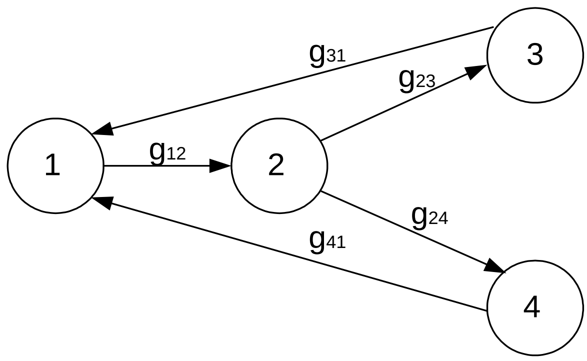
УДК 623.4.017; 005.418

Математическая модель процесса капитального ремонта поврежденного вооружения

Захаров И. Я., Мокринский В. В.
Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь»

Подсистема восстановления вооружения, требующего капитального ремонта, в ходе локальных войн и военных конфликтов может быть представлена графом состояний и переходов, приведенным на рисунке 1.



1 – образец вооружения боеготов;
2 – образец вооружения требует капитального ремонта и на нем производится дефектация с целью определения объема ремонта;
3 – образец вооружения восстанавливается на ремонтном предприятии;
4 – образец вооружения восстанавливается в ремонтном подразделении методом перекомплектации;
g_{ij} – функции распределения времени пребывания подсистемы в состоянии i до перехода в состояние j

Рисунок 1 – Граф состояний подсистемы восстановления вооружения, требующего капитального ремонта

Процесс восстановления вооружения, требующего капитального ремонта, описывается с использованием математического аппарата теории массового обслуживания [1, 2]. Экспоненциальное распределение случайной величины времени восстановления характерно в основном для функционирования высокоавтоматизированных ремонтных предприятий, имеющих высококвалифицированных специалистов, что не соответствует войсковой практике [3]. Поэтому рассмотрим потоки восстановления, протекающие в подсистеме восстановления вооружения, с использованием потока эрланга [4]. Такие системы массового обслуживания анализируются методами, основанными на использовании теории полумарковских процессов.

Матрица функций распределения времени появления факторов, вызывающих переход подсистемы восстановления вооружения, требующего капитального ремонта, из состояния *Si* в состояние *Sj* будет иметь вид:

$$G(t)=\left\|g_{ij}(t)\right\|=\left\|\begin{matrix} 0 & 1-e^{-\lambda_{12}t} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1-(1+\mu_{23}t)e^{-\mu_{23}t} & 1-(1+\mu_{24}t)e^{-\mu_{24}t} \\ 1-(1+\mu_{31}t)e^{-\mu_{31}t} & 0 & 0 & 0 \\ 1-(1+\mu_{41}t)e^{-\mu_{41}t} & 0 & 0 & 0 \end{matrix}\right\|. \quad (1)$$

Перевод подсистемы из состояния 1 в состояние 2 производит поток заявок с функцией $g_{12}(t)=1-e^{-\lambda_{12}t}$. Остальные переходы подсистемы осуществляются под воздействием потока обслуживаний, у которого функция распределения равна $g_{ij}(t)=1-(1+\mu_{ij})e^{-\mu_{ij}t}$.

Введем в рассмотрение случайную величину $\tilde{G}_S$ – число образцов вооружения, находящихся в состоянии $S \in (1,2,3,4)$. Математическое ожидание $\tilde{G}_S$ можно определить как

$$M\left[\tilde{G}_S(t)\right] = \tilde{g}_S(t) = G_{сн} P_S(t), \qquad (2)$$

где $G_{\text{сн}}$ – количество образцов вооружения, получивших сильные повреждения;

$P_S(t)$ – вероятность нахождения в состоянии S.

Определив вероятности всех состояний одного образца вооружения, можно определить для любого момента времени значение математического ожидания случайной величины $\tilde{G}_S(t)$.

Полагаем, что интенсивность повреждения образца вооружения в сильной степени не зависит от количества состояний и равна λ_{12}. Интенсивности поступления вооружения на ремонтное предприятие и на перекомплектацию соответственно равны:

$$\mu_{23} = \lambda_{12} P_p; \quad \mu_{24} = \lambda_{12}(1 - P_p),$$

где P_p – вероятность того, что образец вооружения нуждается в капитального ремонте на ремонтном предприятии.

Пусть ремонтом образцов вооружения занимается $K_{пр}$ ремонтных предприятий и $K_{пп}$ ремонтных подразделений.

Среднее время ремонта образца вооружения на ремонтном предприятии рассчитывается по формуле

$$t_в^{(p)} = t_{деф} + t_{пт} + t_{тр} + t_{вост} + t_{дост},$$

где $t_{деф}$ – среднее время дефектации; $t_{пт}$ – среднее время подготовки к транспортировке;

$t_{тр}$ – среднее время транспортировки на ремонтное предприятие;

$t_{вост}$ – среднее время восстановления;

$t_{дост}$ – среднее время доставки с ремонтного предприятия к месту дислокации в боевом порядке.

Интенсивность восстановления образцов вооружения на ремонтном предприятии определяется по формуле

$$\mu_{31} = \frac{1}{t_в^{(p)}}.$$

Среднее время ремонта путем перекомплектации составит величину

$$t_в^{(n)} = t_{деф} + t_д + t_в + t_{дост},$$

где $t_д$ – среднее время доставки недостающих компонентов вооружения в ремонтное подразделение.

Интенсивность восстановления образцов вооружения в ремонтном подразделении рассчитывается по формуле

$$\mu_{41} = \frac{1}{t_в^{(n)}}.$$

Интенсивности восстановления образцов вооружения μ_{31}, μ_{41} зависят от числа образцов $\tilde{G}_S(t)$ находящихся в этом состоянии. Это значит, что, если число восстанавливаемых образцов $\tilde{G}_3(t) > K_{пр}$ или $\tilde{G}_4(t) > K_{пп}$, то μ_{31} и μ_{41} соответственно уменьшаются и равны:

$$\mu_{31} = \begin{cases} \mu_{31}, \text{при} \tilde{G}_3 \le K_{пр}, \\ \dfrac{\mu_{31} K_{пр}}{\tilde{G}_3}, \text{при} \tilde{G}_3 > K_{пр}, \end{cases} \qquad \mu_{41} = \begin{cases} \mu_{41}, \text{при} \tilde{G}_4 \le K_{пп}, \\ \dfrac{\mu_{41} K_{пп}}{\tilde{G}_4}, \text{при} \tilde{G}_4 > K_{пп}. \end{cases}$$

Для рассматриваемого графа состояний рассчитываются значения переходных вероятностей вложенной марковской цепи и предельных вероятностей для i-х состояний, после чего вычисляется среднее время пребывания системы во всех состояниях. Затем рассчитываются вероятности нахождения системы в соответствующих состояниях: P_1, P_2, P_3, P_4.

Математическое ожидание числа восстановленных образцов вооружения на ремонтном предприятии определяется согласно выражению

$$M[G_3] = G_{сн} P_3.$$

Математическое ожидание числа восстановленных образцов вооружения в ремонтном подразделении агрегатным ремонтом:

$$M[G_4] = G_{сн} P_4 K_в,$$

где $K_в = 0 \div [(G_{сн} - 1)/G_{сн}]$ – коэффициент восстановления, учитывающий, что при агрегатном ремонте путем перекомплектации восстанавливаются не все образцы вооружения, требующие капитального ремонта, так как метод перекомплектации предполагает, что образец вооружения восстанавливается за счет узлов и агрегатов, снятых с других образцов, требующих капитального ремонта. Таким образом, можно восстановить, например, один из двух образцов вооружения, два из трех образцов, три из четырех, либо не восстановить ничего, если повреждения однородные и использование агрегатов с других образцов вооружения невозможно.

Условия применения метода агрегатного ремонта путем перекомплектации: число требующих капитального ремонта однотипных образцов вооружения не менее двух, т.е. $G_{сн} \geq 2$; сильные повреждения на однотипных образцах вооружения разнородные.

Достоинством метода агрегатного ремонта путем перекомплектации в ремонтном подразделении является достаточное быстрое восстановление, но при этом не все образцы вооружения восстанавливаются. На ремонтном предприятии можно восстановить практически все поступившие в ремонт образцы вооружения, но за более продолжительное время.

Литература

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

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

3. Маев, С. А. Еще раз о восстановлении / С. А. Маев // Армейский сборник. – 1997. – № 11. – С. 49–54.

4. Клейнрок, Л. Теория массового обслуживания/ Л. Клейнрок. – М.: Машиностроение, 1979. – 435 с.