

## ОДИН ИЗ ПОДХОДОВ К ОБОСНОВАНИЮ СТРАТЕГИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗУР ПО УРОВНЮ ГОТОВНОСТИ

В статье на основе практики ракетно-технического обеспечения дано определение стратегии эксплуатации. В качестве критерия эффективности процесса управления процессом эксплуатации предложены коэффициенты готовности и стоимости эксплуатации, а также управляющее правило этого процесса – поиск оптимальных соотношений. С целью практического решения задачи отыскания максимального значения коэффициента готовности при ограничениях стоимости или минимального значения стоимости при ограниченных значениях коэффициента готовности предложен метод комплексного военно-экономического обоснования

В существующей системе ракетно-технического обеспечения [1] и ее составной части – системе эксплуатации изделий сложилась парадоксальная ситуация: с одной стороны, практически отсутствуют изделия с гарантийным периодом обслуживания и в то же время практически не разработана научно обоснованная база принятия решений по управлению (техническому регулированию) их техническим состоянием.

Правила управления состоянием определяются понятием «стратегия» и относятся к категории управления. Поэтому определим, что стратегия эксплуатации изделий – это система правил управления техническим состоянием изделия в процессе эксплуатации, обеспечивающая достижение определенной цели. Основные параметры стратегии эксплуатации изделий представлены на рис. 1.

Как известно [2], основным направлением выхода из сложившегося положения является внедрение стратегии эксплуатации изделия по состоянию. Однако в настоящее время непосредственный переход к этой стратегии невозможен по следующим причинам:

1. Отсутствует материально-техническая база, обеспечивающая ее функционирование.
2. Не разработан научно-методический аппарат, реализующий эксплуатацию изделий по состоянию.
3. Отсутствует стратегия эксплуатации изделий, обеспечивающая управление уровнем готовности изделий при обеспечении оптимального соотношения показателя «стоимость – эффективность».

В этих условиях актуальна разработка промежуточной стратегии, которая была названа «стратегией эксплуатации изделий

по уровню готовности». Указанная стратегия должна позволить вплотную подойти к возможности адаптации стратегии эксплуатации (правил управления) изделий к их фактическому состоянию. В целом стратегия эксплуатации характеризуется как функция основных параметров стратегии и может быть представлена в виде вектора

$$\underline{P} = P(\underline{T}_{об}, \underline{T}_к, T_{сл}, T_{рк}, T_в, P_a, \underline{X}, V_{const}, D, F, N), (1)$$

где:  $\underline{T}_{об}$  – вектор периодичности обслуживания изделия;

$\underline{T}_к$  – вектор периодичности контроля;

$T_{сл}$  – назначенный срок службы изделия;

$T_{рк}$  – периодичность расширенного контроля;

$T_в$  – время восстановления изделия;

$P_a$  – вероятность отказа изделия;

$\underline{X}$  – вектор, определяющий объем технического обслуживания изделия;

$V_{const}$  – перечень контролируемых параметров изделия (характеристика его контролепригодности);

$D, F$ , – ошибки первого и второго рода в оценках технического состояния изделия с использованием внешних средств технического контроля;

$N$  – количество видов контроля (обслуживания).

Управление параметрами стратегии эксплуатации направлено на достижение конкретных целей и реализуется посредством применения критерия оценки стратегии эксплуатации. Для оценки военно-экономической эффективности стратегии эксплуатации изделий предложены два критерия:

$\underline{K}_{го}$  – вектор коэффициента готовности изделия к боевому применению;

$\underline{S}$  – вектор стоимости реализации варианта стратегии эксплуатации изделия.

В целом указанные критерии рассматриваются как функции вектора стратегии эксплуатации изделия:

$$K_{го} = K_{го}(\underline{T}_{об}, \underline{T}_k, T_{сл}, T_{рк}, T_{в}, P_A, \underline{X}, V_{const}, D, F, N) \quad (2)$$

$$\underline{S} = S(\underline{T}_{об}, \underline{T}_k, T_{сл}, T_{рк}, T_{в}, P_A, \underline{X}, V_{const}, D, F, N) \quad (3)$$

Математическая формулировка решаемой задачи выглядит следующим образом:

Найти максимум коэффициента готовности

$$K_{го}^* = \max K_{го}(\underline{P}) \quad (4)$$

при ограничениях  $S \leq S_{треб}$  на затраты.

Или в обратной постановке – найти минимум затрат:

$$S^* = \min S(\underline{P}) \quad (5)$$

при ограничении коэффициента готовности:

$$K_{го} \geq K_{готреб}$$

При определении аналитической зависимости (2) и (3) теоретически существует возможность решения данной задачи. Однако существующие подходы в определении затрат на эксплуатацию сложных технических

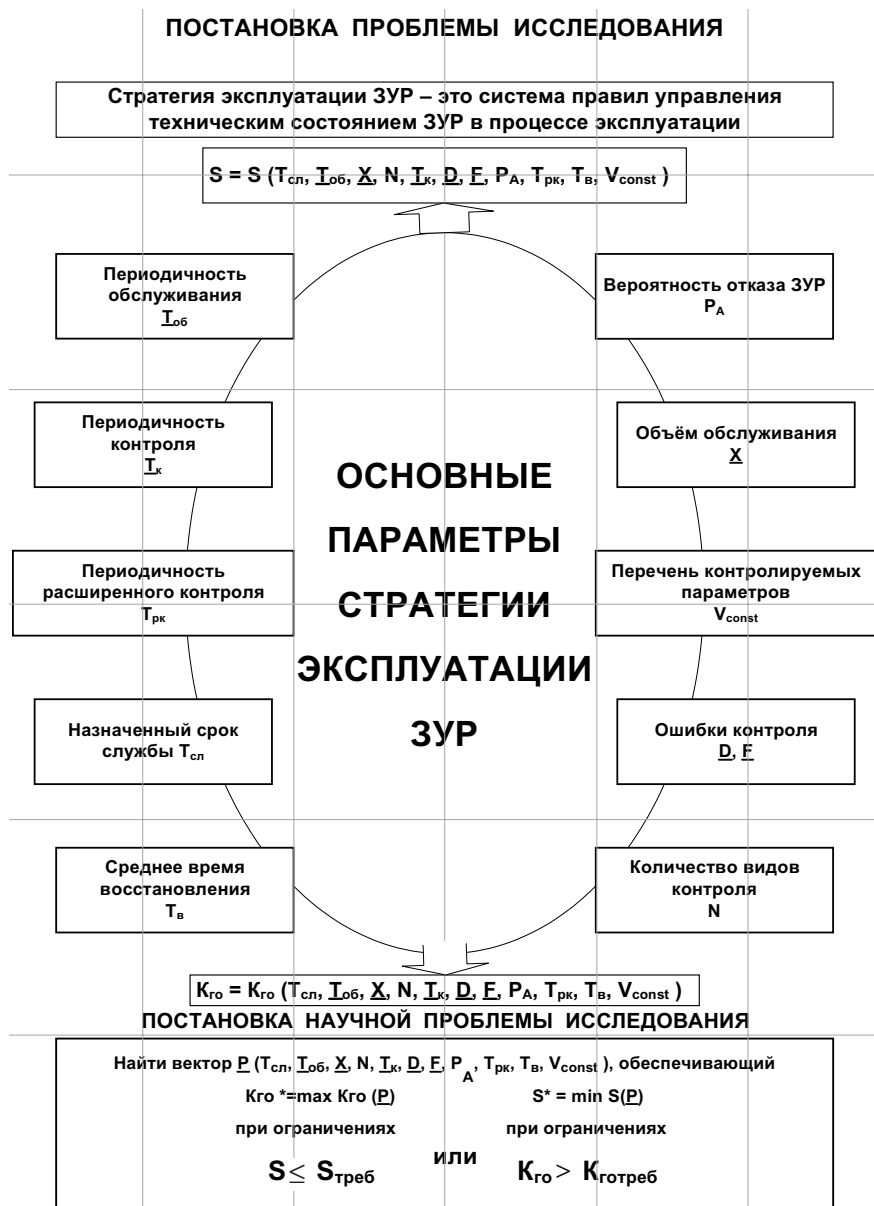


Рисунок 1. Основные параметры стратегии эксплуатации изделий

устройств, в том числе и объектов В и ВТ [3, 4, 5], не позволяют определить стоимость эксплуатации как функцию вектора показателей их состояний, то есть функцию (3).

Аналогичное состояние имеет место в области определения зависимости коэффициента готовности от параметров стратегии эксплуатации (2).

Очевидно, что знание этих аналитических зависимостей позволит непосредственно перейти к решению проблемы в той постановке, в которой она приведена зависимостями (4) и (5).

Как известно, в отношении ракет существуют два подхода к определению коэффициента готовности. Первый сформировался в условиях концепции «ракета – патрон» в первой половине 70-х годов прошлого века. В соответствии с ним коэффициент технической готовности изделий соответствовал статистической плотности вероятности отказов изделий. А она, в свою очередь, определялась отношением числа изделий, признанных исправными (по результатам контроля технического состояния с использованием штатных внешних средств диагностики) к суммарному числу поданных для проверки в тот же период времени изделий.

$$K_r = \frac{m}{n} \quad (6)$$

К недостаткам данного метода относятся:

- результаты проверок отдельной, в том числе и непредставительной партии ракет формируют недостаточно обоснованный вывод о состоянии всего парка изделий;
- невозможность прогнозирования всех факторов, определяющих готовность изделий, по результатам их контроля;
- коэффициент готовности не характеризует реальные состояния изделий в войсках, так как не учитывает случаи вывода из строя изделий по эксплуатационным, боевым и другим причинам.

При втором подходе ракета рассматривается с использованием теории полумарковских процессов [6, 7] в следующих десяти состояниях:

- находится в исправном состоянии;
- неисправна и находится в неисправном состоянии до начала проверки;

- проверяется при условии, что она к началу проверки исправна;
- проверяется при условии, что она к началу проверки неисправна;
- проходит диагностический контроль в случае ложной регистрации отказа;
- функционирует с неисправностью до очередной проверки;
- диагностируется на предмет локализации выявленного отказа и простаивает в ожидании исполнения заявки при обращении к ЗИП-О из состава мастерской ремонта изделий;
- простаивает в ожидании исполнения заявки при обращении к ремонтному ЗИП (ЗИП-Р);
- простаивает в ожидании исполнения заявки на экстренную доставку ЗИП из арсенала (предприятия-изготовителя);
- восстанавливается, т. е. осуществляется замена отказавшего элемента.

Рассмотрение вероятностей пребывания изделий в указанных состояниях как обслуживаемых объектов позволяет в определенной степени устранить недостатки, свойственные концепции «ракета – патрон». В этом случае коэффициент  $K_r$  определяется [7] как функция основных показателей стратегии эксплуатации. Аналитическое выражение  $K_r$  представлено следующим выражением:

$$K_r = P_A / \lambda_a \cdot ((T_{об} + T_k)(1 - P_A + P_A / D) + (1 - P_A)FT_d + P_A(T_{зам} + T_d + P_{зип-о}(T_{зип}P_{зип-р} + T_{эд})))^{-1} \quad (7)$$

Основные обозначения приведены ранее, при этом  $P_{зип-р}$  и  $P_{зип-о}$  – вероятности отказа группового и одиночного комплектов ЗИП,  $T_d$  и  $T_{зам}$  – средние времена диагностирования и замены (восстановления).

С целью исследования стоимости эксплуатации была применена модель, разработанная на основе теории полумарковских процессов [6, 7]. Синтезированная модель эксплуатации изделий позволила применить ее для определения стоимости эксплуатации изделий как функции основных эксплуатационных факторов, позволила качественно и количественно исследовать закономерности, определяющие влияние параметров

стратегии эксплуатации изделий на стоимость и готовность изделий.

Данный подход исключает некоторые недостатки, свойственные другим подходам к оценке стоимости эксплуатации В и ВТ, в том числе позволил адаптировать модель оценки стоимости к специфике эксплуатации изделий, создал возможности прогнозирования затрат и влияния совокупности параметров стратегии эксплуатации на затраты.

Использование графа вышеуказанных состояний изделий в процессе эксплуатации позволило получить значения вероятностей пребывания изделий в исследуемых состояниях, а также стоимости затрат на пребывание изделий в каждом из этих состояний.

Конечная зависимость стоимости одного цикла эксплуатации изделий как функции от показателей стратегии эксплуатации имеет следующий вид:

$$S = (T_{об}(S_o + S_{ПЕР}) + S_K T_K) \left( 1 - P_A + \frac{P_A}{D} \right) + S_{PK} T_{PK} F (1 - P_A) + P_A (S_{PK} + S_D) T_D P_A + S_{ЗИП} T_{ЗИП} P_{ЗИП-О} + S_{ЭД} T_{ЭД} P_A P_{ЗИП-О} P_{ЗИП-Р} + (S_{ЗАМ} + S_K) (T_{ЗАМ} + T_K) \quad (8)$$

Основные обозначения приведены ранее. Наряду с прочими существенной особенностью предлагаемого подхода является то, что он учитывает фактическое состояние изделий, необходимое для решения задач продления назначенных показателей их эксплуатации.

Предложенные аналитические зависимости позволяют провести анализ влияния показателей стратегии эксплуатации изделий на показатели ее эффективности.

На рисунке 2 представлен метод комплексного военно-экономического обоснования периодичности обслуживания, объема различных видов обслуживания и срока службы изделий. Как отмечалось ранее, разрабатываемая стратегия эксплуатации изделий носит название «Стратегии эксплуатации по уровню безотказности».

В этих условиях основными показателями стратегии эксплуатации являются периодичность обслуживания, объем различных видов обслуживания и срок службы изделий,

которые в наибольшей степени связаны с показателем безотказности.

Предлагаемый метод позволяет реализовать решение задачи, сформулированной в постановке проблемы военно-экономического исследования, представленного зависимостями (4) и (5), а именно позволяет провести определение вектора  $P$ , соответствующего максимальному значению  $K_r$ . Суть метода заключается в формировании и последующем переборе всех возможных основных вариантов стратегии эксплуатации изделий и выборе такого из них, который соответствует максимальному значению  $K_{го}$ . При этом варьируются все возможные показатели периодичности различных видов обслуживания, объемы различных видов обслуживания и назначенный срок службы.

Решение этой сложной оптимизационной задачи может быть получено при использовании метода поэтапной последовательной максимизации среднего времени пребывания в работоспособном состоянии и фиксированном значении срока службы, суть которого состоит в следующем. Вначале фиксируется число видов контроля, проводимого в рамках технического обслуживания и восстановительных работ. Далее в качестве начальной совокупности периодов контроля используется набор, реализуемый на практике для большинства изделий.

Основные результаты исследований по разработке стратегии эксплуатации изделий приведены на рис. 3.

На рисунке 3 представлена графическая иллюстрация заключительной части военно-экономического обоснования стратегии эксплуатации изделий, проведенного по критерию эффективность – стоимость. На координатное пространство  $K_{го}(S)$  наносятся пары значений  $(S_i, K_{гоi})$ , определенные с использованием метода, представленного на рис. 2.

Среди пар значений  $(S_i, K_{гоi})$ , оставшихся в координатном поле, выбирается та пара, которая соответствует максимальному значению  $K_{го\max}$ .

В качестве оптимальной стратегии выбирается такая стратегия, которая соответствует паре  $(K^*_{го}, S^*)$ , а искомый вектор,



Рисунок 2. Метод комплексного военно-экономического обоснования периодичности обслуживания, объёма различных видов обслуживания и срока службы изделий. Например: контроль технического состояния изделий на средствах комплекса (контроль готовности КГ), упрощённый или сокращённый контроль и полный контроль функционирования с применением АКПС (работоспособности первой и второй КР), проверки по которым распределяются по различным видам обслуживания.

характеризующий оптимальную стратегию, имеет вид:

$$\underline{P}^* = P(T_{об}, T_k, T_{сл}, T_{рк}, T_B, P_A, X, V_{const}, D, F, N).$$

Исходя из ограничения  $S$  меньше или равно  $S_{треб}$ , часть указанного пространства отсекается прямой  $S = S_{треб}$ . Таким образом, мы пришли к решению задачи военно-экономического обоснования стратегии эксплуатации изделий в той постановке, в которой она была принята в начале исследования.

В качестве примера указанного подхода были проведены исследования и выработаны следующие рекомендации по определению параметров оптимальной стратегии эксплуатации изделий средней дальности второго поколения.

Пример: С целью обеспечения  $K_{го}^* = \max K_{го}(P) = 0,896$ , при  $S \leq S_{треб} = 12$  тыс. руб., был

найден вектор  $\underline{P}$ . Основные параметры стратегии эксплуатации приведены на рисунке 3.

Таким образом, применение полумарковской модели формирования стоимости эксплуатации изделий позволило учесть основные параметры стратегии эксплуатации и исследовать их влияние на динамику изменений, а применение метода военно-экономического обоснования – обосновать фактические значения основных параметров системы эксплуатации изделий при решении задачи их оптимизации по критерию «стоимость – коэффициент готовности».

Предлагаемый подход может быть полезен и для определения параметров системы эксплуатации других изделий В и ВТ в условиях стратегии их эксплуатации по уровню коэффициента готовности.

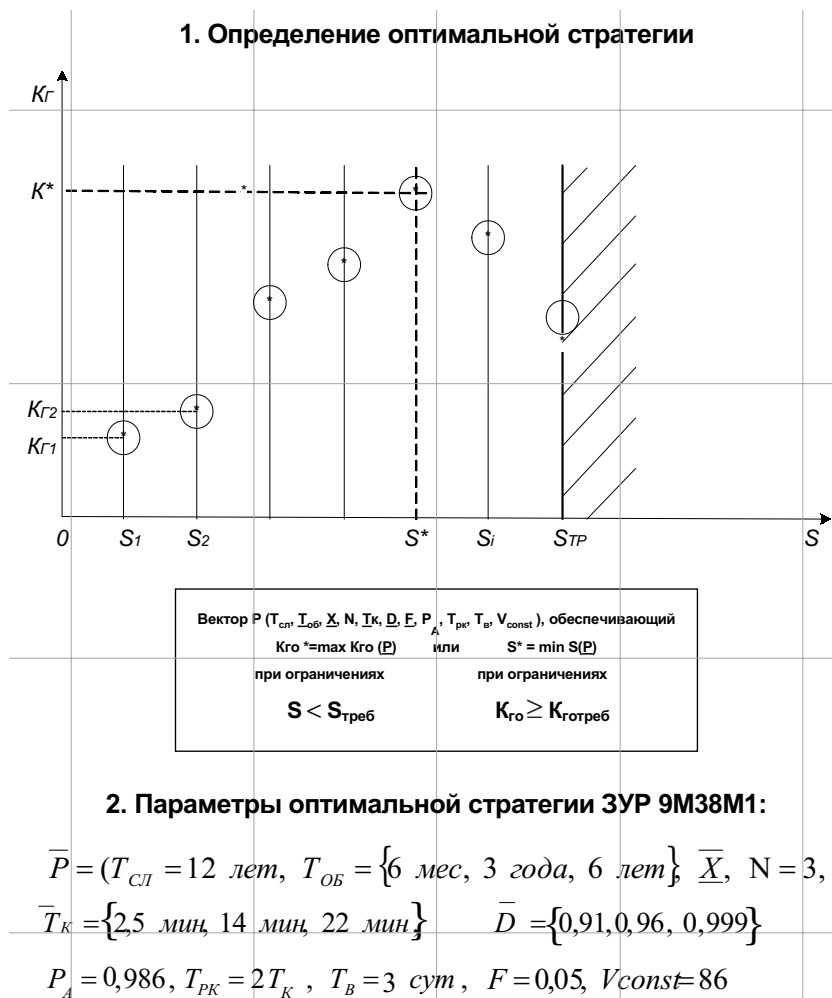


Рисунок 3. Результаты исследований по разработке стратегии эксплуатации изделий

**Список использованной литературы:**

1. Военный энциклопедический словарь – М.: Военное издательство, 1984. – 863 с.
2. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем. – М.: Высшая школа, 1982. – 232 с.
3. Основы эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры /Под ред. Лавриненко В.Ю. – М.: Высшая школа, 1978. – 320 с.
4. Надежность и эффективность в технике: Справочник в 10 т. / Ред. совет: Авдеевский В.С. (председатель) и др. – М.: Машиностроение, 1986. – Т. 1.– 224 с.
5. Шаталов Э.В. Методологическое обеспечение технико-экономической оценки эффективности перехода на систему технического обслуживания и ремонта В и С РХБЗ по техническому состоянию. Сборник научных трудов // Проблемы военной науки. №14. М.: Издательство ГРНИИ, 2002, 110 с.
6. Медведев В.М., Мищенко В.И. Моделирование стоимости эксплуатации ракет // Вестник Академии военных наук. №1 (22), 2008. –М., 97-110.
7. Медведев В.М. Комплексное обоснование основных параметров системы эксплуатации зенитных управляемых ракет. ВА ПВО ВС, 2007. – Смоленск, 238.