

МЕТОДЫ ПОДДЕРЖАНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОГО СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

В. В. Нечаев

Отдел организации научной работы и подготовки научно-педагогических кадров, nechver@mail.ru; ФГКВБОУ ВО «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А. В. Хрулева», г. Санкт-Петербург, Россия

Ключевые слова: методика поиска отказа; методы поддержания и обеспечения работоспособного состояния; определение отказавшего элемента; оптимальный вариант системы технического обслуживания; распознавание вида отказа; эксплуатация автомобильной техники.

Аннотация: Представлены методы формирования рациональной системы технической эксплуатации автомобильной техники, поддержания и обеспечения ее работоспособного состояния.

Введение

Термин «эксплуатация» для любых объектов в узком смысле означает получение полезного эффекта, который достигается при применении (использовании) объекта по назначению. Однако для сложных технических изделий, к которым, несомненно, относится автомобильная техника (АТ), нужно рассматривать значение данного термина в более широком смысле – с учетом всех обеспечивающих мероприятий, прежде всего, мероприятий по поддержанию техники в заданном состоянии для обеспечения успешного ее использования по назначению. В зависимости от уровня рассмотрения эксплуатации технических изделий в литературе доминируют два типа определений – «этапное» и «процессное». В определениях первого типа эксплуатация АТ рассматривается как стадия жизненного цикла, включающая совокупность конкретных этапов, на которых реализуется, поддерживается и восстанавливается ее качество. В определениях второго типа эксплуатация трактуется как совокупность процессов – взаимосвязанных и упорядоченных по времени операций и действий обслуживающего персонала по выполнению задач эксплуатации АТ.

Систему же технической эксплуатации автомобильной техники можно представить как область практической деятельности и как науку, которая определяет пути и методы наиболее эффективного управления техническим состоянием автомобиля в целях обеспечения его регулярного, безопасного и экономически выгодного использования. Одним из направлений совершенствования системы технической эксплуатации АТ является разработка и внедрение методов наиболее эффективного ее использования, поддержания и обеспечения работоспособного состояния.

Метод формирования рациональной структуры системы технической эксплуатации автомобильной техники

Для формирования рациональной структуры системы технической эксплуатации АТ необходимо выделить четыре основных процесса (этапа), определяющих поддержание и обеспечение ее работоспособного состояния: техническое обслуживание (ТО), техническое диагностирование (ТД), текущий ремонт (ТР), обеспечение необходимого количества запасных частей (*далее* восполнение запасов (ВЗ)) в период выполнения обслуживания и ремонта. Для обоснования рациональной структуры системы технической эксплуатации необходимо поочередно провести декомпозицию этих процессов на действия, выполняемые обслуживающим персоналом, выбрать наиболее характерные и востребованные, определить порядок и очередность их использования [1].

Для автомобильной техники независимо от производителя устанавливают периодическое по календарю регламентированное ТО, в основу которого, как правило, положен принцип «матрешки»: каждый позже выполняемый вид обслуживания включает в себя больший объем работ и содержит мероприятия ранее выполняемого вида обслуживания. Поэтому целесообразно рассматривать вид ТО с наибольшим объемом выполняемых работ.

До начала ТО специалисты готовятся к его проведению. Данная подготовка обеспечивает обслуживающему персоналу требуемый уровень, который также задается в эксплуатационной документации на обслуживаемый автомобиль определенного образца.

При выполнении работ по техническому обслуживанию проверяется крепление деталей приборов, систем и механизмов; проводятся замена (если это требуется) фильтрующих, уплотнительных и соединительных элементов согласно перечню, указанному в эксплуатационной документации, очистительные (промывочные), смазочные работы, при необходимости – замена (доливка) охлаждающей жидкости, горюче-смазочных материалов. С использованием приборов информационно-измерительной системы автомобиля и при помощи внешних средств ТО организуется получение информации об его техническом состоянии. Подаются определенные тестовые воздействия, осуществляется сбор ответной информации (значений контролируемых параметров). Несоответствие значения параметра заданному, то есть нахождение его за установленным допуском, квалифицируется как отказ изделия. В этом случае начинает функционировать система ТД. Значения регулируемых параметров, даже если они находятся в допустимых пределах, обслуживающий персонал с использованием регулировочных работ доводит до номинальных.

Подготовка к проведению ТО содержит такие этапы, как: организация и проведение инструкторских занятий, изучение эксплуатационной документации по выполнению работ I_1^{TO} , подготовка и проверка средств обслуживания I_2^{TO} , оценка уровня подготовки обслуживающего персонала, необходимого для выполнения работ по ТО заданной периодичности I_3^{TO} . Уровень подготовки специалистов может быть оценен по косвенному показателю – среднему времени ТО отдельно взятого элемента. Исполнители должны укладываться в заданные временные интервалы, указанные в эксплуатационной документации.

При непосредственном выполнении работ по обслуживанию АТ необходимо наличие знаний порядка выполнения и навыков реализации следующих операций: знание значений моментов затяжки деталей и умение выполнять крепежные работы I_4^{TO} , знание номенклатуры заменяемых элементов и навыки в выполнении работ их замены I_5^{TO} , знание порядка и очередности выполнения смазочных, очистительных работ и работ по замене требующих обязательной замены элементов, охлаждающих и горюче-смазочных жидкостей I_6^{TO} . Для выполнения работ по ТО

необходимо обеспечение операций по проверке значений определенных параметров, для чего нужны знания по установлению требуемых режимов работы проверяемых элементов автомобиля, навыки в установке этих режимов l_7^{TO} ; знания номенклатуры параметров, подлежащих проверке l_8^{TO} ; характеристики этих параметров l_9^{TO} ; навыки в пользовании необходимыми средствами для измерения (определения) значений параметров l_{10}^{TO} ; знание адресов контрольных точек для подключения этих средств l_{11}^{TO} ; навыки в реализации способов измерения значений параметров l_{12}^{TO} .

Операция определения соответствия зафиксированных значений параметров требует наличия знаний и навыков в порядке оценки полученных значений параметров l_{13}^{TO} . Данная операция определяет, каким образом и по каким правилам необходимо сравнивать полученные значения параметров с эталонными. Аналогично операция по регулировке значений параметров требует знаний и навыков в выполнении регулировочных работ для достижения параметрами номинальных значений l_{14}^{TO} .

В результате определения перечня необходимых знаний и навыков, которыми должны обладать специалисты, получаем вектор (кортеж) рациональной структуры системы ТО, координатами которого являются соответствующие операции:

$$H_{TO} = (l_1^{TO}, l_2^{TO}, l_3^{TO}, l_4^{TO}, l_5^{TO}, l_6^{TO}, l_7^{TO}, l_8^{TO}, l_9^{TO}, l_{10}^{TO}, l_{11}^{TO}, l_{12}^{TO}, l_{13}^{TO}, l_{14}^{TO}). \quad (1)$$

Данный вектор определяет структуру процесса рационального ТО автомобильной техники.

Техническое диагностирование следует проводить в определенной логической последовательности действий. Процедура определения технического состояния, поиска неработоспособных элементов АТ заключается в следующем: обслуживающий персонал, в зависимости от своей технической подготовленности, формирует сигнатуру отказа диагностируемого изделия (перечень функций не обязательно одного уровня иерархии, которые в результате отказа не выполняются) для i -го структурного уровня. Очевидно, что продолжительность каждой операции, а отсюда и всей процедуры определения технического состояния и поиска неработоспособных элементов, напрямую зависит от квалификации обслуживающего персонала, его личного опыта, а порой и интуиции, умения находить нужную информацию, анализировать, выполнять правильные действия. Для этого специалисты должны в ходе проведения занятий изучить инструкции по выполнению работ, конструкцию диагностируемых приборов, систем и механизмов, состояние которых необходимо проверить l_1^{TD} , конструкцию, режимы работы средств ТД, проверить их состояние l_2^{TD} , знать перечень проверяемых параметров и их характеристики l_3^{TD} , получить оценку уровня своей подготовки l_4^{TD} . В ходе выполнения работ специалист должен знать режим работы диагностируемого элемента при диагностировании, иметь навыки в обеспечении этого режима l_5^{TD} , знать адреса контрольных точек для подключения средств ТД, уметь ими пользоваться l_6^{TD} , знать порядок и иметь навык в реализации способов измерения значений параметров l_7^{TD} , уметь выполнять оценку полученных значений параметров для определения неработоспособного элемента автомобиля и установления причины его неработоспособности l_8^{TD} .

В результате получаем вектор рациональной структуры системы технического диагностирования

$$H_{\text{тд}} = (l_1^{\text{тд}}, l_2^{\text{тд}}, l_3^{\text{тд}}, l_4^{\text{тд}}, l_5^{\text{тд}}, l_6^{\text{тд}}, l_7^{\text{тд}}, l_8^{\text{тд}}). \quad (2)$$

После того как неработоспособные элементы определены, обслуживающий персонал приступает к ТР.

Текущий ремонт является плановым, выполняется для обеспечения или восстановления работоспособности объекта и состоит в замене и (или) восстановлении отдельных легкодоступных его частей. В основном данный вид ремонта выполняют путем частичной разборки и замены отдельных изношенных или поврежденных деталей.

В ходе проведения инструкторских занятий специалисты должны изучить инструкции по выполнению работ, технологию замены (технологию выполнения восстановительных работ) неработоспособных деталей на работоспособные $l_1^{\text{ТР}}$, изучить конструкцию, режимы работы средств ремонта, проверить их состояние $l_2^{\text{ТР}}$. При выполнении ТР специалисты должны иметь знания и навыки в выполнении демонтажных, разборочных работ, работ по замене (восстановлению) неработоспособных деталей $l_3^{\text{ТР}}$, знать последовательность и уметь выполнять регулировочные и настроечные работы $l_4^{\text{ТР}}$.

В результате получаем вектор рациональной структуры ТР, координатами которого являются соответствующие операции:

$$H_{\text{тр}} = (l_1^{\text{ТР}}, l_2^{\text{ТР}}, l_3^{\text{ТР}}, l_4^{\text{ТР}}). \quad (3)$$

После того как неработоспособные детали конструкции АТ заменены, необходим процесс восполнения израсходованных запасных частей. Для этого необходимо иметь информацию об организациях, в которых возможно наличие необходимого количества номенклатурного (каталожного) перечня запасных частей и из которых целесообразна их доставка $l_1^{\text{ВЗ}}$. Кроме того, специалисты должны уметь определять вид необходимых транспортных средств для осуществления транспортировки $l_2^{\text{ВЗ}}$, их количество $l_3^{\text{ВЗ}}$, необходимость использования, вид и количество грузоподъемного оборудования $l_4^{\text{ВЗ}}$, текущее состояние транспортной сети $l_5^{\text{ВЗ}}$. Эти знания и умения могут быть представлены в виде вектора

$$H_{\text{вз}} = (l_1^{\text{ВЗ}}, l_2^{\text{ВЗ}}, l_3^{\text{ВЗ}}, l_4^{\text{ВЗ}}, l_5^{\text{ВЗ}}). \quad (4)$$

Таким образом, с учетом выражений (1) – (4) рациональная структура (РС) технической эксплуатации АТ будет иметь следующий вид:

$$H_{\text{рс}} = (H_{\text{то}}, H_{\text{тд}}, H_{\text{тр}}, H_{\text{вз}}) = (l_1^{\text{то}}, l_2^{\text{то}}, \dots, l_{14}^{\text{то}}, l_1^{\text{тд}}, l_2^{\text{тд}}, \dots, l_8^{\text{тд}}, l_1^{\text{тр}}, l_2^{\text{тр}}, \dots, l_4^{\text{тр}}, l_1^{\text{вз}}, l_2^{\text{вз}}, \dots, l_5^{\text{вз}}). \quad (5)$$

Структурная схема метода формирования рациональной системы технической эксплуатации АТ представлена на рис. 1.

Метод формирования рациональной структуры технической эксплуатации АТ учитывает уровень знаний и умений обслуживающего персонала в процессах технического обслуживания, технического диагностирования, текущего ремонта и восполнения запасов запасных частей. Использование метода позволит достигнуть наиболее эффективных показателей при организации технической эксплуатации автомобильной техники.

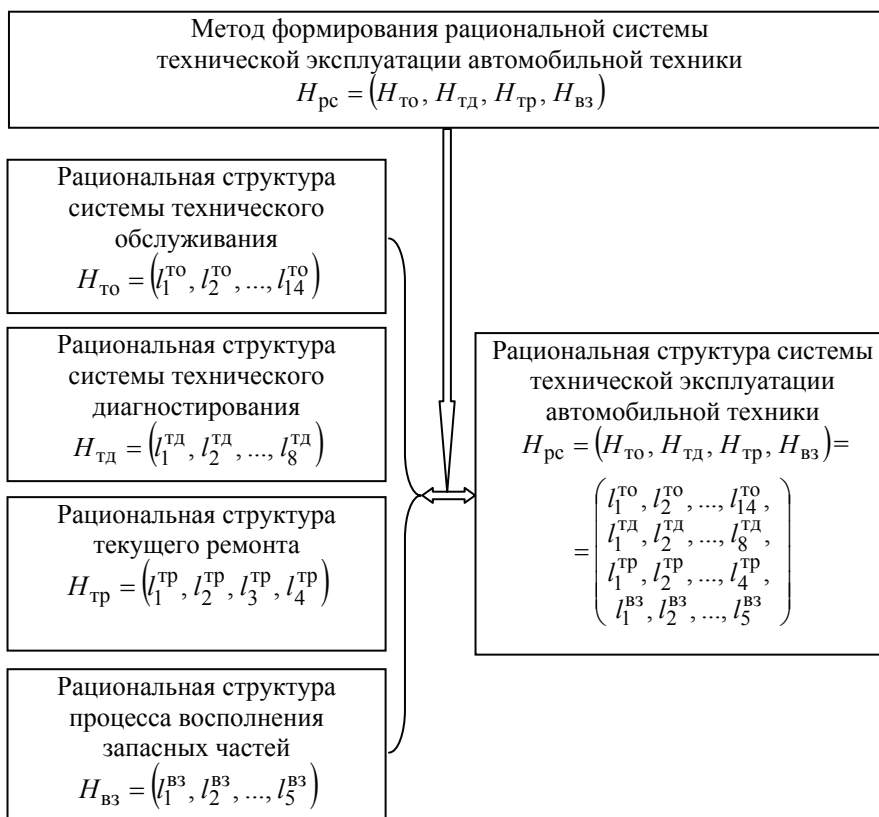


Рис. 1. Структурная схема метода формирования рациональной системы технической эксплуатации автомобильной техники

Метод поддержания работоспособного состояния автомобильной техники

Для поддержания АТ в исправном и работоспособном состоянии предназначена система ТО, которая представляет собой совокупность взаимосвязанных средств, исполнителей и документации, необходимых для предотвращения снижения эксплуатационных характеристик изделий, входящих в данную систему. Необходимость регулярно проводить ТО автомобильного транспорта, обусловлена элементарными физическими законами. В процессе эксплуатации все детали непрерывно изнашиваются, автомобиль подвергается воздействию солнечного света, влаги, пыли, постоянно испытывает перегрузки и вибрации. Специалисты по ТО с определенной периодичностью, регламентировано выполняют работы по поддержанию работоспособного состояния АТ. Организация регламентированного ТО призвана исключить появления отказов (возникающих в результате постепенного изменения значений одного или нескольких параметров объекта). Однако опыт эксплуатации АТ показывает, что такие случаи нередки, и к очередному обслуживанию значения некоторых параметров, определяющих работоспособность отдельно взятого образца, оказываются за допуском. В таких случаях техника некоторое время эксплуатируется в состоянии, в котором значения отдельных параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, не соответствуют требованиям, установленным в эксплуатационной документации (скрытые, постепенные отказы, которые не обнаруживаются существующими средствами функционального контроля АТ между проведением ТО).

Таким образом, техника может эксплуатироваться в соответствии с правилами безопасности дорожного движения, без каких-либо сложностей в управлении и даже имея экономическую выгоду от ее эксплуатации, но, одновременно с этим, может иметь скрытую неисправность, возникшую в период эксплуатации и определяемую только лишь в период выполнения работ очередного регламентированного технического обслуживания.

Беспорным является утверждение о том, что техническое состояние автомобильной техники имеет многоуровневую структуру, где каждый элемент определенного уровня иерархии, как правило, решает свою функциональную задачу. Опираясь на данное утверждение, предложено описание автомобильной техники параметрическим графом технического состояния.

Построение графа основывается на следующих рассуждениях. Существует множество параметров нижнего уровня иерархии $B = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$, где e_1, e_2, \dots, e_n – контролируемые параметры проверяемых элементов. Данные параметры нижнего уровня объединены в группы по функциональному признаку (выполняемым функциональным задачам), которые называются параметрами верхнего уровня иерархии, так, что $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$, где a_1, a_2, \dots, a_m – параметры верхнего уровня, каждый из которых представляет собой подмножество множества B . Таких уровней может быть несколько. Данные параметры являются обобщенными и используются для определения технического состояния автомобиля. Обобщенные параметры могут стать основополагающими при постановке задач по техническому обслуживанию. Например, систематический недозаряд аккумуляторной батареи, неустойчивая работа потребителей электрической энергии на малых и средних оборотах работы коленчатого вала двигателя – это задача обслуживающему персоналу по проверке уровня прогиба ремня привода генераторной установки (так называемый физический смысл проверки) [2].

Объединяя аналогичным образом множество параметров верхнего уровня (соответствующих им функциональных задач) можно получить множество параметров следующих верхних уровней. Далее, вверх по уровню иерархии, задачи верхнего уровня будут базироваться (создаваться) на основе задач нижнего уровня, постепенно достигая более высокого уровня иерархии. Таким образом делается вывод о том, что и процесс технического обслуживания может быть описан графом $Y_{ат}$, который имеет следующие показатели: N – число уровней; Q_n – количество параметров технического состояния на n -м уровне, $n = 1, 2, \dots, N$;

$W_{п.п} = \sum_{n=1}^N Q_n$ – количество проверяемых параметров; $W_{р.г}$ – число ребер графа.

Направленный граф технического обслуживания автомобильной техники со взвешенными дугами представлен на рис. 2.

Все параметры (вершины графа) образуют множество $G = \{g_{n,q_n} \mid n = 1, 2, \dots, N; g_n = 1, 2, \dots, Q_n\}$, $|G| = W_{п.п}$. Связи параметров друг с другом (дуги графа) составляют множество $Z \subset G^2$; $Z = \{z_r \mid r = 1, 2, \dots, W_{р.г}\} = \{(g_i, g_j) \mid g_i, g_j \in G; i, j = 1, 2, \dots, W_{п.п}, i \neq j\}$, $|Z| = W_{р.г}$. Структуру параметрического графа технического обслуживания АТ можно выразить как:

$$Y_{ат N, Q_1, Q_2, \dots, Q_N, W_{п.п}, W_{р.г}} = \langle G, Z \rangle_{N, Q_1, Q_2, \dots, Q_N, W_{п.п}, W_{р.г}} \quad (6)$$

Необходимо учитывать, что степень воздействия друг на друга связанных между собой параметров g различна и носит направленный характер. Параметр g_i воздействует на параметр g_j . Это воздействие можно описать, используя коэффициент связанности δ_{ij} . Справедливым будет утверждение, что в случае, если значение

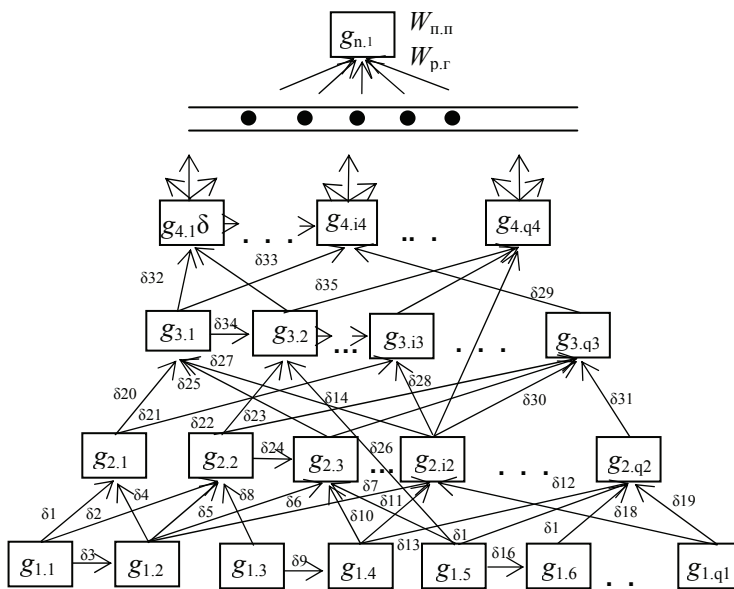


Рис. 2. Направленный параметрический граф технического обслуживания автомобильной техники

параметра g_i достигнет номинального $g_i = g_i^H$, то отрицательного воздействия на параметр g_j как такового не будет, воздействие будет равно 0. Уход параметра g_i от своего номинального значения влияет на значение параметра g_j с коэффициентом δ_{ij} :

$$g_j = \begin{cases} g_j + 0, & \text{при } g_i = g_i^H; \\ g_j + \delta_{ij} \Delta g_i, & \text{при } g_i \neq g_i^H, \Delta g_i = g_i - g_i^H. \end{cases} \quad (7)$$

Таким образом, основываясь на выражении, позволяющем описать структуру параметрического графа технического обслуживания автомобильной техники и используя коэффициент связанности, параметрический граф технического состояния примет следующий вид:

$$Y_{атN, Q_1, Q_2, \dots, Q_n, W_{п.п}, W_{п.г}} = \langle G, Z' \rangle_{N, Q_1, Q_2, \dots, Q_n, W_{п.п}, W_{п.г}} = \langle G, (Z, F) \rangle_{N, Q_1, Q_2, \dots, Q_n, W_{п.п}, W_{п.г}}, \quad (8)$$

где F – множество коэффициентов связанности.

Любой проверяемый в процессе технического обслуживания параметр характеризуется своим номинальным и предельно допустимыми значениями, такими как наименьшее допустимое значение g_i^{\min} и предельно допустимое максимальное значение g_i^{\max} , параметром экспоненциальной функции, значение которой распределено по нормальному закону с математическим ожиданием χ_{ai} и среднеквадратическим отклонением $\tau_{ai} : \alpha_i^n(\chi_{ai}, \tau_{ai})$, $n = 0, 1, \dots$, определяющим быстроту изменения параметра от номинального состояния с моментом определения параметра T_i . Значение параметра g_i может изменяться в период эксплуатации техники в пределах допустимого диапазона, в рамках которого обеспечивается его безотказное функционирование. Следовательно, параметр может иметь множество состояний

$$G' = \left\{ \left(g_i, \left[g^{\min}, g^H, g^{\max}, \alpha(\chi_a, \tau_a), T \right]_i \right) \mid g_i \in G; \left[g^{\min}, g^H, g^{\max}, \alpha, T \right]_i \in G_K \right\},$$

$$i = 1, 2, \dots, W_{\text{п.п}}, \quad (9)$$

где G_K – множество состояний вида: возможные значения параметра, коэффициент крутизны изменения значения параметра, период проверки параметра.

Продолжительность выполняемых работ по поддержанию работоспособного состояния отдельного элемента или системы автомобиля (поддержанию значений параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствующим требованиям, установленным в эксплуатационной документации) является случайной величиной. Обусловлено это тем, что привлекаемые специалисты обладают различным уровнем подготовки, опытом эксплуатации определенного обслуживаемого элемента или системы, обслуживаемого образца техники в целом, психофизическими качествами.

Немаловажное значение на процесс поддержания работоспособного состояния оказывает количество специалистов, одновременно выполняющих работы. Их уровень подготовки определяет пропускную способность обслуживаемых образцов техники. Кроме того, в отличие от всех операций, составляющих процесс ТО, трудозатраты которых указаны в эксплуатационной документации, крайне сложно точно определить период времени, связанный с выполнением регулировочных работ. На случайный характер времени, необходимого для поддержания работоспособного состояния АТ, также влияют условия ее эксплуатации и проведение ТО; наличие и состояние необходимых технических средств обслуживания, запасных частей и смазочного (расходного) материала и т.д. [3].

Представленные компоненты определили основу разработанной параметрической модели системы регламентированного ТО автомобильной техники. Разработанная модель имеет следующие настраиваемые (изменяемые) параметры: номинальные, минимальные и максимальные значения параметров, среднее значение коэффициента крутизны, среднеквадратическое отклонение коэффициента крутизны, период проведения работ по поддержанию работоспособного состояния автомобиля, среднее время выполняемых работ, среднеквадратическое отклонение времени, необходимого для поддержания работоспособного состояния, количество задействованного обслуживающего персонала, коэффициент связанности параметров.

Модель реализована на языке программирования ЭВМ Object Pascal в среде Borland Delphi [4, 5] для семейства операционных систем Windows. На основе данной модели решается задача параметрического синтеза системы технического обслуживания: формирование альтернативных вариантов построения системы ТО, выбор ее предпочтительных вариантов.

Использование модели легло в основу метода поддержания работоспособного состояния автомобильной техники. Для его реализации необходимо с помощью разработанной параметрической модели смоделировать систему регламентированного технического обслуживания, сформировать альтернативные варианты ее построения, определить наиболее предпочтительные варианты, из которых выбрать наиболее оптимальный.

Метод обеспечения работоспособного состояния автомобильной техники

Метод обеспечения работоспособного состояния автомобильной техники состоит из совокупности последовательного использования методик описания формирования причин и признаков отказа, поиска и распознавания видов отказа, определения отказавшего элемента. Методы восстановления деталей, узлов, механизмов, агрегатов и систем автомобиля известны, широко применяются

и изложены в ремонтной документации на образец техники, разработанной заводом-изготовителем. Поэтому метод обеспечения работоспособного состояния направлен на минимизацию трудозатрат, снижение временных показателей и повышение экономического эффекта при обнаружении признака и причины, распознавания и определения отказавшего элемента. Его использование предполагается на начальном этапе технологического процесса текущего ремонта с последующим применением методов замены или восстановления неработоспособных элементов.

Основой обеспечения работоспособности автомобиля служит текущий ремонт, который подразумевает выполнение работ в целях обеспечения или восстановления его работоспособного состояния, состоит в замене и (или) восстановлении отдельных его частей. Потребность в ТР появляется при возникновении отказа, поэтому он выполняется по необходимости.

Прежде чем приступить к поиску неработоспособных деталей, в описываемом методе предлагается использовать методику формализованного описания формирования причин и признаков отказа. Для этого на первом этапе применения методики необходимо разработать параметрическую модель.

Основа параметрической модели для формализованного описания формирования обозначения отказа – параметрический граф технического состояния. Математически описать параметрический граф технического состояния и, следовательно, техническое состояние автомобиля можно совокупностью систем векторов наличия отказа (**НО**):

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{\text{НО}}^1 = [v_{\text{НО}1}^1]; \\ V_{\text{НО}}^2 = [v_{\text{НО}1}^2, \dots, v_{\text{НО}2}^2 \dots v_{\text{НО}j2}^2 \dots v_{\text{НО}i2}^2 \dots v_{\text{НО}q2}^2]; \\ V_{\text{НО}}^3 = [v_{\text{НО}1}^3, \dots, v_{\text{НО}3}^3 \dots v_{\text{НО}j3}^3 \dots v_{\text{НО}i3}^3 \dots v_{\text{НО}q3}^3]; \\ V_{\text{НО}}^n = [v_{\text{НО}1}^n, \dots, v_{\text{НО}3}^n \dots v_{\text{НО}jn}^n \dots v_{\text{НО}in}^n \dots v_{\text{НО}qn}^n], \end{array} \right. \quad (10)$$

где $V_{\text{НО}}^n$ – вектор наличия отказа n -го уровня иерархии параметрического графа технического состояния компонента автомобильной техники; $v_{\text{НО}in}^n$ – i -й элемент вектора функционального отказа n -го уровня иерархии параметрического графа технического состояния компонента автомобиля; q_n – количество элементов (длина) векторов наличия отказа n -го уровня иерархии.

Логические выражения межуровневых связей позволят описать техническое состояние составных частей автомобильной техники:

$$\left\{ \begin{array}{l} v_{\text{НО}1}^1 = v_{\text{НО}1}^2 \vee v_{\text{НО}j2}^2 \vee v_{\text{НО}i3}^3 \vee \dots \vee v_{\text{НО}q2}^2; \\ v_{\text{НО}1}^3 = v_{\text{НО}1}^4 \vee \dots \vee v_{\text{НО}j4}^4 \vee v_{\text{НО}i3}^3 \vee \dots \vee v_{\text{НО}q4}^4; \\ v_{\text{НО}3}^3 = v_{\text{НО}i3}^3 \vee \dots \vee v_{\text{НО}q3}^3. \end{array} \right. \quad (11)$$

Совокупность систем векторов наличия отказов и выражения межуровневых связей элементов является параметрической моделью компонента автомобиля, основанной на параметрическом графе технического состояния.

На втором этапе реализации методики предлагается формировать признаки отказа с использованием координат векторов выражения (10). В зависимости от того, выполняются элементами составных частей автомобильной техники со-

ответствующие им функциональные задачи или нет, и соответствует ли уровень их выполнения требованиям, отображенным в эксплуатационной документации, координаты будут равны 0 – в случае удовлетворения уровня выполнения всех условий и 1 – при условии НО. Следовательно, на каждом уровне параметрического графа технического состояния (1, 2, 3 ...n) путем составного перебора двоичных значений координат вектора $V_{НО}$ может быть получено множество признаков наличия различных отказов элементов автомобиля.

Использование методики поиска и распознавания отказа включает в себя два этапа. На первом этапе осуществляется построение структурно-функциональной модели составной части автомобиля, для чего проводятся [6]:

- анализ структуры (составляющие элементы механизмов, узлов, агрегатов и систем, их функциональное предназначение и степень их выполнения);
- построение параметрического графа и определение функционального назначения его элементов;
- математическое описание элементов графа и построение структурно-функциональной модели составной части автомобиля.

На втором этапе осуществляется формализация локализации отказа, которая включает:

- построение эталонной системы на базе структурно-функциональной модели;
- формирование системы в реальном состоянии;
- определение системы выявления отказа.

Для определения отказавшего элемента агрегата, механизма, узла или системы автомобиля необходимо выполнить анализ их неработоспособного состояния. Для этого разрабатывается идентификационная модель компонентов, находящихся в неработоспособном состоянии. Разработка идентификационной модели связана с необходимостью выполнения формализованного описания неработоспособных составных частей с позиции распознавания вида отказа. Исходной информацией для формирования идентификационной модели служит причина возникновения отказа. Модель представляет собой формализованное описание схем воздействия элементов неработоспособных составных частей. В каждой схеме последовательность передачи воздействия (момент, усилие, информация и т.д.) от одного элемента автомобиля к другому преобразует передачу предыдущего воздействия в последующее. Посредством реакции влияющих друг на друга элементов в схеме их воздействия образуется связь данных взаимодействий (снижение, замедление, ускорение, увеличение, преобразование и т.д.). Для описания схемы зависимых воздействий в формализованном виде вводится оператор отображения взаимодействий элементов АТ $\xrightarrow{O_n}$, где n – отдельно взятая схема воздействия элементов составной части автомобиля, которой принадлежит оператор, описывающий связь зависимых воздействий через элемент графа неработоспособного агрегата, механизма, узла или системы. В формализованном виде данная схема представлена следующим выражением:

$$O_1 \Leftrightarrow (p_i \vee \dots \vee p_x) \xrightarrow{O_1} (f_{i+1} \vee \dots \vee f_{x+z}), \quad (12)$$

где O_1 – схема зависимых воздействий.

В случае, если элемент составной части АТ принимает от другого элемента (элементов) воздействие (является объектом воздействия), то представление выражения (12) происходит с использованием определения функции p_i , в противном случае элемент передает воздействие, то есть является источником передачи воздействия) представление функции происходит через значение функции f_i .

Неразрывную связь между предыдущим элементом графа и значением его функции с последующим элементом графа и значением его функции описывают

оператором логического умножения &. Схема зависимых воздействий одного элемента (воздействующего) на стоящий за ним (воздействуемый) в общем случае имеет вид

$$O_n \Leftrightarrow A_{\text{пред}} \& f_{\text{пред}} \xrightarrow[i=1]{O_n} A_{\text{послед}} \& f_{\text{послед}}, \quad (13)$$

где u – число операторов отображения в схеме; $A_{\text{пред}} \& f_{\text{пред}}$, $A_{\text{послед}} \& f_{\text{послед}}$ – формализованный вид соответственно предыдущего и последующего элементов графа и значение их функций в общей схеме.

Система из N схем зависимых воздействий в общем случае будет являться идентификационной моделью, позволяющей посредством математических преобразований определить отказавший элемент агрегата, механизма, узла или системы автомобиля.

Используя условие о выполнении элементами составной части автомобиля соответствующих им функциональных задач, f принимает значение 0, что указывает на соответствие всем требованиям, определенных эксплуатационной документацией, в противном случае, в случае отказа, f будет соответствовать 1.

Это условие определяет в формализованном виде наличие операторов цепного отображения в случае присутствия отказа в составной части автомобиля. Другими словами отсутствие отказа в формализованном виде характеризуется отсутствием операторов цепного отображения и нулевым значением в правой части выражения, описывающего схему работы данного компонента.

Заключение

Вышеизложенный материал поможет в организации процесса эксплуатации автомобильной техники, позволит снизить временные, экономические и трудовые затраты при проведении технического обслуживания и текущего ремонта, восполнения необходимых израсходованных запасных частей.

Разработаны и представлены методы формирования рациональной системы технической эксплуатации автомобильной техники, поддержания и обеспечения ее работоспособного состояния.

Метод формирования рациональной системы технической эксплуатации автомобильной техники, в отличие от известных, использует декомпозицию процессов технической эксплуатации на действия по выполнению ее операций, учитывает отличительные особенности в содержании действий на различных уровнях системы технической эксплуатации, содержание нештатных ситуаций, соответствие между обязательным выполнением определенных операций и действиями специалистов при проведении технического обслуживания, текущего ремонта, процесс обеспечения необходимых запасных частей, что позволяет определить требуемую рациональную структуру технической эксплуатации автомобильной техники.

Метод поддержания работоспособного состояния автомобиля основан на создании и исследовании новой параметрической модели системы технического обслуживания. Его использование позволит определить наиболее оптимальный вариант системы технического обслуживания.

Метод обеспечения работоспособного состояния автомобильной техники создан на логически обоснованном комплексе моделей, взаимосвязь которых одновременно учитывает совокупность признаков и структуру отказа, связь элементов автомобиля с соседними элементами, функциональное назначение элементов, их воздействие друг на друга, структурные единицы диагностирования, их идентификационные и описательные атрибуты, что позволяет определять неработоспособные элементы, виды отказа, последовательности замены, требуемую диагностическую информацию.

Список литературы

1. Пат. 2708774 Российская Федерация, МПК В60S 5/00, G01M 17/00. Способ эксплуатации автомобильной техники / В. В. Нечаев ; заявитель и патентообладатель В. В. Нечаев. – № 2019114720; заявл. 13.05.2019 ; опубл. 11.12.2019, Бюл. № 35. – 11 с.
2. Нечаев, В. В. Моделирование системы регламентированного технического обслуживания автомобильной техники / В. В. Нечаев // Строительные и дорожные машины. – 2019. – № 12. – С. 37 – 40.
3. Игнатьев, С. В. Оценка эффективности функционирования и направления совершенствования процессов поддержания и обеспечения работоспособного состояния военной автомобильной техники / С. В. Игнатьев, В. В. Нечаев // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. – 2020. – № 1-2 (139-140). – С. 36 – 42.
4. Свидетельство о гос. рег. программы для ЭВМ № 2019613352. Программа для формирования альтернативных вариантов построения системы технического обслуживания приборов, систем и механизмов двигателей военной автомобильной техники / В. В. Нечаев (РФ). Зарегистр. в реестре программ для ЭВМ. – 13.03. 2019 г.
5. Свидетельство о гос. рег. программы для ЭВМ № 2020611008. Программа реализации функционирования параметрической модели системы эксплуатации военной автомобильной техники / В. В. Нечаев (РФ). Зарегистр. в реестре программ для ЭВМ. – 23.01. 2020 г.
6. Нечаев, В. В. Формализованное описание процесса локализации отказа, возникающего при эксплуатации военной автомобильной техники / В. В. Нечаев, В. А. Дубовский // Вестн. военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А. В. Хрулева. – 2020. – № 1 (21). – С. 58 – 65.

Methods for Maintaining and Ensuring the Working Condition of Automotive Equipment

V. V. Nechaev

*Department of Organization of Research Work and Training
of Academic Personnel, nechver@mail.ru; Military Academy of Logistics
named after General of the Army A. V. Khrulev, St. Petersburg, Russia*

Keywords: fault detection method; methods of maintaining and ensuring usable condition; detection of faulty element; optimal version of the maintenance system; recognition of the type of failure; operation of automotive equipment.

Abstract: Methods for the formation of a rational system of technical operation of automotive equipment, maintenance and provision of its working condition are presented.

References

1. Nechayev V.V. *Sposob ekspluatatsii avtomobil'noy tekhniki* [Way of exploitation of automobile equipment], Russian Federation, 2019, Pat. 2708774. (In Russ.)
2. Nechayev V.V. [Modeling of the system of regulated technical maintenance of automobile equipment], *Stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny* [Construction and road machines], 2019, no. 12, pp. 37-40. (In Russ., abstract in Eng.)

3. Ignat'yev S.V., Nechayev V.V. [Evaluation of the efficiency of functioning and the direction of improving the processes of maintaining and ensuring the working state of military vehicles], *Voprosy oboronnoy tekhniki. Seriya 16: Tekhnicheskiye sredstva protivodeystviya terrorizmu* [Questions of defense technology. Series 16: Technical means of countering terrorism], 2020, no. 1-2 (139-140, pp. 36-42. (In Russ., abstract in Eng.)

4. Nechayev V.V. *Programma dlya formirovaniya al'ternativnykh variantov postroyeniya sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya priborov, sistem i mekhanizmov dvigateley voyennoy avtomobil'noy tekhniki* [Program for the formation of alternative options for building a system for the maintenance of devices, systems and mechanisms of engines of military vehicles], Russian Federation, 2019, Certificate of state registration of computer programs No. 20196133525. (In Russ.)

5. Nechayev V.V. *Programma realizatsii funktsionirovaniya parametricheskoy modeli sistemy ekspluatatsii voyennoy avtomobil'noy tekhniki* [Program for the implementation of the functioning of the parametric model of the system for the operation of military vehicles], Russian Federation, 2020, Certificate of state registration of computer programs No. 2020611008. (In Russ.)

6. Nechayev V.V., Dubovskiy V.A. [Formalized description of the process of localization of a failure arising from the operation of military vehicles], *Vestnik voyennoy akademii material'no-tekhnicheskogo obespecheniya im. generala armii A. V. Khruleva* [Bulletin of the Military Academy of Material and Technical Support. General of the Army A. V. Khrulev], 2020, no. 1 (21), pp. 58-65. (In Russ., abstract in Eng.)

Methoden zur Aufrechterhaltung und Sicherung des funktionierenden Zustands der Fahrzeugtechnik

Zusammenfassung: Es sind die Methoden der Bildung eines rationalen Systems für den technischen Betrieb von Kraftfahrzeugausrüstung, zur Wartung und Bereitstellung ihres Betriebszustands vorgestellt.

Méthodes de maintien et d'exploitation dans la technique d'automobile

Résumé: Sont présentées les méthodes de la formation d'un système rationnel de l'exploitation technique de la technologie automobile, de maintien et d'assurance de son état de fonctionnement.

Автор: Нечаев Виталий Викторович – кандидат технических наук, доцент, отдел организации научной работы и подготовки научно-педагогических кадров, ФГКВОУ ВО «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А. В. Хрулева», г. Санкт-Петербург, Россия.

Рецензент: Ведищев Сергей Михайлович – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Агроинженерия», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.