

УДК 623.1/.7

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОРУЖИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

¹Бубнов Н.А., ²Лазарев С.В., ²Трифонов Г.И., ²Янин А.Н.

¹Военная академия материально-технического обеспечения, Санкт-Петербург;

²Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж, e-mail: grishakip@yandex.ru

В статье представлена разработанная имитационная модель прогнозирования объема выхода оружия и военной техники из строя из-за эксплуатационных неисправностей. Целью предлагаемой модели является определение объема выхода военной техники отдельной мотострелковой бригады из строя и распределение ее по трудоемкости. При этом величина трудозатрат на ремонт будет зависеть от типов и марок оружия и военной техники, условий их эксплуатации, видов боевых повреждений. В условиях ускоренного ремонта в ходе ведения боевых действий объем ремонтно-эвакуационного фонда будет зависеть от возможностей ремонтно-восстановительного органа. Поэтому для вывода показателей потребности в эвакуации были учтены объемы восстановленных оружия и военной техники в каждом звене восстановления. Определены величины трудоемкости ремонта оружия и военной техники, в которых прогнозируется объем ремфонда. Исходя из проведенного научно-аналитического исследования, имитационная модель состоит из блоков: формирования входных данных; оценка режима эксплуатации и установление расхода ресурса; прогнозирование количества текущих ремонтов; прогнозирование общего количества текущих ремонтов; прогнозирование количества средних ремонтов; прогнозирование общего количества средних ремонтов; прогнозирование количества капитальных ремонтов; прогнозирование общего количества капитальных ремонтов и т.д.

Ключевые слова: восстановление, ремонт, военная техника, моторесурс, прогнозирование, ресурс

SIMULATION OF PROCESSES OF RECONSTRUCTION OF WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT

¹Bubnov N.A., ²Lazarev S.V., ²Trifonov G.I., ²Yanin A.N.

¹Military Academy of Logistics, St. Petersburg;

²Military training and research center of the Air force «Air force academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin», Voronezh, e-mail: grishakip@yandex.ru

The article presents the developed simulation model for predicting the volume of weapons and military equipment failure due to operational faults. The purpose of the proposed model is to determine the volume of the output of military equipment of a separate motorized rifle brigade out of order and its distribution in labor input. At the same time, the amount of labor for repairs will depend on the types and brands of weapons and military equipment, the conditions of their operation, the types of combat damage. In the conditions of accelerated repair in the course of combat operations, the volume of the repair and evacuation Fund will depend on the capabilities of the repair and restoration body. Therefore, for the withdrawal of indicators of the need for evacuation, the volumes of restored weapons and military equipment in each link of the recovery were taken into account. The values of labor intensities of repair of arms and military equipment in which the volume of remfond is predicted are determined. Based on the conducted scientific and analytical research, the simulation model consists of the following blocks: formation of input data; assessment of operation mode and determination of resource consumption; forecasting the number of current repairs; forecasting the total number of current repairs; forecasting the number of average repairs; forecasting the total number of average repairs; forecasting the number of major repairs; forecasting the total number of major repairs, etc.

Keywords: restoration, repair, military equipment, motor resource, forecasting, resource

Процесс выхода оружия и военной техники (ВВТ) из строя, как подтверждают исследования, носит стохастичный характер и зависит от различных факторов.

Потребность в восстановлении поврежденных ВВТ зависит от объема их вероятных потерь, распределения этих потерь по степени повреждений, возможностей ремонтно-восстановительного органа (РВО) по восстановлению, в то же время совершенствование процесса восстановления ВВТ может осуществляться только на основе достоверных данных о потребности в восстановлении в каждом звене [1–3].

В настоящее время существует метод вывода нормативов по восстановлению ВВТ, сущность которого заключается в следующем: определяются выход ВВТ из строя и производственные возможности РВО; берется средняя трудоемкость текущего и среднего ремонта (ТР) и (СР) ВВТ; вычисляются возможности по ремонту ВВТ на местах выхода их из строя и в соответствующих РВО; ВВТ, невозможные для восстановления на местах выхода из строя и в соответствующих РВО, подлежащие эвакуации.

Такой подход к определению нормативов, как показали исследования [4], являет-

ся приближённым и не соответствует действительному состоянию ВВТ, подлежащих восстановлению. Это несоответствие вызвано завышенной средней трудоемкостью ремонта ВВТ и заниженной производственной возможностью РВО. Так, в качестве норматива при текущем ремонте военной автомобильной техники (ВАТ) в бригаде трудоемкость одного условного ремонта принята 25 (чел. ч.), а бронетанкового вооружения и техники (БРВТ) 35 (чел. ч.) [4, 5]. Но при решении конкретных вопросов организации восстановления ВВТ приходится иметь дело не с условным, а с реальным ремонтом, требующим определённых трудозатрат. Это вызывает необходимость применять модель, основанную на прогнозировании качественного состава текущих и средних ремонтов с определёнными величинами трудозатрат и количественным распределением их в общей совокупности ремонтов по звеньям восстановления.

Материалы и методы исследования

Целью предлагаемой модели является определение объема выхода ВВТ отдельной мотострелковой бригады (омсбр) из строя и распределение ее по трудоемкости в каждом звене. Величина трудозатрат на ремонт будет зависеть от типов и марок ВВТ, условий их использования, видов эксплуатационных и бое-

вых повреждений. В условиях ускоренного ремонта поврежденных ВВТ в ходе ведения боевых действий объем ремонтно-эвакуационного фонда будет зависеть от возможностей РВО по их восстановлению. Поэтому для вывода показателей потребности в эвакуации необходимо знать объемы восстановленных ВВТ в каждом звене восстановления.

Возможное распределение вышедших из строя ВВТ по видам ремонта в данной работе проводится на основе прогнозирования количества ВВТ, вышедших из строя от эксплуатационных причин и боевых повреждений. Для расчета выхода ВВТ из строя от эксплуатационных причин производится расчет расхода моторесурсов, затем определяется количество ВВТ вышедших из строя, по видам ремонта и в безвозвратные потери (рис. 1).

Суточный расход моторесурсов B_{ce} на одну списочную единицу ВВТ бригады может быть определен по зависимости

$$B_{ce} = R_{бз} L_M, \quad (1)$$

где $R_{бз}$ – глубина боевой задачи (темп продвижения) (км); L_M – коэффициент маневра.

Прогнозирование расхода моторесурсов на весь списочный состав ВВТ j -й марки омсбр $B_{бр}$ можно провести по зависимости

$$B_{бр} = \sum_{j=1}^n N_{cj} B_{cej} D, \quad (2)$$

где N_{cj} – списочное количество ВВТ j -й марки омсбр; D – продолжительность боевых действий (сутки).

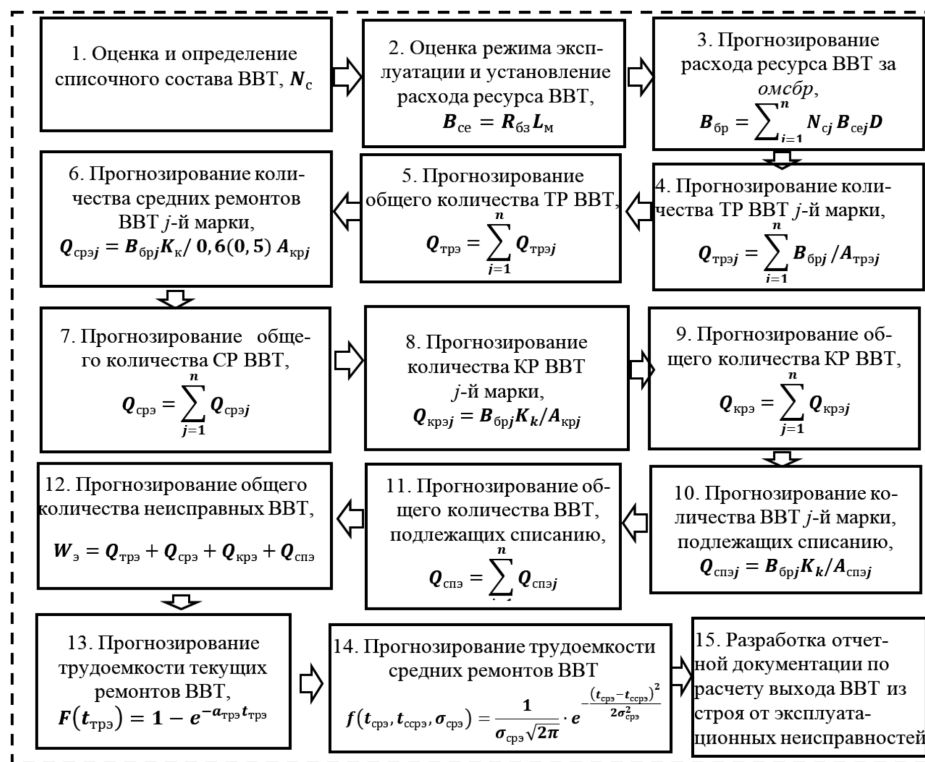


Рис. 1. Структурно-логическая схема модели прогнозирования объема выхода ВВТ из строя от эксплуатационных неисправностей (расчет по моторесурсам)

Количество ВВТ j -й марки, вышедших из строя в ТР ($Q_{\text{трг}j}$) от эксплуатации, целесообразно определять в зависимости от трудозатрат на условный текущий ремонт:

$$Q_{\text{трг}j} = \sum_{j=1}^n B_{\text{брг}j} / A_{\text{трг}j}, \quad (3)$$

где $B_{\text{брг}j}$ – расход моторесурса ВВТ j -й марки за весь период эксплуатации; $A_{\text{трг}j}$ – амортизационный пробег (наработка) ВВТ j -й марки до ТР.

Общее количество ВВТ, вышедших из строя в ТР от эксплуатационных неисправностей $Q_{\text{трг}}$, определяется по зависимости

$$Q_{\text{трг}} = \sum_{j=1}^n Q_{\text{трг}j}. \quad (4)$$

Исследованиями установлено, что распределение трудоемкости ТР, вышедших из строя от эксплуатационных неисправностей, в зависимости от трудозатрат совпадает с показательным законом распределения [6–8]:

$$Q_{\text{трг}(y,y+m)} = \sum_{i=1}^n f(t_{\text{трг}}) W_{\text{нр}}, \quad (5)$$

где $Q_{\text{трг}(y,y+m)}$ – количество ТР с трудозатратами от y до $y+m$; $t_{\text{трг}}$ – отношение количества ТР в заданном интервале трудозатрат (чел. ч.); $W_{\text{нр}}$ – общее количество неисправных ВВТ (от эксплуатации).

Тогда функция плотности распределения случайной величины [9] (трудоемкости) ТР ВВТ будет иметь вид

$$f(t_{\text{трг}}) = \begin{cases} a_{\text{трг}} e^{-a_{\text{трг}} t_{\text{трг}}} & t_{\text{трг}} \geq 0 \\ 0 & t_{\text{трг}} = 0 \end{cases} \quad (6)$$

где $a_{\text{трг}}$ – величина обратная среднему значению трудозатрат на ТР ВВТ.

$$a_{\text{трг}} = \frac{1}{t_{\text{стр}}}, \quad (7)$$

где $t_{\text{стр}}$ – средняя трудоемкость ТР ВВТ (чел. ч.).

Вероятность распределения трудоемкости ТР ВВТ от эксплуатации будет иметь вид

$$F(t_{\text{трг}}) = 1 - e^{-a_{\text{трг}} t_{\text{трг}}}. \quad (8)$$

Анализ расчетов распределения трудоемкостей ТР в общей совокупности [6–8] показал, что при средней трудоемкости ТР ВВТ 25 (чел. ч.) и максимальной 70 (чел. ч.) до 50 % ВВТ будут требовать ТР в объеме от 5 до 20 (чел. ч.), при этом около 20 % будут ВВТ с трудоемкостью 20–30 (чел. ч.) и 25 % ВВТ с трудоемкостью свыше 30 (чел. ч.).

Результаты распределения ТР по трудоемкости используются для планирования восстановления ВВТ.

Для определения выхода ВВТ в СР принимается условие, что за межремонтный пробег до капитального ремонта (КР) производится один СР при пробеге 60 % нормы пробега до КР для новых и 50 % для ВВТ, прошедших его.

Исходя из этого условия количество СР одной единицы ВВТ j -й марки от эксплуатации ($Q_{\text{ср}j}$) определяем как

$$Q_{\text{ср}j} = \frac{B_{\text{брг}j} K_{\text{к}}}{0,6 A_{\text{кр}j}} \text{ или } Q_{\text{ср}j} = \frac{B_{\text{брг}j} K_{\text{к}}}{0,5 A_{\text{кр}j}}, \quad (9)$$

где $K_{\text{к}}$ – коэффициент корректировки; $A_{\text{кр}j}$ – норма пробега ВВТ j -й марки до КР (км).

Значение коэффициента корректирования определяется как

$$K_{\text{к}} = K_{\text{ду}} K_{\text{пк}} K_{\text{т}}, \quad (10)$$

где $K_{\text{ду}}$ – коэффициент, характеризующий дорожные условия эксплуатации и учитывающий рельеф местности, дорожное покрытие, условия движения, его значения находятся в пределах от 0,6 до 1,0; $K_{\text{пк}}$ – коэффициент, учитывающий природно-климатические условия, его значения находятся в пределах от 0,7 до 1,0; $K_{\text{т}}$ – коэффициент, учитывающий тип ВВТ и характер их использования (интенсивность, нагруженность), его значения находятся в пределах от 0,6 до 1.

Тогда общее количество ВВТ, вышедших в СР от эксплуатации ($Q_{\text{ср}}$), будет равно

$$Q_{\text{ср}} = \sum_{j=1}^n Q_{\text{ср}j}. \quad (11)$$

Для конкретной постановки задачи РВО *омсбр*, в целях наиболее полной реализации их производственных возможностей, важно знать распределение СР ВВТ по трудоемкости. Анализ исследований [6–8] установил, что плотность распределения трудоемкостей среднего ремонта $f(t_{\text{ср}}, t_{\text{ср}}, \sigma_{\text{ср}})$ может быть определена согласно нормальному закону распределения случайных величин:

$$f(t_{\text{ср}}, t_{\text{ср}}, \sigma_{\text{ср}}) = \frac{1}{\sigma_{\text{ср}} \sqrt{2\pi}} \times e^{-\frac{(t_{\text{ср}} - t_{\text{ср}})^2}{2\sigma_{\text{ср}}^2}}, \quad (12)$$

где $t_{\text{ср}}$ – случайное значение трудоемкости СР (чел. ч.); $t_{\text{ср}}$ – среднее значение трудоемкости СР (чел. ч.); $\sigma_{\text{ср}}$ – среднеквадратическое отклонение трудоемкости СР (чел. ч.).

Распределение трудозатрат на СР ВВТ в этом случае неравномерное.

По продолжительности ремонта объем ВВТ, требующих СР распределен по закону Рэлея [10], функция которого представлена зависимостью

$$f(t_{\text{ср}}) = 2\lambda_{\text{ср}}^2 t_{\text{ср}} e^{-\lambda_{\text{ср}}^2 t_{\text{ср}}^2}, \quad (13)$$

где $t_{\text{ср}}$ – математическое ожидание случайной величины длительности производственного цикла СР ВВТ (час); $\lambda_{\text{ср}}$ – интенсивность СР ВВТ (ед./час).

Результаты исследования и их обсуждение

В результате проведенных исследований установлен нормальный закон распределения трудоемкости СР ВВТ с математическим ожиданием 85 (чел. ч.) и среднеквадратичным отклонением, при этом трудозатраты на СР не превышают 150 (чел. ч.).

Выход ВВТ в КР определяется на основе того, что за срок службы образец ВВТ может подвергаться двум средним и одному капитальному ремонту, исключая текущие. В этом случае количество КР одной единицы ВВТ j -й марки от эксплуатации определяем как

$$Q_{\text{кр}j} = \frac{B_{\text{брг}j} K_{\text{к}}}{A_{\text{кр}j}}. \quad (14)$$

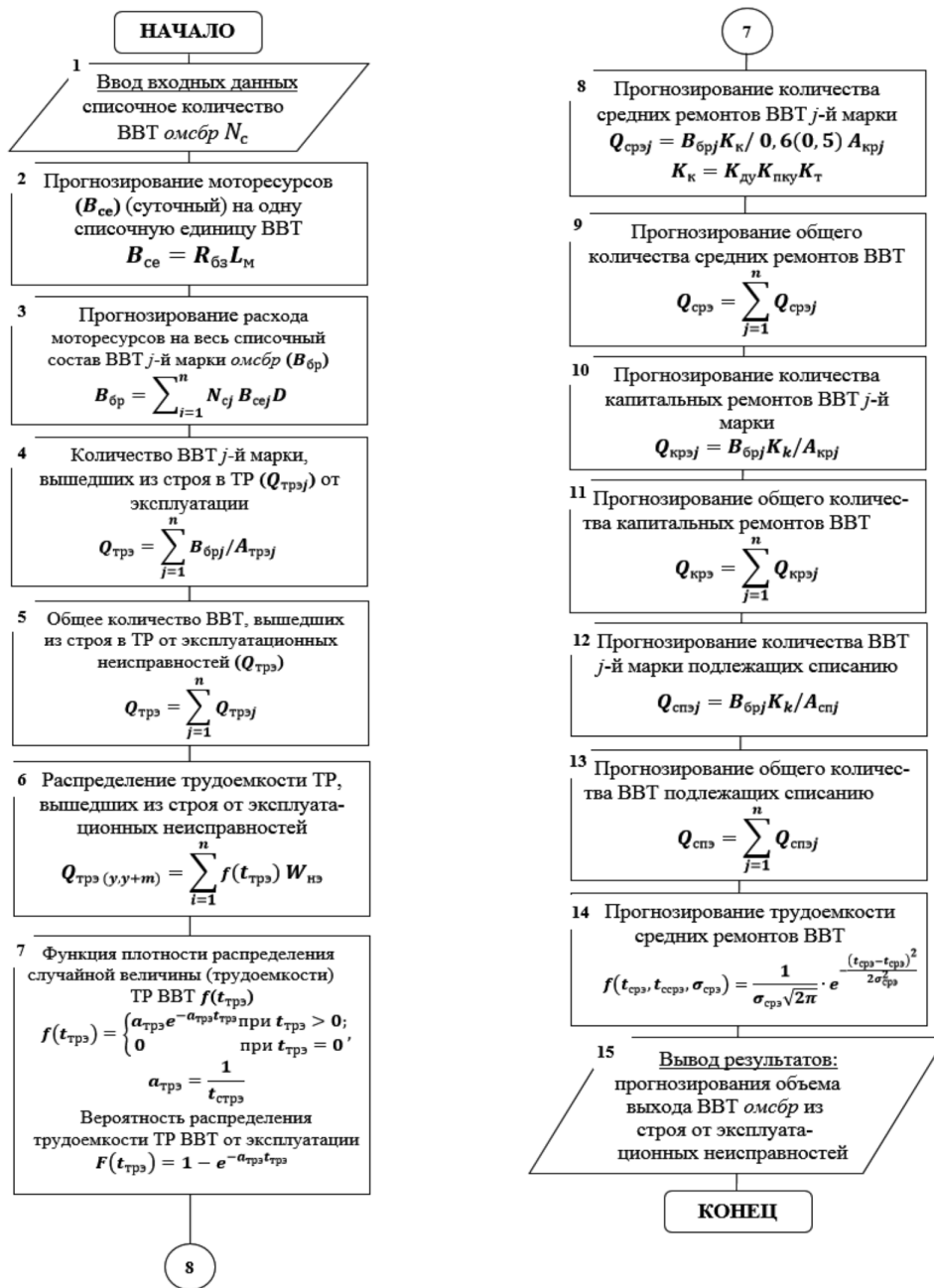


Рис. 2. Имитационная модель прогнозирования объема выхода ВВТ из строя от эксплуатационных неисправностей (расчет по моторесурсам)

Затем определяем общее число ВВТ, вышедших в КР от эксплуатации, которое будет равно

$$Q_{крэ} = \sum_{j=1}^n Q_{крэj}. \quad (15)$$

Для завершения расчетов определяем количество ВВТ j -й марки, подлежащих списанию, выход которых определяется исходя из ресурсов, определенных для каждо-

го типа ВВТ, и может определяться по зависимости

$$Q_{спэj} = \frac{B_{брj} K_K}{A_{спэj}}. \quad (16)$$

Количество ВВТ $омсбр$, подлежащих списанию, определяется по зависимости

$$Q_{спэ} = \sum_{j=1}^n Q_{спэj}. \quad (17)$$

В целом за *омсбр* общее количество неисправных ВВТ, вышедших из строя от эксплуатационных причин, будет определяться как сумма неисправных ВВТ по видам ремонта и списания:

$$W_{\text{нз}} = Q_{\text{трз}} + Q_{\text{срз}} + Q_{\text{крз}} + Q_{\text{спз}}. \quad (18)$$

Выводы

Исходя из разработанной структурно-логической схемы, имитационная модель (рис. 2) включает пятнадцать основных блоков: формирование входных данных ($N_{\text{с}}$); оценка режима эксплуатации и установление расхода ресурса ВВТ ($B_{\text{се}}$); прогнозирование количества текущих ремонтов ВВТ j -й марки ($Q_{\text{трз}j}$); прогнозирование общего количества текущих ремонтов ВВТ ($Q_{\text{трз}}$); прогнозирование количества средних ремонтов ВВТ j -й марки ($Q_{\text{срз}j}$); прогнозирование общего количества средних ремонтов ВВТ ($Q_{\text{срз}}$); прогнозирование количества капитальных ремонтов ВВТ j -й марки ($Q_{\text{крз}j}$); прогнозирование общего количества капитальных ремонтов ВВТ ($Q_{\text{крз}}$); прогнозирование количества ВВТ j -й марки, подлежащих списанию ($Q_{\text{спз}j}$); прогнозирование общего количества ВВТ, подлежащих списанию ($Q_{\text{спз}}$); прогнозирование общего количества неисправных ВВТ ($W_{\text{нз}}$); прогнозирование трудоемкости текущих ремонтов ВВТ $F(t_{\text{трз}})$; прогнозирование трудоемкости

средних ремонтов ВВТ $f(t_{\text{срз}}, t_{\text{срз}}, \sigma_{\text{срз}})$; вывод результатов.

Список литературы

1. Буравлев А.И., Пьянков А.А. Управление техническим обеспечением жизненного цикла вооружения и военной техники. М.: Граница, 2015. 304 с.
2. Трифонов Г.И., Жачкин С.Ю., Лазарев С.В. Исследование подъемных механизмов средств наземного обслуживания общего применения и прогнозирование их износа // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2018. № 7. С. 102–109.
3. Еличев К.А., Пинт Э.М., Козицын В.С. Состояние и перспективы развития автомобильной техники // Молодой ученый. 2015. № 4. С. 166–169.
4. Безопасность России – 2015: экспертно-аналитическое обозрение. М.: Фонд «Наука–XXI», 2014. С. 35–49.
5. Пьянков А.А., Белозеров М.С. Проблемные вопросы планирования и реализации мероприятий технического обеспечения Вооруженных сил Российской Федерации в рамках государственной программы вооружения и пути их решения // Вооружение и экономика. 2016. № 4. С. 57–69.
6. Лашков Н.Г. Методы повышения эффективности системы ВВТ группировки внутренних войск: дис. ... канд. воен. наук. Ленинград: ВАТТ, 1997. 348 с.
7. Демьянов В.А. Моделирование и способы повышения эффективности функционирования системы автотехнического обеспечения армейского корпуса в оборонительной операции. дис. ... канд. воен. наук. Санкт-Петербург: ВАТТ, 1973. 147 с.
8. Кузнецов Д.В. Методы повышения эффективности эвакуации техники группировки войск оперативного командования в ходе операции. дис. ... канд. воен. наук. Санкт-Петербург: ВАМТО, 2011. 123 с.
9. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. Изд.: Астрель, 2010. 992 с.
10. Просветов Г.И. Линейная алгебра и аналитическая геометрия: задачи и решения. М.: Альфа-Пресс, 2009. 208 с.