

УДК 632.4.004.67

М. А. ШИШАНОВ, доктор технічних наук,
Б. А. МЕЛЬНИК, кандидат технічних наук,
Л. И. КОБЯКОВ, науковий співробітник

(Центральний науково-дослідницький інститут озброєння та військової техніки
 Вооруженных Сил Украины, г. Киев)

Методические основы разработки программ обеспечения ремонтпригодности вооружения и военной техники

Наведено сучасний підхід до проблеми підвищення ремонтпридатності ОВТ як до одного з напрямів підвищення ефективності функціонування виробів озброєння та військової техніки (ОВТ) в умовах бойової підготовки військ. Визначений сучасний підхід до проблеми ремонтпридатності ОВТ та уточнені задачі для її вирішення в Збройних Силах України на основі аналізу вирішення проблеми в США та основних країнах – членах НАТО.

Сформульовані основні напрями розробки плану і програми забезпечення ремонтпридатності ОВТ при їх розробці та виробництві.

Рассмотрен современный подход к проблеме повышения ремонтпригодности вооружения и военной техники (ВВТ) как к одному из направлений повышения эффективности функционирования изделий ВВТ в условиях боевой подготовки войск. Определен современный подход к проблеме ремонтпригодности ВВТ и уточнены задачи для ее решения в Вооруженных Силах Украины на основе анализа решения проблемы в США и основных странах – членах НАТО.

Сформулированы основные направления разработки плана и программы обеспечения ремонтпригодности ВВТ при их разработке и производстве.

Совершенствование вооружения и военной техники (ВВТ) в области надежности потребовало поиска новых путей повышения эффективности их функционирования, так как безотказность и долговечность ВВТ и их сборочных единиц разработаны достаточно давно, и возможности их повышения в определенной степени исчерпаны, а реализация технологии ремонта требует много времени и ресурсов, а также недостаточно изучена. Одним из путей решения этой проблемы стала разработка ВВТ со свойствами конструкции, которая приспособлена к восстановлению исправности (работоспособности) в минимально короткие сроки. Таким свойством изделия ВВТ является ремонтпригодность. Идея ремонтпригодности возникла практически одновременно в среде специалистов по надежности техники и специалистов-практиков, которые непосредственно занимаются обслуживанием и ремонтом ВВТ как в мирное время, так и в особый период.

Такое положение привело к дублированию понятия термина “ремонтпригодность” терминами эксплуатационной и ремонтной технологичности (т. е. к эксплуатационным свойствам ВВТ), к дискуссии о содержании этих понятий, которая ведется до настоящего времени, и к существующим различиям в теоретической и методической разработке путей решения проблемы.

Специалисты по надежности, не рассматривая более низкий иерархический уровень функционирования изделия – процесс его технического обслуживания и ремонта, достаточно полно разработали математический аппарат влияния ремонта на показатели функционирования изделия, при этом характеристики процесса восстановления они отождествляли с характеристиками ремонтпригодности и рассматривали ремонтпригодность как неуправляемое свойство изделия ВВТ, т. е. они не предъявляли требований к ремонтпригодности изделия и не разрабатывали методы ее обеспечения. Ремонтпригодность рассматривается ими на уровне изделия в целом, без оценки ремонтпригодности его составных частей (сборочных единиц).

Специалисты по обслуживанию и ремонту, наоборот, детально анализировали и оценивали технологичность ВВТ при техническом обслуживании и ремонте в условиях боевой подготовки войск в мирное время, и не рассматривали проблему в условиях боевых действий войск при боевых повреждениях ВВТ. При исследованиях, соответствующих второму подходу, были разработаны рекомендации по обеспечению ремонтпригодности изделия при его проектировании и методы ее оценки при испытаниях и в ходе эксплуатации. Рекомендации имели в основном описательный характер и основывались на качественном анализе конструкции прототипов или аналогов. Методы оценки базировались на математической статистике.

Свидетельством различий двух подходов являются показатели ремонтпригодности. Специалисты по надежности оценивают ремонтпригодность по количеству затраченного времени на ремонт изделия, а практики – по трудоемкости или стоимости восстановительных работ.

В настоящее время созданы государственные стандарты и отраслевая нормативно-техническая документация в области надежности изделий ВВТ, в том числе ремонтпригодности. Создана программа обеспечения надежности (ПОН) изделия [1]. Появился ряд технических решений, обеспечивающих ремонтпригодность. Однако в ПОН и других документах не уделено должного внимания обоснованию обеспечения ремонтпригодности на этапах разработки и производства изделия.

Следовательно, вопросы формирования основных программ обеспечения ремонтпригодности (ПОР) изделия ВВТ при их разработке и производстве являются актуальными не только в научном, но и в практическом плане.

В настоящее время наиболее целесообразным является подход к ремонтпригодности как к свойству изделия, которое необходимо обеспечивать при его разработке наряду с классическими свойствами, определяемыми тактико-техническими требованиями [2, 3].

Этот подход объединяет решение следующих задач: обоснование целесообразности повышения ремонтпригодности;

определение состава требований к ремонтпригодности;

определение требований на стадиях разработки изделия и оценка их выполнения;

оценку ремонтпригодности изделия.

Необходимо отметить, что успешное их решение базируется на слиянии надежного и технологического подходов. Это означает, что ремонтпригодность следует рассматривать как составную часть надежности и технологичности образцов ВВТ.

Через надежность должна осуществляться связь ремонтпригодности с эффективностью использования изделия [2].

Технологический аспект программ обеспечения ремонтпригодности позволяет устанавливать ее влияние как на характеристики системы обслуживания и ремонта ВВТ, так и для условий боевых действий на эксплуатационное свойство изделия “восстанавливаемость”.

Тем самым предоставляется возможность в зависимости от показателей ремонтпригодности изделий ВВТ корректировать (или проектировать заново) систему технического обслуживания и ремонта (ТО и Р). Можно также решать и обратную задачу: наряду с оперативными требованиями к ремонтпригодности предъявлять требования к образцу в заданной системе ТО и Р [3] с позиции его приспособленности к ремонту.

Перечисленные выше задачи обеспечения ремонтпригодности возникают на различных стадиях разработки изделия, поэтому их целесообразно решать на основе специальной программы.

Представляет интерес подход к проблеме ремонтпригодности в США и основных стран – членов НАТО, который обусловлен обширными исследованиями теоретического и прикладного характера. Разработаны стандарты, регламентирующие требования и методы обеспечения и оценки этого свойства [4]. Периодически издаются справочники-руководства по принципам и методам обеспечения ремонтпригодности различных

видов техники [4]. Имеющиеся данные свидетельствуют о достигнутом высоком уровне ремонтпригодности многих изделий ВВТ.

Основными особенностями подхода является то, что ремонтпригодность (maintainability) техники в США рассматривается более широко, чем в наших нормативных документах. Она является функцией конструкции изделия и системы его технического обслуживания и ремонта, характеристик технологического оборудования, а также персонала. Фактически это означает, что термин “maintainability” определяется показателями процесса восстановления машин.

Есть более узкие понятия ремонтпригодности “repairability” и “serviceability”. Первое характеризует приспособленность собственно конструкции объекта к проведению ремонта, и в этом плане оно идентично нашему понятию “ремонтная технологичность”. Второе характеризует приспособленность конструкции объекта к выполнению профилактических воздействий, включая проверки, заправку топливом и маслом (вообще пополнение эксплуатационных расходных компонентов), чистку и смазку. Это понятие следует рассматривать как синоним обслуживаемости (эксплуатационной технологичности) машин.

Считается, что ремонтпригодность (maintainability) оказывает существенное влияние на эффективность эксплуатации объектов, их материально-техническую обеспеченность и стоимость технического обслуживания и ремонта. Качественный характер влияния ремонтпригодности на эти комплексные свойства систем (объектов) показан на рис. 1.

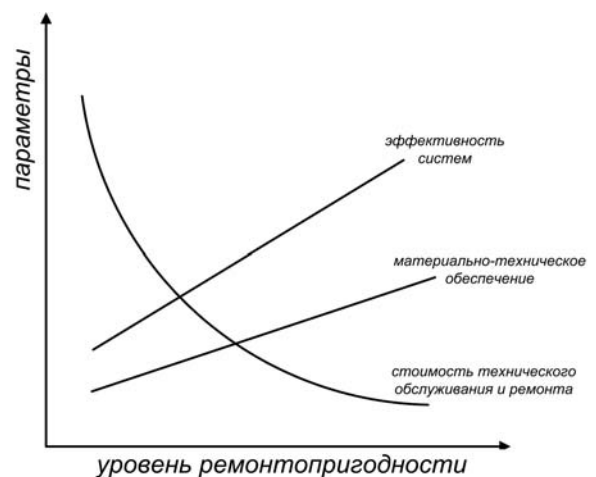


Рис. 1. Характер влияния уровня ремонтпригодности на комплексные свойства систем

Более детальное представление о связи эффективности системы с её ремонтпригодностью можно получить в результате анализа схемы, изображенной на рис. 2.

На схеме приведены составные показатели эффективности системы, которая в процессе выполнения своей основной задачи рассматривается как восстанавливаемая [7].

Эффективность такой системы является функцией ее готовности, надежности (безотказности при



Рис. 2. Составляющие эффективности системы (по данным иностранной печати)

выполнение задачи) и технических возможностей, определяемых тактико-техническими характеристиками. Состояние готовности определяется соотношением времени использования и времени простоя. Время использования является временным интервалом между двумя последовательными отказами или профилактическими воздействиями, а время простоя определяется как сумма организационного времени, времени материально-технического обеспечения и так называемого активного, т. е. технологического времени ремонта и профилактики.

Таким образом, время простоя, рассматриваемое как случайная величина, и различные его оценки являются показателями ремонтпригодности (maintainability); активное время ремонта и его оценки являются показателями ремонтной технологичности, а активное время предупредительного обслуживания и его оценки – показателями обслуживаемости. Отметим, что время обслуживаемости по потребности (corrective maintainability) является одним из показателей ремонтной технологичности. Номенклатура показателей ремонтпригодности включает в себя также оценки обслуживания и ремонта в трудозатратах и стоимости восстановительных работ.

Готовность оценивается критериями [4, 7]. Достигнутая готовность A_d определяется как вероятность того, что система окажется работоспособной в любой момент времени при известной системе ТО и Р и при идеальных условиях их организации и обеспечения, т. е. исключая организационное время и время материально-технического обеспечения при обслуживании и ремонте (1):

$$A_d = \frac{MTBM}{MTBM + M}, \quad (1)$$

где $MTBM$ – среднее время между двумя последовательными управляющими воздействиями (предупредительным обслуживанием или ремонтом); M – среднее активное время выполнения управляющих воздействий.

Внутренняя готовность A_v определяется как вероятность того, что система окажется работоспособной в любой момент времени при осуществлении системы “по потребности” и при идеальных условиях организации и обеспечения ремонта (2):

$$A_v = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}, \quad (2)$$

где $MTBF$ – среднее время между двумя последовательными отказами; $MTTR$ – среднее активное время ремонта.

Оперативная готовность A_o определяется как вероятность того, что система окажется работоспособной в любой момент времени при обслуживании и ремонте по установленной системе в реальных условиях, т. е. с учетом затрат времени на организацию и материально-техническое обеспечение работ:

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + MDT}, \quad (3)$$

где MDT – среднее время простоя.

Следует отметить, что в выражении A_o значение $MTBM$ включает в себя время ожидания в состоянии готовности, если система используется не весь период между двумя управляющими воздействиями.

Три способа оценки готовности позволяют оценить: готовность объекта независимо от организации и системы его восстановления (оценка A_v);

готовность объекта в условиях применяемой системы его технического обслуживания и ремонта (оценка A_d);

готовность объекта в условиях применяемой системы его технического обслуживания и ремонта и с учетом затрат времени на организацию и материально-техническое обеспечение работ (оценка A_o).

Отметим, что принятый в Вооруженных Силах Украины коэффициент готовности K_g соответствует оценке A_v .

К числу особенностей подхода в США необходимо отнести рассмотрение вопроса повышения ремонтпригодности объекта как альтернативы другим путям, обеспечивающим высокую эффективность его функционирования. Оценка альтернатив производится по критерию эффективность – стоимость.

В США распространены количественные и качественные методы анализа и синтеза конструкции систем с целью обеспечения ремонтпригодности. На основе этих методов широко применяются так называемые

вопросники, представляющие собой перечень вопросов, на которые должен ответить конструктор, обеспечивая ремонтпригодность. Эта своего рода памятка позволяет учесть различные аспекты ремонтпригодности [4].

Таким образом, подход к обеспечению ремонтпригодности образцов ВВТ в США принципиально не отличается от существующего в Вооруженных Силах Украины. Однако многие проблемные вопросы ремонтпригодности образцов ВВТ в армии США уже теоретически и практически решены и заслуживают детального изучения.

Военным стандартом США Mil-STD-470 определены требования к программе обеспечения ремонтпригодности систем, сборочных единиц, которые позволяют проводить анализ ремонтпригодности как процесса и преобразуют оперативные требования, требования к ремонтпригодности в подробные качественные и количественные требования к ремонтпригодности. Это дает возможность выполнения задач, предписанных техническими условиями к распределению количественных требований между всеми существующими функциональными уровнями образца, а также формирование основных направлений плана программы обеспечения ремонтпригодности изделия при его разработке и производстве. Программа обеспечения ремонтпригодности образца (ПОР) при проектировании и производстве по сути своей является комплексом организационно-технических мероприятий, изложенных в соответствии с принятым перечнем стадий разработки образца ВВТ. Программу следует рассматривать как составную часть программ обеспечения надежности, технологичности и эргономичности изделия. Программа должна соответствовать виду и сложности изделия, стадии разработки и обеспечивать достижение требований к ремонтпригодности. В программу обеспечения ремонтпригодности должны входить следующие этапы [6]:

- подготовка плана программы;
 - проведение анализа ремонтпригодности;
 - подготовка исходных данных для подробного замысла и подробного плана ремонта;
 - установление конструктивных критериев ремонтпригодности;
 - проведение технико-экономического анализа конструкции (анализ компромиссных решений);
 - прогнозирование значений показателей ремонтпригодности;
 - включение требований к ремонтпригодности в технические условия субподрядчиков и поставщиков и обеспечение их выполнения;
 - объединение комплектующих изделий;
 - участие в рассмотрении (обзорах) проекта;
 - организация системы сбора и анализа данных и проведения работ по их корректировке;
 - подтверждение выполнения требований к ремонтпригодности;
 - подготовка текущих отчетов о ремонтпригодности.
- В дополнение к установленным и определенным основным задачам программы обеспечения

ремонтпригодности в плане программы должно быть также установлено и определено следующее:

- позэтапное распределение времени по каждой задаче;
- ответственные за осуществление программы и все меры по обучению персонала, планируемые в связи с программой обеспечения надежности;
- связи между подразделениями, отвечающими за осуществление программы и участвующими в программе;
- временные интервалы поэтапного совместного рассмотрения проекта заказчиком и подрядчиком согласно программе;
- методы распределения количественных требований между функциональными сборочными единицами;
- методы прогнозирования количественных требований к ремонтпригодности для нижнего уровня функциональных элементов системы деталей.

Программа обеспечения ремонтпригодности и другие тесно связанные с ней программы и работы предполагают:

1. Техническое обеспечение и исходные данные плана ремонта:
 - анализ требований к ремонту;
 - анализ ремонтных работ (задач);
 - определение необходимых инструментов и контрольно-измерительной аппаратуры, включая средства поверки и требования к ней;
 - определение необходимого персонала, требований к его обучению и квалификации;
 - системы информации о ремонте (технические данные, учебные пособия и т. д.);
 - определение потребности в оборудовании и приспособлениях.
2. Программа надежности.
3. Программа подсистемы обслуживающего персонала (эргономика, обитаемость, обучение, людские ресурсы).
4. Оценка стоимости срока службы системы и технико-экономический анализ ее эффективности.
5. Системотехника и работы по исследованию эффективности системы.
6. Методы конструирования.
7. Методы оценки.
8. Техника безопасности.
9. Процедура сбора и анализа данных.

Вариант плана программы обеспечения ремонтпригодности ВВТ представлен в табл. 1.

На начальных стадиях разработки изделия: в техническом задании, технических предложениях и эскизном проекте – требования к ремонтпригодности, ее обеспечение и оценка разрабатываются для образца в целом. При разработке технического проекта тот же комплекс задач решается уже на уровне сборочных единиц и, наконец, в ходе разработки конструкторско-технологической документации. Оценка ремонтпригодности образца проводится на каждой стадии с целью контроля правильности принимаемых конструктивных решений. При испытаниях (или в процессе эксплуатации и ремонта) выполняются контрольные определительные

Таблиця 1

Стадії розробки	Мероприяття
Техническое задание	Розробка вимог до ремонтпригодності изделия: вибір основних і додаткових показувачів і обмежень; вибір нормованих і ненормованих показувачів; нормування показувачів і обмежень
Техническое предложение	Аналіз, уточнення і узгодження вимог до ремонтпригодності об'єкта: предварительна оцінка ремонтпригодності проектуваного изделия; розробка вимог до ремонтпригодності комплектуючих елементів. Уточнення завдань забезпечення ремонтпригодності і узгодження їх з програмами забезпечення надійності, технологічності і ергономічності об'єкта
Эскизный проект	Забезпечення ремонтпригодності машини і вибір оптимального варіанта її конструктивно-компоновочної схеми: забезпечення ремонтпригодності варіантів; вибір оптимального варіанта; оцінка ремонтпригодності оптимального варіанта. Складання розділу пояснювальної записки к ескізному проекту "Забезпечення вимог до ремонтпригодності машини"
Технический проект	Забезпечення ремонтпригодності сборочних одиниць изделия: розробка вимог до ремонтпригодності сборочних одиниць; методики оцінки виконання вимог. Уточнення оцінки ремонтпригодності машин. Складання розділу пояснювальної записки к технічному проекту "Забезпечення вимог до ремонтпригодності изделия"
Разработка рабочей документации: опытного образца	Забезпечення ремонтпригодності сборочних одиниць: розробка вимог до ремонтпригодності деталей; забезпечення цих вимог; оцінка виконання вимог Уточнення оцінки ремонтпригодності сборочних одиниць. Уточнення оцінки ремонтпригодності изделия. Корректировка конструкторской и технологической документации. Разработка эксплуатационной документации. Оценка соответствия достигнутого уровня ремонтпригодности требованиям технического задания
производство установочной партии	Повна оцінка ремонтпригодності изделия
серийное производство	Розробка ремонтної документації

оценки. Разрабатываются также нормативно-техническая документация и разделы пояснительных записок при завершении соответствующих стадий проекта.

Естественно, что реальные условия проектирования могут привести к смещению стадий разработки. Например, часто заранее неизвестно, какие сборочные единицы будут установлены на изделии. Однако такая практика принципиально не меняет рассмотренный состав задач.

Программы, составленные на основе типового плана, должны включать в себя методы решения задач. При этом следует учитывать:

- назначение изделия и его конструктивные особенности;
- условия и режимы эксплуатации и ремонта;
- требования к эффективности и стоимости изделия;
- уровень производства, на котором будут изготавливаться изделия;
- опыт обеспечения ремонтпригодности.

Таким образом, разработка плана и программы обеспечения ремонтпригодности образца обеспечит своевременное выявление и определение любой возможной проблемы, относящейся к решению задач конструирования образца ВВТ для повышения уровня его

ремонтпригодности, оценку технических результатов и соответствия предоставленного проекта требованиям к готовому образцу, полную оценку ремонтпригодности изделия ВВТ.

Выводы. Повышение уровня ремонтпригодности образцов ВВТ всегда вызывало дискуссию специалистов по надежности изделий со специалистами-практиками по обслуживанию и ремонту ВВТ как в теоретическом, так и в практическом плане, породив соответственно два подхода к этой проблеме. Современный подход к ремонтпригодности в Вооруженных Силах Украины, как и в армии США, определяет, что ремонтпригодность – это свойство изделия ВВТ, которое необходимо обеспечить в первую очередь за счет совершенствования конструкции изделия, установив план и программу действий как основу для облегчения анализа последовательных этапов разработки образца ВВТ.

Разработка плана и программы обеспечения ремонтпригодности изделий ВВТ позволит оценить уровень ремонтпригодности с момента утверждения технического задания до момента серийного производства. При этом необходимо учитывать, что рассмотрение требований к ремонтпригодности, заложенных в программе,

должно стать частью любого проекта как элемент программы разработки изделий ВВТ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ В 15.206–84. Программа обеспечения надежности. Общие положения [Текст]. – М. : Изд-во стандартов, 1984.
2. ДСТУ 2860–94. Надійність техніки. Терміни та визначення – К. : Держстандарт України, 1995. – 34 с.
3. ДСТУ В 3576–97. Експлуатація та ремонт військової техніки. Терміни та визначення [Текст]. – К. : Держстандарт України, 1997. – 61 с.
4. Военный стандарт США Mil-STD-470. Требования к программе обеспечения ремонтпригодности систем аппаратуры и отдельных устройств [Текст].
5. Вопросы математической теории надежности [Текст] / под ред. Б. М. Гнеденко. – М. : Радио и связь, 1983. – 374 с.
6. Ремонтпригодность машин [Текст] / А. И. Аристов [и др.]. – М. : Машиностроение, 1975 – 367 с.
7. Maintainability Engineering Handbook [Text], NAVORD OD 39223 Wosh, 1970. – 540 p.

Рецензент В. В. Зубарев, д-р техн. наук, проф.
(Центральный научно-исследовательский институт вооружения и военной техники Вооруженных Сил Украины, г. Киев)