!} e^{-\mu M t}.$$

Если  $m > S - M$ , то для функции распределения момента окончания восстановления  $V$ -й составляющей образца имеем:

$$F_v(t) = P\{\tau_v < t\} = \sum_{i=V}^{+\infty} \frac{(\mu M t)^i}{i!} e^{-\mu M t},$$

а функция плотности распределения указанного момента определяется следующим образом:

Список источников

$$f_v(t) = \frac{\partial F_v(t)}{\partial t} = \frac{(\mu M)^v}{(V-1)!} t^{(V-1)} e^{-\mu M t}.$$

Дифференциал  $\partial P_s^m(x)$  записывается исходя из того, что к моменту  $x$  будет восстановлено  $V = S - M$  поврежденных образцов, а за время  $(t - x)$  — оставшиеся  $m - V$  образцов.

$$\partial P_s^m(x) = \frac{(\mu M)^V}{(V-1)!} x^{V-1} e^{-\mu M x} \partial x (1 - e^{-\mu(t-x)})^{(m-V)} \times e^{-\mu(t-x)(s-m)}.$$

Тогда для  $P_s^m(t)$  окончательно имеем:

$$P_s^m(t) = \int_0^t \frac{(\mu M)^V}{(V-1)!} x^{V-1} e^{-\mu M x} (1 - e^{-\mu(t-x)})^{(m-V)} \times e^{-\mu(t-x)(s-m)} \partial x. \quad (5)$$

Таким образом, для каждого заданного  $M$  с использованием выражений (3), (5) определяется значение вероятности  $P\{\tau < t\}$ .

Задача решается при последовательном вычислении достаточного количества ремонтных отделений  $h$ -го типа  $M_h^*$  для  $h = 1, H$ . При этом каждое  $M_h^*$  определяется как минимальное из тех значений  $M_h$ , для которых выполняется условие (3):

$$M_h^* = \min(M_h = 1, 2, \dots / P\{\tau_s < T\} \geq P_s^{V/H}).$$

Данная методика позволяет рассчитать не только необходимое количество ремонтных отделений для ремонта различных образцов военной техники, но также в зависимости от их загруженности определить место их размещения в ремонтном органе различных уровней. Применяв количественное значение  $P_r$ , в дальнейшем при расчете производственных возможностей используется как коэффициент увеличения напряженности работы ремонтного органа и соответственно определяется место проведения ремонта образца.

Применение данной методики с использованием ПЭВМ позволит оперативно принимать решение на ремонт поврежденных образцов военной техники в ремонтном органе различных уровней, а также обосновывать состав выездных ремонтных групп для восстановления комплексов образцов военной техники, с известными трудоемкостями проводимых работ [8–11].

1. Бабенков В.И., Гасюк Д.П., Дубовский В.А. Метод оценивания рисков на этапах жизненного цикла образцов вооружения и военной техники // Вооружение и экономика. 2020. № 3 (53). С. 59–66.

2. Бабенков В.И., Романчиков С.А. Направления повышения эксплуатационно-технических характеристик технических средств материально-технического обеспечения воинских подразделений в Арктической зоне // Научный вестник Вольского военного института материального обеспечения. 2019. № 3 (51). С. 16–19.

3. Бабенков В.И. Военно-экономическое обоснование показателей Государственной программы вооружения по созданию инновационных технических средств служб материально-технического обеспечения / Научные проблемы материально-технического обеспечения ВС РФ: сб. науч. тр. СПб.: ВАМТО. 2020. № 2 (16). С. 7–16.

4. Буланов С.В., Бабенков В.И. Метод оценки ремонтпригодности теплогенерирующих устройств технических средств продовольственной службы / Комплексы и системы военного назначения: сб. науч. статей по материалам межведомственной научно-практической конференции (18 ноября 2022 г.). Пермь: ПВИ войск национальной гвардии, 2022. С. 9–14.

5. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. М.: Наука, 1980. 208 с.

6. Выводы из оценки возможного масштаба и характера действий воздушного противника по войскам и объектам МВО. М.: Управление войсковой ПВО МВО. 2002. 24 с.

7. Гаврилов А.Д. Проблемы управления огнем зенитных формирований войсковой ПВО и методология их решения на базе использования технологии искусственного интеллекта: монография. Смоленск: Воен. университет войск ПВО, 2002. 146 с.

8. Горбачев Д.В. Обоснование технологии ремонта изделий боевых средств ЗРС фронтового звена за счет оптимизации структуры системы ТО и ремонта: дис. канд. техн. наук: 20.02.17. СПб.: СПбВЗРКУ, 1997. 216 с.

9. Гусев А.Б. Военно-экономическое обоснование целесообразности совершенствования системы восстановления вооружения и военной

техники. Смоленск: Военная академия войск ПВО, 2007. 12 с.

10. Гусев А.Б. О некоторых недостатках моделирования процесса функционирования системы ремонта вооружения // Современные проблемы спец. и техн. обеспечения РВиА в операции: сб. материалов науч. тр. межвуз. науч.-техн. семинара. СПб., МВАА, 2006. С. 194–195.

11. Гусев А.Б. О подходе к моделированию процесса функционирования системы ремонта вооружения // Современные проблемы спец. и техн. обеспечения РВиА в операции: сб. материалов науч. тр. межвуз. науч.-техн. семинара СПб., МВАА, 2006. С. 166–197.

### References

1. Babenkov V.I., Gasyuk D.P., Dubovsky V.A. Method of risk assessment at the stages of the life cycle of weapons and military equipment // *Arms and Economy*, 2020. No 3 (53). Pp. 59–66.

2. Babenkov V.I., Romanchikov S.A. Directions for improving the operational and technical characteristics of technical means of material and technical support of military units in the Arctic zone // *Scientific Bulletin of the Volsk Military Institute of Material Support*. 2019. No 3 (51). Pp. 16–19.

3. Babenkov V.I. Military-economic substantiation of the indicators of the State armament program for the creation of innovative technical means of material and technical support services. SPb.: VAMTO, Collection of scientific papers «Scientific problems of material and technical support of the RF Armed Forces». 2020. No 2 (16). Pp. 7–16.

4. Bulanov S.V., Babenkov V.I. Method for assessing the maintainability of heat-generating devices of technical means of the food service // *Military complexes and systems: a collection of scientific articles based on the materials of the inter-departmental scientific and practical conference (November 18, 2022)*. Perm: PVI of the National Guard Troops, 2022. Pp. 9–14.

5. Ventzel E.S. *Operations Research: Objectives, Principles, Methodology*. Moscow: Nauka, 1980. 208 p.

6. *Conclusions from the Assessment of the Possible Scale and Nature of Actions of an Air Enemy Against Troops and Facilities of the Moscow Military District*. Moscow: Air Defense Directorate of the Moscow Military District. 2002. 24 p.

7. Gavrilov A.D. *Problems of Fire Control of Anti-Aircraft Formations of the Air Defense Forces and the Methodology of Their Solution Based on the Use of Artificial Intelligence Technology: monograph*. Smolensk, Military University of the Air Defense Forces of the Russian Federation, 2002. 146 p.

8. Gorbachev D.V. *Justification of the Technology for Repairing Front-Echelon Air Defense Missile Systems by Optimizing the Structure of the Maintenance and Repair System: Dis. Candidate of Technical Sciences: 20.02.17*. SPb.: SPbVZRKU, 1997. 216 p.

9. Gusev A.B. *Military-economic substantiation of the feasibility of improving the system for the restoration of weapons and military equipment*. Smolensk: Military Academy of the VPVO of the RF Armed Forces, 2007. 12 p.

10. Gusev A.B. *On some shortcomings of modeling the functioning of the weapons repair system // Modern problems of special. and technical support of missile and artillery in operations: collection of materials of scientific. Works of the inter-university scientific and technical seminar. Mikhailovskaya Military Art. Academy of SPb.*, 2006. Pp. 194–195.

11. Gusev A.B. *On the approach to modeling the functioning of the weapons repair system // Modern problems of special and technical. Providing Missile Forces and Artillery in Operations: Collection of Materials of Scientific Works of the Inter-University Scientific and Technical Seminar. Mikhailovskaya Military Art. Academy of SPb., MVAА, 2006. Pp. 166–197.*