

УДК 621.3

DOI: 10.18413/2518-1092-2017-2-2-9-20

Савин Л.О.
Королёв М.В.
Носов М.В.

АНАЛИЗ ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ И ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИБКИХ СТРАТЕГИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ЕЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ОСОБЫХ УСЛОВИЯХ

Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации», ул. Приборостроительная, 35, г. Орёл, 302034, Россия

e-mail: leonidys77@yandex.ru, korol80@list.ru, nosovm@mail.ru

Аннотация

В данной статье проанализированы параметры автомобильной техники, определяющие её надежность в зависимости от особых условий ее эксплуатации. По каждому из данных параметров получены вероятностные показатели надежности автомобильной техники при помощи прогнозирования. На основе вероятностных показателей надежности сформированы показатели эффективности функционирования, на основе которых возможна организация гибкой системы технического обеспечения автомобилей с оптимальной периодичностью.

Ключевые слова: параметры автотранспортных средств, надежность автомобильной техники, показатель эффективности, техническое обслуживание.

UDC 621.3

Savin L.O.
Korolev M.V.
Nosov M.V.

ANALYSIS OF INFLUENTIAL PARAMETERS AND THE POSSIBILITIES OF USING FLEXIBLE MAINTENANCE STRATEGIES TO IMPROVE RELIABILITY OF AUTOMOTIVE VEHICLES DURING ITS OPERATION IN SPECIAL CONDITIONS

Federal state military educational institution of higher professional education "Academy of the Federal security service of the Russian Federation", 35 Priborostroitelnaya St, Orel, 302034, Russia

e-mail: leonidys77@yandex.ru, korol80@list.ru, nosovm@mail.ru

Abstract

This article explores the options of motor vehicles, defining its reliability depending on the specific conditions of its operation. For each of these parameters obtained probabilistic reliability automotive engineering with forecasting. On the basis of probabilistic reliability indices, the generated performance indicators. Based on these values, it is possible to organize a flexible system of technical support vehicles with optimal frequency.

Keywords: the options of motor vehicles, reliability automotive engineering, performance indicator, the technical support.

В современных условиях роль и значение автомобильного транспорта постоянно увеличиваются. В настоящее время автомобильный транспорт занимает достаточно важное место в транспортной системе РФ, регулярно обслуживая почти 3 млн предприятий и организаций, а также население страны. Согласно некоторым оценкам, вклад автомобильного транспорта в перевозки грузов в настоящее время составляет более 75 %, а пассажиров – около 55 % [Хасанов Р. Х. 2003]. В связи с этим число автомобилей, используемых для решения описанных выше задач, на территории РФ постоянно возрастает (рис. 1).

Достоинства автомобильного транспорта, предопределяющие достаточно высокие темпы его развития, связаны с оперативностью (мобильностью) и гибкостью доставки грузов. При этом очевидно, что эти свойства автомобильного транспорта во многом определяются уровнем работоспособности и техническим

состоянием автомобильного парка, зависящими, во-первых, от надежности самих автомобилей, во-вторых, от мер по обеспечению их работоспособности в процессе эксплуатации, а также от условий эксплуатации [Хасанов Р. Х. 2003].

Схожие тенденции наблюдаются и в области развития военного автомобильного транспорта. Роль автомобилей в Вооруженных Силах (ВС) РФ постоянно растет, появляются новые возможности их применения, при этом число автомобилей также постоянно увеличивается.

Необходимо отметить, что применение автомобильного транспорта для решения задач, стоящих перед ВС РФ, имеет ряд существенных особенностей. Специфика применения этих автомобилей в ВС такова, что большую часть своего времени эти автомобили эксплуатируются в т.н. особых условиях – например, в условиях экстремально низких и высоких температур (Крайнего Севера, Заполярья или в пустынных условиях), в суровых климатических условиях (например, повышенной влажности), в условиях сложного рельефа местности (например, в горах), в условиях бездорожья или полного отсутствия дорог, возможного радиационного и химического заражения местности и т.д. При этом важность выполнения поставленной задачи зачастую оказывается неизмеримо важнее, чем обеспечение целостности автотранспорта и качественного ухода за ним, поскольку поставленные задачи зачастую должны быть выполнены и выполняются любой ценой.



Рис. 1. Численность парка грузовых автомобилей в РФ (на 1.07.2015)
Fig. 1. The number of freight cars in Russia (on 1.07.2015)

Таким образом, к наиболее важным факторам условий эксплуатации, изменяющимся в широких пределах, относятся климатические и дорожные условия. При этом условия эксплуатации автомобильной техники неминуемо влияют на режимы работы ее отдельных агрегатов и деталей, ускоряя или замедляя изменение параметров технического состояния техники в целом.

Ко всем ранее перечисленным факторам, оказывающим влияние на эксплуатацию автотранспорта в особых условиях, необходимо добавить зачастую недостаточно высокий уровень и квалификацию как самих водителей, так и обслуживающего автотранспорт технического персонала (например, военнослужащих срочной службы).

Все указанные выше обстоятельства приводят к тому, что рассчитанные для типовых (усредненных) условий эксплуатации сроки проведения технического обслуживания (ТО), приведенные в технической документации, зачастую оказываются недостаточно обоснованными. Это приводит к ускоренному износу деталей, досрочному выходу узлов и агрегатов из строя и в конечном итоге – к снижению коэффициента готовности автомобильного парка в целом и к повышению непроизводительных затрат на его эксплуатацию (увеличению затрат на ремонт и восстановление работоспособности автомобилей). В связи с этим для решения основных задач технической эксплуатации автомобильного транспорта необходимо изучение закономерностей изменения технического состояния автомобильных узлов, агрегатов и механизмов под влиянием различных факторов в процессе эксплуатации автотехники.

Описанные экстремальные (особые) условия эксплуатации автомобильной техники, как правило, характеризуются одновременным сочетанием нескольких неблагоприятных факторов. Так, для холодного климатического района страны характерны не только низкая температура окружающего воздуха и ветер, но и более тяжелые дорожные условия (снежные заносы, дороги без твердого покрытия и пр.). Для жарких и сухих климатических районов, кроме высокой температуры, действуют факторы солнечной радиации и большой запыленности воздуха, и т.д. При эксплуатации автомобильной техники в особых условиях необходимо учитывать все эти факторы, однако, к сожалению, вопросы такой эксплуатации автотранспорта в настоящее время исследованы и описаны недостаточно глубоко.

Общие вопросы эксплуатации автомобильной техники в особых условиях исследовались, например, в работах [Агеев Е. В., 2015, Ефремов Л. В., 2015]. К сожалению, эти работы носят по большей части теоретический характер, и в них нет практических рекомендаций по использованию конкретных типов автомобильной техники в конкретных условиях эксплуатации.

Отдельные вопросы, посвященные эксплуатации автомобилей в конкретных климатических и дорожных условиях исследовались, например, в работах П.

П. Ощепкова [Ощепков П. П., 2000], В.В. Ионова [Ионов В. В., 2013] и других авторов. Однако таких работ в настоящее время не так много, и почти все они посвящены исследованию лишь строго определенной (т.е. конкретной и почти всегда достаточно узкой) проблемы.

Тем не менее, проведенный анализ имеющихся работ по данной тематике позволил выделить из общей совокупности технических параметров автомобильной техники ряд наиболее важных параметров, которых вплотную связаны с ускоренным выходом из строя автомобильных узлов в особых условиях их эксплуатации. При этом для конкретных условий эксплуатации автотехники эти основные (т.н. определяющие) параметры могут быть различными.

Таким образом, под определяющим параметром автомобильной техники (АТ) будем понимать такой информативный (диагностический) параметр, который в данный текущий момент времени оказывает наибольшее влияние (имеет решающее значение) для обеспечения работоспособности АТ, и при выходе которого за допустимые пределы происходит отказ АТ. Очевидно, что выход одного из таких параметров за допустимые (заданные) пределы приводит к отказу автомобильной техники в целом, и наоборот, поддержание значений указанных параметров в пределах нормы позволит обеспечить работоспособность военной автомобильной техники в течение всего заданного интервала времени (срока службы). Следовательно, при эксплуатации военной автомобильной техники в особых условиях одной из достаточно важных и актуальных задач является поддержание в установленных пределах значений данных параметров. Необходимо предупреждать эти постепенные отказы, т.е. так организовать техническую эксплуатацию, чтобы путем своевременно организованных профилактических работ провести своевременную подрегулировку или замену узла (агрегата). Так как, с одной стороны, пассивное ожидание отказа ведет к потерям из-за простоя, с другой – слишком частые проверки технического состояния приводят к увеличению затрат на обслуживание АТ.

Таким образом, правильно организованная техническая эксплуатация АТ в общем виде предполагает поддержание нужных параметров в пределах нормы в течение заданного срока службы в условиях воздействия случайных внешних факторов, начальных значений этих параметров и их изменений во времени. Решение данной задачи достигается путем регулировки требуемых параметров АТ (при необходимости – и замены ее отдельных узлов), т.е. путем организации технического обслуживания АТ.

Техническое обслуживание – комплекс операций по поддержанию работоспособности или исправности изделия при использовании по назначению, ожидании, хранении и транспортировании. Под техническим обслуживанием АТ в работе будем понимать комплекс работ по контролю (проверке соответствия установленным нормам) значений основных диагностических параметров АТ, и доведению этих значений до требуемых уровней, а под периодичностью ТО АТ – периодичность проведения такого комплекса работ. ТО является одним из этапов процесса эксплуатации [Авдуевский В.С., 1986; Батьковский А.М., Батьковский М.А., Ройкоз Г.А., Чудинов С.М. 2014].

Очевидно, что во время эксплуатации АТ в целом и ее узлы и агрегаты – в отдельности могут находиться как в работоспособном состоянии, при котором значения заданных параметров не превышают своего предельного значения, так и в состоянии отказа. В установленные моменты времени, соответствующие моменту начала очередного ТО, АТ снимается с эксплуатации для контроля и, при необходимости, для восстановления ее работоспособности. Таким образом, кроме режима эксплуатации (использования по прямому назначению), АТ может находиться и в режиме контроля

работоспособности, а при необходимости – и в режиме восстановления работоспособности. Таким образом, т.н. цикл регенерации АТ состоит из трех основных составляющих: из времени использования техники по прямому назначению (времени до момента начала очередного ТО), включающего время безотказной работы и время отказа АТ, а также из времени, затрачиваемого на контроль работоспособности АТ, и из времени восстановления ее работоспособности. Регенерационный цикл повторяется после восстановления работоспособности системы активной защиты информации (рис. 2) [Ефремов Л. В., 2015].

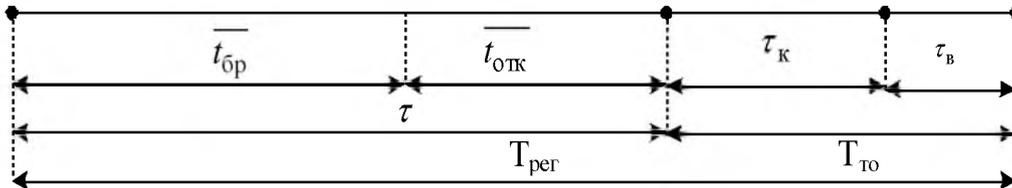


Рис. 2. Цикл регенерации АТ
Fig. 2. Regeneration cycle automotive vehicles

На рисунке 2 приняты следующие обозначения: $T_{рег}$ – период регенерации; $\bar{t}_{бp}$ – среднее время безотказной работы АТ на интервале τ ; $\bar{t}_{отк}$ – среднее время отказа АТ на интервале τ ; τ – периодичность проведения сеансов ТО АТ (момент начала очередного ТО); $T_{то}$ – средняя длительность проведения ТО; τ_k – средняя длительность контроля работоспособности АТ; $\tau_в$ – средняя длительность восстановления работоспособности АТ.

С термином ТО тесно связано также понятие стратегии ТО – системы правил управления техническим состоянием изделия в процессе ТО. Целью стратегии ТО является выбор управления техническим состоянием изделий в течение их срока службы, позволяющего обеспечить заданный уровень готовности изделий к использованию по назначению, их работоспособность в процессе эксплуатации, минимальные затраты времени, труда и средств на выполнение ТО. Вопросам идентификации технического состояния и стратегиям обслуживания технических систем посвящено достаточно большое количество литературы. При этом современные стратегии обслуживания принято подразделять в общем случае на три вида:

1. Первый вид – обслуживание оборудования после выхода его из строя.

В этом случае оборудование эксплуатируется до его выхода из строя. В основном это касается недорогого вспомогательного оборудования при наличии его резервирования, когда замена оборудования дешевле, чем затраты на его ремонт и обслуживание. В отсутствии резервирования на время ремонта процесс использования по назначению приостанавливается. Описанный вид обслуживания для АТ в силу многих причин на практике практически не применяется.

2. Второй вид обслуживания – обслуживание оборудования по регламенту. Этот вид предусматривает два возможных правила: проведение ТО после выработки ресурса по определенному показателю (ТО по выработке ресурса – например, ТО отдельных узлов и агрегатов АТ через каждые 10 тысяч км пробега) или проведение ТО через фиксированные сроки (календарное обслуживание – например, ежегодное ТО).

Принцип обслуживания по наработке предполагает, что перечень и периодичность выполнения операций определяются значением наработки объекта с начала эксплуатации. Этот принцип применяется, как правило, для организации ТО технических устройств, имеющих подверженные относительно быстрому износу важнейшие элементы и при условии возможности выделить параметр, определяющий работоспособность устройства. Более сложные технические устройства, как правило, имеют в своем составе множество элементов и узлов с различными показателями надежности. В этом случае невозможно выделить определяющий параметр изделия и применить принцип обслуживания по выработке ресурса, и для организации ТО используется календарный принцип. Календарное обслуживание производится в соответствии с рекомендациями завода-изготовителя через фиксированные промежутки времени независимо от технического состояния оборудования. Такое обслуживание является основным для многих технических устройств и по своему содержанию носит планово-предупредительный характер.

ТО по регламенту предусматривает строго определенный объем и периодичность проводимых работ, которые определяются на основе статистических данных, полученных путем организации опытной эксплуатации значительного количества техники в среднестатистических условиях их применения. Период

между проведением ТО устанавливаются равными времени, в течение которого определенная доля оборудования, подвергаемого опытной эксплуатации, работает без отказов.

Предупредительный характер ТО по регламенту приводит к тому, что большая часть регулируемых или заменяемых элементов оборудования, как правило, не дорабатывает свой ресурс. При обслуживании по регламенту многие операции ТО выполняются без фактической их необходимости. Кроме того, для многих узлов технических систем обслуживание по регламенту не снижает вероятность выхода их из строя. Исследования показали, что причиной около 70 % дефектов технических средств, находящихся в эксплуатации, является проведение на них ТО [Зеленцов В.А. 1991]. Проведенный анализ показывает, что при обслуживании по регламенту только 30 % от общего времени, затрачиваемого на ТО, тратится на необходимые для поддержания работоспособности операции, а 70 % приходится на операции, без которых можно было бы обойтись. Таким образом, ТО по регламенту характерны завышенные объемы работ и необоснованно частая периодичность их проведения, которые назначаются изготовителем для того, чтобы с запасом обеспечить требуемые показатели надежности различных узлов и агрегатов [Зеленцов В.А. 1991].

С другой стороны, как уже отмечалось выше, при эксплуатации АТ в особых условиях достаточно часто наблюдается иная картина: рассчитанная для типовых условий эксплуатации периодичность ТО, напротив, оказывается недостаточной, т.е. узлы и агрегаты АТ выходят из строя чаще, чем при типовых условиях эксплуатации АТ.

Таким образом, применение ТО по регламенту для АТ при особых условиях ее эксплуатации на практике зачастую оказывается недостаточно эффективным, поскольку не учитывает особенностей временного дрейфа контролируемых параметров и особенностей эксплуатации АТ.

3. Третий вид обслуживания – обслуживание по состоянию, при котором перечень и периодичность выполнения операций определяется фактическим техническим состоянием объекта в момент начала ТО. Этот вид ТО предусматривает оценку срока работоспособности на основе прогноза времени нахождения в допустимых пределах таких параметров технического средства, которые определяют возможность его применения по назначению. Обслуживание по фактическому состоянию относится к гибкой системе ТО.

Для определения периодичности проведения ТО при обслуживании по состоянию используются сведения о закономерностях процессов изменения параметров их элементов и данные контроля этих параметров. Такой подход позволяет обеспечить требуемое качество функционирования технических объектов при устранении недостатков, присущих ТО по регламенту [Ситчихина М. В., 2003].

Обслуживание по состоянию требует периодических измерений значений определенных параметров изделия. Эти измеренные значения являются основой для прогноза технического состояния изделия. На основе прогноза принимается решение о сроках проведения ТО и объеме его операций [Черноморец А.А., Болгова Е.В., Черноморец Д.А., Коваленко А.Н. 2015].

Обслуживание по состоянию достаточно широко используется при эксплуатации различных образцов техники и активно внедряется в целом ряде развивающихся отраслей, особенно в радиоэлектронной промышленности. Применительно же к АТ и в особенности – для экстремальных условий ее эксплуатации такие гибкие системы ТО, к сожалению, в настоящее время разработаны и исследованы пока недостаточно широко.

Многие специалисты по эксплуатации АТ, осознавая эту проблему, предпринимают попытки самостоятельно обосновать периодичность проведения ТО и назначить сроки проведения ТО АТ на базе собственного опыта. В качестве примера можно привести поправочные коэффициенты к нормативам на проведение ТО, приведенные в [Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник, 1991].

Так, для жаркого и холодного климата для периодичности ТО авторами введен поправочный коэффициент 0,9; для оценки трудоемкости работ по ТО – от 1,1 до 1,3; для пробега до капитального ремонта коэффициент предусматривает 0,7 – 0,9 установленного пробега, и т.д. Такому подходу присущи субъективность и недостаточная научная обоснованность принятия решений о моментах начала очередного ТО аппаратуры. В связи с этим возникает задача разработки научно обоснованного подхода к определению оптимального периода ТО АТ, при котором АТ удовлетворяла бы всем предъявляемым к ней требованиям по надежности при снижении затрат на эксплуатацию.

Следует отметить, что необходимыми организационными условиями применения ТО по состоянию являются экономическая целесообразность, наличие приборной базы, наличие методики прогнозирования технического состояния, обученный персонал и контролепригодность оборудования. Необходимым техническим условием применения ТО по состоянию является наличие элементов с ярко выраженным

временным дрейфом контролируемых (определяющих) параметров, которые являются определяющими для обеспечения работоспособности устройства [http://thepit.oaosng.ru/babenko_r.htm].

В работах Е.Ю. Барзиловича, Н.Н. Смирнова, В.А. Каштанова и некоторых других авторов показано, что обслуживание по состоянию является наиболее перспективным среди существующих в настоящее время видов ТО. Обслуживание по состоянию позволяет обеспечить требуемую надежность систем (а в ряде случаев и повысить ее) при уменьшении затрат на ТО [Смирнов Н. Н, Ицкевич А. А., 1980; Петухов Г.Б., 1989]. Отечественная и зарубежная практика показывает, что при этом затраты на эксплуатацию сокращаются до 30 %, а ресурс оборудования по сравнению с календарным принципом обслуживания увеличивается на 35 – 40 % [Ситчихина М. В., 2003; http://thepit.oaosng.ru/babenko_r.htm].

Высокая эффективность методов обслуживания по состоянию достигается за счет предупреждения в процессе ТО большего, по сравнению с другими видами ТО, числа отказов, которое реализуется на практике посредством прогнозирования технического состояния. Прогнозирование позволяет эксплуатировать контролируемый объект до появления признаков опасного снижения работоспособности, тем самым продлевая срок службы оборудования за пределы нормативного срока, исключая преждевременные вмешательства в его работу и снижая затраты на обслуживание. Разработка гибких стратегий ТО применительно к АТ и использование разработанных гибких стратегий позволят своевременно проводить ТО АТ, т.е. обеспечить постоянное нахождение значений ОП в пределах нормы, предотвращая тем самым как выход из строя отдельных узлов (агрегатов) АТ, так и отказ АТ в целом. При этом описанный выше подход к определению параметров ТО как этапа эксплуатации АТ может быть реализован совместно со статистическим подходом, например, использоваться для корректирования ТО по регламенту. При этом ТО АТ, проводимое по гибкой стратегии, в отличие от обслуживания по регламенту, позволит учесть такие факторы, как техническое состояние и особые условия эксплуатации АТ для каждого конкретного случая.

Таким образом, на основе анализа имеющихся видов ТО и с учетом их выявленных недостатков достаточно актуальной является задача разработки научно обоснованного подхода к определению оптимального периода ТО АТ τ_{opt} . При этом под оптимальной периодичностью проведения ТО АТ будем понимать периодичность, при которой обеспечивается выполнение основных требований, предъявляемых к АТ (ее к надежности и затратам на ее эксплуатацию).

Задачу определения оптимальной периодичности ТО целесообразно решать с использованием теории векторного анализа эффективности [Петухов Г.Б., 1989]. В соответствии с данным подходом из общей совокупности свойств АТ могут быть выделены основные свойства, обуславливающие ее пригодность к использованию по назначению и определяющие качество ее функционирования: надежность АТ и ее экономичность (затраты на ее эксплуатацию). Выбранную совокупность свойств назовем качеством функционирования АТ [Петухов Г.Б., 1989].

В качестве первого показателя качества целесообразно использовать показатель готовности АТ, характеризующий ее готовность к использованию по назначению в произвольный момент времени эксплуатации. Для одного цикла регенерации (рис. 2) можно записать соотношение:

$$K_{гр} = \frac{M[t_{бр}]}{M[T_p]}, \quad (1)$$

где $M[t_{бр}]$ – математическое ожидание (МО) длительности безотказной работы АТ за период времени τ ;

$M[T_p]$ – МО периода регенерации T_p .

Показатель готовности, в отличие от коэффициента готовности, учитывает все основные составляющие простоев, которые могут иметь место при функционировании АТ, и может быть представлен в виде функции, зависящей от значений периодичности ТО:

$$K_{гр}(\tau) = \frac{\int_0^{\tau} P_0(t) dt}{P_0(\tau) \times (\tau + \tau_{к}) + P_{отк}(\tau) \times (\tau + \tau_{к} + \tau_{в})}, \quad (2)$$

где $\int_0^{\tau} P_0(t) dt = \overline{t_{бр}}$ – среднее время безотказной работы АТ на интервале τ ;

$P_0(\tau)$ – вероятность безотказной работы АТ на интервале τ ;

$P_{отк}(\tau)$ – вероятность отказа АТ на интервале τ , а остальные обозначения соответствуют ранее введенным.

После преобразования получим:

$$K_{пр}(\tau) = \frac{\int_0^{\tau} P_0(t) dt}{\tau + \tau_{\kappa} + P_{отк}(\tau) \times \tau_{\text{в}}}, \quad (3)$$

Проведенные расчеты и моделирование функции (3) в среде «MathCad» показали, что при определенном значении периодичности проведения сеансов контроля и ТО выражение вида (3) имеет единственный максимум. Значение момента начала очередного ТО, при котором показатель готовности максимален, может быть определено методом перебора с использованием ЭВМ.

В качестве второго показателя качества выбраны средние относительные непроизводительные затраты на эксплуатацию АТ, которые необходимо минимизировать. Их также можно представить в виде функции, зависящей от периодичности проведения ТО:

$$C = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\sum_{k=1}^n C_k}{t}, \quad (4)$$

где C_k , $k = 1, 2, \dots, n$ – затраты на эксплуатацию элемента АТ в n -м состоянии.

Для одного участка регенерации (цикла обслуживания) можно записать:

$$C = \frac{M(C_{\text{непр}})}{M(C)}, \quad (5)$$

где $M(C_{\text{непр}})$ – МО непроизводительных затрат на эксплуатацию АТ;

$M(C)$ – МО общих затрат на эксплуатацию АТ.

Средние относительные непроизводительные затраты на эксплуатацию также можно представить в виде функции, зависящей от периодичности проведения ТО:

$$C(\tau) = \frac{P_0(\tau) \times (C_{\kappa} \times \tau_{\kappa}) + P_{отк}(\tau) \times (C_{отк} \times \overline{t_{отк}} + C_{\text{в}} \times \tau_{\text{в}} + C_{\kappa} \times \tau_{\kappa})}{P_0(\tau) \times (C_{\phi} \times \overline{t_{\phi}} + C_{\kappa} \times \tau_{\kappa}) + P_{отк}(\tau) \times (C_{отк} \times \overline{t_{отк}} + C_{\text{в}} \times \tau_{\text{в}} + C_{\kappa} \times \tau_{\kappa})}$$

где C_{κ} – средние удельные затраты на эксплуатацию АТ в режиме ТО;

$C_{отк}$ – средние удельные затраты на эксплуатацию АТ в режиме отказа;

$C_{\text{в}}$ – средние удельные затраты на эксплуатацию АТ в режиме восстановления работоспособности;

C_{ϕ} – средние удельные затраты на эксплуатацию АТ при ее безотказной работе (нормальном функционировании);

$\overline{t_{отк}} = \tau - \overline{t_{\phi}}$ – среднее время отказа АТ на интервале τ .

Все остальные обозначения соответствуют ранее введенным.

После преобразования получим итоговое выражение для средних относительных непроизводительных затрат на эксплуатацию АТ:

$$C(\tau) = \frac{C_{\kappa} \times \tau_{\kappa} + P_{отк}(\tau) \times (C_{отк} \times \overline{t_{отк}} + C_{\text{в}} \times \tau_{\text{в}})}{P_0(\tau) \times C_{\phi} \times \overline{t_{\phi}} + P_{отк}(\tau) \times (C_{отк} \times \overline{t_{отк}} + C_{\text{в}} \times \tau_{\text{в}}) + C_{\kappa} \times \tau_{\kappa}} \quad (6)$$

Проведенные расчеты и моделирование функции в среде «MathCad» показали, что при определенном значении периодичности проведения сеансов контроля и ТО выражение вида (6) имеет единственный

минимум. Значение момента начала очередного ТО, при котором средние непроизводительные затраты на эксплуатацию минимальны, также могут быть определены методом перебора с использованием ЭВМ.

Очевидно, что первый из введенных показателей необходимо свести к максимуму, а второй – к минимуму. Иными словами, критерии оптимальности для введенных показателей вида (3) и (6) могут быть представлены следующим образом.

1. При постановке и решении прямой задачи – в виде системы:

$$\begin{cases} K_{\text{пр}}(\tau_{\text{опт}}) = \sup_{\tau_{\text{опт}} \in T_c} K_{\text{пр}}(\tau), \\ C(\tau) \leq C_{\text{доп}} \end{cases}$$

2. При обратной задаче

$$\begin{cases} C(\tau_{\text{опт}}) = \inf_{\tau_{\text{опт}} \in [0; T_{\text{пр}}]} C(\tau), \\ K_{\text{пр доп}}(\tau) \geq K_{\text{пр доп}} \end{cases}$$

где $C_{\text{доп}}(\tau)$ – допустимое значение затрат на эксплуатацию АТ;

T_c – множество возможных значений периодичности проведения ТО, при которых выполняется условие $C(\tau) \leq C_{\text{доп}}$;

$[0; T_{\text{пр}}]$ – интервал возможных значений периодичности ТО (область пригодности), формируемый при выполнении условия

$$K_{\text{пр доп}}(\tau) \geq K_{\text{пр зад}}.$$

На практике чаще используется обратная постановка задачи, т.е. необходимо определить оптимальную периодичность ТО АТ $\tau_{\text{опт}}$, при которой обеспечивается заранее заданное значение показателя готовности АТ при минимально возможных при этом затратах на ее эксплуатацию. Данная обратная задача может быть представлена в виде:

$$C(\tau) \longrightarrow \min_{\tau_{\text{опт}} \in [0; T_{\text{пр}}]}.$$

Под эффективностью функционирования АТ будем понимать степень достижения указанных выше требований к показателю готовности и к затратам на эксплуатацию АТ. При этом оценка оптимальности выбранной периодичности ТО АТ должна производиться по изменению эффективности функционирования АТ, т.е. по степени удовлетворения вышеприведенных требований к показателям качества. Для этого была введена скалярная мера удовлетворения показателями качества заданным к ним требованиям – показатели эффективности функционирования (ПЭФ) АТ.

В качестве частных ПЭФ АТ в работе выбраны следующие показатели:

1. $K_{\text{пр}}(\tau)$ – показатель готовности АТ, который должен удовлетворять условию $K_{\text{пр}}(\tau) \geq K_{\text{пр зад}}$;
2. Разность между средними относительными непроизводительными затратами на эксплуатацию АТ и их минимальным значением:

$$C(\tau) - C_{\text{min}} = C(\tau)$$

Примеры расчетов зависимости $C(\tau)$ от периодичности проведения ТО приведены на рис. 3.

Все введенные ПЭФ безразмерны, нормированы к единице, имеют одинаковый порядок и зависят от периодичности проведения ТО. При этом $K_{\text{пр}}$ формирует т.н. область пригодности, т.е. интервал допустимых значений времени для поиска оптимального периода ТО.

На основе введенных частных ПЭФ может быть сформирован т.н. обобщенный показатель эффективности функционирования (ОПЭФ) АТ в виде:

$$\text{ОПЭФ}(\tau) = C(\tau) \left[K_{\text{пр}}(\tau) \geq K_{\text{пр зад}} \right] \quad (7)$$

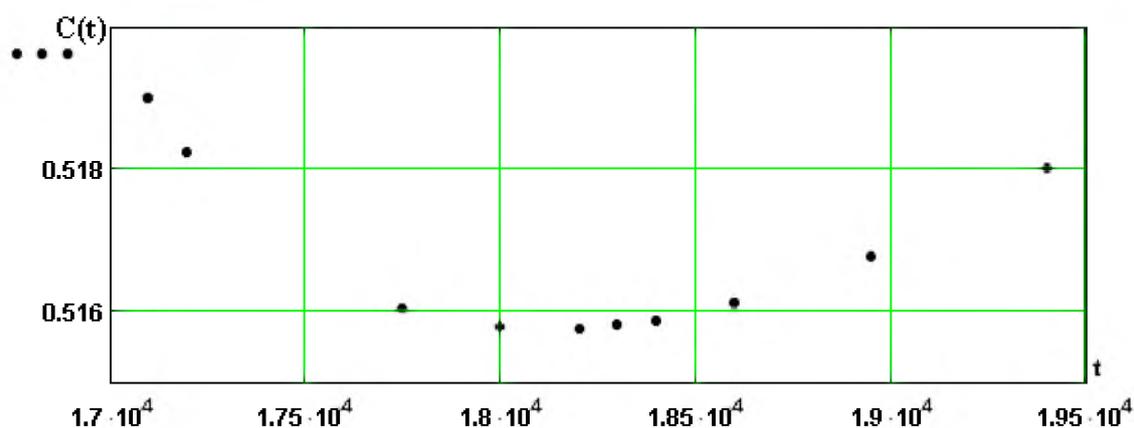


Рис. 3. Пример расчета зависимости $C(\tau)$ от периодичности проведения ТО АТ

Fig. 3. Example of calculation based on $C(\tau)$ from the periodicity of the technical support of automotive vehicles

И частные, и обобщенный показатели эффективности функционирования зависят от периода проведения ТО. В итоге необходимо определить оптимальную периодичность проведения ТО АТ $\tau_{\text{опт}}$, при которой обеспечивается заданное значение показателя готовности АТ при минимально возможных затратах на ее эксплуатацию, т.е.:

$$\text{ОПЭФ}(\tau) \longrightarrow \min_{\tau_{\text{опт}} \in [0; T_{\text{пр}}]}$$

Критериями оценки эффективности функционирования АТ, как и для других технических устройств, могут служить понятия пригодности, оптимальности и превосходства [Петухов Г.Б., 1989]. Используя введенный ОПЭФ (7) и задавая требуемые значения $K_{\text{пр}}$, можно определить интервал времени, на котором будет выполняться заданные требования по надежности, то есть сформировать т.н. область пригодности. В этой области, в свою очередь, могут быть выделены область оптимальности (в которой один из ПЭФ достигает экстремального значения при соблюдении ограничений и условий на другие показатели эффективности), а также область превосходства (в которой достигается минимум отклонения ПЭФ от своих экстремумов, т.е. экстремальное значение ОПЭФ).

Изложенный материал иллюстрируется рис. 4.

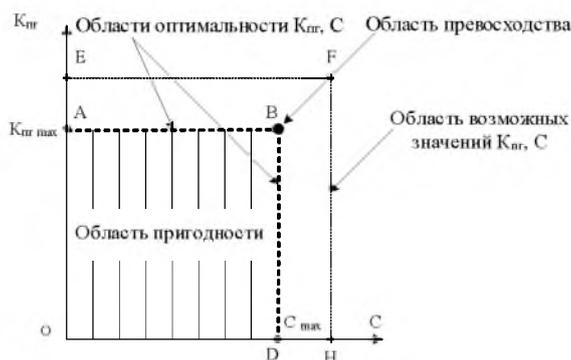


Рис. 4. Области пригодности, оптимальности и превосходства ЧПЭФ

Fig. 4. The field of fitness, optimality and superiority of the partial indicators of efficiency of functioning

На рисунке 4 в общем виде показаны: в виде фигуры OEFH – область возможных значений $K_{\text{пр}}$ и C ; в виде фигуры OABD – область пригодности; отрезками АВ, BD – области оптимальности показателей $K_{\text{пр}}$ и C соответственно; т. В – область превосходства.

При записи ОПЭФ в виде (7) подразумевается, что требования по надежности для АТ имеют более важное значение, чем требования по минимизации затрат на ее эксплуатацию. Однако возможны ситуации, при которых требования по обеспечению надежности и экономичности имеют одинаковый приоритет. В

этом случае ОПЭФ может быть сформирован в другом виде. Так, свертка методом идеальной точки [Петухов Г.Б., 1989] первого и второго ПЭФ – $K_{\text{пр}}$ и C – в ОПЭФ позволяет получить зависимость вида:

$$\text{ОПЭФ}(\tau) = \sqrt{(1 - K_{\text{пр}}(\tau))^2 + C(\tau)^2}.$$

Как и в предыдущем случае, перебор всех возможных значений τ позволяет определить момент начала ТО, доставляющий минимум этому выражению, т.е. приводящий к компромиссу между показателем готовности АТ и средними непроизводительными затратами на ее эксплуатацию. В этом случае периодичность проведения ТО АТ $\tau_{\text{опт}}$, при которой достигается минимум ОПЭФ – минимум отклонения $K_{\text{пр}}$ и C от своих оптимумов, т.е. обеспечивается компромисс между надежностью ($K_{\text{пр}}$) и стоимостью эксплуатации АТ (C), также можно считать оптимальной. Это оптимальное значение периодичности проведения ТО, доставляющее минимум ОПЭФ, также может быть определено методом перебора с использованием ЭВМ (рис. 5). При этом очевидно, что возможности как современной вычислительной техники, так и специализированного программного обеспечения позволяют решить эту задачу в реальном масштабе времени [Парфенов А.В., Чудинов С.М. 2016; Петриченко Г.С., Петриченко В.Г. 2016].

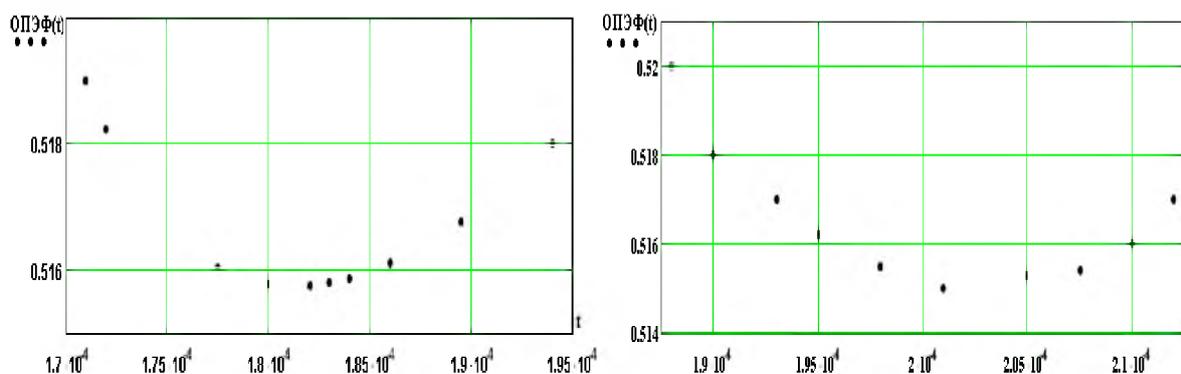


Рис. 5. Пример расчета зависимости ОПЭФ АТ от периодичности проведения ее ТО
Fig. 5. Example of calculation based on generalized performance indicators for automotive vehicles from the periodicity of the maintenance

Выражения $P_0(\tau)$ и $P_{\text{отк}}(\tau)$ (вероятность безотказной работы и вероятность отказа АТ на интервале τ) в формулах (2 – 6) и связанные с ними аналитические зависимости для плотности распределения времени до отказа АТ $\omega(\tau)$ могут быть найдены путем вероятностного прогнозирования момента выхода определяющего параметра АТ за допустимые пределы (например, при помощи подхода, изложенного в работе [Шляпцев С. Н., Ходжаев И. А., Королёв М. В., 2005]).

Таким образом, проанализированные в данной работе определяющие параметры, выбранные для АТ, могут быть различными в зависимости от конкретных (особых) условий ее эксплуатации. Тем не менее, по каждому из данных параметров при помощи прогнозирования могут быть получены вероятностные показатели надежности АТ, а на их основе сформированы показатели эффективности ее функционирования, на базе которых возможна дальнейшая организация гибкой системы ТО АТ с оптимальной (с точки зрения введенных показателей) периодичностью.

Список литературы

1. Хасанов Р.Х. Основы технической эксплуатации автомобилей: Учебное пособие. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003. – 193 с.
2. Агеев Е.В. Особые условия технической эксплуатации и экологическая безопасность автомобилей: Учебное пособие. – Курск: ЮЗГУ, 2015. – 212 с.
3. Ефремов Л.В. Проблемы управления надежно-ориентированной технической эксплуатацией машин. – СПб: Art-Xpress, 2015. – 206 с.
4. Ощепков П.П. Оценка влияния надежности автомобиля «Камаз» на безопасность дорожного движения в условиях Севера. Диссертация на соискание степени к.т.н. Якутск: ЯГУ им. М. М. Аммосова. – 2000. – 147 с.

5. Ионов В.В. Исследование эксплуатационной надежности агрегатов трансмиссии автомобилей «Камаз» // Вестник СВГУ. – 2013. – № 20. – С. 82.
6. Надежность и эффективность в технике: Справочник в 10 т./ Ред. совет: В.С. Авдеевский и др. – М: Машиностроение, 1986. – 224 с.
7. Зеленцов В.А. Гибкие стратегии ТО – проблемы внедрения и пути их решения // Стандарты и качество. – 1991. – № 12. – С.35-38.
8. Ситчихина М.В. Разработка моделей и программных средств прогнозирования остаточного ресурса оборудования. Диссертация на соискание степени к.т.н. Иркутск: Байкальский университет экономики и права. – 2003.
9. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник. – М: Транспорт, 1991. – 413 с.
10. Бабенко И.А. Внедрение системы ТО по фактическому состоянию машинного парка. http://thepit.oaosng.ru/babenko_r.htm (электронный ресурс).
11. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем. – М: Высшая школа, 1982. – 238 с.
12. Смирнов Н.Н, Ицкевич А.А. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию. – М: Транспорт, 1980. – 232 с.
13. Петухов Г.Б. Основы теории эффективности целенаправленных процессов. Часть 1. Методология, методы, модели. – Л: МО СССР, 1989. – 660 с.
14. Шляпцев С.Н., Ходжаев И.А., Королев М.В. О возможности индивидуального прогнозирования показателей безотказности систем виброакустической маскировки // Техника и технология. – 2005. – № 6 (12). – С. 66-68.
15. Парфенов А.В., Чудинов С.М. Тенденции развития вычислительной техники // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2016. – № 16(237). – С. 98 – 106.
16. Петриченко Г.С., Петриченко В.Г. Оценка эффективности программного обеспечения // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2016. - № 9 (230). – С. 108 – 112.
17. Батьковский А.М., Батьковский М.А., Ройкоз Г.А., Чудинов С.М. Методы оптимизации жизненного цикла разработки радиоэлектронной продукции // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2014. - № 15 (186). – С. 121 – 127.
18. Черноморец А.А., Болгова Е.В., Черноморец Д.А., Коваленко А.Н. Метод прогнозирования на основе частотных представлений // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2015. - № 13 (210). – С. 164 – 169.

References

1. Khasanov R.H. fundamentals of technical exploitation of cars: a tutorial. – Orenburg: GOU OGU, 2003. – 193 p. (in Russian)
2. Ageev E.V. Special conditions of technical operation and environmental safety of vehicles: textbook. – Kursk: SWSU, 2015. – 212 p. (in Russian)
3. Efremov L.V. Problems of management nadejnosti-oriented technical operation of machines. – St. Petersburg: Art Express 2015. – 206 p. (in Russian)
4. Oshchepkov P.P. Assessment of the impact of the reliability of the vehicles for road safety in the North. The dissertation on competition of a scientific degree of candidate of technical Sciences, Yakutsk: YSU them. M. M. Ammosov. – 2000. – 147 p. (in Russian)
5. Ions V.V. Research of operational reliability of the transmission units of vehicles // journal of northeastern state University. – 2013. - No. 20. – P. 82. (in Russian)
6. Reliability and efficiency in engineering: Guide in 10 volumes/ Ed. tip: V.S. Avduevskii and others – М.: Mashinostroenie, 1986. – 224 p. (in Russian)
7. Zelentsov V.A. Flexible strategy – implementation problems and ways of their solution // Standards and quality. – 1991. – No. 12. – P. 35-38. (in Russian)
8. Sitchikhin M.V. Development of models and software for forecasting the residual resource of the equipment. Thesis for the degree of Ph. D. Irkutsk: Baikal University of Economics and law. – 2003. (in Russian)
9. Maintenance of vehicles: the Textbook. – М: Transport, 1991. – 413 p. (in Russian)
10. Babenko A.I. the implementation of the system according to the actual condition of the machinery. http://thepit.oaosng.ru/babenko_r.htm (in Russian)
11. Barzilovich E.Y. Models of maintenance of complex systems. – М: Higher school, 1982. – 238 p(in Russian)
12. Smirnov N.N, Itskovich AA. Maintenance and repair of aircraft as of. – М: Transport, 1980. – 232 p. (in Russian)
13. Petuchov, G. B., Foundations of the theory of the effectiveness of targeted processes. Part 1. Methodology, methods, models. – LENINGRAD: USSR MINISTRY OF DEFENSE, 1989. – 660 p. (in Russian)
14. Slepcev S.N., Khodzhaev I.A., Korolev M.V. On the possibility of individual prediction of reliability of systems of vibroacoustic masking // engineering and technology. – 2005. – № 6(12). – S. 66-68. (in Russian)
15. Parfenov A.V., Chudinov S.M. Technology trends of computer engineering // Belgorod State University Scientific Bulletin. – 2016. - № 16(237). – P. 98 – 106. (in Russian)

16. Petrichenko G.S., Petrichenko V.G. Performance evaluation software // Belgorod State University Scientific Bulletin. – 2016. - № 9 (230). – P. 108 – 112. (in Russian)
17. Batkovskij A.M., Batkovskij M.A., Rojkoz G.A., Chudinov S.M. The optimization techniques of radio equipment lifetime // Belgorod State University Scientific Bulletin. – 2014. - № 15 (186). – P. 121 – 127. (in Russian)
18. Chernomorets A.A., Bolgova E.V., Chernomorets D.A., Kovalenko A.N. The prediction method of frequency representation // Belgorod State University Scientific Bulletin. – 2015. - № 13 (210). – P. 164 – 169. (in Russian)

Савин Леонид Олегович, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации

Королёв Михаил Викторович, кандидат технических наук, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации

Носов Максим Васильевич, кандидат технических наук, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации

Savin Leonid Olegovich, Academy of the Federal security service of the Russian Federation

Korolev Mikhail Viktorovich, Candidate of Technical Sciences, Academy of the Federal security service of the Russian Federation

Nosov Maksim Vasilyevich, Candidate of Technical Sciences, Academy of the Federal security service of the Russian Federation