УДК 623.41:656.087

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ЭВАКУАЦИИ ПОВРЕЖДЕННЫХ ОБРАЗЦОВ ВООРУЖЕНИЯ

Захаров И. Я., кандидат технических наук, доцент;

Козловский А. Е., доцент;

Мокринский В. В., доцент

Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь», г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Рассмотрен подход к оценке эффективности функционирования подразделений, предназначенных для эвакуации поврежденных (неработоспособных) образцов вооружения. Для оценки предлагается математическая модель, построенная с использованием аппарата теории массового обслуживания.

Ключевые слова: образец вооружения, повреждение, эвакуация, математическая модель, система массового обслуживания.

Abstract. The approach to assessing the effectiveness of the functioning of units designed to evacuate damaged (inoperable) armaments is considered. A mathematical model built using the apparatus of mass service theory is proposed for evaluation.

Keywords: weapons sample, damage, evacuation, mathematical model, mass service system.

Анализ военных конфликтов и локальных войн последних десятилетий свидетельствует о том, что успешное выполнение задачи по эвакуации поврежденных (неработоспособных) образцов вооружения будет способствовать более быстрому возращению их в строй [1–3].

Цель функционирования подразделений эвакуации заключается в своевременном выведении из-под огня противника

максимального количества поврежденных (неработоспособных) образцов вооружения. Образец вооружения с момента выхода из строя и до момента начала его транспортирования (буксирования) может находиться под огневым воздействием противника. Это приводит к значительному увеличению трудоемкости ремонта или полному уничтожению образца вооружения. Кроме того, потери восстанавливаемого вооружения могут быть увеличены перемещением линии обороны. В этом случае несвоевременность приводит к захвату неработоспособных образцов вооружения противником, т.е. к безвозвратным потерям.

Для оценки качества функционирования подразделений эвакуации определим показатели эффективности их функционирования. Доминирующее положение в целевом назначении функционирования подразделений эвакуации занимают скорость и полнота эвакуации. Поэтому в качестве меры целевого назначения (меры эффективности) функционирования подразделений эвакуации примем показатели:

– среднее время эвакуации поврежденных образцов вооружения $T_э$;

– математическое ожидание количества образцов вооружения, потерянных (захваченных противником) в результате несвоевременной эвакуации их подразделениями $M[N_п]$;

– математическое ожидание количества эвакуированных образцов вооружения $M[N_э]$.

Эти показатели могут позволить оценить эффективность функционирования подразделений эвакуации, сравнить различные варианты ее организации, выбрать оптимальные. В качестве основы для расчета показателей эффективности предлагается использовать математическую модель функционирования подразделений эвакуации.

Для построения математической модели был использован аппарат теории массового обслуживания [4]. Поэтому вначале описаны свойства входного потока событий и характеристики обслуживания.

Входной поток представляет собой последовательность поступления заявок для эвакуации поврежденных (неработоспособных) образцов вооружения с поля боя. Моменты поступления заявок – это моменты принятия решения об эвакуации неработоспособных образцов вооружения. Эти моменты отличны от моментов обнаружения выхода их из строя на величину интервала времени, необходимого для технической разведки и выработки решения о способе транспортирования.

Рассматриваемая система массового обслуживания (СМО) имеет n каналов. Количество каналов соответствует количеству средств, выполняющих задачи эвакуации. Заявка поступает на обслуживание сразу, если в СМО имеются свободные каналы. Если свободных каналов нет, то заявка (неработоспособный образец вооружения) ожидает обслуживания в очереди с неограниченным количеством мест. Время нахождения заявки в очереди ограничено некоторым случайным интервалом времени со средним значением $t_{оч}$. Если длительность ожидания превзошла эту величину, заявка покидает СМО необслуженной, т.е. неработоспособный образец вооружения из продолжительного ожидания эвакуации переходит в разряд безвозвратных потерь по причине повторного огневого поражения или смещения линии обороны и захвата противником. Таким образом, на заявку, находящуюся в очереди, воздействует «поток уходов» с интенсивностью

$$v = \frac{1}{t_{оч}}.$$

Длительность обслуживания каждого требования – случайная величина.

За начало обслуживания принимается момент поступления заявки t_0, если имеется хотя бы один свободный канал подразделения эвакуации. Окончание обслуживания происходит в момент возвращения эвакуационного средства в исходное положение. Если же в момент поступления заявки все каналы (средства эвакуации) эвакуационного подразделения заняты, то длительность ее обслуживания увеличивается на продолжительность времени нахождения в очереди. Обслуживание поступающих требований осуществляется в порядке поступления.

Исходные предпосылки и допущения, при которых разрабатывается математическая модель функционирования подразделений эвакуации. Рядом авторов [5, 6] высказывается предположение, что экспоненциальное распределение случайной величины времени обслуживания, например, в случае восстановления работоспособности поврежденной техники, характерно только для высококвалифицированных специалистов, что не всегда может быть реализовано на практике. Об этом свидетельствуют имеющиеся опыт эвакуации поврежденного вооружения и статистические данные времени, затрачиваемого при эвакуации некоторых ее образцов. Потоки восстановления, протекающие в таких системах, с достаточной степенью точности аппроксимируются потоками Эрланга 2-го порядка [7]. Пусть на вход рассматриваемой СМО поступает простейший поток требований с интенсивностью λ. Длительность обслуживания заявок имеет распределение по закону Эрланга 2-го порядка с параметром

$$\mu = \frac{1}{M[\tau_{\text{обс}}]},$$

где $M[\tau_{\text{обс}}]$ – математическое ожидание величины интервала обслуживания.

При этом производительность всех каналов считается одинаковой. Будем считать, что длительность пребывания требований в очереди также случайная величина, имеющая экспоненциальный закон распределения и не зависящая от других факторов, например, от количества образцов, находящихся в очереди, времени пребывания в очереди других образцов и т. п. Неисправные образцы вооружения, являющиеся предметом функционирования эвакуационных подразделений, считаются равнозначными и не имеющими приоритетов в обслуживании. Для сделанных допущений протекающие в СМО процессы будут пуассоновскими.

Рассмотренная СМО относится к классу многоканальных с ограниченным временем ожидания [8], граф состояний и переходов которой представлен на рисунке 1.

Пронумеруем состояния СМО по числу требований, связанных с системой, как обслуживаемых, так и находящихся в очереди:

S_0 – эвакуационное подразделение свободно;

S_1 – одно средство эвакуации эвакуирует дин образец вооружения, остальные свободны;

– два средства эвакуации эвакуируют два образца вооружения, остальные свободны;

S_n – n средств эвакуации эвакуируют n образцов вооружения, очереди нет;

S_{n+1} – n средств эвакуации эвакуируют n образцов вооружения, одно требование стоит в очереди;

S_{n+r} – заняты все n средств эвакуации, r требований ожидает обслуживания в очереди, которую они могут покинуть с интенсивностью ν, не поступая на обслуживание, за счет ограничения на время пребывания в очереди.

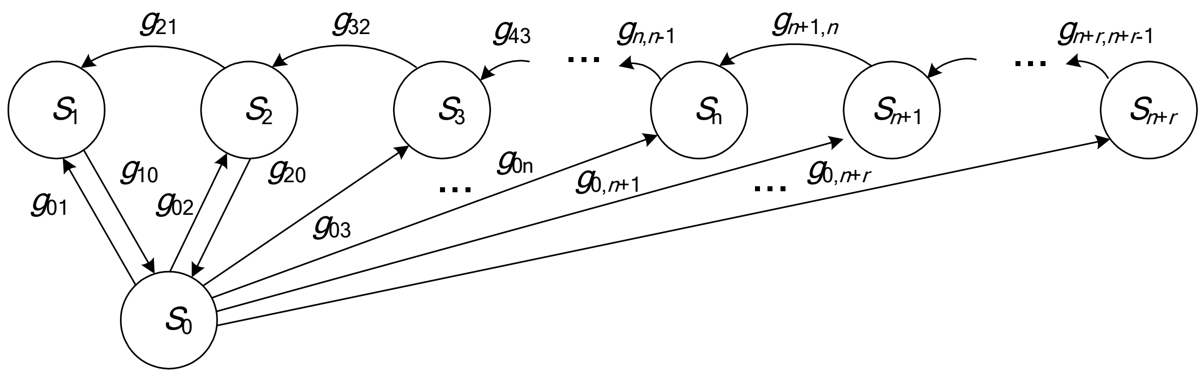

Рисунок 1 – Граф состояний и переходов подразделения эвакуации

Матрица функций распределения времени появления факторов, вызывающих переход системы из состояния S_i в состояние Sj $G(t)$ для этой СМО будет иметь вид:

$$G(t) = \begin{vmatrix} 0 & g_{01} & g_{02} & g_{03} \cdots & g_{0,n-1} & g_{0n} \\ g_{10} & 0 & 0 & 0 \;\dots & 0 & 0 \\ g_{20} & g_{21} & 0 & 0 \;\dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & g_{31} & 0 \;\dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 \;\dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \;\dots & g_{n,n-1} & 0 \end{vmatrix},$$

где $g_{01} = g_{12} = g_{23} = \ldots = g_{n,n-1} = 1 - e^{-\lambda_{01} t}$;

$g_{10} = 1 - (1 + \mu_{10} t)\, e^{-\mu_{10} t}$;

$g_{20} = 1 - (1 + \mu_{20} t)\, e^{-\mu_{20} t}$;

$g_{21} = 1 - (1 + 2\mu_{21} t)\, e^{-2\mu_{21} t}$;

$g_{n,n-1} = 1 - (1 + n\mu_{21} t)\, e^{-n\mu_{21} t}$;

$g_{n+1,n} = 1 - (1 + (n\mu_{21} + \nu) t)\, e^{-(n\mu_{21} + \nu) t}$;

$g_{n+m,n+m-1} = 1 - (1 + (n\mu_{21} + m\nu) t)\, e^{-(n\mu_{21} + m\nu) t}$.

Возле каждой стрелки (см. рисунок 1) указаны соответствующие законы распределения времени переходов. У стрелок, указывающих направление перехода слева направо, стоят функции распределения потока заявок $g_{ij}(t) = 1 - e^{-\lambda t}$, где λ – интенсивности потока заявок. У стрелок, указывающих направление перехода справа налево, стоят:

для состояний без очереди – функция распределения потока обслуживаний $g_{ij}(t) = 1 - (1 + n\mu)e^{-n\mu t}$, где $n\mu$ – суммарная интенсивность потока обслуживаний всех занятых каналов;

для состояний с очередью – функция распределения потока обслуживаний $g_{ij}(t) = 1 - (1 + n\mu + r\nu)e^{-t(n\mu + r\nu)}$, где $(n\mu + r\nu)$ – суммарная интенсивность потока обслуживаний всех каналов $n\mu$ плюс соответствующая суммарная интенсивность потока уходов из очереди $r\nu$.

Для графа состояний рассчитываются значения переходных вероятностей вложенной марковской цепи, среднее время (математическое ожидание) пребывания системы в состоянии P_0, …, P_n. Затем рассчитаем математические ожидания.

Математическое ожидание количества уничтоженных или захваченных образцов вооружения из-за несвоевременности эвакуации за интервал времени определяется выражением [8]:

$$M[N_n, t] = P_{\text{у оч}} \lambda t,$$

где $P_{\text{у оч}}$ – вероятность ухода из очереди.

Для функционирования эвакуационного подразделения, учитывая, что вероятность успешной эвакуации неисправного образца равна $(1 - P_n)$, запишем выражение для математического ожидания числа успешно эвакуированных образцов вооружения за интервал времени t:

$$M[N_э, t] = (1 - P_{\text{у оч}}) \lambda t.$$

Таким образом, разработанная математическая модель позволяет априорно оценить эффективность функционирования органов эвакуации воинской части, проанализировать планируемые варианты эвакуации и выбирать из них рациональные.

Литература

1. Степшин, М. П. Особенности технического обеспечения российских войск в локальных войнах и вооруженных конфликтах / М. П. Степшин // Военная мысль. – 2008. – № 11. – С. 28–34.

2. Есмантович, Е. А. Опыт боевого применения эвакуационных средств / Е. А. Есмантович // Развитие вооружения и военной специальной техники. История и современное техническое обеспечение боевых действий: материалы 75-й Респ. науч.-техн. конф. ВТФ в БНТУ (в рамках 20-й Межд. науч.-техн. конф. «Наука – образованию, производству, экономике»), 22 апр. 2022 г. – Минск: БНТУ, 2022. – С. 431–436.

3. Тарасенко, П. Н. Перспективные подвижные средства восстановления вооружения и военной техники / П. Н. Тарасенко, В. Н. Цыганков [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://belisa.org.by/pdf/Publ/Art5_ i11.pdf.

4. Вентцель, Е. С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – М.: Наука, 1991. – 384 с.

5. Восстановление вооружения и военной техники ЗРВ ПВО страны. Методические рекомендации для войск / А. П. Ковтуненко [и др.]. – Харьков: ВИРТА, 1980. – 88 с.

6. Кириченко, В. Д. Восстановление ВВТ войсковой ПВО в условиях применения противником высокоточного оружия / В. Д. Кириченко // Информационный сборник Войск ПВО. – 1985. – № 1. – С. 42.

7. Захаров, И. Я. Полумарковская модель функционирования органа эвакуации поврежденных образцов ВВТ ПВО СВ / И. Я. Захаров // Вестник Воен. академии Респ. Беларусь. – 2004. – № 2. – С. 100–104.

8. Шуенкин, В. А. Прикладные модели теории массового обслуживания / В. А. Шуенкин, В. С. Донченко. – Киев: НМК ВО, 1992. – 398 с.