

Медведев В.М.\*, Мищенко В.И.\*\*, Гизатуллин И.М.\*\*\*

\*ОАО «Долгопрудненское научно-производственное предприятие»

\*\*Военная академия войсковой ПВО ВС РФ, г. Смоленск

\*\*\*Учебный центр войсковой ПВО ВС РФ войсковая часть 40265, г. Оренбург

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОИМОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИЗДЕЛИЙ

Данная статья посвящена разработке модели формирования стоимости эксплуатации изделий как функции наиболее существенных эксплуатационных факторов, а также влиянию современных методов ремонта на стоимостные параметры.

На современном этапе развития технического обеспечения произошла существенная коррекция принципов сменяемости поколений изделий практически всех классов: отчасти субъективно регулируемые факторы «морального и физического устаревания» перестали быть преобладающими. Их место занимают принципы эксплуатации (применения) изделий до достижения предельного состояния назначенных показателей их эксплуатации.

Методологической основой такого анализа является моделирование процесса функционирования системы эксплуатации изделий, относящейся к сложным системам. Разработке таких моделей посвящено большое число работ отечественных и зарубежных авторов. Вместе с тем предложенный в этих работах подход не затрагивал животрепещущий на современном этапе развития не только изделий, но и всего вооружения вопрос: «А сколько же будет стоить эксплуатация такого объекта?».

В проведенных исследованиях была показана существенная связь эффективности функционирования изделий с уровнем их безотказности, полученным для условий определения изделий как изделий одноразового применения, кроме того, не рассматривались вопросы, связанные с прогнозированием. Решение этой задачи совместно с оценкой себестоимости эксплуатации позволит получить прогнозные оценки этой стоимости.

Для разработки модели формирования стоимости обслуживания воспользуемся подходом, предложенным в [1].

Для формирования затрат в качестве базовой выберем полумарковскую модель эксплуатации изделий как обслуживаемой системы.

Как известно, чем сложнее аппаратура изделий, тем более сложной является ее аппаратура контроля (АК) и тем большее значе-

ние приобретает достоверность самоконтроля, особенно такая составляющая, как вероятность ошибки второго рода. Поэтому при разработке модели процесса эксплуатации изделий необходимо учитывать в первую очередь возможность снижения достоверности контроля в случае пропуска отказа АК при самоконтроле. В силу того, что самоконтроль АК проводится перед началом проверки изделий, то показатели надежности и изделия, и его АК являются функциями периодичности проверок. С учетом ошибок, возникающих при самоконтроле АК и контроле самих изделий в процессе эксплуатации этих средств, могут возникнуть следующие ситуации.

1. Перед проверкой аппаратура изделия с вероятностью  $1 - P_A(T_{об})$  работоспособна, АК с вероятностью  $1 - P_K(T_{об})$  работоспособна.

2. До проведения контроля изделие с вероятностью  $1 - P_A(T_{об})$  работоспособно, АК с вероятностью  $P_K(T_{об})$  отказала.

3. До начала контроля аппаратура изделия с вероятностью  $P_A(T_{об})$  отказала, АК с вероятностью  $1 - P_A(T_{об})$  работоспособна.

4. К началу проведения контроля изделие с вероятностью  $P_A(T_{об})$  отказало, АК с вероятностью  $P_K(T_{об})$  отказала.

Содержательную модель описанного процесса эксплуатации получим с помощью математического аппарата теории полумарковских процессов (ПМП). Пусть:

$E = \{1, 2, \dots, r\}$  – множество возможных состояний, в которых может находиться изделие;

$\xi_{ij}$  – случайная продолжительность пребывания ПМП в состоянии  $i$  при условии перехода в состояние  $j$  на очередном интервале контроля;

$F_{ij}(t) = P(0 \leq \xi_{ij} < t)$  – функция распределения случайной величины  $\xi_{ij}$ ,  $t \in [0, T_{об}]$ .

Исчерпывающее описание эволюции ПМП на множестве возможных состояний при известном начальном состоянии задается стохастической матрицей  $W = \{\omega_{ij}\}$ ,  $i, j \in E$  вероятностей переходов вложенной в ПМП марковской цепи и матрицей условных функций распределения  $F(t) = \{f_{ij}(t)\}$ ,  $i, j \in E$ .

Множество возможных состояний процесса включает:

$E_1$  – изделие работоспособно (исходное состояние ПМП);

$E_2$  – изделие отказало и находится в состоянии со скрытым отказом до начала проверки (частичный отказ);

$E_3$  ( $E_4$ ) – изделие проверяется при условии, что оно к началу проведения проверки работоспособно (отказало);

$E_5$  – изделие проходит расширенный контроль в случае ложной регистрации отказа;

$E_6$  – изделие функционирует со скрытым частичным отказом до очередной проверки (при имеющейся заданной полноте контроля данный отказ изделия не обнаруживается, самостоятельно не проявляется и приводит к снижению эффективности его функционирования);

$E_7$  – изделие проходит расширенный контроль, подтверждающий наличие отказа;

$E_8$  – состояние задержки в восстановлении изделия из-за отсутствия запасного элемента в составе мастерской ремонта изделий (в одиночном комплекте ЗИП МРР) и необходимости обращения к групповому (региональному) комплекту ЗИП – состояние 8;

$E_9$  – состояние задержки в восстановлении образца вооружения из-за отсутствия запасного элемента в групповом комплекте ЗИП и необходимости экстренной доставки из неисчерпаемого источника пополнения (арсенала, завода-изготовителя) требуемого количества запасных элементов, как

для восстановления отказавшего образца, так и для исчерпанного запаса в комплекте ЗИП;

$E_{10}$  – состояние замены отказавшего элемента (восстановление).

а) – размеченный граф полумарковского процесса;

б) – матрица переходов вложенной марковской цепи.

$P_A(T_{об})$  – вероятность возникновения отказа в аппаратуре (объекта контроля) ОК на интервале  $[0, T_{об}]$ ;

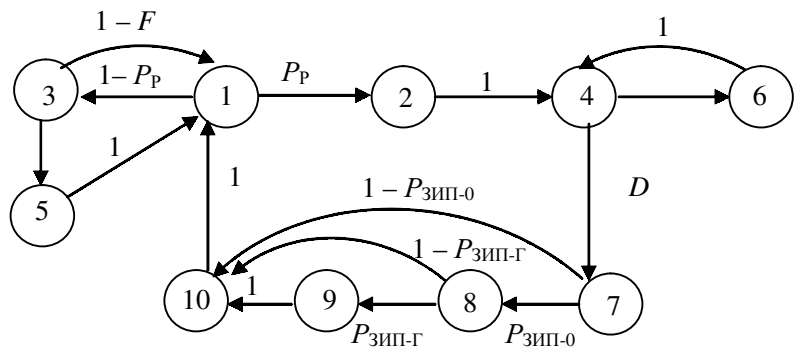
$P_K(T_{об})$  – вероятность возникновения отказа в аппаратуре контроля на этом же интервале;

$D$  – вероятность обнаружения отказа в ОК;

$F$  – вероятность ложной регистрации отказа в ОК;

$\lambda(t)$ ,  $\lambda_k(t)$  – функции интенсивностей отказов аппаратуры ОК и АК.

Такая организация восстановления соответствует, во-первых, традиционной дву-



$W =$

0	$P_A$	$1 - P_A$	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	$I$	0	0	0	0	0	0
$1 - F$	0	0	0	$F$	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	$1 - D$	$D$	0	0	0
$I$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	$I$	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	$P_{зо}$	0	$1 - P_{зг}$
0	0	0	0	0	0	0	0	$P_{зг}$	$1 - P_{зг}$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	$I$
$I$	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рисунок 1. Модель процесса эксплуатации изделия, учитывающая достаточность комплектов ЗИП.

хуровневой структуре системы обеспечения ЗИП, а во-вторых, не учитывает агрегатный (блочный) вид текущего ремонта изделия.

С учетом изменения графа и проведения стандартных выкладок средняя продолжительность восстановления определяется по формуле

$$T_B = T_{\text{зам}} + T_D + P_{\text{зо}} (T_{\text{зип}} + P_{\text{зг}} T_{\text{эд}}) \quad (1)$$

Коэффициент готовности изделия, как обобщенный показатель эффективности системы эксплуатации, является функцией:

продолжительности восстановления –  $T_B$ , зависящей от конструктивных особенностей изделия;

качества проектирования и организации пополнения комплектов запасных элементов – вероятностей отказов комплектов ЗИП  $P_{\text{зо}}$ ,  $P_{\text{зг}}$ ;

уровня безотказности изделия, зависящего от условий и интенсивности эксплуатации, квалификации эксплуатирующего персонала –  $P_A$  или  $\lambda_A$ ;

продолжительности диагностирования (локализации отказов) –  $T_D$ , зависящей от уровня автоматизации контроля параметров изделия и определяющей требуемый уровень квалификации обслуживающего персонала;

продолжительности замены отказавшего элемента –  $T_{\text{зам}}$ , зависящей от конструкции изделия;

времени задержки –  $T_{\text{зип}}$ , зависящего от распределения запасных элементов между комплектами и правильности проектирования комплектов ЗИП;

времени экстренной доставки –  $T_{\text{эд}}$ , зависящего от вышеназванных последних факторов и удаленности изделия от завода-изготовителя или арсеналов.

При этом в качестве показателя достаточности комплектов ЗИП, как видно из приведенных выше формул, выступает коэффициент готовности образца вооружения, зависящий от периодичности и объема технического обслуживания (ТО), номенклатуры и состава комплектов ЗИП и других эксплуатационных факторов.

Основываясь на подходах, предложенных в [1], и учитывая структуры системы обеспечения ЗИП, исследуем модель функционирования системы «Изделие – ЗИП» с уче-

том перечисленных выше особенностей ее функционирования.

Учитывая обоснование, приведенное в [1], в качестве теоретического аппарата для разработки таких моделей будет также использована теория марковских случайных процессов. В частности, эта теория используется для расчета вероятностей отказа систем «изделие – ЗИП-О» и «изделие – ЗИП-Г» –  $P_{\text{зо}}$ ,  $P_{\text{зг}}$ .

Вероятность отказа системы «изделие – ЗИП» определяется как средняя по времени величина вероятности того, что образец вооружения простаивает из-за того, что в комплекте ЗИП был исчерпан запас элементов данной номенклатуры, т. е.

$$P_{\text{отк.зип}} = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_0^T p(t) dt, \quad (2)$$

где  $T$  – рассматриваемый период, в течение которого может отказать ЗИП;

$p(t)$  – вероятность того, что в момент времени  $t$  будет исчерпан запас элементов исследуемого комплекта ЗИП.

Для расчета вероятности  $p(t)$  разрабатывается модель функционирования системы «изделие – ЗИП». При этом предполагается, что интенсивность отказов зависит только от типа элемента и от места нахождения этого элемента: в мастерской ремонта изделий или в запасах различного уровня.

В качестве модели функционирования системы «изделие – ЗИП» используем марковскую цепь с дискретным (и конечным) числом состояний и непрерывным временем. Вероятность переходов такой цепи из состояния в состояние зависит от потока отказов элементов и концепций пополнения запасных элементов. Состояние цепи соответствует полной укомплектованности запасными элементами и работоспособными элементами в образце вооружения (начальное состояние), отказом и восстановлением элементов образца при расходе запасных и состоянию отказа системы «изделие – ЗИП», когда возникает отказ основного элемента и отсутствует его номенклатура в запасе.

Таким образом, пусть  $x_0, x_1, \dots, x_s$  – состояние дискретной марковской цепи. Тогда переходные вероятности цели  $P_{ij}(t)$  и ин-

тенсивности перехода связаны системой уравнений Колмогорова:

$$\frac{dP_{ij}}{d\tau}(\tau) = \sum_{k=0}^s a_{kj} P_{ik}(\tau), \quad i, j = 0, \dots, s \quad (3)$$

с начальными условиями, соответствующими вероятностям состояний при  $\tau = 0$ .

Поскольку считается, что в начальный момент времени запас комплекта ЗИП полностью укомплектован, в модели полагаем  $P_0(0) = 1, P_i(0) = 0, i \neq 0$ . То есть в начальный момент времени цепь находится с вероятностью 1 в одном выделенном состоянии, соответствующем наличию полного набора запасных элементов данного типа. Обозначим через  $P_i(\tau)$  вероятность того, что в момент  $\tau$  цепь находится в  $i$ -м состоянии. В силу предположения о начальном состоянии цепи  $P_j(\tau) = P_{j0}(\tau), j = 0, \dots, s$ .

Поэтому вероятности  $P_j(\tau)$ , а они играют в дальнейшем основную роль, также подчиняются системе линейных дифференциальных уравнений:

$$P_j'(\tau) = \sum_{k=0}^s a_{kj} P_k(\tau), \quad j = 0, \dots, s, \quad (4)$$

или в матричном виде  $\overline{P}'(\tau) = \overline{A}\overline{P}(\tau)$

с начальными условиями:

$$P_0(0) = 1, \quad P_1(0) = \dots = P_s(0) = 0.$$

Пусть  $s$ -е состояние марковской цепи отвечает состоянию отказа данного запаса. Для вычисления вероятности отказа системы «изделие – ЗИП» нужно, согласно определению, узнать среднее по времени значение вероятности этого состояния:

$$P_{\text{отк}} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T P_s(\tau) d\tau. \quad (5)$$

В дальнейшем при решении задач вычисления вероятности отказа запаса могут возникнуть две ситуации:

одна и та же марковская цепь служит моделью функционирования запаса на конечных интервалах времени  $[iT_n, (i+1)T_n]$ ;

марковская цепь служит моделью функционирования запаса на бесконечном интервале времени  $[0, \infty]$ .

В первом случае  $P_s(\tau)$  – периодическая функция с периодом  $T_n$ . Совершенно ясно, что для таких функций

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T P_s(\tau) d\tau = \frac{1}{T_n} \int_0^{T_n} P_s(\tau) d\tau, \quad (6)$$

поэтому для вычисления коэффициента готовности запаса необходимо решить систему линейных дифференциальных уравнений и усреднить  $P_s(\tau)$  –  $s$ -ю компоненту решения на интервале  $(0, T_n)$ .

Во втором случае  $P_s(\tau)$  имеет стационарное значение  $P_s = \lim_{\tau \rightarrow \infty} P_s(\tau)$ . При этом очевидно, что

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T P_s(\tau) d\tau = \lim_{\tau \rightarrow \infty} P_s(\tau) = P_s \quad (7)$$

Для определения  $P_s$  нет необходимости решать систему дифференциальных уравнений, достаточно решить систему линейных алгебраических уравнений, которая получается приравниванием всех производных  $P_j(\tau)$  к нулю и добавлением условия нормировки  $\sum_{j=0}^s P_j = 1$ :

$$\sum_{k=0}^s a_{kj} P_k = 0, \quad j = 0, \dots, s$$

$$\sum_{k=0}^s P_k = 1. \quad (8)$$

Марковская цепь, моделирующая функционирование запаса в комплекте ЗИП, имеет  $n+2$  состояния ( $n$  – начальное количество запасных элементов данного типа в ЗИП-О). При  $i = 0, \dots, n$  состояние  $x_i$  соответствует наличию  $n-i$  запасных элементов. При  $i = n+1$ , состояние  $x_i$  соответствует отсутствию запасных элементов и наличию очереди из  $n$  неудовлетворенных заявок на элементы данного типа. Очевидно, состояние  $x_{n+1}$  соответствует отказу запаса элементов этого типа в комплекте ЗИП (простой изделия из-за отсутствия элементов этого типа). Состояние  $x_0$  – начальное.

При отказе любого элемента данного типа (основного или запасного) происходит переход в следующее (в порядке возрастания номеров) состояние. Интенсивности переходов, соответствующих отказам элементов данного типа, зависят, естественно, от количества исправных элементов данного типа в запасе, т. е. от номера состояния марковской цепи.

Через  $a_i$  будем обозначать интенсивность перехода марковской цепи из состояния  $x_i$  в состояние  $x_{i+1}$

$$a_i = m\lambda^T + (n-i)\lambda^{XP+TP}, \quad i = 0, \dots, n, \quad (9)$$

где  $m$  – количество основных элементов данного типа в изделии;

$\lambda^T$  – интенсивность отказов одного основного элемента данного типа при работе под током;

$\lambda_{XP+TP}$  – интенсивность отказов одного запасного элемента данного типа в режимах хранения и транспортирования в соответствующем комплекте ЗИП.

Конкретный вид марковской цепи определяется в основном концепцией пополнения запаса и организацией использования запасных элементов.

Организация использования запасных элементов, в свою очередь, существенно сказывается на эффективности функционирования системы «изделие – групповой ЗИП». Это вызвано рядом обстоятельств.

Во-первых, для расчета достаточности этого комплекта надо учитывать реально сложившуюся концепцию пополнения. Эта концепция, названная концепцией периодического пополнения с экстренным восстановлением, отличается от концепции периодического пополнения с экстренной доставкой, заложенной в ГОСТ. Названное отличие заключается в том, что периодическое пополнение обеспечивает пополнение номенклатуры и состава ЗИП-Г до полного уровня, а экстренная доставка обеспечивает лишь восстановление самого изделия, а не восстановление изделия и пополнение ЗИП до начального уровня одновременно. Концепция периодического пополнения с экстренной доставкой обеспечивает одновременное пополнение ЗИП и восстановление изделия. Концепция периодического пополнения с экстренным восстановлением после принятия на вооружение мастерс-

ких ремонта изделий (МРИ) может применяться в войсках, не раз подтвердив свою эффективность в условиях полигона.

Во-вторых, архитектура структур системы обеспечения ЗИП учитывается в значениях величин интенсивностей потоков отказов и восстановлений.

Размеченный граф этой модели представлен на рис. 2.

В графе обозначено:

$m$  – количество элементов в изделии;

$n$  – количество элементов в комплекте ЗИП;

$\lambda_i$  – интенсивности переходов, связанные с интенсивностью отказов элемента и учитывающие не только заложенный уровень безотказности, но и интенсивность эксплуатации.

Для определения вероятности отказа системы «изделие – ЗИП-Г» достаточно решить систему алгебраических уравнений.

Вероятности состояний отказа ЗИП-Г определяются через вероятность отказа системы «изделие – ЗИП» в соответствии с классической теорией вероятностей:

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = - \frac{\mu^i v}{\prod_{k=0}^{i-1} \lambda_{n-k}} P_{n+1}(t) \quad (10)$$

где  $i = \overline{0, n+1}$ .

Таким образом, используя формулы (9) и (10), можно рассчитать номенклатуру и состав комплекта ЗИП-Г, обеспечивающего функционирование системы «изделие – ЗИП-Г», со структурами систем обеспечения ЗИП, реально используемых в войсковой ПВО с реальной концепцией его пополнения. Расчет  $P_{отк}$  осуществляется только для одного типа элемента. Для расчета  $P_{отк.ЗИП-Г}$  хотя бы по одному типу, в соответствии с теоремой об умножении вероятностей, в силу независимости

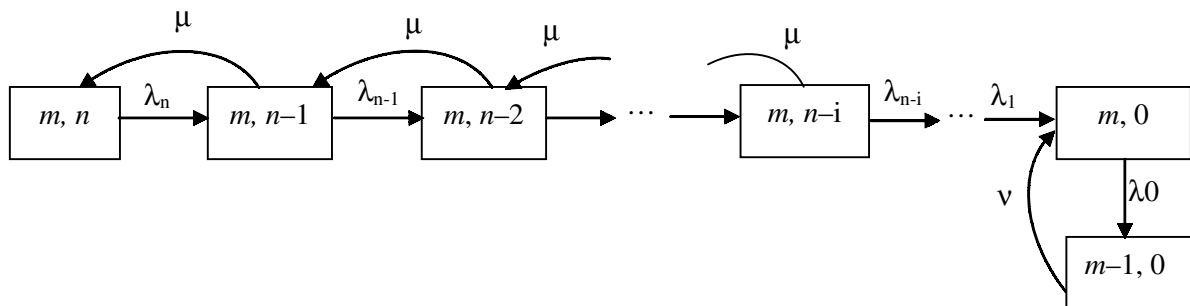


Рисунок 2. Модель функционирования системы «изделие – ЗИП-Г» при экстренном восстановлении МРИ

отказов систем «изделие – ЗИП» каждого типа, определится по формуле

$$P^{\text{ЗИП-Г}} = 1 - \prod_{j=1}^N (1 - P_j^{\text{ЗИП-Г}}), \quad (11)$$

где  $N$  – количество типов элементов, закладываемых в ЗИП-Г конкретного образца изделий.

Используя условие нормировки и приравняв к нулю производные, получим

$$P_{\text{отк.ЗИП-Г}} = \frac{1}{1 + \nu \sum_{i=0}^{n_j} \frac{\mu_j^i}{\prod_{k=0}^i \lambda_{n_j-k}}} \quad (12)$$

Как видно из приведенного выражения, вероятность отказа ЗИП-Г является функцией основных параметров стратегии пополнения, организации использования и количества запасных элементов в ЗИП-Г.

Для каждого из состояний ОК (рис. 2) определялись источники, откуда финансируются затраты на проведение соответствующих этим состояниям мероприятий.

В качестве источника затрат на пребывание в работоспособном состоянии и состоянии неисправности (состояния 1, 2) используется стоимость нового образца  $S_o$  и эксплуатирующего персонала  $S_{\text{ПЕР}}$ , т. к. реально именно она расходуется на периоде эксплуатации от начала до капитального ремонта.

В перечень затрат, формируемых стоимостью пребывания образца в состояниях контроля (состояния 3, 4), к вышеперечисленным добавляются затраты на контроль  $S_K$ , а именно на амортизацию средств измерений и помещений, ГСМ и электроэнергию.

Стоимость затрат на расширенный контроль  $S_{PK}$  (состояние 5) является кратной затратам на обычный контроль, т. к. первый соответствует проведению повторных проверок, аналогичных проводимым при последнем.

Затраты, расходуемые на пребывание в состоянии неисправности до очередного контроля (состояние 6), аналогичны затратам на пребывание образца в состоянии 2.

Стоимость затрат на пребывание образца изделия в состоянии восстановления (состояние 7) включает как стоимость расширенного контроля  $S_{PK}$ , так и стоимость восстановления  $S_B$ . Последняя включает: стоимость ЗИП, оплату работы ремонтных ор-

ганов, амортизацию оборудования и помещений, где производится восстановление.

Суммарные затраты на ОК в  $j$ -м состоянии определяются по формуле

$$S_j = \frac{m_j P_j S_{ij}}{T_{\text{сл}}}, \quad (13)$$

где  $p_j$  – стационарная вероятность пребывания вложенной марковской цепи в  $j$ -м состоянии;

$m_j$  – математическое ожидание продолжительности пребывания изделия в  $j$ -м состоянии;

$S_{ij}$  – приведенные затраты, запланированные для расхода на пребывание в  $j$ -м состоянии от начала эксплуатации до капитального ремонта;

$T_{\text{сл}}$  – назначенный срок службы изделия.

Величина суммарных затрат на эксплуатацию изделия запишется в виде

$$S = n \sum_{j=1}^r S_j, \quad j = \overline{1, r}; \quad (14)$$

где  $n$  – количество контролей, проводимых до списания (утилизации), определяемое в

соответствии с выражением  $n = \frac{T_{\text{сл}}}{T_{\text{об}}}$ ,

где  $r$  – число состояний в графе модели процесса эксплуатации. В рассматриваемом случае  $r = 7$ .

В соответствии с выражением (14) и выражениями для расчета  $p_j$  и  $m_j$ , приведенными в первом разделе, величины затрат на пребывание ОК в  $j$ -м состоянии примут вид

$$S_1 = \frac{P_A (S_i + S_{\text{ПЕР}})}{\lambda_A T_{\text{об}} \left( 2 \left( 1 + \frac{P_A}{D} \right) + F(1 - P_A) \right)};$$

$$S_2 = \frac{(S_i + S_{\text{ИД}}) \left( T_{\text{ИД}} - \frac{P_A}{\lambda_A} \right)}{T_{\text{ИД}} \left( 2 \left( 1 + \frac{P_A}{D} \right) + F(1 - P_A) \right)};$$

$$S_3 = \frac{S_K T_K (1 - P_A)}{T_{\text{об}} \left( 2 \left( 1 + \frac{P_A}{D} \right) + F(1 - P_A) \right)};$$

$$S_4 = \frac{S_K T_K P_A}{T_{\text{об}} D \left( 2 \left( 1 + \frac{P_A}{D} \right) + F(1 - P_A) \right)};$$

$$S_5 = \frac{S_{PK} T_{PK} F(1 - P_A)}{T_{об} \left( 2 \left( 1 + \frac{P_A}{D} \right) + F(1 - P_A) \right)};$$

$$S_6 = \frac{(S_i + S_{ПЕР}) P_A (1 - D)}{D \left( 2 \left( 1 + \frac{P_A}{D} \right) + F(1 - P_A) \right)};$$

$$S_7 = \frac{(S_{PK} + S_B) T_B P_A}{\dot{O}_{об} \left[ 2 \left( 1 + \frac{P_A}{D} \right) + F(1 - P_A) \right]},$$

где  $S_o$  – стоимость нового образца;

$S_{ПЕР}$  – затраты на обслуживающий персонал;

$S_K$  – суммарные затраты на контроль аппаратуры ОК;

$S_{PK}$  – суммарные затраты на расширенный контроль аппаратуры ОК;

$S_B$  – суммарные затраты на восстановление ОК;

$T_K$  – продолжительность контроля;

$T_{PK}$  – продолжительность расширенного контроля;

$T_B$  – продолжительность восстановления.

Тогда величина суммарных затрат на эксплуатацию изделия примет вид

$$S = \frac{(T_{об}(S_o + S_{ПЕР}) + S_K T_K) \left( 1 - P_A + \frac{P_A}{D} \right) + S_{PK} T_{PK} F(1 - P_A) + T_B P_A (S_{PK} + S_B)}{T_{об} \left[ 2 \left( 1 + \frac{P_A}{D} \right) + F(1 - P_A) \right]}. \quad (15)$$

Оценка влияния различных параметров системы эксплуатации показывает, что все они по-разному влияют как на ее эффективность, так и на величину затрат, ее обеспечивающих.

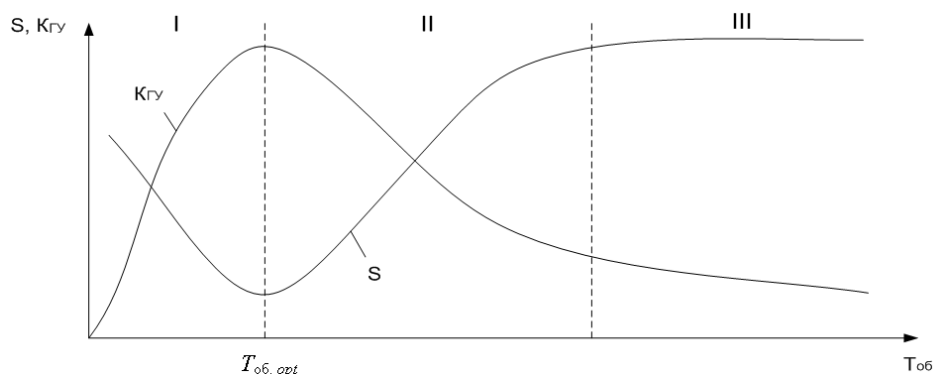
Рассмотрим зависимость суммарной стоимости эксплуатационных затрат  $S$  как функции периодичности проведения технического обслуживания и других параметров эксплуатации, фиксируя их по очереди. При этом особого внимания и изучения, безусловно, требуют те зависимости, которые отражают нелинейное изменение  $S$  под влиянием тех или иных параметров.

В первую очередь в этом плане необходимо отметить ведущую роль периодичности ТО. Это связано с тем, что оптимальный период обслуживания для сложных систем существует объективно. С одной стороны, объективное существование оптимального периода ТО обусловлено ограниченной про-

должительностью обслуживания, а точнее – ограниченной полнотой проводимых в ходе ТО проверок, дискретностью их проведения и наличием в изделиях различного рода избыточности. Именно из-за ограниченности полноты контроля и наличия избыточности возможно объективное существование неисправностей, снижающих эффективность применения изделия по назначению (а именно на их устранение и направлено в первую очередь техническое обслуживание). С другой стороны, существование оптимального периода обусловлено рациональным вложением материальных и финансовых средств в поддержание заложенного при разработке уровня избыточности, а не в расходы на ремонт изделий.

Непосредственный расчет величины суммарных затрат в соответствии с формулой (15) подтвердил указанные выше рассуждения.

Зависимость суммарных затрат  $S$  от периодичности обслуживания  $T_{об}$  (рис. 3) носит ярко выраженный унимодальный характер. Начальный спад суммарных затрат при увеличении периода обслуживания (участок I) обусловлен тем, что чем реже проводить обслуживание, тем затраты будут меньше за счет сокращения числа проверок. Это уменьшение затрат заканчивается при достижении величины периода контроля некоторого критического значения. Величина этого критического (оптимального) периода  $T_{об}$  соответствует ситуации, когда уровень заложенной при разработке избыточности полностью исчерпывается. При этом своевременное проведение обслуживания обеспечивает восстановление этой избыточности. Дальнейшее увеличение периодичности ТО (участок II) приводит к тому, что материальные и финансовые средства расходуются на восстановление не только избыточности, но и работоспособности, т. е. на проведение текущего ремонта. При этом суммарные затраты возрастут за счет расходов на персонал ремонтных органов, ЗИП, диагностику, использование специальных стендов, приспособлений и устройств контроля. Последующее увеличение периодичности ТО (участок III) соответствует ситуации,

Рисунок 3. Зависимость величины затрат от периода обслуживания  $T_{об}$ 

когда образец перестает функционировать в работоспособном состоянии, а только проверяется и восстанавливается. Это приводит к тому, что величина суммарных затрат становится постоянной, соответствующей стоимости непрерывного ремонта.

Учитывая унимодальную зависимость стоимости на начальном участке изменения  $T_{об}$ , в дальнейшем будем исследовать эту зависимость с точки зрения оценки влияния параметров ТО на минимум затрат.

Как показали расчеты, увеличение продолжительности контроля приводит к увеличению соответствующих затрат и увеличению оптимального периода. Последнее

обусловлено тем, что минимальные затраты на проведение обслуживания будут достигаться при большем его периоде, т. е. чем реже проводить дорогостоящий контроль, тем это выгоднее.

Синтезированная модель эксплуатации изделий как обслуживаемых объектов и разработанная на ее основе модель формирования стоимости эксплуатации изделий как функции наиболее существенных эксплуатационных факторов позволили исследовать процессы и зависимости в системе эксплуатации изделий, включая подсистему «изделие – ЗИП», а также влияние современных методов ремонта на стоимостные параметры.

#### Список использованной литературы:

1. Акимов В.Н., Медведев В.М., Этков В.П. Зенитная управляемая ракета средней дальности. Свидетельство о регистрации полезной модели. М.: Роспатент, 2005. - №2005500057
2. Архангельский И.И., Мизрохи В.Я., Светлов В.Г., и др. Проектирование зенитных управляемых ракет. Московский авиационный институт, - М. 1999.-695 с.
3. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем. - М.: Высшая школа, 1982. - 232 с.
4. Барзилович Е.Ю. Оптимизация периодичности контроля систем, недоступных непрерывным проверкам // Автоматика и телемеханика, 1969. - №8.
5. Барзилович Е.Ю., Беляев Ю.К., Каштанов В.А. и др. Вопросы математической теории надежности / Радио и связь, 1983. - 376 с.
6. Барзилович Е.Ю., Воскобоев В.Ф. О марковских задачах профилактики стареющих систем // Автоматика и телемеханика, 1967. - №12.