

УДК 629.764.001.76

**В. Н. БЛИНОВ, В. М. ШУЛИКО****СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СРОКОМ СЛУЖБЫ  
МНОГОЦЕЛЕВЫХ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ**

Обсуждается построение и основное содержание системы управления сроком службы многоцелевых ракетных средств выведения на примере ракеты-носителя «Космос-3М». Рассматривается управление сроком службы ракеты-носителя с учетом ее многоцелевого использования. Приводятся методы и пример решения задачи продления срока службы многоцелевой ракеты-носителя, а также вопросы управления наземной экспериментальной отработкой и летными испытаниями. *Дефектация ; мониторинг ; надежность ; ракета-носитель ; жизненный цикл ; эксплуатация*

Дальнейшее развитие многоцелевых ракет-носителей (МРН), отличающихся своим многообразием, сложностью функциональных и конструктивных схем выдвинуло актуальную проблему по увеличению срока их службы [1–4]. В этой связи возникла научно-техническая задача по разработке системы управления сроком службы (СУСС) многоцелевой ракеты-носителя (МРН) для оценивания технического состояния и надежности МРН с целью обеспечения их эффективного применения в условиях продленных сроков службы.

**СТРУКТУРНАЯ СХЕМА  
И ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ СУСС**

Опыт научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по продлению срока службы МРН «Космос-3М» позволил определить основное содержание СУСС МРН (рис. 1) [2].

СУСС состоит из подсистем мониторинга, управляющей и прогнозирующей системы. В подсистеме мониторинга решаются задачи сбора, хранения и обработки информации о жизненном цикле МРН, формирования структуры МРН как объекта исследования, структурная декомпозиция показателей, определяющих срок службы, исследуются ресурсные показатели, надежность, производственная база, проводятся исследования на основе дефектации МРН со сроком хранения, соизмеримым с прогнозируемым, и др. При диагностике решаются вопросы анализа реального технического состояния МРН и устанавливаются наиболее критичные ее компоненты.

Управляющая подсистема предназначена для проведения расчетно-экспертно-статистического анализа и выбора рациональных вариантов управления сроком службы МРН. На основе анализа обобщенной информации разрабатываются методы оценки срока службы МРН и прогнозная модель функционирования при будущей ее эксплуатации.

Прогнозирующая система, используя результаты работы управляющей системы, выполняет расчеты прогнозирования запаса имеющегося срока службы и рационального срока дальнейшей эксплуатации МРН.

Решая задачу достоверности определения срока службы МРН, СУСС должна содержать следующие обязательные функциональные модули:

- модель надежности и безопасности полета, которая должна учитывать все возможные нарушения функционирования агрегатов, систем МРН и описывать последствия этих нарушений с позиции безопасности полета;
- подсистема контроля достигнутого уровня надежности и безопасности полета МРН в зависимости от срока хранения.
- модуль сравнения эксплуатационных характеристик и параметров МРН, в котором производится оценка степени отклонения результатов эксплуатации от параметров модели;
- подсистема контроля технического облика МРН, которая отслеживает облик МРН на рассматриваемых этапах жизненного цикла по всем изменениям конструкции и заменам агрегатов;



Рис. 1. Структурная схема СУСС МРН

• подсистема контроля выполнения требований эксплуатационной документации, которая отслеживает реализацию заложенных требований с учетом всех ее изменений в процессе летной и наземной эксплуатации МРН с учетом технического облика разновидностей МРН и условий эксплуатации.

**УПРАВЛЕНИЕ СРОКОМ СЛУЖБЫ С УЧЕТОМ МНОГОЦЕЛЕВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ**

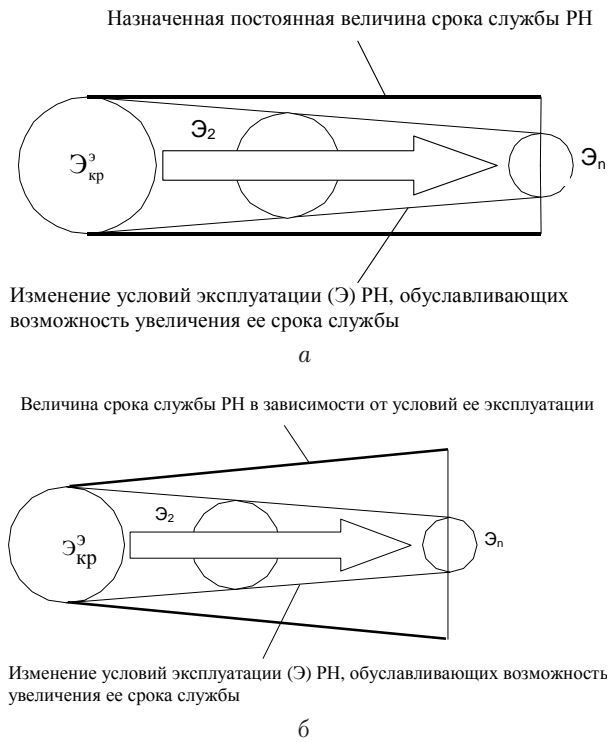
Рассмотрим особенности многоцелевой задачи продления срока службы МРН. Для решения поставленной научно-технической задачи использованы многоцелевые методы (метод «гарантированного» результата, метод структурного проектирования (рис. 2), метод прототипа (аналога) [1, 2].

По методу гарантированного результата МРН с фиксированными векторами парамет-

ров и структурой срок службы  $T_{cc}^*$  определяется для некоторых заданных критичных условий функционирования (эксплуатации)  $\mathcal{E}_{кр}^{\mathcal{E}}$  из области допустимых  $T_{cc}^* \in T_{cc}(\mathcal{E})$ . При нахождении МРН в других условиях функционирования (эксплуатации)  $\mathcal{E}_i$  МРН имеет запас  $\rho(\mathcal{E}_i)$  по локальным срокам службы по сравнению с  $T_{cc}^*$ :

$$\begin{aligned} \rho(\mathcal{E}_i) &= T(\mathcal{E}_i)/T_{cc}^*(\mathcal{E}_{кр}^{\mathcal{E}}); \\ \rho(\mathcal{E}_i) &= |T(\mathcal{E}_i) - T_{cc}^*(\mathcal{E}_{кр}^{\mathcal{E}})|. \end{aligned} \tag{1}$$

По методу структурной оптимизации задача комплексных исследований, связанных с продлением срока службы МРН, сформулирована следующим образом: исследовать условия эксплуатации МРН и выявить резервы бортовой аппаратуры и конструкции МРН с целью использования выявленных резервов для продления срока службы.



**Рис. 2.** Схема, иллюстрирующая метод гарантированного результата (а) и структурный метод (б) при назначении срока службы МРН:  $\Theta_{кр}^3$  — заданные критические условия эксплуатации МРН;  $\Theta_2 \dots \Theta_n$  — менее напряженные условия функционирования (эксплуатации) МРН, в которых возможно увеличение срока службы МРН

Состояние МРН представим как отображение:

$$H : T^2 \times Y \times V \times R \times S \times T_{cc} \Rightarrow X, \quad (2)$$

где  $T$  — множество текущих моментов времени  $t$ , характеризующих время жизненного цикла МРН;  $Y$  — множество значений вектора « $y(t)$ », описывающего условия хранения РН;  $V$  — множество значений вектора « $v$ », описывающего условия эксплуатации РН;  $P$  — множество значений вектора « $p$ », описывающего надежность отдельных элементов РН;  $S$  — множество значений вектора конструктивных параметров « $s$ », определяющих структурный состав РН;  $T_{cc}$  — множество значений вектора « $t_{cc}$ », описывающего срок службы;  $X$  — множество значений вектора « $x(t)$ », описывающего состояние МРН на момент пуска.

Для МРН множество  $S$  значений вектора конструктивных параметров  $s$ , определяющих структурный состав РН, представлено в виде отображения:

$$S^* : S_B \times S_K, \quad (3)$$

где  $S_B$  — множество значений вектора  $s_B$ , определяющих базовую структуру МРН, используемую во всех рассматриваемых модификациях ракет;  $S_K$  — множество значений вектора  $s_K$ , определяющего комплектующие структуры при формировании облика модификации ракеты.

Для МРН с параметрами  $\{Y, V\}$  формально будем иметь ряд разновидностей ракет — « $A$ », имеющих одну и ту же базовую структуру, но отличающихся между собой составом и типом комплектующих систем и агрегатов, а также сроком службы.

$$A = \{S_j, T_{ccj}\}, \quad j = 1, m. \quad (4)$$

По аналогии с (3) срок службы МРН определим как срок службы базовых унифицированных элементов комплектующих элементов:

$$T_{cc} : T_{cc(B)} \times T_{cc(K)}. \quad (5)$$

В свою очередь, срок службы базовых  $T_{iB}$  и комплектующих  $T_{iK}$  элементов по структурному методу рассматривается в виде:

$$\begin{aligned} T_{iB} &= T_{iB}^{\text{const}} + \Delta T_i^B; \\ T_{iK} &= T_{iK}^{\text{const}} + \Delta T_i^K, \end{aligned} \quad (6)$$

где  $T_{iB}^{\text{const}}, T_{iK}^{\text{const}}$  — постоянные составляющие срока службы для базовых и комплектующих элементов;  $\Delta T_i^B; \Delta T_i^K$  — величина увеличения срока службы для базовых и комплектующих элементов.

Основу метода прототипа (аналога) составляют исследования результатов эксплуатации ракет-прототипов (аналогов), построенных на тех же конструктивно-технологических принципах, изготавливавшихся на тех же производственных мощностях, находившиеся в аналогичных условиях хранения и эксплуатации. Облик рассматриваемого агрегата МРН представляется в виде следующего отображения:

$$S_a^* : S_{\text{ПРБ}}^a \times S_K^a, \quad (7)$$

где  $S_{\text{ПРБ}}^a$  — множество значений вектора « $s_{\text{прб}}^a$ », определяющих базовую структуру, имеющую прототип (аналог);  $S_K^a$  — множество значений векторов « $s_K^a$ », определяющих комплектующие структуры, не имеющие прототипа (аналога).

В качестве  $S_B$ -множества значений вектора  $s_B$ , определяющих базовую структуру МРН, может быть рассмотрен следующий:

$$S_B s_B : s_B^{MP}, s_B^{AA}, s_B^{D^{Y1}}, s_B^{K1}, \quad (8)$$

где  $s_B^{MP}$  — вектор, характеризующий конструкционные материалы и покрытия;  $s_B^{AA}$  — вектор, характеризующий агрегаты автоматики первой ступени;  $s_B^{K1}$  — вектор, характеризующий конструкцию первой ступени;

Рассмотрим применение структурного подхода при анализе срока службы конструкции МРН. Эксплуатационная надежность  $P_э$  представлена в виде:

$$P_э = P_T \cdot K_{дк} \cdot K_T \cdot K_X \cdot K_{yэ}, \quad (9)$$

где  $P_э, P_T$  — надежность конструкции эксплуатационная и технологическая;  $K_{дк}, K_T, K_X, K_{yэ}$  — коэффициенты, учитывающие соответственно доработку конструкции, транспортировку, хранения, условия эксплуатации.

Особенность решения задачи состоит в необходимости выявить все резервы надежности конструкции МРН. Для примера рассмотрим МРН с обтекателем с гаргротами, отсутствующими в штатной МРН (рис. 3).



Рис. 3. Доработанная МРН в части введения гаргротов на обтекателе

По структурному методу срок службы МРН  $T_{cc(РН)}$  представлен в виде:

$$T_{cc(РН)} = T_{cc(Б)} + \Delta T_{cc(дост)} + \Delta T_{cc(Р)}, \quad (10)$$

где  $T_{cc(Б)}$  — срок службы базовой МРН;  $\Delta T_{cc(дост)}$  — достигнутое увеличение срока службы доработанной МРН;  $\Delta T_{cc(Р)}$  — возможность дальнейшего увеличения срока службы штатной МРН, обусловленное высокой надежностью доработанной МРН, подтвержденной в ходе ее пуска.

### УПРАВЛЕНИЕ НАЗЕМНОЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОТРАБОТКОЙ И ЛЕТНЫМИ ИСПЫТАНИЯМИ

Одной из задач СУСС является управление экспериментальными наземными исследованиями и испытаниями и летными при проведении контрольно-испытательных пусков МРН [1–4].

Процесс оценивания затрат на испытания МРН в общем виде описывается следующей системой уравнений [1, 5]:

$$C = \sum_1^N (C_{0i} + \Delta C_i(n_i)); \quad T = \sum_1^N t_i(n_i);$$

$$W_i = W_i(n_i, W_{i-1}, A_i); \quad A_i = A_i(C_0), \quad (11)$$

где  $C, T$  — суммарные стоимость и время комплексной программы испытаний;  $N$  — число этапов испытаний;  $t_i$  — время  $i$ -го этапа испытаний;  $n_i$  — число испытаний на  $i$ -м этапе;  $W_i$  — эффективность испытаний на  $i$ -м этапе;  $A_i$  — параметры, зависящие от структуры процесса испытаний и характеризующие изменение эффективности на  $i$ -м этапе;  $C_{0i}, \Delta C_i$  — базовые и текущие затраты.

Тогда задача оптимизации формулируется следующим образом:

$$C = \min, W_N \geq W_3, T \leq T_3, \quad (12)$$

где  $C$  — суммарная стоимость программы испытаний;  $W_3, T_3$  — заданные значения эффективности и времени на испытания МРН.

Если бы вся отработка МРН до заданного значения эффективности  $W_3$  проводилась бы только в контрольно-испытательном пуске, то для этого потребовалось бы время  $T$  (рис. 4).

При наземной отработке скорость роста эффективности выше, чем при летном эксперименте, однако, предельное значение эффективности  $a_n$  меньше заданного значения  $W_3$ .



Для сокращения общего времени и стоимости испытаний отработку МРН до определенного значения эффективности  $W_{оп}$ , соответствующего точке А, необходимо проводить на земле, а окончательную отработку до заданного значения эффективности  $W_3$  осуществлять в контрольно-испытательном пуске.

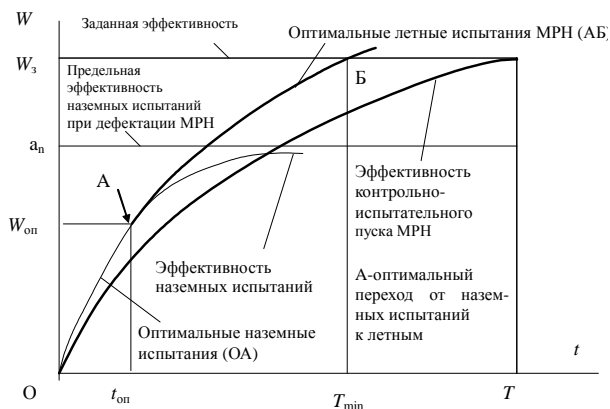


Рис. 4. Диаграмма распределения экспериментальных исследований

Повышение эффективности испытаний по продлению срока службы МРН достигается за счет достоверности оценки ее технического состояния, в том числе:

- при наземных испытаниях: проведением дефектации и исследований МРН и ее элементов со сроком хранения, соизмеримым с продлеваемым сроком службы [1, 2];
- при проведении контрольно-испытательного пуска: увеличением объема получаемой телеметрической информации о параметрах активного участка выведения МРН путем использования измерительных средств выводимых космических аппаратов, взаимодействующих со спутниковыми системами навигации [3, 4].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексный подход к продлению срока службы МРН на основе разработанной СУСС, теоретическую основу которой составляет структурный метод, позволяет с высокой степенью достоверности оценивать техническое состояние МРН и прогнозировать ее новый срок службы. СУСС апробирована при проведении работ по продлению срока службы РН «Космос-3М», а достоверность прогнозирующей системы подтверждена в ходе проведения контрольно-испытательного пуска РН. Предложенные подходы

к продлению срока службы МРН обеспечили увеличение срока службы РН «Космос-3М» с 7 до 16,5 лет [2].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Блинов, В. Н.** Методика продления срока службы ракет-носителей с истекшими сроками гарантии / В. Н. Блинов, В. М. Шулико // Военная техника, вооружение и технологии двойного применения : сб. докл. III междунар. технол. конгр. Омск, 2005. С. 32–35.
2. **Овсянкин, К. Я.** РН «Космос-3М». Исследование и оценка технического состояния с целью продления срока службы до 16,5 лет : техн. отчет / К. Я. Овсянкин, В. М. Шулико [и др.]. ПО «Полет». ТО 17-3732-03. Омск, 2003. 103 с.
3. **Блинов, В. Н.** Пат. 2242410, МПК F42B15/00. Ступень ракеты-носителя для летно-конструкторских испытаний / В. Н. Блинов, Н. Н. Иванов [и др.]. № 2002135239/28. Заявл. 24.12.2002. Оpubл. 20.12.2004. Бюл. № 35.
4. **Блинов, В. Н.** Уточнение динамических свойств ракеты-носителя на участке выведения при проведении контрольно-испытательного пуска / В. Н. Блинов, В. М. Шулико // Динамика систем, механизмов и машин : VI междунар. науч.-техн. конф., посв. 65-летию ОмГТУ : матер. докл. Кн. 2. Секц. 6 «Динамика ЛА». Омск : ОмГТУ, 2007. С. 118–120.
5. **Кринецкий, Е. И.** Основы испытаний летательных аппаратов / Е. И. Кринецкий. М. : Машиностроение, 1989. 311 с.

### ОБ АВТОРАХ



**Блинов Виктор Николаевич**, проф., зам. гл. конст. по науч. работе, зам. нач. проектн. компл. ПО «Полет» — фил. ГКНПЦ им. М. В. Хруничева. Дипл. инж.-мех. по произв. ЛА (КАИ, 1976). Д-р техн. наук (ОГТУ, 2000). Иссл. и разр. в обл. рак.-косм. техн.



**Шулико Виктор Михайлович**, нач. воен. предст-ва МО РФ. Дипл. инж.-мех. ЛА (ВА им. Ф. Дзержинского, 1988). Иссл. и разр. в обл. рак.-косм. техн.