

УДК 629.113.001.4

## ОСНОВЫ ФОРСИРОВАННЫХ ИСПЫТАНИЙ СПЕЦИАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Капустин В. П., Боков М. М., Гришаев М. Е.

*Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия (394064, Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54 а), e-mail: bokov.mihail@mail.ru*

В данной статье рассматривается проблема создания специальных транспортных средств, с характеристиками, соответствующими предъявляемым в современных условиях высоким требованиям к вооружению и военной технике. По приблизительным расчетам от момента задания требований на образец военной техники до принятия созданного и испытанного образца на вооружение составляет более 5 лет, что автоматически приводит к их моральному устареванию. Поэтому в работе рассматриваются вопросы сокращения временных параметров посредством применения ускоренных испытаний, а также была исследована возможность разработки норм пробега по различным видам дорог с более высоким уровнем нагружения в отличие от стандартных. Исследования проводились на транспортном оборудовании – базовом узле средств эвакуации, предназначенном для эвакуации неисправной автомобильной техники способом полупогрузки и расположенном в задней части эвакуатора.

Ключевые слова: ускоренные испытания, опытный образец, транспортное средство, средство эвакуации, нормативы, транспортное оборудование.

## FOUNDATIONS OF SPECIAL TEST EQUIPMENT UPRATED SPECIAL PURPOSE VEHICLES

Kapustin V. P., Bokov M. M., Grishaev M. E.

*Military scientific center of the air force, "Air force Academy n.a. Professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin", Voronezh, Russia (393064, Voronezh, street Staryih Bolshevikov, 54a), e-mail: bokov.mihail@mail.ru*

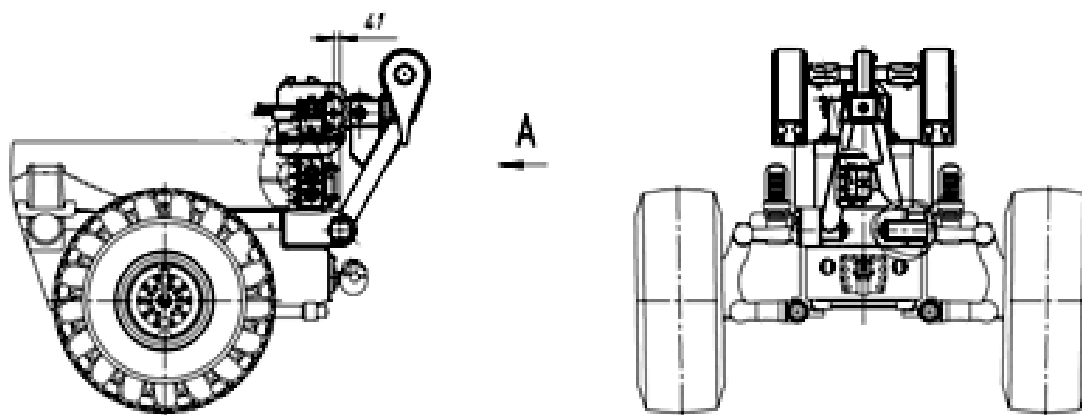
This article deals with the problem of creation of special vehicles with characteristics corresponding requirements in modern conditions the high requirements for arms and military equipment. According to rough estimates from the moment of the job requirements for a sample of military equipment to the adoption of developed and tested a sample into service more than 5 years, which automatically leads to their obsolescence. Therefore, the work deals with the reduction of timing parameters through the use of accelerated tests, as well as studied the possibility of developing standards run on different types of roads with higher load in contrast to the standard. Studies were conducted on transport equipment - basic means of evacuation site, intended for evacuation of faulty automobile equipment half way loading and located in the back of a tow truck.

Keywords: accelerated testing, prototype vehicle, a means of evacuation, regulations, transport equipment.

В настоящее время, на фоне экономического кризиса, с учетом тенденций к сокращению временных и финансовых затрат на создание перспективных образцов автомобильной техники, большое внимание в Вооруженных Силах РФ уделяется вопросам сокращения временных параметров посредством применения ускоренных испытаний (УИ), в особенности, для оценки их безотказности.

До последнего времени разработка методов УИ распространялась преимущественно на автомобили многоцелевого назначения. Исследованиями же основных узлов и агрегатов транспортных средств специального назначения, и в частности средств эвакуации (СЭ), для решения подобных задач не занимались.

В вопросах, касающихся УИ СЭ, также была исследована возможность разработки норм пробега по различным видам дорог с более высоким уровнем нагружения в отличие от стандартных. Исследования проводились на транспортном оборудовании (ТрО) – базовом узле СЭ, предназначенном для эвакуации неисправной автомобильной техники способом полупогрузки и расположенном в задней части эвакуатора, представленного на рисунке 1.



*Рис. 1. Общий вид установки транспортного оборудования на средствах эвакуации*

Важно отметить, что при выборе модели расчета нормативов УИ был учтен ряд требований, в частности:

а) отказы и повреждения, возникающие на искусственных сооружениях, должны иметь такой же характер, как и при эксплуатации;

б) конструктивные параметры искусственных сооружений, в том числе комплексной испытательной трассы (КИТ), должны быть стабильны в границах допустимых отклонений [2] от их характеристик с заданной периодичностью их контроля (не реже одного раза в пять лет);

в) форсировка нагрузочного режима деталей ТрО должна осуществляться за счет увеличения частоты приложения максимальных нагрузок, характерных для рядовой эксплуатации СЭ;

г) программа УИ должна быть минимизирована по объему (пробегу) и продолжительности испытаний, а также материальным затратам.

В качестве базы для расчета пробега по спецучасткам КИТ был принят уровень нагружения деталей ТрО, формируемый за пробег в условиях нормальных испытаний, равный половине гарантийного пробега базового шасси.

Среди известных методов, используемых для разработки нормативов УИ [5], был принят расчетно-экспериментальный метод, как наиболее достоверный, при котором экспериментальная часть исследований выполнена на натурном образце СЭ, представленном на рисунке 2, в режимах и условиях, соответствующих нормальным испытаниям, а в

форсированном режиме нагружения – на спецучастках комплексной испытательной трассы (КИТ) [1]. Расчетная часть исследований выполнена с использованием компьютерных программ.



*Рис. 2. Ремонтно-эвакуационная машина колесная легкая РЭМ-КЛ на шасси Урал-532362 при движении по крупно-булыжному участку комплексной испытательной трассы*

При экспериментальных исследованиях регистрировались два параметра: вертикальные и горизонтальные продольные виброускорения на ТрО и напряжения на отдельных его деталях.

Исследованиям подверглись следующие элементы конструкции:

вал траверсы – на изгиб;

верхняя полка кронштейна стрелы (щека – на растяжение);

стойка стрелы – на изгиб в поперечной плоскости;

стойка стрелы – на изгиб продольной плоскости.

Дополнительно к указанным деталям, напряжения исследовались также на верхней полке надрамника, прикрепленного к раме автомобиля для её усиления, в связи с тем, что ТрО имеет консольное крепление, увеличивая нагрузку на заднюю часть рамы автомобиля.

Главной задачей проведения эксперимента являлось получение достаточного количества информации о нагруженности элементов ТрО при изменении прикладываемых извне нагрузок, возникающих при транспортировании объектов эвакуации в полупогруженном положении по различным видам дорог, путем правильного выбора мест измерений.

В качестве измерительной аппаратуры были использованы тензодатчики типа ПКБ-20-200В, а выбор представительных мест элементов конструкции ТрО с наибольшей их нагруженностью осуществлялся посредством использования результатов ранее проведенных исследований, а их объективная оценка давалась на основе экспериментов, с использованием тензометрирования.

Принимая во внимание определенную конфигурацию деталей ТрО и характер их соединения между собой, а также то, что они подвержены преимущественно знакопеременной внешней нагрузке, возникающей от воздействия профиля дороги на колеса СЭ, и от передаваемых колебаний машины эвакофонда, для оценки прочности деталей использован показатель накопления усталостных повреждений  $F_{i,j}$ , наилучшим образом описывающий характер нагружения исследуемого узла по зависимости 1 [1,4]:

$$F_{i,j} = \sum_{i,j=1}^z \delta_{i,j}^m N_{i,j}, \quad (1)$$

где  $\delta_i$  – напряжение в материале  $k$ -ой детали;  $m$  – показатель кривой усталости;  $N$  – число цикла нагружения;  $z$  – количество интервалов процесса нагружения деталей ТрО.

В качестве дополнительных показателей оценки нагруженности ТрО использованы максимальные и средние квадратические значения его ускорений и напряжений, формируемые в его деталях.

Значение показателя  $m$  принимались из литературных источников или вычислялись по известным зависимостям [3].

В качестве источника форсированного нагружения СЭ использованы участки КИТ с низко- и высокочастотным воздействием, а также периодическим возмущением колес при испытаниях на прямых волнах синусоидального профиля с  $l = 2, 3$  и  $4$  м. Регистрация исследуемых параметров, как правило, проводилась на измерительном участке протяженностью 1000 м. В тех случаях, когда этот участок был меньше или больше заданного, значения показателя  $F_{i,j}$  приводилось к длине 1000 м.

В расчетах пробега  $x_j$  уравнению (2) принималось во внимание положение нормативной документации, согласно которому доля пробега  $d_i$  учитывалась в объеме 40 % от гарантийной наработки применяемого шасси «с объектом эвакуации, транспортируемым полупогрузкой» (с распределением пробега по стандартным видам дорог 8, 12, 12, 4 и 4 процента).

Количество уравнений системы устанавливается от выбранного числа исследуемых элементов конструкции, число слагаемых в правой части каждого уравнения – количеством используемых спецучастков (дорог) с форсированным нагружением, а в левой части – количеством стандартных видов дорог, соответствующих нормальным испытаниям.

Система уравнений (2) представляет собой математическую модель оптимизации норм пробега через показатель накопления усталостных повреждений деталей ТрО, а решение этой системы – определение величины пробега по специальным дорогам с форсированным

нагрузением, эквивалентным по суммарному уровню воздействия на автомобиль при нормальных испытаниях.

При подстановке всех известных значений по  $F_{ik}$  и  $F_{jk}$  и объема пробега при нормативных испытаниях по видам дорог, а также при делении каждого слагаемого на коэффициент при  $x_1$ , получают следующую систему уравнений, выражающую нагруженность элементов конструкции ТрО и надрамника СЭ при соблюдении равенства правой и левой их частей соответственно на стандартных видах дорог и спецучастках КИТ:

$$\begin{cases} 3192 = x_1 + 9,09 x_2 + 3,82 x_3 + 5,62 x_4 + 0,082 x_5 \\ 3017 = x_1 + 5,62 x_2 + 5,27 x_3 + 0,61 x_4 + 0,11 x_5 \\ 2218 = x_1 + 0,294 x_2 + 4,444 x_3 + 4,678 x_4 + 0,0667 x_5 \\ 2475 = x_1 + 4,8 x_2 + 3,9 x_3 + 3,855 x_4 + 0,065 x_5 \\ 1811,7 = x_1 + 0,0967 x_2 + 5,217 x_3 + 7,02 x_4 + 0,037 x_5, \end{cases} \quad (2)$$

где  $x_1$  – пробег по крупнобульжному участку КИТ, км;

$x_2$  – пробег по клиновым холмам ухабистой дороги КИТ, км;

$x_3$  – пробег по косоволновому участку синусоидального профиля, км;

$x_4$  – пробег по прямым волнам с  $\ell = 2, 3$  и  $4$  м синусоидального профиля, км;

$x_5$  – пробег по изношенному бетонному участку динамометрической дороги КИТ, км.

Решение задачи по системе уравнений (1), как показывает практика, целесообразно начинать с возможности использования симплекс-метода, разработанного в теории линейного программирования.

Для этого полученные уравнения (2) представляем в виде неравенств для последующего их решения с учетом ограничений в виде двухсторонних неравенств.

Величину неравенства, как минимум, принимают по значениям погрешности результата измерений и расчета показателя  $F_{i,jk}$ . На основе ранее установленных значений погрешности результата измерений напряжений  $\delta_i$ , равных 12 %, и погрешности результата расчета  $F_{i,jk}$  ( $\approx 8$  %), общая величина неравенства была принята на уровне 20 %, при котором уравнение (2) принимает вид:

$$\begin{cases} 2553,6 < x_1 + 9,09 x_2 + 3,82 x_3 + 5,62 x_4 + 0,082 x_5 < 3830,4 \\ 2413,6 < x_1 + 5,62 x_2 + 5,27 x_3 + 0,61 x_4 + 0,11 x_5 < 3620,4 \\ 1774,4 < x_1 + 0,294 x_2 + 4,444 x_3 + 4,678 x_4 + 0,0667 x_5 < 2661,6 \\ 1980,0 < x_1 + 4,8 x_2 + 3,9 x_3 + 3,855 x_4 + 0,065 x_5 < 2970,0 \\ 1449,4 < x_1 + 0,0967 x_2 + 5,217 x_3 + 7,02 x_4 + 0,037 x_5 < 2174,0 \end{cases} \quad (3)$$

При  $x_i$  и  $x_j > 0$  приведенная система уравнений и неравенств имеет множество решений, относительно  $x_j$ .

Для получения оптимального пробега по  $j$ -м дорогам рассмотрены три критерия, которые могут повлиять на выбор целевой функции форсирования испытаний.

Среди них: оптимизация по времени, пути и стоимости.

С целью упрощения решения уравнений (4) и сокращения их вариантов, временной фактор был учтен на этапе экспериментальных исследований через технически достижимые скорости на участках КИТ и ограничения по условиям безопасности.

Оптимизация по пути реализована через целевую функцию  $x_j \rightarrow \min$ , при этом был использован ряд ограничений, обусловленных, во-первых сформировавшейся технологией пробегов по участкам КИТ и их размещением на трассе, в частности, по пробегу на изношенном бетонном участке  $x_5$ , в виде соотношения  $x_5 = 0,667x_1$ . Во-вторых, принимая высокую чувствительность деталей ТрО к нагрузкам на клиновых холмах, было наложено ограничение по пробегу по этим неровностям, которое дискретно задавалось через каждые 10 км в диапазоне 80–130 км.

Правомерность использования ограничений определена, прежде всего, как указано, разными темпами накопления усталостных повреждений и необходимостью сокращения множества решений. Указанная особенность наглядно представлена на рисунке 4 графиками изменения показателя  $F_i$  на стандартных видах дорог и спецучастках КИТ.

Выполненные расчеты по деталям ТрО (без надрамника) в окончательном виде представлены в таблице 1.

**Таблица 1**

Расчетные значения пробегов СЭ (по элементам конструкции транспортного оборудования) на шасси Урал-532362 по спецучасткам КИТ, км

КБУ КИТ	Клиновые холмы	Косоволновый участок	Прямые волны синпрофиля	Изнош. бетонный участок	Всего
1000	105	165	110	667	2047

После вычисления значений показателя  $F$  на следующем этапе решалась задача расчета норм пробега по спецучасткам КИТ путем сопоставления нагруженности элементов на стандартных дорогах со спец. участками КИТ.

Полученные нормативы пробегов при УИ ТрО в объеме 2047 км, эквивалентные 18000 км (40 % от 45000 км) при нормальных испытаниях, позволили сократить пробег (без учета подъездных путей) в 8,8 раза, время пробеговых испытаний до 9,89 раз (на 187 рабочих дней) и сокращение денежных средств при государственных испытаниях одного образца в 8,9 раз [4].

#### Список литературы

1. Безверхий С. В., Яценко Н. Н. Основы технологии полигонных испытаний и сертификация автомобилей. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1996.
2. Боков М. М., Гришаев М. Е., Мищенко М. В. Применение методов квантовой метрологии в процессе эксплуатации современных образцов вооружения и военной техники // Журнал «Фундаментальные исследования». – 2015. – № 4. – С. 28-31.
3. ГОСТ 25.504-82. Расчеты и испытания на прочность. Методы расчета характеристик сопротивления усталости.
4. Капустин В. П. Методические основы ускоренных испытаний отдельных узлов транспортных средств специального назначения. – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2012. – 154 с.
5. РД 50-424-83 Методические указания. Надежность в технике. Ускоренные испытания. Основные положения. – М.: ВНИИНМАШ, 1983.

**Рецензенты:**

Быков В. С., д.т.н., профессор, профессор кафедры автотранспорта Института экономики и права, г. Воронеж;

Спиридонов Е. Г., д.т.н., доцент, профессор кафедры автотранспорта Института экономики и права, г. Воронеж.