Наука и Образование
МГТУ им. Н.Э. Баумана
Сетевое научное издание
ISSN 1994-0408

Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана.
Электрон. журн. 2016. № 11. С. 1–14.

DOI: **10.7463/1116.0850365**

Представлена в редакцию: 10.10.2016
Исправлена: 24.10.2016

© МГТУ им. Н.Э. Баумана

УДК 623.438.3–23

Расчетная оценка оперативной подвижности военных гусеничных машин

Усов О. А.[1,*]

*usov496@mail.ru

[1]ОАО "Всероссийский научно-исследовательский институт транспортного машиностроения", Санкт-Петербург, Россия

Рассмотрены основные показатели оперативной подвижности военных гусеничных машин (ВГМ) и основные методы, возможные для исследования при их расчете. Предложены четыре варианта дорожных условий и их характеристика для моделирования движения ВГМ в процессе марша, по результатам которого проводится оценка оперативной подвижности. Приведены основные зависимости, используемые в рассматриваемой методике расчета оперативной подвижности ВГМ с традиционными и электромеханическими трансмиссиями. Представлены расчетные и экспериментальные данные по расходу топлива при совершении марша серийной ВГМ с механической и электромеханической трансмиссией в различных дорожных условиях Представлены результаты сравнительной оценки перспективной ВГМ с механической и электромеханической трансмиссией по показателям оперативной подвижности.

Ключевые слова: электромеханическая трансмиссия, показатели оперативной подвижности, средняя скорость движения, расход топлива, среднестатистические условия эксплуатации

Введение

При оценке подвижности военных гусеничных машин (ВГМ) различают оперативную и тактическую подвижность в зависимости от задач, стоящих перед экипажем машины.

Под оперативной подвижностью понимается способность ВГМ быстро совершать марш, например, из района сосредоточения в зону боевых действий или боевых учений или глубокие рейды по территории, занятой противником. Такие марши характеризуются значительной протяженностью и большим разнообразием дорожных условий.

Тактическая подвижность – это подвижность ВГМ на поле боя, для которой характерны короткие пробеги с большим числом разгонов и торможений с относительно небольшой вариацией параметров дорожных условий.

Основным критерием оперативной подвижности ВГМ является время, необходимое для совершения марша, которое в общем случае определяется следующими показателями:

– средняя скорость движения по дорогам и местности;
– запас хода по топливу или расход топлива за 100 км пробега;
– надежность;
– способность форсировать водные преграды;
– масса и габариты машины (для оценки возможности транспортировки ее по дорогам, мостам, железнодорожным и авиатранспортом).

Наличие расчетной методики оценки подвижности ВГМ, и прежде всего оперативной подвижности, позволяет провести объективное сравнение машин различной конструкции, исследовать влияние вносимых изменений в машину на ее показатели подвижности, а также установить соответствие машины заданным требованиям по показателям подвижности и топливной экономичности (запасу хода). Можно решать обратную задачу – обосновать количественные показатели подвижности в технических требованиях к проектируемой или модернизируемой машине.

Задачей данной статьи является описание основных положений методики расчета средней скорости и расхода топлива при длительной эксплуатации в типичных, характерных для ВГМ условиях.

1. Методика оценки подвижности ВГМ

В настоящее время в основе такой методике используются два метода:
– детерминистический, при котором показатели оперативной подвижности определяются в результате математического моделирования физических процессов взаимодействия отдельных составляющих системы «среда – машина – водитель»;
– вероятностный, базирующийся на использовании статистически устойчивых закономерностей между показателями подвижности и параметрами отдельных составляющих системы «среда – машина – водитель».

Общим для обоих методов являются следующие основные допущения:
– оперативная подвижность ВГМ оценивается средней скоростью движения в условиях длительного марша и расходом топлива на этом пути, отнесенным к 100 км пробега;
– система «среда – машина – водитель» может быть представлена в виде комплекса количественных показателей;
– среда, в которой происходит движение машины, рассматривается как среда со случайными характеристиками.

Первый метод использован при создании стандартной математической модели подвижности военных гусеничных и колесных машин НАТО [1]. Стандартная модель подвижности (СМП) машин НАТО весьма громоздкая и при использовании требует задания большого числа входных данных, сгруппированных в три группы показателей:
– показатели внешней среды (28 показателей, подготавливаемых по топографическим картам места ТВД и метеорологическим данным в них);

– показатели машины (76 показателей по данным характеристик моторно-трансмиссионной установки, шасси и машины в целом);
– показатели водителя (шесть показателей, включая квалификацию и характеристики его реакции и выносливости).

Используя указанные показатели, моделируется сложное движение машины и определяется скорость ее движения в результате решения системы уравнений, выражающих зависимости между силой тяги и сопротивлением грунта, скоростью, радиусом поворота, ускорением на месте водителя, высотой неровности, скоростью на плаву и скоростью течения водной преграды и т.п.

По данным специалистов НАТО точность оценки подвижности машин с использованием СМП в 80-х годах прошлого столетия достигала 85 %. Модель СМП НАТО совершенствуется по результатам ходовых испытаний машин и учений в различных районах земного шара.

Наиболее предпочтительно использовать модель типа СМП НАТО при прогнозировании скорости движения ВГМ в местах конкретного ТВД и для выбора оптимального варианта маршрута движения к месту боевых действий.

Второй, вероятностный метод является основой методики расчета режимов работы и нагруженности трансмиссий ВГМ [2], которая базируется на методике расчета функции распределения вероятностей скорости движения ВГМ и ее анализе, предложенной в работе [3].

Методика расчета режимов работы и нагруженности трансмиссий ВГМ основывается на обобщенных статистических данных, полученных при эксплуатации ВГМ со ступенчатыми трансмиссиями и различными типами механизма поворота, в том числе и с гидрообъемными. В результате анализа экспериментальных данных выявлены эмпирические зависимости силовых и скоростных показателей режимов работы МТУ от основных характеристик условий эксплуатации. Используемые экспериментальные данные охватывали практически все районы СССР и различные виды эксплуатации серийных и опытных ВГМ различного типа, как в процессе заводских и контрольно-войсковых испытаний, так и при рядовой работе в учебно-боевых группах.

Многолетняя практика применения [2] показала возможность использования основных ее положений и зависимостей при расчетной оценке оперативной подвижности ВГМ. В настоящее время расчетная методика расширена на электромеханические трансмиссии (ЭМТ с гибридными силовыми установками (ГСУ) [4].

Для оценки оперативной подвижности ВГМ необходима фиксация характеристик условий эксплуатации, которую осуществляют путем выбора статистической модели этих условий. При формировании этой модели целесообразно выбрать такие условия, которые позволяют наиболее полно учесть влияние характеристик агрегатов шасси и машины в

целом на основные показатели оперативной подвижности в наиболее типичных условиях эксплуатации.

2. Расчет движения ВГМ

Оценку эффективности ВГМ по показателям подвижности предлагается проводить по результатам расчета движения ВГМ, моделирующего длительный пробег (марш) в среднестатистических условиях эксплуатации для четырех вариантов дорожных условий;

- усредненные дорожные условия, соответствующие дорожным условиям проведения контрольно-войсковых испытаний в 70-х годах прошлого столетия (первый вариант условий эксплуатации – индекс $i_{ус}$ = 1);
- дорожные условия, характерные для движения по местности и соответствующие усредненным дорожным условиям трасс учебно-боевых групп (индекс $i_{ус}$ = 2);
- совокупность автомобильных дорог различной категории (индекс $i_{ус}$ = 3);
- дороги с твердым покрытием (индекс $i_{ус}$ = 4).

Модель условий эксплуатации по первому варианту дорожных условий ($i_{ус}$ = 1) используется для итоговой и основной оценки оперативной подвижности рассматриваемой ВГМ.

В качестве параметров дорожных условий в статистической модели условий эксплуатации принимаются величины: f_c – коэффициент суммарного сопротивления прямолинейному движению, $\mu_{\max}$ – коэффициент предельного сопротивления повороту и $h_н$ – высота микронеровностей профиля пути.

Распределение вероятности коэффициента f_c описывается функцией логарифмически нормального распределения

$$F(f_c) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{-\infty}^{u} e^{-u^2/2} du,$$

где u – нормированный аргумент функции $u = \ln(f_c / x) / \sigma_u$;

x, σ_u – параметры распределения, зависящие от варианта дорожных условий и представленные в табл.1.

Коэффициент предельного сопротивления повороту $\mu_{\max}$ для 1-го и 2-го вариантов дорожных условий рассматривается как случайная величина с равномерным распределением в диапазоне 0,25…1,00 и математическим ожиданием $M(\mu_{\max})$ = 0,647. Для третьего варианта дорожных условий принимается $M(\mu_{\max})$ = 0,560, а для четвертого варианта – $M(\mu_{\max})$ = 0,450.

Таблица 1. Параметры дорожных условий, используемые в статистической модели

Параметр	Вариант дорожных условий $i_{ус}$			
	1	2	3	4
x	0,052	0,084	0,038	0,020
$\sigma_и$	0,620	0,185	0,550	0,150
$\sigma(h_н)$	0,131	0,158	0,105	0,075
$M(h_н)$	0,105	0,125	0,085	0,060
$\bar{S}(h_н)$	0,34	0,40	0,20	0,10

В табл. 1 приведены также: $\sigma(h_н)$ – среднее квадратичное отклонение высоты микропрофиля; $M(h_н)$ – математическое ожидание высоты микропрофиля; $\bar{S}(h_н)$ – относительный путь с микронеровностями.

При этом предполагается, что высота микронеровностей $h_н$ описывается распределением модуля случайной величины, распределенной по нормальному закону

В основу методики положен расчет функции распределения вероятности скорости движения ВГМ и ее анализ, в результате которого определяются скоростные и силовые показатели работы машины и агрегатов МТУ.

Функция распределения вероятности скорости движения по пути определяется по формуле

$$F_S(V) = 0,985 \cdot F_{S1}(V) + 0,015 \cdot F_{S2}(V),$$

где $F_{S1}(V)$ – функция распределения вероятности скорости по пути при выполнении требований движения со скоростью, максимально возможной по дорожным условиям;

$F_{S2}(V)$ – функция распределения вероятности скорости по пути движения в условиях, характеризуемых специальными требованиями к движению (со скоростью не более 10 км/ч, не обусловленной тяговой характеристикой машины и характеристикой дорожных условий).

При расчете принимают, что функция $F_{S2}(V)$ постоянна для всех ВГМ и всех вариантов условий эксплуатации. Эта функция по экспериментальным данным описывается зависимостью

$$F_{S2}(V) = \begin{cases} 0, & \text{при } V \le 2 \text{ км/ч;} \\ [(V-2)/8]^2, & \text{при } 2 < V \le 10 \text{ км/ч;} \\ 1, & \text{при } V > 10 \text{ км/ч.} \end{cases}$$

Функция $F_{S1}(V)$ определяют по формуле

$$F_{S1}(V) = 1 - [1 - F_T(V)] \cdot k_{og}(V) \cdot k_{er}(V),$$

где $F_T(V)$ – функция распределения вероятности скорости по пути, ограниченной тяговыми характеристиками ВГМ; $k_{og}(V)$ – коэффициент, учитывающий уменьшение вероятности движения со скоростью $V > V_i$ по объективным причинам (ограничение скорости по заносу, по системе подрессоривания, движение в колонне и др.); $k_{er}(V)$ – коэффициент, учитывающий уменьшение вероятности движения со скоростью $V > V_i$ вследствие влияния эргономических факторов.

Таким образом, функция распределения вероятности скорости движения может быть представлена в следующем виде

$$F_S(V) = \bar{S}(V \le V_i) = S(V \le V_i)/S = \int_{V_{\min}}^{V_i} \phi_S(V) \cdot dV,$$

где $\phi_S(V)$ – плотность распределения относительного пути движения машины $V \le V_i$.

Функция $F_T(V)$ определяется аналогично рекомендациям [3], а величины $k_{og}(V)$ и $k_{er}(V)$ – по эмпирическим зависимостям, полученным при обобщении результатам испытаний отечественных опытных и серийных ВГМ.

Распространение методики [2] на ВГМ с ЭМТ вполне допустимо, так как особенности ЭМТ не противоречат основным положениям и допущениям методики расчета средней скорости движения при традиционных типах МТУ ВГМ.

Средняя скорость движения машины на марше в рассматриваемых условиях эксплуатации, описываемых их статистической моделью, определяется по формуле

$$V_{cp} = 1 / \int_{V_{\min}}^{V_{\max}} \phi_s(V) \cdot dV / V.$$

Для вычисления интеграла применен метод Симпсона после преобразования подинтегральной функции, требующегося для интегрирования по частям.

В качестве минимальной скорости при интегрировании принимается $V_{\min}$ = 2,0 км/ч.

Расход топлива в процессе марша при заданных условиях эксплуатации определяется как среднестатистический, суммарный по всем передачам переднего хода, используя среднестатистические значения мощности N_{dj} двигателя и частоты вращения его вала n_{dj} на передачах. Определение величин N_{dj} и n_{dj} является обратной задачей силового и кинематического анализа трансмиссии.

При расчете ВГМ с ЭМТ система уравнений силового и кинематического анализа дополняется уравнениями баланса мощности в электрической связи генератора с тяговыми электродвигателями, учитывающего как потери мощности в электромашинах и в преобразователях (инверторах) электрического тока, так и отбор мощности на привод вспомогательных агрегатов, а также разряд или заряд накопителей энергии в соответствии с режимом их работы.

Расчетная оценка расхода топлива производится в зависимости от математических ожиданий частоты вращения вала двигателя $M(n_d)$ и крутящего момента на валу двигателя $M(T_d)$, а также их средних квадратических отклонений $\sigma_\Sigma(T_d)$ и $\sigma_\Sigma(n_d)$.

Величины $\sigma_\Sigma(T_d)$ и $\sigma_\Sigma(n_d)$ для ВГМ с механическими и гидромеханическими трансмиссиями формируются как вариацией параметров дорожного сопротивления прямолинейному и криволинейному движению, вызывающей низкочастотные изменения нагрузки на двигатель, так и переходными режимами (разгон и торможение) и движением на микронеровностях, приводящих к среднечастотным колебаниям нагрузки с частотой 0,1..0,5 Гц.

Оценка первой группы изменения нагрузки проводится по методике [2]. Параметры второй группы по данным исследований режимов работы двигателей ВГМ, проведенных в 70-х годах прошлого столетия, можно определить по формулам

$$\sigma_{2j}(n_d) = 0,2 \cdot n_{d\max} / \exp(0,053 \cdot V_j);$$
$$\sigma_{2j}(T_d) = M_j(T_d),$$

где j – номер передачи; $n_{d\max}$ – максимальная частота вращения вала двигателя, об/мин; V_j – средняя скорость движения ВГМ на передаче в рассматриваемых условиях движения, км/ч.

Вероятность этой группы изменений предлагается оценивать по относительной величине суммарного времени разгона и торможения машины при совершении марша.

Для ВГМ с ЭМТ из-за отсутствия жесткой механической связи теплового двигателя с ведущими колесами и организации работы двигателей на постоянной рабочей моментной характеристике, обеспечивающей экономичность его работы [5], вторую группу вариации нагрузки теплового двигателя можно не выделять, а рассматривать ее как дополнительное изменение внешнего сопротивления движению. Такой подход применен в [4].

Величины $M(T_d)$, $M(n_d)$, $\sigma_\Sigma(T_d)$ и $\sigma_\Sigma(n_d)$ нормируются относительно параметров режима работы двигателя в «ядре» топливно-мощностной характеристики и используются для определения расхода топлива G_Σ, отнесенного к 100 км пробега в рассматриваемых условиях эксплуатации по методике [6].

По разработанной методике проведены расчеты показателей подвижности серийной ВГМ 70-х годов прошлого столетия в различных условиях эксплуатации, результаты которых приведены в табл. 2.

В таблице приведены: V_{cp} – средняя скорость движения серийной ВГМ в рассматриваемых условиях эксплуатации, км/ч; G_{cp} – расчетный расход топлива за 100 км пробега, кг; G^*_{cp} – расход топлива, пересчитанный в литрах на 100 км пробега (в качестве плотности топлива принято значение 850 кг/м^3).

Таблица 2. Расчетные значения показателей подвижности серийной ВГМ

Параметр	Вариант дорожных условий $i_{ус}$			
	1	2	3	4
$V_{ср}$, км/ч	26,31	18,30	31,41	42,63
$G_{ср}$, кг	362,5	408,2	287,5	210,4
$G^{*}_{ср}$, л	426,5	480,2	338,2	247,5

Для оценки достоверности результатов расчета на рисунке полученные для четырех вариантов условий эксплуатации точки зависимости расхода топлива в литрах за 100 км пробега от средней скорости движения нанесены на экспериментальную зависимость $G(V)$, полученную по результатам маршей колонны танков серийной ВГМ в процессе контрольно-войсковых испытаний [7].

Как следует из рисунка, расчетные точки расходов топлива, полученные для четырех рассмотренных вариантов эксплуатации серийной ВГМ, хорошо согласуются с экспериментальной кривой.

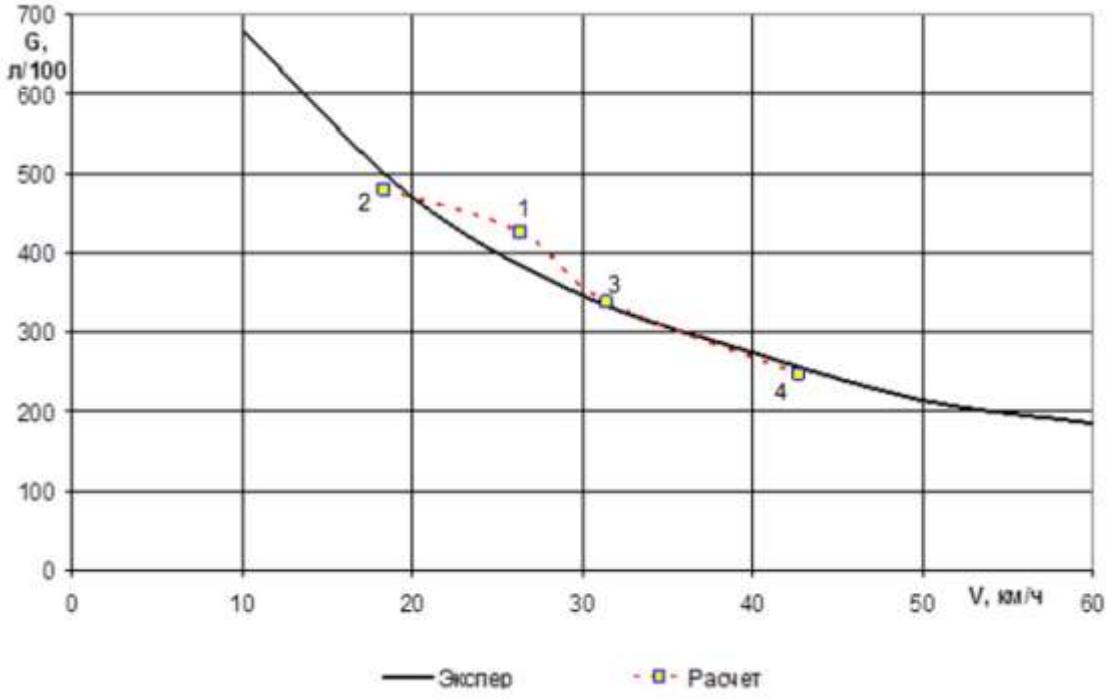

Рис. 1. Зависимость расхода топлива в литрах на 100 км пробега серийной ВГМ (экспериментальная кривая и расчетные точки для четырех вариантов условий эксплуатации = 1, 2, 3, 4)

3. Оценка полученных результатов по определению оперативной подвижности

В ОАО «ВНИИТрансмаш» совместно с Санкт-Петербургской электротехнической компанией проведена расчетно-конструкторская разработка ЭМТ с ГСУ для перспектив-

ной ВГМ, удовлетворяющей всем требованиям [8]. Созданный проект ЭМТ по схеме с последовательными потоками мощности и дифференциальной связью между бортами описан в [9].

Выполненные расчетные оценки по методике [4] показали, что по функциональным и динамическим характеристикам ВГМ с ЭМТ соответствует и даже по некоторым показателям превосходит ВГМ с механической трансмиссией (МТ) [10]. Тяговые характеристики сравниваемых ВГМ при прямолинейном движении и при повороте практически одинаковы.

Описанная в данной статье методика была использована для сравнительной расчетной оценки по основным показателям оперативной подвижности ВГМ с ЭМТ и МТ. Результаты оценки приведены в табл. 3 для различных дорожных условий (в числителе – результаты анализа чистого движения на марше, в знаменателе – с учетом среднестатистического времени стоянки при работающем двигателе).

Таблица 3. Показатели оперативной подвижности перспективной ВГМ с ЭМТ и МТ

Вариант статистических условий эксплуатации $i_{ус}$	**Расчетные параметры**	**Тип трансмиссии**	
		ЭМТ с ГСУ	**МТ**
1	$V_{ср}$, км/ч	36,31	39,08
	G_{100}, кг	489,8/505,8	452,8/463,5
2	$V_{ср}$, км/ч	22,52	23,28
	G_{100}, кг	618,9/656,1	557,3/583,5
3	$V_{ср}$, км/ч	41,29	46,66
	G_{100}, кг	368,1/384,1	350,4/358,9
4	$V_{ср}$, км/ч	53,58	58,70
	G_{100}, кг	293,3/309,3	249,5/259,6

Учет работы двигателя на стоянке позволяет полный расход топлива за время перехода в пункт назначения. При этом на ВГМ с ЭМТ происходит заряд накопителей энергии, разряженных в процессе движения с учетом заряда при торможениях, а на ВГМ с МТ – работа двигателя на холостом ходу.

Как видно из табл. 3, ВГМ с ЭМТ имеет более высокие показатели оперативной подвижности по сравнению с ВГМ с МТ. Более подробно результаты расчетной оценки оперативной подвижности рассматриваемых ВГМ приведены в [11] и показывают, что использование ЭМТ с ГСУ в ВГМ позволяет повысить оперативную подвижность ВГМ.

Выводы

1) Разработанная методика, основанная на вероятностном методе расчета показателей режимов работы ВГМ, позволяет проводить расчетную оценку основных показателей оперативной подвижности ВГМ с различными типами трансмиссий, в том числе и с перспективными ЭМТ с ГСУ в типовых условиях эксплуатации.

2) Для повышения достоверности целесообразно при выполнении проектно-конструкторских работ проводить сравнительную оценку альтернативных вариантов МТУ по данной методике в рассмотренных вариантах эксплуатации.

Список литературы

1. Методика оценки подвижности машин в странах НАТО // Зарубежная военная техника. 1984. Вып. 11(11).
2. ОСТ В3-5969-92. Трансмиссии ВГМ. Метод расчета характеристик вероятностных режимов работы. СПб.: ВНИИтрансмаш, 1992.
3. Благонравов А.А., Дмитриев А.А., Каминский Д.М. и др. Быстроходность танков. М., 1962.
4. Программа расчета показателей функционирования и долговечности узлов электромеханических передач № 035.08 ПП. СПб.: ВНИИтрансмаш, 2014.
5. Усов О.А., Корольков Р.Н., Лойко А.В. Математическая модель дизельного двигателя для расчета режимов работы моторно-трансмиссионных установок военной гусеничной машины // 35-я Всероссийская конференция по проблемам науки и технологий, посвященная 70-летию Победы (Миасс, 16-18 июня 2015 г.): труды. Миасс, 2015. С.114-121.
6. Усов О.А., Лойко А.В. Основные варианты управления дизельным двигателем военных гусеничных машин с электромеханической трансмиссией // 35-я Всероссийская конференция по проблемам науки и технологий, посвященная 70-летию Победы (Миасс, 16-18 июня 2015 г.): труды. Миасс, 2015. С. 98-106.
7. Глинчиков А.В., Марецкий П.К., Рождественский С.В., Доброхотов А.В. Актуальные направления развития системы подрессоривания танка // 14-я Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные проблемы защиты и безопасности»: труды. СПб., 2011. Т. 3: Бронетанковая техника и вооружение. С. 284-290.
8. ОСТ В3-6889-97. Машины гусеничные военные. Трансмиссии военных гусеничных машин. Общие технические требования. СПб.: ВНИИтрансмаш, 1997.
9. Усов О.А., Гусев М.Н., Лойко А.В., Макаров А.С. Электромеханическая трансмиссия для военной гусеничной машины с гибридной силовой установкой // Науч.-техн. ведомости С.-Петербург. гос. политехн. ун-та. 2015. Вып. 2. С. 167-174. DOI: 10.5862/JEST.219/18
10. Усов О.А., Белоутов Г.С., Корольков Р.Н., Лойко А.В. Функциональные и динамические характеристики военной гусеничной машины с электромеханической трансмиссией и гибридной силовой установкой // Науч.-техн. ведомости С.-Петербург. гос. политехн. ун-та. 2015. Вып. 3. С. 121-131. DOI: 10.5862/JEST.14
11. Усов О.А., Белоутов Г.С., Корольков Р.Н., Лойко А.В. Сравнительный анализ военной гусеничной машины с электромеханической и механической трансмиссией по показателям оперативной подвижности и топливной экономичности // Науч.-техн. ведомости С.-Петербург. гос. политехн. ун-та. 2016. Вып. 1. С. 163-172. DOI: 10.5862/JEST/17

12. Сарач Е.Б., Котиев Г.О., Смирнов И.А., Бекетов С.А. Пути повышения быстроходности гусеничных машин транспортного назначения // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева №2 (104) 2014, С. 114-119. Режим доступа: http://www.nntu.ru/trudy/2014/02/114-119.pdf
13. Сарач Е.Б. Оценка эффективности метода повышения быстроходности двухзвенной гусеничной машины, использующего управление углом складывания секций в вертикальной плоскости во время движения // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2010. № 5. Режим доступа: http://technomag.edu.ru/doc/113356.html
14. Сарач Е.Б., Котиев Г.О., Смирнов И.А. Метод определения средней скорости прямолинейного движения гусеничной машины на этапе проектирования // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2010. № 4. Режим доступа: http://technomag.edu.ru/doc/113356.html
15. Сарач Е.Б., Котиев Г.О., Смирнов И.А. Повышение подвижности двухзвенной гусеничной машины управлением углом складывания секций в вертикальной плоскости во время движения // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2010. № 1. Режим доступа: http://technomag.edu.ru/doc/113356.html
16. Сарач Е.Б., Золотарев С.А Повышение быстроходности сочлененных гусеничных машин в условиях антитеррористических операций // Вопросы оборонной техники. Серия 16. 2009. Вып. 5-6. С. 48 – 52.
17. Держанский В.Б., Наумов В.Н., Тараторкин И.А., Сарач Е.Б. Прогнозирование подвижности быстроходных гусеничных машин при криволинейном движении // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2008. № 2. С. 76-96.

Science & Education of the Bauman MSTU
Electronic journal
ISSN 1994-0408

Science and Education of the Bauman MSTU, 2016, no. 10, pp. 1–14.

DOI: **10.7463/1116.0850365**

Received: 10.10.2016
Revised: 24.10.2016

© Bauman Moscow State Technical Unversity

The Estimated Operational Movability of Military Tracked Vehicles

O.A. Usov[1,*]

*usov496@mail.ru

[1]OJSC "All-Russian Research Institute of Transport Engineering", St. Petersburg, Russia

Keywords: electromechanical transmission, operational movability index, average speed, fuel consumption, average statistical service conditions

The paper presents the study to estimate the movability of military tracked vehicles, as the capability to provide moving in the specified conditions.

Operational movability is a qualitative index of technical, functional and performance characteristics of military tracked vehicles. An objective comparison of the military tracked vehicles of various types, study of the impact of introduced changes in the design, and evaluation of machine compliance with the specified requirements for movability indexes is a crucial task.

The paper describes a technique for theoretical estimate of movability of the military tracked vehicles, taking into account the detailed characteristics of operating environmental conditions, performances of chassis units and machines as a whole. Unlike discussed techniques to estimate operational movability used in NATO countries, the proposed one allows us to consider various options for the manual (mechanical) and electrical transmissions of the military tracked vehicles.

In accordance with the proposed technique, is conducted a comparative estimate of operational movability of the military tracked vehicles with manual and electrical transmission for a variety of road conditions.

Estimates completed according to the technique showed that functional and dynamic characteristics of the military tracked vehicles with electric transmission are in compliance with and, by a number of indexes, even exceed the military tracked vehicles with manual transmission. Traction characteristics of compared military tracked vehicles in rectilinear motion and when turning are almost identical. Engine work time logging in the parking enabled us to estimate the full fuel consumption in the course of moving to the destination. And on the military tracked vehicle with electric transmission the energy storage devices, discharged in the process of movement, are charged taking into consideration the braking charge, while on the military tracked vehicle with a manual transmission there is engine idling.

The calculations proved dominancy of military tracked vehicles with electromechanical transmission in terms of the main indexes of operational movability.

The developed technique is recommended for comparative estimate of alternative transmission at designing stage.

References

1. Method of the evaluation of vehicles mobility in NATO countries. *Zarubezhnaia voennaia tekhnika* [Foreign military engineering], 1984, iss. 11 (in Russ.).
2. *OST V3-5969-92. Transmissii VGM. Metod rascheta kharakteristik veroiatnostnykh rezhimov raboty* [V3-5969-92 industry standard. Transmissions military tracked vehicles. The method of calculation of probability characteristics of operation modes]. S.-Petersburg, 1992 (in Russ.).
3. Blagonravov A.A., Dmitriev A.A., Kaminskij D.M. a.o. *Bystrokhodnost' tankov* [The rapidity of tanks]. Moscow, 1962 (in Russ.).
4. *Programma rascheta pokazatelej funktsionirovaniia i dolgovechnosti uzlov electromekhanicheskikh peredach* [The program of calculation of indicators of functioning and durability of electromechanical transmission modes №35.08 PP. S.-Petersburg, 2014 (in Russ.).
5. Usov O.A., R. Korol'kov R.N., Loyko A.V. *Matematicheskaia model' dizel'nogo dvigatelia dlia rascheta rezimov raboty motorno-transmissionnykh ustanovok VGM* [Mathematical model of the diesel engine for calculation modes of engine-transmission units of Military Tracked Vehicle]. *35 Vserossijskaia konferentsiia po problemam nauki i tekhnologij, posviaschennaia 70-letiyu Pobedy* [All-Russian conference on problems of science and technology, devoted to the 70th anniversary of the Victory]: proceedings. Miass, 2015, pp. 114-121 (in Russ.).
6. Usov O.A., Loyko A.V. *Osnovnye varianty upravleniia dizel'nym dvigatelem voennykh gusenichnykh mashin s elektromekhanicheskoj transmissiej* [The main options for engine control of caterpillar military vehicles with electromechanical transmission]. *35 Vserossijskaia konferentsiia po problemam nauki i tekhnologij, posviaschennaia 70-letiyu Pobedy* [All-Russian conference on problems of science and technology, devoted to the 70th anniversary of the Victory]: proceedings. Miass, 2015, pp. 98-106 (in Russ.).
7. Glinchikov A.V., Maretskij P.K., Rozhdestvenskij S.V., Dobrokhotov A. V. *Aktual'nye napravleniia razvitiia sistemy podressorivaniia tanka* [Current trends in the development of the suspension system of the tank] *14 Vserossijskaia nauchno-prakticheskaia konferentsiia "Aktual'nye problemy zaschity i bezopasnosti"*[14th All-Russian scientific-practical conference "Actual problems of protection and security"]: proceedings. S.-Petersburg, 2011, vol. 3: Armored vehicles and weapons, pp. 284-290 (in Russ.).
8. *OST V3-6889-97. Mashiny gusenichnye voennye. Transmissii voennykh gusenichnykh mashin. Obschie tekhnicheskie trebovaniia* [V3-6889-97 industry standard. Mashinery tracked military.Transmissions military tracked vehicles. General specifications]. S.-Petersburg, 1997 (in Russ.).
9. Usov O.A., Gusev M. N., Loiko A.V., Makarov A. S. Electromechanical transmission for military tracked vehicle with hybrid power plant. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-*

Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskigi Universiteta [St. Petersburg State Polytechnical Univ. Journal], 2015, iss. 2, pp. 167-174. DOI:10.5862/JEST.219.18 (in Russ.)

10. Usov O.A., Beloutov G. S., P Korol'kov R.N., Loiko A.V. Dynamic and functional specifications of a military tracked vehicle with electromechanical transmission and a hybrid power unit. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskigi Universiteta* [St. Petersburg Polytechnic Univ. J. of Engineering Science and Technology], 2015, iss. 3, pp. 121-131. DOI: 10.5862/JEST.14 (in Russ.)
11. Usov O.A., Beloutov G. S., Korol'kov R.N., Loyko A.V. Comparative analysis of military tracked vehicle with electromechanical and mechanical transmission in terms of operational mobility and fuel efficiency. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskigi Universiteta* [St. Petersburg Polytechnic Univ. J. o Engineering Science and Technology], 2016, iss.1, pp. 163-171. DOI: 10.5862/JEST/17 (in Russ.)
12. Sarach E.B., Kotiev G.O., Smirnov I.A., Beketov S.A. Prospects of increase of rapidity of transport tracked vehicle. *Trudy Nizhegorodskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universitets im. R.E.Alekseeva* [Transactions of NNSTU n.a. R.E.Alekseev], 2014, no. 2, pp. 114-119. Available at: http://www.nntu.ru/trudy/2014/02/114-119.pdf (in Russ.)
13. Sarach E.B. Estimation of effeciency of a method of increase of rapidity articulated tracked vehicle using management of a corner of folding of sections in a vertical plane during movement. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education of the Bauman MSTU], 2010, no. 5. Available at: http://technomag.edu.ru/doc/113356.html (in Russ.)
14. Sarach E.B., Kotiev G.O., Smirnov I.A. Method of definition of average speed of rectilinear movement of a tracked at the design stage. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education of the Bauman MSTU], 2010, no. 4. Available at: http://technomag.edu.ru/doc/113356.html (in Russ.)
15. Sarach E.B., Kotiev G.O., Smirnov I.A. Mobility increase sections articulated tracked vehicle management of a corner of folding of sections in a vertical plane during movement. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education of the Bauman MSTU], 2010, no. 1. Available at: http://technomag.edu.ru/doc/113356.html (in Russ.)
16. Sarach E.B., Zolotarev S.A. Increase rapidity articulated tracked vehicles in terms of anti-terrorist operations. *Voprosy oboronnoj tekhniki* [Questions of defense equipment. Ser.16], 2009, no. 5-6, pp. 48 – 52 (in Russ.).
17. Derzhanskijy V.B., Naumov V.N., Taratorkin I.A., Sarach E.B. Prediction of mobility of high-speed caterpillars in curvilinear motion. *Vestnik MGTU im. N.E.Baumana. Ser. Mashinostroenie* [Herald of the Bauman Moscow State Univ. Mechanical Engineering], 2008, no. 2, pp. 76-96 (in Russ.).