

УДК 621.391

Б.Н. Ланецкий, В.В. Лукьянчук, А.А. Артеменко

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

КОМПЛЕКСНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ И ОСТАТОЧНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Формулируются основные научно-методические положения по оцениванию показателей безотказности и остаточной долговечности при эксплуатации сложных технических систем (СТС) по техническому состоянию. Рассматриваются основные факторы, определяющие понятия предельного состояния и остаточного ресурса для СТС и их составных частей, положения концепции оценивания (прогнозирования) остаточного ресурса и срока службы и методы их оценивания по результатам эксплуатационных наблюдений и испытаний.

Ключевые слова: показатели безотказности и остаточной долговечности, радиоэлектронные средства, эксплуатация по техническому состоянию, метод оценивания.

Введение

Постановка проблемы. Современный этап эксплуатации вооружения и военной техники Вооруженных Сил Украины и ряда других государств характеризуется: существенно возросшим количеством сложных технических систем (СТС), выработавших установленные (назначенные) сроки службы и (или) ресурсы и высокозатратной системой их технического обслуживания и ремонта (СТО и Р).

В связи с этим актуальной является задача разработки и совершенствования СТО и Р разрабатываемых и эксплуатируемых СТС с целью существенного снижения временных, трудовых, материальных и стоимостных затрат на поддержание работоспособного состояния (РС) и заданного уровня надежности при эксплуатации. Общеизвестным путем в этом направлении является разработка и внедрение методов эксплуатации СТС по техническому состоянию (ЭТС), что, в свою очередь, требует решения ряда научных, организационных, технических и др. задач, в том числе разработки и внедрения контроля предельного состояния (КПС). При проведении КПС должна решаться задача оценивания показателей остаточной долговечности (п.о.д.) СТС. Для эффективной эксплуатации СТС по техническому состоянию (ТС) необходимо располагать методами индивидуального оценивания п.о.д., позволяющими с приемлемой точностью и достоверностью по результатам эксплуатации, в том числе по результатам КПС, получать оценки п.о.д. и принимать обоснованные решения о продолжении эксплуатации СТС по ТС до очередного КПС или о её прекращении для выполнения последующего ремонта или списания.

Анализ литературы. Задача оценивания п.о.д. должна решаться при условии, что для объекта оценивания определены понятия предельного состояния (ПС) и ресурса. Одним из недостатков известных

методик оценивания п.о.д. является то, что в методических положениях нет четких определений этих понятий, а также, отсутствуют нормативные документы по КПС применительно к конкретным объектам.

Известные методы оценивания показателей долговечности и, в частности, п.о.д. разработаны для восстанавливаемых объектов или построены в предположении об известном законе распределения наработки до ресурсного отказа восстанавливаемых объектов [1 – 3]. Для получения требуемой точности и достоверности оценок п.о.д. требуются большие выборки СТС и продолжительные интервалы наблюдений до наступления ресурсных отказов [1, 4]. Также при использовании традиционных методов оценивания показателей долговечности необходимо учитывать что они разработаны, как правило, применительно к регламентированным стратегиям эксплуатации и применяются для парка однотипных СТС и, как следствие, недостаточно полно учитывают индивидуальные особенности условий и режимов эксплуатации конкретных СТС и их особенности как объектов испытаний на надежность.

Вопросы экспериментального оценивания показателей безотказности и долговечности объектов при эксплуатации (в частности при ЭТС) не проработаны достаточно полно. При планировании испытаний [3,4] метод эксплуатации СТС, как правило, не учитывается. Для эффективной ЭТС необходима количественная оценка показателей безотказности и остаточной долговечности с заданной точностью и достоверностью для принятия решения (ПР) о моменте проведения следующего КПС, либо других решений, связанных с проведением восстановительных работ, средних или капитальных ремонтов и др. [5, 6].

Целью статьи является формулировка основных научно-методических положений по оцениванию (прогнозированию) показателей безотказности и остаточной долговечности СТС с приемлемой точностью и достоверностью для ПР при ЭТС.

Основная часть

СТС в целом, ее составные части (с.ч.), комплектующие изделия (к.и.) после истечения исходного (первоначального) срока службы, как правило, могут иметь о.р. Это обусловлено действующими нормами и правилами расчета срока службы составных частей, предусматривающими обеспечение прочности, износостойкости изделий при наиболее неблагоприятных режимах нагружения в заданных условиях эксплуатации, а также при минимальных уровнях механических и других характеристик конструкционных материалов, обеспечиваемых по ГОСТам.

Возможность прогнозирования величин о.р. обеспечивается при одновременном наличии следующих условий: известны параметры, определяющие ТС изделия; известны критерии предельного состояния изделия (в численных значениях); имеется возможность при эксплуатации периодического (или непрерывного) контроля значений параметров технических и предельных состояний и ведется регистрация результатов измерений параметров ТС.

По отдельным, характерным для составных частей деградационным процессам (изнашивания, коррозии и др.), указанные условия выполняются, по другим видам повреждений не все условия, необходимые для прогнозирования о.р., могут выполняться, что требует проведения дополнительных исследований.

Прогнозирование долговечности обычно осуществляется по следующей схеме. Через определенные периоды эксплуатации измеряют максимум величины возникших повреждений h_i (износа, коррозии, деформации и др.), устанавливаются параметры зависимости $h(t)$, которую экстраполируют до предельно допустимой величины h_d повреждений. Такой метод позволяет получить приемлемые точности оценок показателей надежности, если известен вид зависимости $h(t)$ и при измерении значений h_i определяются действительно максимальные значения повреждений.

В зависимости от требований достоверности прогноза и возможности получения информации применяют следующие подходы к прогнозированию: упрощенный, основанный на детерминированных оценках показателей, и уточненный, основанный на вероятностных оценках.

Концепция оценивания и прогнозирования ресурса отдельных видов составных частей СТС и СТС в целом должна основываться на следующих основных принципах [2,7,8]:

- принцип стохастичности ресурса объекта, т.е. ресурс любого технического объекта является случайной величиной, определяемой соответствующим законом распределения;

- принцип обоснования требований к значению назначенного ресурса определяется из условия риска, т.е. исходя из условий обеспечения заданного уровня безопасности;

- принцип сохранения физической сущности процессов при прогнозировании ресурса, т.е. модель изменения процессов деградации материалов во времени должна быть адекватна прогнозируемым процессам на интервалах предыстории и упреждения;

- принцип адекватности математических методов оценок и прогнозирования ресурса статистическим данным о работоспособности с.ч. СТС;

- принцип адекватности математических методов прогнозирования ресурса классу с.ч. СТС; В соответствии с распределением с.ч. СТС по различным признакам классификации (серийное, малосерийное, уникальное; по функциональному назначению – электронное, электротехническое, технологическое и т.д.; по влиянию на безопасность – с.ч. нормальной эксплуатации, важное для безопасности, с.ч. не влияющее на безопасность; по режимам эксплуатации - дежурный, периодический, непрерывный и т.д.), требуется применение соответствующих (адекватных) методов оценивания и прогнозирования ресурса;

- принцип детерминированных и вероятностных подходов к оценке и прогнозированию ресурса;

- принцип прогнозирования индивидуального ресурса.

В качестве основных показателей долговечности СТС можно рассматривать следующие;

- средний о.р., определяемый как математическое ожидание о.р.;

- γ -процентный о.р., определяемый как суммарная наработка, на протяжении которой объект не достигнет ПС с вероятностью γ , выраженной в процентах.

Эти два показателя могут быть рассчитаны относительно разных параметров по: параметру потока отказов; определенным ПТС; параметрам, характеризующим состояние ресурсных элементов; параметру, определяющему безопасность эксплуатации и т.д.

Применительно к методам эксплуатации СТС понятие о.р. можно толковать по-разному. В условиях ЭТС основным понятием является индивидуальный о.р., т.е. продолжительность эксплуатации конкретного объекта от момента проведения контроля его ТС (КПС) до достижения им ПС. При этом межремонтные ресурсы устанавливаются индивидуально в процессе ЭТС. В связи с этим можно использовать понятие индивидуального ресурса до ближайшего среднего или капитального ремонта.

В условиях регламентированной эксплуатации, в основном, используются групповые показатели безотказности, долговечности, сохраняемости. В связи с этим следует различать индивидуальные и групповые показатели надежности. Индивидуальные показатели характеризуют надежность каждого отдельного изделия, групповые – надежность партии изделий. Индивидуальные показатели и соответствующие им требования используют для регулирования отношений между предприятием-изготовителем и потребителем каждого конкретного изделия.

Групповые показатели надежности и соответствующие требования применяются в механизмах управления надежностью изделий на этапах их создания и эксплуатации, а также при регулировании отношений между изготовителями и потребителями в случае поставок партий изделий.

Анализ СТС как объекта испытаний позволяет выделить следующие особенности: 1) разнородный состав комплектующих изделий СТС по конструктивному исполнению и составу с широким применением элементной базы третьего поколения; 2) трудности измерения величин количественных показателей безотказности и долговечности к.и. СТС в микроэлектронном исполнении, обусловленные высокой безотказностью их к.и. и потребным объемом испытаний; 3) трудности оценки показателей надежности СТС в целом, обусловленные разнообразием механизмов отказов. Для расчета п.о.д. СТС предлагается составлять её иерархическую структурную схему типа “дерево”: СТС – функциональные системы (ФС) – функциональные узлы (ФУ) (блоки) - к.и.

Показатели остаточной долговечности ФС и СТС в целом (средний остаточный срок службы, средний о.р., и др. предполагается рассчитывать по технико-экономическому критерию, т.е. величина среднего остаточного срока службы (ресурса) СТС находится как минимальная из величин средних остаточных сроков службы (ресурсов) по техническому и экономическому критериям. [5,8].

При представлении СТС в виде многоуровневой структуры на каждом уровне образуются свои подсистемы в соответствии с принципом декомпозиции. Далее производятся исследования каждой подсистемы отдельно. При этом для расчета показателей надежности определенной подсистемы используются показатели надежности ее составных частей, представляющих собой элементы ближайшего нижнего уровня. Расчет показателей надежности осуществляется по “восходящей схеме”.

В любом элементе структурной схемы СТС, рассматриваемом как завершенное изделие, различают две непосредственно связанные части: электрическую и конструкцию, что должно учитываться при расчете показателей надежности СТС.

Методы оценивания должны давать точечную и интервальную оценки этих показателей. В качестве интервальной оценки для позитивных показателей рекомендуется использовать одностороннюю нижнюю доверительную границу.

При разработке метода оценивания п.о.д. СТС, эксплуатируемых по ТС, в первую очередь, необходимо установить приемлемую точность и достоверность этого оценивания. Решение проблемы оценивания п.о.д. и ПР о продолжении эксплуатации (или о продлении назначенных показателей) связано с решением следующих задач:

- количественный анализ исходного, израсходованного и остаточного ресурсов как отдельных объектов, так и их парка;
- обоснование проектного, начального (исходного) и остаточного ресурсов;
- оценка состояния конструкционных материалов базовых (несущих) элементов конструкций с учетом технологии изготовления, исходного состояния и возникающих эксплуатационных повреждений;
- определение характера, параметров, дислокации и размеров дефектов в несущих элементах;
- расчетный и экспериментальный анализ несущих элементов;
- исследование механизмов естественного и ускоренного старения материалов, к.и., других с.ч.;
- построение моделей функционирования объекта и его подсистем для оценки фактического состояния и остаточного ресурса;
- комплексная диагностика объекта для оценки показателей остаточного ресурса (п.о.р.);
- предварительная и уточненная расчетно-экспериментальная оценка п.о.р.

На рис. 1 приведено графическое представление реализации ЭТС СТС во времени, где показаны основные интервалы эксплуатации СТС по ТС: длительность ($\tau_{кпс}$) и период ($T_{кпс}$) проведения КПС и содержание КПС. При этом весь цикл эксплуатации (рис. 1) разбит на интервалы фиксированной продолжительности (ΔT), на которых проводятся эксплуатационные наблюдения, результаты которых рассматриваются как результаты испытаний на безотказность за данный период.

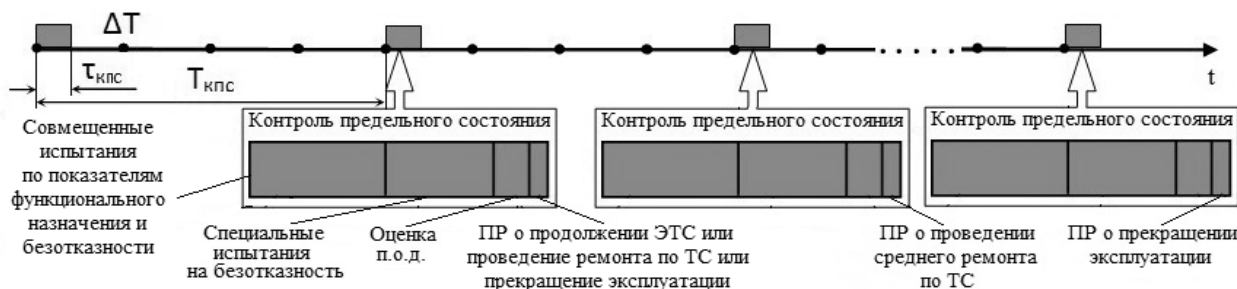


Рис. 1. Графическое представление реализации эксплуатации СТС по техническому состоянию во времени

При выполнении КПС предусмотрены совмещенные испытания по показателям функционального назначения и показателям безотказности и, при необходимости, специальные испытания на

ного назначения и показателям безотказности и, при необходимости, специальные испытания на

безотказность, по завершении которых, в случае ПР о непредельном состоянии объекта, проводится расчетно-экспериментальная оценка показателей о.р. (ср.сл.) и принимается решение о дальнейшей эксплуатации СТС по ТС или, в случае ПР о ПС – прекращения эксплуатации и целесообразность проведения ремонта установленного объема или списания СТС.

Экспериментальные исследования с целью оценки показателей долговечности можно проводить: путем организации ресурсных испытаний; путем организации эксплуатационных наблюдений; комбинированным методом, использующим два вышеназванных направления совместно.

Продолжительность интервалов эксплуатации ДТ выбирается таким образом, чтобы, во-первых, быть достаточной для накопления приемлемого количества отказов, во-вторых, не должна быть большой, чтобы безотказность изделия в течение интервала существенно не изменилась, в-третьих, должна быть согласована с системой ТО СТС. Затем по данным точечного оценивания показателей безотказности строится регрессионная зависимость и оцениваются величины показателей остаточного ресурса (срока службы).

Также устанавливается момент проведения очередного КПС. Период КПС может быть адаптивным к уровню безотказности или фиксированным, например равным периоду ТО максимальной периодичности для данной СТС [5]

Выводы

Сформулированы основные научно-методические положения по оцениванию показателей безотказности и остаточной долговечности СТС при их эксплуатации по ТС. Рассмотрены основные факторы, определяющие понятия предельного состояния и остаточного ресурса для составных частей СТС, основные

положения концепции и методы оценивания (прогнозирования) остаточного ресурса и срока службы.

На основе анализа СТС как объекта испытания на надежность изложены рекомендации по экспериментальному оцениванию их показателей безотказности и остаточной долговечности при эксплуатации по ТС.

Список литературы

1. Барлоу Р. Математическая теория надежности / Р. Барлоу, Ф. Прошан. – М.: Сов. радио, 1969. – 488 с.
2. Гаскаров Д.В. Прогнозирование технического состояния и надежности радиоэлектронной аппаратуры / Д.В. Гаскаров, Т.А. Голинкевич, А.В. Мозгалевский. – М.: Сов. радио, 1974. – 224 с.
3. ДСТУ 3004-95. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними. – К.: Держстандарт України, 1995. – 29 с.
4. ДСТУ 2864-94. Надійність техніки. Експериментальне оцінювання та контроль надійності. Основні положення. – К.: Держстандарт України, 1995. – 30 с.
5. Остаточный ресурс восстанавливаемых технических изделий и математические модели для расчета их показателей / Б.М. Ланецкий, Д.В. Пивнев и др. // Збірник наукових праць ХВУ. – Х: ХВУ, 2001. – Вип. 4 (34). – С. 104-105.
6. Порядок експлуатації за технічним станом озброєння та військової техніки зенітних ракетних та радіотехнічних військ, за якими не здійснюється авторський нагляд. Затв. Наказ МОУ №53 від 05.02.2010 р.
7. Буртаев Ю.Ф. Статистический анализ надежности объектов по ограниченной информации / Ю.Ф. Буртаев, В.А. Острейковский – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 363 с.
8. Модель оценивания стоимости эксплуатации сложных технических систем по техническому состоянию. Общие положения / Б.Н. Ланецкий, В.В. Лукьянчук, Н.И. Кириллова, А.А. Артеменко // Системи озброєння і військова техніка. – № 1 (33). – Х.: ХУПС, 2013. – С. 87-90.

Поступила в редколлегию 17.12.2015

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

КОМПЛЕКСНЕ ОЦІНЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ БЕЗВІДМОВНОСТІ ТА ЗАЛИШКОВОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ, ЩО ЕКСПЛУАТУЮТЬСЯ ЗА ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

Б.М. Ланецкий, В.В. Лук'янчук, А.А. Артеменко

Формулюються основні науково-методичні положення по оцінюванню показників залишкової довговічності при експлуатації СТС за технічним станом. Розглядаються основні чинники, що визначають поняття граничного стану і залишкового ресурсу для складових частин СТС, положення концепції оцінювання (прогнозування) залишкового ресурсу і терміну служби і методи їх оцінювання за експериментальними даними.

Ключові слова: показники залишкової довговічності, радіоелектронні засоби, експлуатація за технічним станом, метод оцінювання.

COMPLEX EVALUATION OF FAULTNESS AND RESIDUAL DURABILITY CHARACTERISTICS OF THE DIFFICULT TECHNICAL SYSTEMS THAT ARE EXPLOITED ON THE TECHNICAL STATE. GENERALITIES

B.M. Lanetskiy, V.V. Lukjanchuk, A.A. Artemenko

Substantive methodological provisions are formulated on the evaluation of indexes of remaining longevity during exploitation of radioelectronic systems of anti-aircraft systems on the technical state. Basic factors are examined, qualitative concepts of the maximum state and remaining resource for component parts of anti-aircraft system, positions of conception of evaluation (prognostications) of remaining resource and tenure of employment and methods of their evaluation from experimental data.

Keywords: indexes of remaining longevity, radioelectronic systems, exploitation on the technical state, method of estimation.