ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ

ВОЙСКОВОЙ ПРОТИВОВОЗДУШНОЙ ОБОРОНЫ

ВООРУЖЕННЫХ СИЛ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИМЕНИ МАРШАЛА СОВЕТСКОГО СОЮЗА А.М.ВАСИЛЕВСКОГО

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОТКАЗОВ**

**В ПЕРИОД ГАРАНТИЙНОГО СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Автор: адъюнкт 5 кафедры (обеспечения (военных (боевых) действий) Военной академии войсковой противовоздушной обороны Вооруженных Сил Российской Федерации имени Маршала Советского Союза А.М. Василевского подполковник Воскобойник А.Г.

Смоленск – 2014

Автор научной работы

Воскобойник А.Г.

«\_\_\_» сентября 2014 года

**1 Актуальность и проблематика научной работы**

На начальной стадии эксплуатации технической системы (период приработки) возникает большое количество отказов за счет ошибок технологии производства, недоброкачественных элементов, человеческого фактора. Для обеспечения надежности техники в процессе ее эксплуатации целесообразно участок приработки пройти на предприятии изготовителя. Однако это мероприятие слишком дорогое, поэтому изготовитель в большинстве случаев выпускает технику, не прошедшую этапа приработки. Взамен этого он дает пользователю гарантию на срок, близкий к периоду приработки, который проходит у потребителя.

Вышеуказанная специфика предопределила необходимость обоснования параметров системы эксплуатации, в первую очередь, на этапе нормальной эксплуатации, и как следствие, срока гарантийной эксплуатации образца ВТ. При проектировании новых образцов ВТ теория эксплуатации помогает правильно выбрать принципы конструирования для обеспечения заданных эксплуатационно-технических характеристик ремонтопригодности, сохраняемости и готовности, определить объем, содержание технического обслуживания (ТО) и ремонтов, штатный состав обслуживающего персонала и разработать необходимую техническую документацию. В период проведения контрольной и опытной эксплуатации теория эксплуатации обеспечивает проверку возможности проведения различных мероприятий по ТО и ремонту. В период штатной эксплуатации знание теории позволяет обеспечить оптимальные условия работы, оценить эффективность рекомендованных мероприятий по ТО, определить эксплуатационно-технические характеристики по статистическим данным, обоснованно планировать эксплуатационные мероприятия и реализовывать предложения по повышению эксплуатационной надежности технической системы [1].

Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения технической системы и условий её применения характеризуется безотказностью, долговечностью, ремонтопригодностью и сохраняемостью или определенными сочетаниями этих свойств .

В зависимости от предназначения системы каждое из составляющих свойств её надежности имеет различное значение.

Для системы одноразового действия главной составляющей является безотказность, а для системы длительной эксплуатации – безотказность, долговечность и ремонтопригодность .Наименее отработанным вопросом обоснования долговечности образца ВТ войск ПВО СВ является обоснование гарантийного срока его эксплуатации.

Проанализировав информацию о статистике отказов военной техники при эксплуатации, возникает вопрос о несоответствии установленных заводом-изготовителем гарантийных сроков эксплуатации и реальным временем приработки образцов военной техники при их эксплуатации с различной интенсивностью. На основе статистических данных, выявлено, что на изделиях, которые использовались менее интенсивно, после окончания гарантийного срока эксплуатации, назначенного производителем, количество отказов не уменьшалось. И только через 1,5–2 года эксплуатации интенсивность отказов принимает минимальное значение, по истечении которых, на протяжении 7–8 лет, остаётся постоянной. На изделиях, которые используются более интенсивно, наработка на отказ принимает минимальное значение примерно через полгода после окончании гарантийного срока эксплуатации.

Исходя из вышесказанного, актуальность работы обусловлена необходимостью обоснования гарантийного срока при различной интенсивности эксплуатации военной техники.

**2 Цель научной работы**

Целью научной работы является разработка модели возникновения отказов в период гарантийного срока эксплуатации технической системы.

**3 Задача научной работы**

Конкретной фундаментальной задачей в рамках проблемы, на решение которой направлена работа, является разработка математической модели динамики отказов, получение аналитического соотношения связывающего значение начального уровня интенсивности отказов, порогового значения наработки на отказ и темпа роста интенсивности отказов для определения срока гарантийной эксплуатации технической системы.

**4 Научная новизна**

Научная новизна работы заключается в разработке математической модели динамики отказов, позволяющей определять гарантийный срок эксплуатации технической системы.

**5 Патентно-лицензионная ценность научной работы**

Патентно-лицензионная ценность научной работы заключается в том, что моделирования возникновения отказов в периодах приработки и нормальной работы является одним из способов обоснования гарантийного срока эксплуатации технической системы, после его адаптации, применим к военной техники видов и родов ВС РФ.

**6 Материалы и методы исследования**

6.1 Порядок назначения гарантийного срока эксплуатации образца военной техники войск.

Гарантийные обязательства – это основанные на законах, постановлениях, решениях Правительства РФ и других нормативных актах обязательства поставщика (подрядчика) перед заказчиком (потребителем) гарантировать в течение установленного гарантийного срока и гарантийной наработки соответствие качества поставляемой продукции (проводимых работ стандартам, техническим условиям, образцам и (или) условиям договора поставки (подряда) и безвозмездно устранять дефекты, выявляемые в этот период заказчиком (потребителем), или заменять дефектную продукцию при соблюдении потребителем условий эксплуатации (использования), хранения, транспортирования и монтажа.

Гарантийные обязательства установлены на поставляемую новую продукцию и прошедшие капитальный ремонт образцы ВТ, а также на проводимые подрядчиками средний ремонт ВТ и работы по вводу образцов ВТ в эксплуатацию, (монтажные, наладочные и другие).

Гарантийные обязательства установлены в технических условиях или стандартах. Они вносятся в эксплуатационную документацию (формуляры, паспорта и, при необходимости, этикетки), а также в другую документацию, удостоверяющую ее качество (акт технической приемки, сертификат и т. п.).

Гарантийные обязательства в общем случае включают следующие данные:

кем даются гарантийные обязательства: поставщиком (изготовителем, исполнителем капитального ремонта), подрядчиком (исполнителем работ среднего ремонта);

наименованием продукции или работ, на которые даются гарантийные обязательства;

указания на стандарт, технические условия, конструкторскую документацию, договор, требованиям которых должно соответствовать качество, или на соответствующий образец;

показатели гарантийных обязательств (гарантийные сроки, гарантийная наработка);

требования о соблюдении установленных условий и правил эксплуатации (использовании), хранения, транспортирования, монтажа.

Показателями гарантийных обязательств являются: гарантийный срок; гарантийная наработка.

Гарантийный срок в зависимости от свойств и назначения продукции конкретизируются видом . В качестве видов гарантийного срока установлены: гарантийный срок хранения; гарантийный срок эксплуатации; гарантийный срок годности (таблица 1).

Показатели гарантийных обязательств определяются:

гарантийные сроки – календарной продолжительностью (в годах, месяцах) и начальным моментом исчисления;

гарантийная наработка – численным значением в единицах измерения ресурса (в часах работы, циклах срабатывания, километрах пробега и т. п.).

На новую продукцию и прошедшие капитальный ремонт образцы ВТ устанавливают:

гарантийный срок, не конкретизированный его видом (при этом гарантийный срок, не конкретизированный его видом, допускается устанавливать на образцы ВТ, особенности использования которых не позволяют четко разграничить их хранение и эксплуатацию);

один из видов гарантийного срока (гарантийный срок хранения, гарантийный срок эксплуатации, гарантийный срок годности);

гарантийный срок годности совместно с гарантийным сроком эксплуатации (при этом гарантийный срок хранения устанавливается как предшествующий гарантийному сроку эксплуатации или гарантийный срок эксплуатации и устанавливать в пределах гарантийного срока хранения).

На образцы ВТ, расходующие ресурс, наряду с гарантийным сроком или гарантийным сроком эксплуатации при необходимости устанавливают гарантийную наработку.

На образцы ВТ, прошедшие средний ремонт, устанавливают гарантийный срок эксплуатации.

На работы (монтажные, наладочные и др.), проводимые подрядчиком, устанавливают гарантийный срок.

На образцы ВТ, прошедшие капитальный ремонт, устанавливают ту же номенклатуру показателей гарантийных обязательств, которая установлена на новые образцы ВТ.

Таблица 1 – Описание показателей гарантийных обязательств

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатель | Пояснение | Область  применения | Начальный  момент  исчисления | Особенности  применения |
| Гарантийный  срок  хранения | Календарная продолжительность хранения и транспортирования продукции в состоянии поставки (упаковка, консервация поставщика), а также монтажа с соблюдением установленных мер, обеспечивающих сохранность изделий, в течение которой поставщик гарантирует соответствие качества продукции установленным требованиям | Для продукции, которая хранится до использования или ввода в эксплуатацию в состоянии поставки (упаковка, консервация поставщика) | Со дня (даты) изготовления продукции, окончания ремонта изделия | Применяется самостоятельно или совместно с гарантийным сроком эксплуатации |
| Гарантийный  срок  эксплуатации | Календарная продолжительность эксплуатации изделия потребителем, в течение которой поставщик гарантирует соответствие качества изделия установленным требованиям | Для изделий, предназначенных для длительного использования (эксплуатации) | Со дня ввода изделия в эксплуатацию, со дня приемки изделия потребителем | Применяется самостоятельно или наряду с гарантийной наработкой (может применяться совместно с гарантийным сроком хранения) |
| Гарантийный  срок  годности | Календарный срок, ограничивающий использование продукции по назначению, в течение которого поставщик гарантирует соответствие качества продукции установленным требованиям | Для специфической продукции, которая не должна использоваться по назначению после истечения установленного срока | Со дня изготовления продукции | Применяется самостоятельно |
| Гарантийная  наработка | Наработка (объем работы) изделия в пределах гарантийного срока, до достижения которой поставщик гарантирует соответствие качества изделия установленным требованиям | Для изделий, при эксплуатации которых расходуется ресурс и учитывается наработка | Исчисляется в пределах гарантийного срока, наряду с которым она установлена | Применяется наряду с гарантийным сроком или гарантийным сроком эксплуатации |

Начальным моментом исчисления гарантийных сроков в стандартах и технических условиях устанавливают:

для гарантийного срока на продукцию – день (дату) изготовления продукции (окончания ремонта изделия), на работы – день ввода образца ВТ в эксплуатацию;

для гарантийного срока хранения – день (дату) изготовления продукции (окончания ремонта);

для гарантийного срока эксплуатации – день ввода образца ВТ в эксплуатацию или день приемки образца ВТ потребителем;

для гарантийного срока годности – день изготовления продукции.

Гарантийная наработка исчисляется в пределах гарантийного срока, наряду с которым она установлена.

При установлении на образец ВТ гарантийного срока хранения совместно с гарантийным сроком эксплуатации он должен быть введен в эксплуатацию до истечения гарантийного срока хранения, если иное не предусмотрено стандартом, техническими условиями или договором. При вводе образца ВТ в эксплуатацию действие гарантийного срока хранения прекращается и начинается исчисление гарантийного срока эксплуатации.

Действие гарантийных обязательств прекращается:

если установлен гарантийный срок или один из видов гарантийного срока – при их истечении;

если установлены гарантийный срок хранения совместно с гарантийным сроком эксплуатации, то:

в случае, когда гарантийный срок хранения предшествует гарантийному сроку эксплуатации, – при истечении гарантийного срока эксплуатации, если изделие введено в эксплуатацию до истечения гарантийного срока хранения, или при истечении гарантийного срока хранения, если образец ВТ не введен в эксплуатацию до его истечения;

в случае, когда гарантийный срок эксплуатации установлен в пределах гарантийного срока хранения – при истечении гарантийного срока эксплуатации, в пределах гарантийного срока хранения, или при истечении гарантийного срока хранения, независимо от истечения гарантийного срока эксплуатации.

Если на образец ВТ наряду с гарантийным сроком или гарантийным сроком эксплуатации установлена гарантийная наработка, исчисление любого из них означает прекращение действия гарантийных обязательств.

6.2 Описание деградационных процессов в образце военной техники.

Современные образцы ВТ работают в сложных, постоянно изменяющихся условиях, подвергаясь воздействию различных факторов, результатом которого являются деградационные процессы, которые ухудшают параметры и приводят к отказу аппаратуры, т. е. к выходу одного или нескольких параметров за пределы допуска или к полному прекращению функционирования. При этом разнообразие условий и режимов применения приводят к большому разнообразию отказовых явлений, которые переводят образец военной техники из работоспособного состояния в неработоспособное.

Под работоспособным состоянием понимается состояние образца военной техники, при котором значения всех параметров, характеризующих его способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям технической документации.

Под неработоспособным состоянием понимается состояние, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям технической документации.

По характеру протекания процессы деградации можно разбить на две группы.

К первой группе относят процессы, вызывающие внезапное (катастрофическое) изменение технического состояния образца военной техники вследствие резкого изменения условий протекания физических процессов в нем, приводящего к скачкообразному изменению характеристик.

Ко второй группе относят процессы, приводящие к постепенному изменению технического состояния образца военной техники, в этом случае деградационные изменения в материалах с течением времени накапливаются и приводят к дрейфу параметров и потере работоспособности [2].

Классификация деградационных процессов приведена на рисунке 1.

Следует отметить, что деградационные процессы могут самыми разнообразными и, прежде всего, детерминированными и стохастическими.

Для описания детерминированных процессов применяются модели с использованием индивидуальной реализации и группы одномерных реализаций.

Выбор вида модели является наиболее ответственной задачей и зависит от физического анализа механизмов деградации и информации, полученной по предварительным испытаниям. В общем случае необходимо комплексно использовать всю возможную априорную информацию.

На конкретный вид математической модели деградационного процесса влияет характер, изменения , который может быть стационарным, нестационарным и марковским.

В таблице2 перечислены модели, когда *η* (*t*) – стационарный случайный процесс.

Такое же число моделей существует и тогда, когда *η*(*t*) – марковский или нестационарный процесс. Очевидно, что для прогнозирования такого множества вариантов процессов необходима совокупность методов, основанная на различном математическом аппарате.

Среди всех распределений значений параметра в поле допуска центральное место занимает нормальный закон, так как он обладает ясным физическим смыслом, который устанавливается центральной предельной теоремой. Отклонения от нормального закона можно трактовать, как наличие среди множества примерно равных по величине случайных воздействий некоторых доминирующих. Поэтому желательно, чтобы распределение имело бы своим частным случаем нормальное распределение и, вместе с тем, могло бы в относительно широких пределах изменять свои параметры.

Рисунок 1 – Классификация деградационных процессов

С другой стороны, закон распределения наработки на отказ отражает ту или иную модель деградационных явлений, возникающих в образце военной техники в процессе его функционирования. Сущность теоретических методов построения этих моделей сводится к следующему: делается анализ физико-химических процессов, которые при заданных внешних воздействиях приводят объект к отказовому состоянию; выделяются из них наиболее существенные (обычно рассматривают один процесс); дается математическое описание выделенных процессов; строится модель отказа, являющаяся отражением интуитивных представлений автора о том, каким образом внутренние параметры (электрическая прочность, температура и т. п.) влияют на технические характеристики, по которым объект контроля классифицируется как работоспособный или отказавший.

Таблица 2 – Модели для случая, когда *η* (*t*) – стационарный случайный процесс

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер  модели | Характер изменения  ξ(t) | Размерность  процесса X(t) | Закон  распределения | Процесс в зависимости от дисперсии D[X(t)] |
| 1 | Линейный | Многомерный | Гауссовский | Монотонный |
| 2 | Флюктуационный |
| 3 | Негауссовский | Монотонный |
| 4 | Флюктуационный |
| 5 | Одномерный | Гауссовский | Монотонный |
| 6 | Флюктуационный |
| 7 | Негауссовский | Монотонный |
| 8 | Флюктуационный |
| 9 | Нелинейный | Многомерный | Гауссовский | Монотонный |
| 10 | Флюктуационный |
| 11 | Негауссовский | Монотонный |
| 12 | Флюктуационный |
| 13 | Одномерный | Гауссовский | Монотонный |
| 14 | Флюктуационный |
| 15 | Негауссовский | Монотонный |
| 16 | Флюктуационный |

Получаемые таким образом зависимости являются приближенными. Причем точность их не всегда возможно оценить. Возможные отклонения теоретической кривой от истинной могут быть обусловлены каждым из рассмотренных этапов. Любой анализ физико-химических процессов, протекающих в объекте контроля, производится на основе открытых закономерностей. А насколько полно наше представление о физике отказов того или иного объекта неизвестно. Таким образом, точность построенных зависимостей, устанавливаемых с помощью теоретических рассуждений, определяется в основном тем, насколько полно изучены деградационные процессы в объектах исследования в результате старения и воздействия различных дестабилизирующих факторов.

Вышесказанное подтверждает, что выражение для функции распределения наработки на отказ должно учитывать не только уже установленные теоретические зависимости механизмов отказовых явлений, но и учитывать еще не установленные зависимости

Исходя из вышесказанного, для описания деградационных процессов необходим весьма обширный статистический материал. Его сбор, естественно, требует больших временных затрат. Таким образом, использование и самого материала, и описанной выше модели, и рекомендаций на их основе может оказаться практически нецелесообразными для управления техническим состоянием образца военной техники и процессом их эксплуатации в целом.

В зависимости от объема имеющейся статистической информации, можно с той или иной степенью адекватности описывать деградационные процессы, происходящие в элементах образца военной техники

Вместе с тем, опыт эксплуатации, статистика ее отказов, а также исследования [показывают, во-первых, что вид функции, как теоретической, так и статистической,  или  имеет три этапа (рисунок 2):

I – от 0 до *t1*, участок приработки, на котором , т. е.  – убывающая функция;

II – от *t1* до *t2*, участок нормальной работы, на котором , т. е. = *const*;

III – от *t2* до *t3*, участок износа (старения), на котором , т. е.  – возрастающая функция.

При этом на участке от 0 до *t1* интенсивность отказов сначала быстро возрастает, достигает максимального значения, а затем резко уменьшается. Такой характер изменения кривой объясняется наличием большого числа внезапных отказов изделия в первый период эксплуатации из-за элементов, имеющих скрытые внутренние дефекты, ошибки, допущенные в процессе производства. В этот период выходят из строя нестандартные элементы, имеющие скрытые дефекты, которые обычно проявляются за счет плохой пайки, небрежного монтажа, сборки и т. п. По мере выхода из строя элементов и их замены интенсивность отказов изделия быстро уменьшается и, достигнув определенного уровня, становится к моменту *t1* приблизительно постоянной величиной. Продолжительность этого участка относительно периода эксплуатации сравнительно мала [3].

На участке от *t1* до *t2* интенсивность отказов характеризуется наиболее низким уровнем и примерным постоянством. На этом участке проявляются, в основном, внезапные отказы, а износ и старение выражены слабо. Продолжительность этого периода наибольшая по сравнению с другими периодами и зависит, в основном, от среднего срока службы большего количества элементов изделия, а также от условий эксплуатации.



Рисунок 2 – Вид функции 

Во-вторых, время безотказной работы сложной системы (а именно таковой является образец ВТ) можно считать распределенным экспоненциально, даже если распределения времен безотказной работы ее элементов отличаются от экспоненциального. Причем, чем больше элементов в системе, а также, если в системе нет элементов, надежность которых сравнима с надежностью самой системы, тем ближе закон распределения наработки на отказ к экспоненциальному. Эти условия, как правило, выполняются.

В-третьих, повышение надежности и, в особенности, безотказности элементной базы образца ВТ, привело к тому, что продолжительность этапа нормальной эксплуатации существенно возросла.

Вышеуказанная специфика статистической информации о безотказности предопределила необходимость обоснования параметров системы эксплуатации, в первую очередь, на этапе нормальной эксплуатации, и как следствие, срока гарантийной эксплуатации образца военной техники.

6.3 Математическая модель обоснования гарантийного срока эксплуатации технической системы.

Поведение  (кривая 1 рисунок 3) можно аппроксимировать упрощенной моделью (ломаная 2 рисунок 3).



Рисунок 3 – Кусочно-постоянная аппроксимация интенсивности отказов

Считая, что рассмотренные параметры известны,

  (1)

Эти положения, с небольшими изменениями, указанными ниже, являются исходными данными для разработки модели возникновения отказов образца военной техники, описывающей деградационные процессы вследствие его износа и старения в ходе эксплуатации до капитального ремонта:

 – начальный уровень интенсивности отказов (определяется по статистическим формулярным данным) технической системы;

 – изменение начального уровня интенсивности отказов (определяется по статистическим формулярным данным) технической системы;

*b* – определяемый гарантийный срок службы технической системы.

Предложенной модели изменения интенсивности отказов [4] соответствует плотность распределения наработки между отказами

 , (2)

так как в соответствии с исследованиями [9]

.

Полагая, что каждый структурный элемент после отказа восстанавливается полностью и плотность распределения наработки между отказами известна, уравнение связи параметра потока отказов с плотностью распределения наработки между отказами, в соответствии с уравнением восстановления, запишется

. (3)

Функция изменения параметра отказов  по данным эксплуатации выражается

, (4)

где  – число отказов структурного элемента технической системы в интервале наработки ;

 – число образцов ВТ, работающих в интервале ,

 – наработка *j*-х структурных элементов технической системы в интервале наработки ,

*r* – число однотипных элементов в технической системы.

Меняя параметры ,*b*, в выражении (1), можно трансформировать вид функции  и, следовательно, подобрать ее так, чтобы она соответствовала полученной по данным эксплуатации ступенчатой функции .

Следует отметить, что предлагаемые расчеты имеют большие математические погрешности. Поступим иначе.

Методика восстановления функции  по экстремальной кривой изменения параметра потока отказов базируется на расчете .

Решение этой задачи возможно с помощью преобразования Лапласа. Обозначив через  и  преобразования Лапласа для функций  и , в соответствии с выражением (3), воспользовавшись теоремой о свертке , получено

,

из которого

. (5)

Используя преобразование Лапласа  выражение (2) примет вид

. (6)

Используя интегральные преобразования из [5]

, 

или

, ,

по формуле (5) можно получить аналитическое выражение преобразования Лапласа от  – значение , с учетом

 и .

В соответствии с исследованиями [5] в расчетах можно использовать выражение

.

После возможных преобразований находится .

Определение величин  и  в полученном выражении ограничено получением предельных точек функции , для вычисления которых использованы тауберовы теоремы [6],

, (7)

так как обратное преобразование Лапласа от полученной функции  взять невозможно

Непосредственно из формулы (7) можно получить зависимость параметра потока отказов образца военной техники, которая справедлива не только при *t =* 0, но и при всех , т. к. до момента начала роста интенсивности отказов при  справедливы условия наблюдения потока отказов, порождаемого отказами с постоянной интенсивностью [7].

Плотность распределения времени безотказной работы образца ВТ на этапе нормальной эксплуатации равна

.

Прямое преобразование Лапласа (6) от функции для этапа нормальной эксплуатации примет вид

.

Соответственно, выражение изображения параметра потока отказов (5) определяется

,

чему соответствует обратное преобразование Лапласа функции , равное

**.

Это подтверждает правильность математических расчетов функции  для этапа нормальной эксплуатации.

Кроме этого, правильность расчетов подтверждается выполнением условия

.

Задав значения одного из неизвестных (например, *b*), из (7) находятся значения параметров  и , определяющие интенсивность отказов .

Вычисленные таким образом  и  будут наилучшим образом соответствовать имеющимся исходным данным об отказах, обеспечивающих соответствие параметра потока отказов .

Полученная зависимость параметра потока отказов технической системы описывает процесс эксплуатации на этапах нормальной эксплуатации и приработки.

Для вычисления гарантийного срока эксплуатации технической системы *b* функцию  можно аппроксимировать кусочно-линейной зависимостью целевой функцией методом наименьших квадратов (рисунок 4).

Искомое значение *b* определяется при , т. е. при отыскании ее производной , приравненной к 0.

При решении полученного уравнения определяется значение гарантийного срока эксплуатации технической системы.



Рисунок 4 – Аппроксимация параметра потока отказов технической системы методом наименьших квадратов

Таким образом, наличие данных об интенсивности и причинах отказов элементов, их надежности, позволяет оптимально выбрать периодичность проведения работ по восстановлению технической системы в период гарантийной эксплуатации, тем самым сэкономить ограниченные ресурсы и сократить стоимость эксплуатации.

**7 Результаты, теоретическая и (или) практическая значимость научной работы**

На основе моделирования возникновения отказов разработан способ обоснования гарантийного срока эксплуатации технической системы, описывающий деградационные процессы, обладающий простотой и универсальностью. Адекватность разработанной модели подтверждается статистическими данными об отказах образцов военной техники в период гарантийной эксплуатации.