

Б.Н. Ланецкий, В.В. Лукьянчук, А.А. Шоколовский, И.В. Коваль, В.П. Попов

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

## ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА ЗЕНИТНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ РАКЕТ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОДЛЕНИЯ ИХ НАЗНАЧЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

*Рассматриваются особенности конструкции и функционирования ракетных двигателей твердого топлива (РДТТ) зенитных управляемых ракет (ЗУР) как объектов надежности, особенности анализа технического состояния и надежности РДТТ на этапах продления назначенных показателей ЗУР. Уточняются методические положения по оценке и контролю показателей надежности РДТТ.*

**Ключевые слова:** ракетные двигатели твердого топлива, структурно-функциональная схема надежности, полный и частичный отказы, контроль работоспособности, контроль надежности.

### Введение

**Постановка проблемы.** В данное время на вооружении Воздушных Сил Украины находятся зенитные управляемые ракеты разных типов, на которых выполнены работы по продлению назначенных показателей на срок до 25 лет и планируются работы по продлению назначенных показателей на очередной срок. Актуальность вопроса продления назначенных показателей ЗУР на этом этапе связана с проблемами продления назначенных показателей ракетных двигателей твердого топлива, которые входят в состав ЗУР. Главными задачами на этом этапе являются контроль и прогнозирование технического состояния и надежности РДТТ. Как известно, к ЗУР предъявляются высокие требования по безопасности эксплуатации. Важнейшей составной частью ЗУР, определяющей функциональные характеристики и безопасность эксплуатации, является ракетный двигатель, что в свою очередь, обуславливает высокие требования к показателям функционального назначения и к показателям надежности РДТТ (так, требуемая величина основного показателя надежности РДТТ (вероятность безотказной работы) составляет 0,990 – 0,999). Для РДТТ с продолжительностью эксплуатации 25 – 30 лет показатели надежности могут существенно снижаться.

В связи с этим, вопрос анализа надежности РДТТ ЗУР на этапе эксплуатации и, в частности, на этапе продления назначенных показателей ЗУР является актуальным.

**Анализ литературы.** По вопросам надежности летательных аппаратов и их ракетных двигателей в частности, имеется большое количество работ теоретического и прикладного характера [1 – 5]. Так, в [1] рассмотрены вопросы расчета проектной надежности ЗУР, в [2] – методы расчета надежности ракетных двигателей на жидком и твердом топливе на этапах проектирования и отработки, в [3, 4] вопросы анализа надежности РДТТ на этапах проек-

тирования, испытаний и отработки, в [5] – вопросы расчета надежности РДТТ на этапах проектирования и эксплуатации.

При значительном объеме публикаций по проблемам исследования методов надежности в настоящее время ощущается нехватка в работах по методам исследования надежности ЗУР на этапе продления назначенных показателей и особенно для их РДТТ, а вопросы анализа показателей надежности РДТТ для этого этапа фактически не рассмотрены.

**Цель статьи.** Уточнение методических положений по анализу надежности РДТТ ЗУР для решения задач продления их назначенных показателей.

### Основная часть

С целью анализа надежности ЗУР при решении задач продления назначенных показателей рассмотрим особенности конструкции и функционирования РДТТ.

РДТТ ЗУР характеризуется большим разнообразием конструкций, которые отличаются габаритными, массовыми, тяговыми, временными и другими характеристиками. При большом разнообразии конструкций в них можно выделить следующие основные части: корпус, заряд твердого топлива (вкладной или скрепленный с корпусом ракеты), сопловой блок, система запуска, а также в отдельных типах ЗУР: исполнительные органы управления вектором тяги, узлы отсечки тяги и аварийного отключения [7 – 9].

Особенностью конструкции РДТТ является то, что весь запас топлива одной ступени располагается в камере сгорания этой ступени, стенки камеры сгорания и сопла не охлаждаются, корпус РДТТ является несущим – на нем монтируются элементы конструкции и узлы стыковки отсеков ЗУР. РДТТ могут быть с вкладными зарядами и скрепленными со стенками камеры сгорания. Заряд твердого топлива изготавливается определенной формы и размеров, которые должны при горении обеспечивать заданные: время работы, зависимость давления и тяги двигате-

ля от времени, значение секундного расхода топлива [9 – 12]. Если заданные характеристики не удастся достичь только путем предоставления заряду определенной формы, то прибегают к нанесению бронепокрытия на часть поверхности заряда. При этом эта часть поверхности исключается из процесса горения, и тем самым изменяется время работы двигателя и количество образующихся газов в единицу времени и, как следствие, тяговые характеристики двигателя. Для обеспечения теплоизоляции корпуса РДТТ и поддержания требуемой температуры горения на внутренние поверхности камеры сгорания может быть нанесено теплозащитное покрытие (ТЗП).

Особенностью функционирования РДТТ является заданная последовательность срабатывания и работы его элементов. Так, работа РДТТ начинается с подачи электрического импульса на мостик накаливания пиропатрона [4, 10]. Под действием теплоты загорается нанесенный на мостик иницирующий состав. Сформированный при этом огневой импульс зажигает передаточный состав пиропатрона. Форс-пламени пиропатрона непосредственно или через газоходный канал ударяет в стенку корпуса, прожигает заглушки воспламенителя и зажигает зерна пороха (таблетки пиротехнического состава), которыми снаряжен воспламенитель. Развитой поверхностью пороха вызывается большой приход горячих газов. Давление в месте расположения воспламенителя быстро возрастает, газы начинают распространяться по свободному объему камеры сгорания. Так как сопло двигателя еще загерметизовано мембраной, то давление начинает нарастать по всему объему двигателя. Одновременно прогревается поверхностный слой топлива, затем загорается и он. Газы, которые идут от горящего заряда, также повышают давление в камере сгорания, что приводит к срезу, разрыву или выбросу вклеенной мембраны. Уровень давления разрушения мембраны подобран таким, чтобы успело начаться устойчивое горение заряда. После прорыва мембраны начинается истечение горючих газов из камеры сгорания. Остатки мембраны уносятся потоком газов или сгорают.

Начало истечения газов означает появление тяги двигателя. Вскоре двигатель выходит на стационарный режим. Топливо заряда горит параллельными слоями (в приближенном представлении). Горячие газы обтекают заряд и стенки камеры сгорания, ТЗП сначала прогревается и коксует, потом начинает уноситься потоком газов. Наиболее теплонапряженная часть двигателя – сопло, его критическое сечение. Корпус упруго деформируется под действием внутреннего давления. После выгорания топлива истечение газов продолжается еще некоторое время. Давление в камере сгорания резко падает и работа двигателя на этом заканчивается.

В процессе работы РДТТ заряд взаимодействует с корпусом, газодинамическими трактами, эле-

ментами сопла блока (путем влияния на них горячей газовой фазы). Например, на оболочку корпуса заряд влияет механически, вследствие повышения давления в камере сгорания, и теплофизически через ТЗП. В свою очередь, поток газов, которые генерируются зарядом, обуславливает мощное тепловое влияние на ТЗП, химическое влияние высокоскоростных газовых потоков с частицами расплавленных металлов в условиях высоких давлений. Кроме того, деформация корпуса от внутреннего давления приводит к возникновению напряженно-деформирующего состояния ТЗП. Все эти факторы приводят к перегреву, коксованию, пиролизу, оплавлению, сублимации ТЗП, механическому разрушению и уносу частиц ТЗП. В связи с этим при разработке схем надежности РДТТ учитывают не только надежность конструктивных элементов, но и их взаимосвязи, заданную последовательность срабатывания и работы элементов двигателя. При этом вместо обычной структурной схемы надежности разрабатывают структурно-функциональную схему надежности (СФСН), в которой в качестве элементов рассматривают не только конструктивные элементы, но и явления, которые приводят к отказам, в том числе обусловленные связями между этими взаимодействующими элементами и другие особенности функционирования двигателя. СФСН разрабатывается на этапе проектирования, уточняется на этапах отработки, испытаний и при выполнении работ по продлению назначенных показателей.

Перечень параметров РДТТ, которые должны контролироваться при контрольно-технических освидетельствованиях и других специальных работах по продлению назначенных показателей, определяется функциональным назначением двигателя и продолжительностью его эксплуатации. Так, к параметрам РДТТ, которые должны контролироваться в маршевых РДТТ, относятся: масса заряда, удельный импульс тяги; время задержки зажигания заряда, время выхода двигателя на режим, максимальное давление в камере сгорания, отклонение среднего интегрального давления от номинального давления, отклонение текущего давления от номинального значения в каждый произвольный момент времени, продолжительность работы заряда; текущий массовый расход топлива, среднее значение массового расхода за время работы двигателя в установившемся режиме [4, 10]. Совокупность этих показателей должна свидетельствовать о возможности реализации ЗУР заданной траектории.

Для стартовых РДТТ к параметрам, которые должны контролироваться при контрольно-технических освидетельствованиях и других специальных работах по продлению назначенных показателей относятся: начальная тяга, среднее интегральное значение тяги, конечная тяга, максимальное значение тяги, минимальное значение тяги, максимальное

давление в камере сгорания; импульс тяги. Совокупность этих показателей должна свидетельствовать о возможности нормального схода ЗУР с направляющих и отсутствии провалов на траектории.

Трудности анализа отказов и обеспечения работоспособности РДТТ на этапе продления назначенных показателей заключаются в сложности и неоднозначности физико-химических процессов в элементах двигателя, сложности и многочисленности их взаимосвязей, разному проявлению отказов при продолжительной эксплуатации. Так, для заряда одной и той же конструкции можно насчитать десятки видов отказов, которые вызываются самыми разнообразными процессами на разных этапах эксплуатации:

- растрескивание, отслоение бронепокрывтия при хранении, сколы, задиры при транспортировании;
- сколы, потеря устойчивости при полете ракеты до включения данного РДТТ;
- механическое разрушение, незажжение, загазование при запуске двигателя;
- резонансное горение, разрушение при работе двигателя.

Для составления СФСН РДТТ двигатель (или его составную часть) рассматривают как сложную систему и разделяют на ряд самостоятельных функциональных элементов и параметров. Количество основных элементов и параметров, которые выделяют в системе, устанавливают с учетом: влияния выделенного элемента (параметра) на надежность системы, возможности получения необходимой информации для оценки и контроля надежности, а также из экономической целесообразности проведения детального анализа.

РДТТ современных ЗУР должны быть готовы к боевому использованию на протяжении всего времени эксплуатации без любых дополнительных операций, в том числе контрольных проверок. Поэтому РДТТ при анализе надежности рассматривается как неконтролируемый объект, который не обслуживается и не ремонтируется [5], а свойства ремонтпригодность и долговечность РДТТ не исследуются. Работоспособность РДТТ ЗУР полностью определяется сохраняемостью и безотказностью. При этом время работы РДТТ ничтожно мало в сравнении с продолжительностью его хранения или эксплуатации.

В связи с этим номенклатура показателей надежности РДТТ определяется показателями безотказности (вероятность безотказной работы, вероятность нахождения внутренних баллистических параметров (ВБП) в заданных пределах), сохраняемости (средний срок сохраняемости, гамма-процентный срок сохраняемости, вероятность безотказного транспортирования на установленную дальность) и комплексными показателями надежности [4, 5].

Уточним понятие отказа и показателей надежности РДТТ. Относительно РДТТ понятие отказа

можно конкретизировать, как событие, которое заключается в нарушении требуемой целостности элементов и их связей или заданной последовательности срабатываний элементов, которые приводят или могут привести к невыполнению задачи ЗУР, частью которой является РДТТ.

Различают полные (конструктивные) отказы РДТТ и частичные (параметрические). Выше приведенное определение отказа можно отнести к полным отказам. Например, если не сработает воспламенитель, или отгорит сопло, то ракета, безусловно, не выполнит боевую задачу.

Частичные отказы характеризуются отклонением рабочих параметров РДТТ за пределы допусков. Так, если время работы двигателя или давление в камере сгорания или тяга выйдут за пределы, установленные в нормативной документации, то это далеко не обязательно приведет к невыполнению задачи ЗУР. Поэтому, выход ВБП за пределы, установленные в нормативных документах, нельзя считать полным отказом наравне с конструктивными отказами.

Так как определяющей составляющей надежности РДТТ является безотказность, то в качестве основного показателя надежности РДТТ используется ВБР (за заданную наработку), т.е. вероятность того, что при применении РДТТ по назначению в течении заданной наработки в произвольный момент времени при эксплуатации в заданных условиях и в пределах назначенного срока службы отказ двигателя не произойдет.

В качестве показателя параметрической надежности используется вероятность нахождения ВБП в заданных пределах.

Комплексный показатель надежности РДТТ объединяет конструктивную и параметрическую составляющую надежности и характеризует безотказность и сохраняемость [4, 5].

Рассмотрим показатели надежности, характерные для элементов РДТТ.

По характеру функционирования все конструктивные элементы РДТТ можно разделить на три группы:

- первая – одноразового срабатывания (пиропатроны, воспламенители и др.);
- вторая – непрерывного функционирования, время работы которых измеряется в единицах времени (заряды твердого топлива и др.);
- третья – с параметрическими отказами, к которым относятся элементы конструкции РДТТ, надежность которых зависит как от действующих механических и тепловых нагрузок, так и от способности осуществлять сопротивление этим нагрузкам (теплозащитное покрытие, корпус двигателя, патрубки и др.).

Каждая группа элементов характеризуется своими показателями надежности.

Для элементов первой группы таким показателем является вероятность безотказного срабатывания, точечная оценка которой определяется как отношение количества элементов, которые успешно прошли испытание, к общему количеству испытываемых элементов.

Для элементов второй группы показателем надежности является ВБР за время, определенное нормативной документацией.

Для элементов третьей группы показателем надежности является вероятность нахождения ВВП в пределах допусков за продолжительность работы РДТТ. Контроль этих показателей надежности, как правило, осуществляют косвенными методами. Так условием безотказности ТЗП является выполнение неравенства  $T(\tau) < T_{\text{доп}}$ , а показателем надежности – вероятность этого события, т.е. вероятность того, что на протяжении всего рабочего процесса  $\tau$  температура  $T(\tau)$  ТЗП не превышает допустимых значений. В связи с техническими сложностями измерения температуры ТЗП взамен контроля температуры проводят измерение величины остаточной (после испытания) толщины ТЗП. Тогда условие безотказности ТЗП формулируется в виде неравенства  $\delta_n \geq \delta_{\text{доп}}$ , где  $\delta_n$ ,  $\delta_{\text{доп}}$  – фактическая и допустимая остаточная толщина ТЗП.

Анализ надежности РДТТ проводят на уровне системы, конструктивных элементов при разных расчетных случаях. Надежность системы определяется надежностью ее конструктивных элементов (при этом надежность системы по взаимодействиям элементов включают обычно в показатели надежности соответствующих элементов), а надежность элементов определяется их надежностью в различных расчетных случаях. При этом одновременно учитывают не все отказы, а лишь те, которые могут произойти при одинаковых условиях эксплуатации.

На РДТТ с момента его изготовления и до момента его использования по назначению влияют различные перегрузки. Например, при сборке РДТТ – усилие распрессовки заряда двигателя, при транспортировании – вибрации, при работе – температурные напряжения, осевая и боковая перегрузки, перепады давления и т.п. Большинство этих нагрузок разносятся во времени, поэтому при расчете действия таких нагрузок нельзя совмещать. Их учет целесообразно осуществлять для каждого расчетного случая, например, для случая появления трещин при распрессовке заряда, для случая потери устойчивости заряда при действии полетных перегрузок и перепадов внутреннего давления при работе РДТТ.

Более корректным является учет действия всех перегрузок путем определения накопленных повреждений в топливе за весь цикл эксплуатации заряда. В интеграл накопленных повреждений вносит свой вклад каждая перегрузка в соответствии со своей величиной и продолжительностью действия, а в оп-

ределенных случаях и последовательность влияний различных перегрузок.

Особое значение при оценке надежности РДТТ имеет корректный учет температурных условий использования. Так, для отрицательных температур характерны отказы типа незажжения заряда от воспламенителя, который сработал, а для положительных температур – отказы типа потери устойчивости. Критической температурой при оценке надежности оболочки корпуса является наибольшая температура эксплуатации: в этом случае внутреннее давление имеет наибольшее значение, а прочность корпуса – наименьшее. Для ТЗП наиболее опасной является наименьшая температура эксплуатации, так как при ней время работы двигателя, а значит, и время влияния горячих газов на ТЗП наибольшее. Этот фактор превалирует над всеми другими. Другие отказы могут проявляться как при отрицательных, так и при положительных температурах. Например, при отрицательных температурах воспламенитель может не сработать вследствие слабости форса огня пиропатрона, а заряд может получить механические повреждения от резкого воздействия газов воспламенителя или ударных полетных перегрузок из-за низкой ударной вязкости горючего. При положительных температурах воспламенитель также может не сработать, но по причине сильного влияния газов пиропатрона на воспламенитель, способных разрушить воспламенитель и разнести зерна пороха по объему двигателя, а заряд может получить повреждение при действии перегрузок, но уже по причине низкой прочности горючего.

Кроме того, можно выделить группу отказов, причины которых появляются еще до начала работы двигателя, а проявляют они себя при его работе. Например, отказ заряда может произойти по причине отслоения бронепокрывтия в результате накопления повреждений в адгезионном шве за все время эксплуатации РДТТ, предшествующее его работе. Появление подобных отказов не зависит от температуры двигателя в момент запуска.

В связи с этим, надежность двигателя следует оценивать отдельно для отрицательных и положительных температур применения ЗУР, составляя для разных условий отдельные перечни расчетных случаев (возможных отказов). Понятно, что отказы первой группы (типа незажжения заряда) будут присутствовать только в одном из перечней (для отрицательных температур). Отказы второй группы (типа разрушения заряда), которые могут происходить при разных температурах применения, включаются в оба перечня (для отрицательных и положительных температур). В обоснованных случаях такие отказы могут входить только в один перечень. Отказы третьей группы (типа отслоения бронепокрывтия) учитываются обязательно при расчете надежности во всех случаях.

С целью уменьшения объема и обеспечения требуемого качества работ по продлению назначенных показателей необходимо последовательно обнаруживать и ликвидировать причины отказов РДТТ, что достигается правильным проведением диагностики его технического состояния. Диагностика технического состояния РДТТ связана с анализом состояний элементов РДТТ, приводящих к отказам двигателя и проводится на этапе "холодных" автономных испытаний. Отдельные невыявленные дефекты могут привести к отказу РДТТ только при проведении огневых стендовых испытаний (ОСИ) и контрольных летных испытаний ЗУР. Причины отказов двигателя при таких испытаниях определяются по характеристикам работы РДТТ, которые были зафиксированы датчиками и регистраторами стендового оборудования.

Результаты диагностирования РДТТ до испытаний и после них позволяют уточнять классификацию отказов по причинно-следственному принципу, т.е. уточнять "дерево отказов" [4]. Например, отказ РДТТ является следствием отказов его узлов и систем, отказы узла и системы являются следствием отказов их составных частей и т.д. Уточненные "ветви" дерева отказов позволяют создавать физические модели отказов, а затем математическую модель надежности РДТТ.

По каждой группе отказов (для несовместных условий эксплуатации и применения) проводят расчет надежности. В качестве оценки ВБР двигателя принимают наименьшую из полученных оценок для выделенных групп отказов. В целом для расчета показателей надежности РДТТ целесообразно применять расчетно-экспериментальные методы. Как указано выше, безотказность РДТТ оценивается вероятностью его безотказной работы. Этот показатель должен учитывать оценки показателей надежности элементов РДТТ с полными и с частичными отказами. Поэтому расчет точечной оценки ВБР РДТТ за наработку  $t$  осуществляется в соответствии с соотношением [2, 4]:

$$\hat{R}(t) = \prod_{i=1}^n [1 - \alpha_i (1 - \hat{R}_i(t))], \quad (1)$$

где  $\hat{R}_i(t)$  – точечная оценка ВБР  $i$ -го элемента группы за наработку  $t$ ;  $\alpha_i$  – коэффициент влияния отказов ( $0 < \alpha_i \leq 1$ )  $i$ -го элемента на безотказность РДТТ;  $n$  – количество элементов в СФСН РДТТ. Для полных отказов величина коэффициента  $\alpha_i = 1$ , а для частичных отказов  $\alpha_i = 0,001 \dots 0,1$ .

Для этапа продления назначенных показателей характерным является изменение коэффициента влияния отказов и ВБР в зависимости от продолжительности эксплуатации ( $t_3$ ), т.е.  $\alpha_i(t_3)$ ,  $\hat{R}_i(t, t_3)$ , тогда соотношение (1) принимает вид:

$$\hat{R}(t, t_3) = \prod_{i=1}^n [1 - \alpha_i(t_3)(1 - \hat{R}_i(t, t_3))]. \quad (2)$$

Контроль технического состояния выборки РДТТ может осуществляться следующими методами:

- проверка РДТТ путем неразрушающего контроля с разборкой и внешним осмотром элементов двигателя. При этом можно выявить нарушения целостности элементов двигателя и их связей;
- проведение автономных "холодных" испытаний элементов двигателя, под которыми понимается создание нагрузок и воздействий, эквивалентных эксплуатационным с дальнейшей разборкой и осмотром отдельных составных частей РДТТ [2];
- проведение ОСИ пиротехнических средств РДТТ;
- проведение комплексных ОСИ двигателя в целом;
- испытание РДТТ на транспортабельность на стендах;
- проведение комплексных испытаний РДТТ в составе ЗУР при контрольных летных испытаниях.

Комплексные испытания (ОСИ РДТТ и его испытание в составе ЗУР) являются заключительными при работах по продлению назначенных показателей РДТТ. При ОСИ проверяется соответствие параметров функционального назначения двигателей требованиям нормативной документации. К таким параметрам относятся требуемый закон изменения тяги РДТТ, продолжительность работы двигателя, импульс тяги двигателя и прочие.

После проведения ОСИ осуществляется разборка и дефектация сохранившихся элементов РДТТ, проводится анализ результатов испытаний и оценка работоспособности РДТТ.

Оценка ВБР отдельных элементов и РДТТ в целом должна проводиться с учетом всей предварительно накопленной и полученной в процессе специальных работ по продлению назначенных показателей информации.

Оценка показателей надежности РДТТ осуществляется по всей накопленной к моменту оценивания информации. При этом учитываются:

- априорные данные о надежности элементов и РДТТ в целом, которые получены по результатам предыдущих работ по продлению, контрольно-технических освидетельствований и всех видов испытаний;
- информация, которая получена после разборки двигателя методами неразрушающего (для разборных РДТТ) и разрушающего контроля (для неразборных РДТТ) и внешнего осмотра его отдельных элементов;
- информация, которая получена по результатам проведения автономных "холодных" и ОСИ отдельных элементов двигателя;
- информация, которая получена по результатам ОСИ двигателя в целом;
- информация, которая получена по результатам проведения контрольных летных испытаний РДТТ в составе ЗУР.

В связи с тем, что для оценки показателей надежности используется разнородная информация, то целесообразно для получения оценок применять байесовские методы оценивания надежности [11]. Полученную точечную и (или) интервальную оценки показателей надежности РДТТ используют для проверки соответствия надежности заданным требованиям.

Рекомендуется контроль надежности РДТТ осуществлять по выполнению неравенств:  $\hat{R}(t, t_3) \geq R_{\text{тр}}$  – при малом количестве испытаний;  $\hat{R}(t, t_3)_\gamma \geq R_{\text{тр}}$  – при большом количестве испытаний, где  $\hat{R}(t, t_3)_\gamma$  – односторонняя нижняя  $\gamma$  доверительная граница ВБР;  $R_{\text{тр}}$  – требуемая величина ВБР.

По результатам принятых частных решений о работоспособности и безопасности эксплуатации РДТТ, соответствии его показателей надежности заданным требованиям принимается решение о продлении назначенных показателей РДТТ.

### Выводы

В статье уточнены методические положения по анализу надежности РДТТ ЗУР для решения задач продления назначенных показателей. Рассмотрены особенности конструкции, функционирования РДТТ ЗУР и анализа его надежности на этапах продления назначенных показателей. Показана необходимость разработки СФСН, которая учитывает надежность конструктивных элементов РДТТ, их взаимосвязей, заданную последовательность срабатывания и работы элементов двигателя.

Конкретизированы понятия отказов, надежности РДТТ, показателей надежности РДТТ и его элементов. В соответствии с особенностями функционирования элементов РДТТ выделены их группы и соответствующие показатели их надежности.

Рассмотрено многообразие видов отказов РДТТ, что потребовало их классифицировать по группам. Выделен перечень параметров, которые

должны контролироваться при решении задач продления назначенных показателей РДТТ. Уточнены правила принятия решений о соответствии уровня надежности РДТТ заданным требованиям.

### Список литературы

1. Проектирование зенитных управляемых ракет: Под ред. И.С. Голубева и В.Г. Светлова; изд. второе, перераб. и доп. – М.: Изд-во МАИ, 2001. – 732 с.
2. Волков Э.Б. Основы теории надёжности ракетных двигателей / Э.Б. Волков, Р.С. Судаков, Г.А. Сырицын. – М.: Машиностроение, 1974. – 400 с.
3. Волков Л.И. Надёжность летательных аппаратов: учебное пособие / Л.И. Волков, А.М. Шишкевич. – М.: Высшая школа, 1975. – 294 с.
4. Надёжность ракетных двигателей на твердом топливе: монография / Ю.М. Милехин, А.Ю. Берсон, В.К. Кавицкая, Э.И. Эрибург. – М.: МГУП, 2005. – 878 с.
5. Ланецкий Б.Н. Основы теории надежности, эксплуатации и ремонта средств зенитных ракетных систем. Ч.1: учебное пособие; под ред. Б.Н. Ланецкого / Б.Н. Ланецкий, В.С. Жуков, А.С. Алексеев. – Х.: ХУ ПС, 2009. – 509 с.
6. Надёжность механических частей летательных аппаратов / А.А. Кузнецов, А.А. Зологов, В.А. Комягин, М.И. Титов. – М.: Машиностроение, 1979. – 144 с.
7. Ракета 5В27Д. Техническое описание. Часть 1. – М.: Воениздат, 1981. – 128 с.
8. Изделие 9М83. Техническое описание 9М83.0000.ТО, 1982. – 117 с.
9. Ракета 9М38М1. Техническое описание. 9М38М1.0000.000. ТО, 1984. – 111 с.
10. Фахрутдинов И.Х. Конструирование и проектирование РДТТ: учебник для вузов / И.Х. Фахрутдинов, А.В. Котельников. – М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.
11. Савчук В.П. Байесовские методы статистического оценивания. Надёжность технических объектов / В.П. Савчук. – М.: Наука, 1989. – 328 с.
12. Гнатовский Н.И. Основы устройства и эксплуатации ЗУР: учебник / Н.И. Гнатовский, Э.П. Маслов, О.К. Федоров; под ред. Н.И. Гнатовского. – К.: КВАИУ, 1972. – 352 с.

Поступила в редколлегию 4.10.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б.А. Демидов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

### ОСОБЛИВОСТІ АНАЛІЗУ НАДІЙНОСТІ РАКЕТНИХ ДВИГУНІВ ТВЕРДОГО ПАЛИВА ЗЕНІТНИХ КЕРОВАНИХ РАКЕТ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ПРОДОВЖЕННЯ ЇХ ПРИЗНАЧЕНИХ ПОКАЗНИКІВ

Б.М. Ланецький, В.В. Лук'янчук, А.А. Шоколовський, І.В. Коваль, В.П. Попов

Розглядаються особливості конструкції та функціонування ракетних двигунів твердого палива (РДТП) зенітних керованих ракет (ЗКР) як об'єктів надійності, особливості аналізу технічного стану та надійності РДТП на етапах продовження призначених показників ЗКР. Уточнюються методичні положення щодо оцінки та контролю показників надійності РДТП.

**Ключові слова:** ракетні двигуни твердого палива, структурно-функціональна схема надійності, повні та часткові відмови, контроль працездатності, контроль надійності.

### PECULIARITIES OF RELIABILITY ANALYSIS FOR THE SOLID FUEL ROCKET ENGINES OF SURFACE-TO-AIR MISSILES ON THE STAGE OF EXTENSION OF THEIR ASSIGNED SERVICE TERMS

B.N. Lanecky, V.V. Luck'yanchuk, A.A. Shokolovsky, I.V. Koval, V.P. Popov

The peculiarities of construction and exploitation of solid fuel rocket engines (RDIT) of the surface-to-air missiles (ZUR) are examined as objects of reliability, peculiarities of their technical state analysis and reliability of RDIT on the stages of extension of their assigned service terms of ZUR. Methodical positions are specified in relation to control and estimation of RDIT reliability indices of.

**Keywords:** solid fuel rocket engines, structurally-functional chart of reliability, complete and partial faults, control of functionality, control of reliability.

