



Устименко Виктор Семенович,
ведущий научный сотрудник
НИИЦ АТ 3 ЦНИИ Минобороны России,
к. т. н.

Комплексная оценка надежности образцов ВАТ по результатам их пробеговых испытаний

Потребность комплексной оценки надежности образцов ВАТ или любой другой транспортной базы только по результатам их контрольных испытаний возникает каждый раз из-за существующих проблем применения методов расчета показателей некоторых ее свойств (безотказности, долговечности, ремонтнопригодности), которые на практике учитываются недостаточно — в первую очередь, по субъективной оценке, например — условий испытаний, что приводит к широкому разнообразию результатов, снижая тем самым точность оценок их показателей.

Проф. Ротенберг Р. В. в своем труде [1] еще в 1986 г. писал «Показатели надежности имеют смысл только в том случае, если оговорены условия эксплуатации, для которых они получены или заданы». Там же приводится пример, когда рессора подвески имеет долговечность более 150 тыс. км на асфальтобетонном шоссе и менее 10 тыс. км на проселочных дорогах.

Таким образом, решение проблемы состоит в том, чтобы полученные показатели надежности образцов по результатам испытаний «привязать» к условиям испытаний, описанных не визуально (как указано — по субъек-

ективной оценке), а количественными характеристиками и, в первую очередь, всех видов испытательных дорог — в особенности грунтовых с широким диапазоном изменения их характеристик в зависимости от времени года.

Вторая проблема состоит в том, что принятый и используемый в настоящее время показатель безотказности (одного из свойств надежности — наработки (км) на отказ) недостаточно полно и объективно характеризует это свойство. В частности, данный показатель не учитывает случайный характер появления дефектов. Не учитываются также и повреждения, которые могут составлять до 80% всего объема выявленных дефектов, а при фиксировании факта «отказа» не учитывается его весомость и выполненный образцом пробег к моменту его появления. При категорировании выявленных дефектов в виде отказа или повреждения, несмотря на наличие формализованного перечня отказов по агрегатам, системам и узлам, дефект может быть принят как «отказ» или как «повреждение», а от принятия или непринятия дефекта за «отказ» зависит практическая оценка безотказности образца в целом. Не исключено и субъективное целенаправленное категорирование дефекта в интересах «заказчика» или «разработчика» образца.

Кроме того, требование ТЗ только по «наработке на отказ» имеет принципиальный недостаток, так как задается одночисловым значением при большом рассеянии дефектов по их перечню, а принятые значения норматива не имеют научного обоснования, задаются субъективно (скорее всего выражают пожелания) и не учитывают достигнутой технической уровень производственной базы завода-изготовителя изделия и тенденции его изменения. Отмеченные недостатки в полной мере относятся к оценке показателей долговечности.

Рассмотрим эти две основные проблемы более детально.

При ранжировании факторов внешней среды, действующих на автомобиль в движении наиболее важным из них в естественных условиях принимается фактор дороги.

Принятый для испытаний образцов ВАТ перечень испытательных дорог с целью оценки их безотказности закреплен рядом стандартов, среди которых ОСТ 37.001.472 [2] по приемочным испытаниям автотранспортных средств, ГОСТ РВ 51668 [3] по периодическим испытаниям серийных изделий ВАТ и др., в которых дорожные условия с разбивкой пробега по видам дорог заданы, %:

- асфальтобетонной дорогой — 20;
- булыжной дорогой ровного мощения — 30;
- грунтовой дорогой удовлетворительного состояния — 30;
- разбитой грунтовой дорогой — 10;
- размокшей грунтовой дорогой — 10

без оценки их количественными характеристиками. А если принять во внимание только грунтовые дороги, для которых характерна их изменчивость и нестабильность в зависимости от интенсивности движения по ним, метеорологических условий, температуры окружающей среды и др. факторов, то, очевидно, получаем неопределенность результатов испытаний (низкую воспроизводимость результатов). И так продолжалось многие годы. С учетом этого были определены два подхода: первый — путем поддержания характеристик таких дорог на уровне заданных, что практически реализовывать не удавалось по техническим и особенно экономическим соображениям (например, из опыта ФГУП «НАМИ» по поддержанию ровности грунтовой дороги удовлетворительного состояния) и второй, когда к учету внешних факторов, формирующих дорожно-грунтовые условия, подошли не с точки зрения определения их характе-



ристик, а с точки зрения суммарного (результатирующего) воздействия всех факторов внешней среды, в первую очередь дороги, на формирование уровня нагружения испытываемого автомобиля или любого др. колесного или гусеничного транспортного средства в целом. Это обусловлено тем, что каждое слагаемое внешних факторов (силы сопротивления качению, дополнительные силы сопротивления движению на поворотах, преодоление подъема, разгон (торможение) автомобиля, сопротивление воздуха, затраты мощности на преодоление колебаний и др.) – переменны, изменяется по своему закону и трудно поддается простым расчетам при заданной точности результата. Новый подход принципиально отличен от традиционных методов оценки дорог и предусматривает оценку общего воздействия на автомобиль через показатель суммарного сопротивления движению автомобиля на каждой j -ой дороге:

$$\Psi_{\Sigma ij} = \frac{0,27\eta_{\text{тр}}N_{eij}\eta_{\text{дв}}}{V_{ij}G_a}, \quad (1)$$

где $\eta_{\text{тр}}$ и $\eta_{\text{дв}}$ — КПД трансмиссии и двигателя;

N_{eij} — случайное (мгновенное) значение мощности, затрачиваемое для реализации i -ой скорости на j -ой дороге V_{ij} ;

G_a — масса автомобиля.

Приняв $\frac{0,27\eta_{\text{тр}}\eta_{\text{дв}}}{G_a} = K$, получим

$$\Psi_{\Sigma j} = K \sum \frac{N_{eij}}{V_{ij}}. \quad (2)$$

Значения N_{eij} и V_{ij} могут регистрироваться непрерывно при аналоговой записи или дискретно. При достаточно простом определении V_{ij} все еще присутствуют проблемы по регистрации N_{eij} при достаточно больших объемах пробегов при испытаниях образцов ВАТ (до 45 тыс. км и более).

При сохранении энергетических затрат на движение автомобиля с учетом рекомендаций [4] можно перейти к другим параметрам мощностного баланса, приравняв, например, $KN_{eij} = nQ_{eij}$ где nQ_{eij} — мгновенный расход топлива;

n — коэффициент пропорциональности, характерный для каждого образца.

Перейдя к интегральным оценкам, выражение (2) можно записать в виде:

$$\Psi_{\Sigma j} = n \frac{Q_j}{V_j}, \quad (3)$$

где Q_j — расход топлива на j -й дороге в объеме выполненного пробега, л/100 км/ч;

V_j — реализованная средняя скорость движения на той же дороге, км/ч.

При этом коэффициент принимается в качестве центра факторного пространства (центра эксперимента), в котором все транспортные средства рассматриваются на начальном уровне нагружения, соответствующего режиму определения контрольного расхода топлива при $V = \text{const}$, что, по ГОСТ 20306 [5], соответствует скорости 60 км/ч на динамометрической дороге.

Расчет показателей n и $\Psi_{\Sigma j}$ на основе статистических обобщений 238 образцов АТ НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ» и НИИЦ АТ 3 ЦНИИ МО РФ представлен в ОСТ 37.001.520 [6]; на основе этих показателей дана классификация указанных испытательных дорог, каждая из которых выражена количественными значениями показателя $\Psi_{\Sigma j}$ в виде математического ожидания и границ показателя j -й дороги.

Использование количественного показателя $\Psi_{\Sigma j}$, как норматива [6] обеспечивает применение единого способа оценки воздействия разных видов дорог с помощью самого испытываемого образца, причем непосредственно в момент (период) его испытаний (в пробеге за смену или за любой наперед заданный пробег) без использования посторонних технических средств. Но самое важное состоит в том, что способ оценки категорий дороги может быть использован на любой испытательной базе (испытательном полигоне) в любой период года с единой оценкой, что обеспечивает сопоставимость и воспроизводимость результатов испытания с исключением субъективной оценки испытательной дороги.

Выполненные метрологические исследования оценки одних и тех же дорог с помощью различных транспортных средств показывают, что погрешность определения показателя $\Psi_{\Sigma j}$ не превышает 10% [7, 8].

Способ категорирования дорог запатентован [9], многократно апробирован на ряде предприятий автомобильной отрасли, составляет основу ОСТ 37.001.520 [6] и широко используется в практике пробеговых испытаний автомобильной техники.

Изложенный способ категорирования испытательных дорог, в свою очередь, позволяет решить другую, не менее важную задачу, обусловленную необходимостью нормировать объем воздействия каждой дороги на испытываемый образец, не ограничиваясь только нормами пробега.

Используя математическое ожидание $M_{\Psi_{\Sigma j}}$ показателя $\Psi_{\Sigma j}$ для каждого вида дорог, можно принять допущение, что запас потенциальной надежности, заложенный в конструкцию, расходуется пропорционально затратам энергии на движение ($\Psi_{\Sigma j}$) и протяженности совершаемого при этом пробега (S_j).

Тогда накопленная величина энергонагружения (W_j) может быть представлена в виде:

$$W_j = \Psi_{\Sigma j} S_j, \quad (4)$$

где S_j — пробег, выполненный по j -й дороге в заданном или контролируемом объеме, км.

На основе выражения (4) устанавливается норматив W_{jH} , выражающий расход ресурса образца через статистически обоснованное значение $\Psi_{\Sigma jH}$ ($m_{\Psi_{\Sigma jH}}$), и нормативный пробег S_{jH} .

Учитывая, что характеристики испытательных дорог (особенно грунтовых), как указано, формируются случайно в широком диапазоне в условиях непредсказуемого изменения $\Psi_{\Sigma j}$, можно через показатель W_j ступенчато регулировать «тяжесть» испытательного пробега и выйти к его завершению на нормативное значение W_{jH} . При такой технологии регулирования пробега обеспечивается реализация заданной программы испытаний.

Принципиальная схема регулируемой технологии пробеговых испытаний образцов ВАТ для оценки ее надежности показана на рис. 1, а на рис. 2 (кривая б) — ее практическая реализация на примере грунтовой дороги удовлетворительного состояния (при пробеге 9000 км).

При такой технологии практическая корректировка испытательного пробега может выполняться как переходом на более «легкие» (в т. Б) или «тяжелые» (в т. А') участки того же вида дороги, а в случае отсутствия — на полигоне таких участков так и путем изменения объема пробега при строгом учете основного показателя нагружения автомобиля W_{jH} (кривые 7 и 8).

Исходные данные для построения графиков нормативных значений W_{jH} помещены в таблице с учетом объема гарантийной наработки в объеме 30 тыс. км.



Таблица 1

Дорога	Нормативное значение					
	пробега, S _п		коэффициента суммарного сопротивления движению, тψΣ _п			накопленной величины уровня нагружения, W _п , н.км
	%	тыс.км	без прицепа	с прицепом	общий	
1 Асфальтобетонное шоссе	20	6,0*)	0,04	0,05	0,046	276
2 Бульжная дорога	30	9,0	0,06	0,075	0,069	621
3 Грунтовая дорога удовлетворительного состояния	30	9,0	0,07	0,08	0,076	684
4 Разбитая грунтовая дорога	10	3,0	0,14	0,16	0,152	456
5 Размокшая грунтовая дорога	10	3,0	0,24	0,30	0,276	828
Итого	100	30,0	0,034	0,0615	0,0955	2865

Примечание. * 60 % пробега выполняется с прицепом по всем видам дорог.

Изложенная регулируемая технология пробегов запатентована изобретением на способ [10] и детально раскрыта в [11].

Новая технология пробегов успешно может быть дополнена дозированным техническим обслуживанием (ТО), периодичность которого устанавливается не только по пробегу, но с учетом темпа накопления уровня нагружения испытываемого образца, что обеспечивает корректировку пробега и поддерживает безотказности на заданном уровне. Указанный способ корректировки периодичности ТО в зависимости от условий испытаний также запатентован [12].

Таким образом, одна из проблем оценки надежности образцов ВАТ по условиям испытаний с переходом от визуальной оценки категории дорог к количественным показателям успешно решена и далее развита до уровня управляемой технологии пробегов.

Принципиальные недостатки по второй проблеме, указанные в начале статьи, касаются оцениваемых показателей надежности (безотказности и долговечности) и обоснования их нормативных значений.

Определение показателей надежности относится к категории свойств самой затратной — и по стоимости, и по объему испытаний (особенно по показателям долговечности) — до 70% всего объема трудозатрат испытаний. Это предопределяет особые требования по полноте, объективности и точности показателей надежности.

С целью устранения указанных недостатков и обеспечения требований по показателям надежности в НИИЦ АТ на основе исследований разработан новый показатель и методика его определения — показатель невыработанного гарантийного ресурса j-го образца M_j, чел.-ч., определяемый по зависимости:

$$M_j = \sum A_{ij} \frac{S_n - S_{ij}}{S_n}, \quad (5)$$

где A_j — затраты на устранение каждого дефекта (независимо от деления на отказы и повреждения) в условиях ПТОР (пункта ТО и ремонта), чел.-ч.;

S_j — пробег до проявления дефекта i-й детали j-го образца, км;

S_н — нормативный пробег (гарантийный или ресурсный), км.

Таким образом, учитывается весь перечень дефектов, а не только отказы, а весомость дефекта оценивается трудозатратами, которые корректируются в зависимости от величины пробега до проявления дефекта по соотношению:

$$\frac{S_n - S_{ij}}{S_n},$$

то есть при S_{ij} → 0 учитываются трудозатраты полностью и, напротив, S_{ij} → S_н — их минимальная величина.

На основе анализа банка данных по безотказности автомобилей многоцелевого назначения (АМН), военных гусеничных машин (ВГМ) и специальных колесных шасси и тягачей (СКШТ) по всем заводам производства ВАТ и статистических обобщений разработаны научно-обоснованные нормативы показателя M_j по его среднему значению и доверительным границам (M_н ± ΔM), а не по одночислому значению, как это по-прежнему регламентируется нормативом по наработке в км на отказ, что логически никак не согласуется со случайным характером проявления дефектов, в том числе отказов.

В связи с этим аналогичные расчеты выполнены и по «наработке на отказ».

Такой подход позволяет результаты испытаний по обоим показателям безотказности представлять в виде:

- безотказность образца находится на уровне требований при M_j = (M_н ± ΔM);

- образец вполне соответствует требованиям при M_j < (M_н - ΔM);

- образец по показателю M_j испытания не выдержал при M_j > (M_н + ΔM).

Представленные материалы позволяют сделать вывод о том, что найдено решение комплексной оценки надежности образцов ВАТ через расчет показателей ее свойств по результатам пробеговых испытаний при условии достижения необходимых точности, достоверности и воспроизводимости результатов испытаний за счет использования количественных показателей категории дорог, управляемой технологии пробеговых испытаний, нового показателя оценки безотказности через трудозатраты устранения дефекта, обоснования его нормативного значения и вид представления.