



DOI 10.5862/JEST.226.14

УДК 623.438.3-23

O.A. Усов, Г.С. Белоутоў, Р.Н. Королькоў, А.В. Лойко

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЕННОЙ ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ И ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ

O.U. Usov, G.S. Beloutov, R.N. Korol'kov, A.L. Loyko

DYNAMIC AND FUNCTIONAL SPECIFICATIONS OF A MILITARY TRACKED VEHICLE WITH ELECTROMECHANICAL TRANSMISSION AND A HYBRID POWER UNIT

Приведены тепловая характеристика прямолинейного движения и предельные тяговые характеристики равномерного поворота военно гусеничной машины (ВГМ) с электромеханической трансмиссией ЭМТ, которые сопоставимы с аналогичными характеристиками перспективной ВГМ с механической трансмиссией. Проанализированы показатели работы ЭМТ при повороте ВГМ вокруг центра масс. Представлены результаты расчета разгона и торможения ВГМ без использования остановочных тормозов. Расчет разгонной характеристики выполнен для движения на ровной дороге с твердым покрытием и на грунтовой дороге с типичными неровностями. Проведенное сравнение показывает, что по функциональным характеристикам ВГМ с ЭМТ не уступает ВГМ с МТ, а по динамическим значительно (существенно) превосходит.

ВОЕННАЯ ГУСЕНИЧНАЯ МАШИНА; ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ТРАНСМИССИЯ; МЕХАНИЧЕСКАЯ ТРАНСМИССИЯ; ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВГМ; РАЗГОННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА; ТОРМОЗНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА; ПОВОРОТ ВОКРУГ ЦЕНТРА МАСС.

Military tracked vehicles, electric transmission, mechanical transmission, the functional characterization of military tracked vehicles, acceleration characteristic, braking characteristic, rotating around the center of mass. The thermal characteristics of rectilinear motion and limiting traction characteristics even turn military tracked vehicle with electromechanical transmission are shown that are comparable with similar characteristics perspective military tracked vehicles with a mechanical transmission. We analyzed the performance of the electromechanical transmission military tracked vehicles when turning around the center of mass. The results of the calculation of the acceleration and deceleration military tracked vehicle with electromechanical transmission without use stopping brakes are demonstrated. Calculation of acceleration characteristics to move on a flat road paved and dirt road with typical irregularities is made. The comparison shows that the functional characteristics of military tracked vehicle with electromechanical transmission hybrid power plant is not inferior to a military tracked vehicle with a mechanical transmission, and on dynamic characteristics far superior.

MILITARY TRACKED VEHICLES; ELECTRIC TRANSMISSION; MECHANICAL TRANSMISSION; THE FUNCTIONAL CHARACTERIZATION OF MILITARY TRACKED VEHICLES; ACCELERATION CHARACTERISTIC; BRAKING CHARACTERISTIC; ROTATING AROUND THE CENTER OF MASS.

Рассматривается вариант военной гусеничной машины (ВГМ) с электромеханической трансмиссией (ЭМТ) и гибридной силовой установкой (ГСУ) на шасси перспективной ВГМ.

ЭМТ разработана на основе методики [1] как альтернатива механической трансмиссии (МТ) перспективной ВГМ. Все ее конструктивные характеристики приведены в [2]. Основной це-

лью при разработке ЭМТ было повышение характеристик подвижности и топливной экономичности перспективной ВГМ за счет использования ЭМТ с гибридной силовой установкой. При этом оценка показателей ВГМ с ЭМТ ведется в сравнении с перспективной ВГМ, имеющей семикатковое шасси и увеличенные динамические ходы катков. В машине сравнения используются двигатель с максимальной мощностью 1109 кВт (1500 л.с.) и механическая трансмиссия с гидрообъемным механизмом поворота, имеющая восемь передач переднего хода и полный реверс.

Задача настоящей статьи – дать расчетную оценку функциональных и динамических харак-

теристик ВГМ с ЭМТ и ГСУ в сопоставлении с аналогичными характеристиками ВГМ с МТ.

Основные функциональные характеристики ВГМ: тяговая характеристика прямолинейного движения и предельные тяговые характеристики равномерного поворота. Для их расчета для ВГМ с ЭМТ созданы специальные методики [3], базирующиеся на методах, изложенных в [4, 5], и учитывающие специфику ЭМТ с ГСУ.

Для ВГМ с ЭМТ расчетная тяговая характеристика приведена в табл. 1 и на рис. 1. При расчете этой характеристики принято, что тяговые электродвигатели работают на максимальной внешней характеристике, получая энергию как от теплового двигателя, так и от накопителей энергии (НЭ). Потери мощности в узлах ЭМТ,

Таблица 1

Тяговая характеристика прямолинейного движения ВГМ с ЭМТ и ГСУ

| Первый диапазон | | | | | | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| V , км/ч | 1,81 | 3,61 | 5,42 | 7,23 | 10,41 | 13,60 | 16,78 | 19,97 |
| f_d | 0,771 | 0,770 | 0,770 | 0,769 | 0,517 | 0,384 | 0,301 | 0,245 |
| Второй диапазон | | | | | | | | |
| V , км/ч | 5,87 | 11,74 | 17,61 | 23,49 | 33,83 | 44,18 | 54,53 | 64,87 |
| f_d | 0,222 | 0,220 | 0,218 | 0,217 | 0,134 | 0,089 | 0,060 | 0,039 |
| | 23,15 | | | | | | | |
| | 0,204 | | | | | | | |

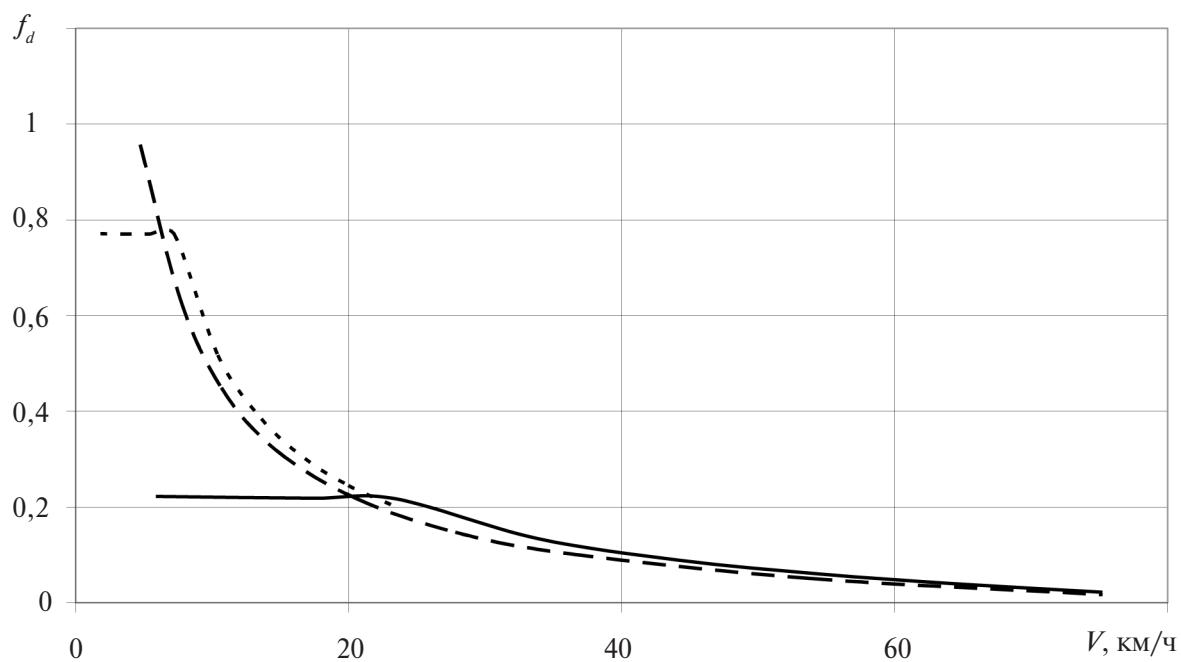


Рис. 1. Тяговые характеристики прямолинейного движения перспективной ВГМ с ЭМТ и МТ:
--- – 1-й диапазон ЭМТ; — — 2-й диапазон ЭМТ; — МТ



включая генератор, тяговые электродвигатели, преобразователи тока (инверторы), а также в ходовой части ВГМ учитывались в зависимости от их нагрузки и скоростных параметров работы. Отбор мощности на привод вспомогательных агрегатов принимался максимальным.

Фактическая тяговая характеристика ВГМ с МТ представлена в табл. 2, а усредненная по передачам – на рис. 1.

Для наглядного сопоставления тяговых характеристик ВГМ для вариантов с ЭМТ и с МТ на рис. 1 приведены их совмещенные характеристики. При этом для ВГМ с механической трансмиссией приведена сглаженная тяговая характеристика в виде усредненной кривой, проведенной через средние значения удельной силы тяги в зонах перекрытия передач по скорости движения.

За счет восьми передач переднего хода значения удельной силы тяги в зоне минимальных скоростей (менее 6 км/ч) у ВГМ с МТ больше, чем у ВГМ с ЭМТ. Это, однако, не принципиально, так как полученные для ЭМТ и ГСУ тяговые характеристики обеспечивают технические требования к современной быстроходной ВГМ [6]. Максимальное значение удельной силы тяги на первом диапазоне составляет $f_d = 0,771$. Это обеспечивает возможность подъема в гору с углом до 35 градусов. При максимальной скорости движения 75 км/ч расчетное значение удельной силы тяги составляет $f_d = 0,022$, что обеспечивает возможность движения с указанной скоростью на ровных дорогах с твердым покрытием и соответствует требованиям [6].

Тяговые возможности ВГМ с МТ в зоне высоких скоростей движения несколько ниже тре-

Таблица 2

Тяговая характеристика прямолинейного движения ВГМ с МТ

| Первая передача | | | | | | | | |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| V , км/ч | 4,72 | 5,08 | 5,44 | 5,80 | 6,17 | 6,53 | 6,89 | 7,26 |
| f_d | 0,957 | 0,970 | 0,907 | 0,861 | 0,819 | 0,772 | 0,732 | 0,689 |
| Вторая передача | | | | | | | | |
| V , км/ч | 6,60 | 7,11 | 7,61 | 8,12 | 8,63 | 9,14 | 9,64 | 10,15 |
| f_d | 0,680 | 0,689 | 0,643 | 0,611 | 0,580 | 0,546 | 0,518 | 0,486 |
| Третья передача | | | | | | | | |
| V , км/ч | 9,11 | 9,81 | 10,51 | 11,21 | 11,91 | 12,61 | 13,31 | 14,01 |
| f_d | 0,488 | 0,495 | 0,461 | 0,437 | 0,415 | 0,389 | 0,368 | 0,345 |
| Четвертая передача | | | | | | | | |
| V , км/ч | 12,75 | 13,73 | 14,71 | 15,69 | 16,67 | 17,65 | 18,64 | 19,62 |
| f_d | 0,341 | 0,345 | 0,321 | 0,304 | 0,287 | 0,269 | 0,254 | 0,237 |
| Пятая передача | | | | | | | | |
| V , км/ч | 17,21 | 18,54 | 19,86 | 21,19 | 22,51 | 23,84 | 25,16 | 26,48 |
| f_d | 0,240 | 0,243 | 0,225 | 0,212 | 0,199 | 0,186 | 0,174 | 0,162 |
| Шестая передача | | | | | | | | |
| V , км/ч | 22,42 | 24,14 | 25,87 | 27,59 | 29,32 | 31,04 | 32,77 | 34,49 |
| f_d | 0,176 | 0,178 | 0,164 | 0,154 | 0,144 | 0,133 | 0,124 | 0,114 |
| Седьмая передача | | | | | | | | |
| V , км/ч | 33,26 | 35,82 | 38,38 | 40,94 | 43,50 | 46,05 | 48,61 | 51,17 |
| f_d | 0,104 | 0,105 | 0,095 | 0,088 | 0,081 | 0,073 | 0,066 | 0,059 |
| Восьмая передача | | | | | | | | |
| V , км/ч | 46,57 | 50,15 | 53,73 | 57,31 | 60,89 | 64,48 | 68,06 | 71,64 |
| f_d | 0,060 | 0,060 | 0,052 | 0,046 | 0,041 | 0,035 | 0,029 | 0,024 |
| | | | | | | | | |
| V , км/ч | 75,22 | | | | | | | |
| f_d | 0,017 | | | | | | | |

бований [6] и ограничиваются максимальной мощностью двигателя

Широкий скоростной диапазон тяговых электродвигателей ЭМТ позволяет обойтись всего двумя диапазонами в коробке диапазонов (КД). При этом обеспечивается перекрытие тяговых характеристик на первом и втором диапазонах без провала на стыке диапазонов. Достаточно большое значение максимальной удельной силы тяги на втором диапазоне ($f_d = 0,222$) позволяет двигаться в средних и легких дорожных условиях и в большинстве случаев обходиться без переключения диапазонов при движении, даже преодолевая подъем до 10° . Трогание с места и разгон ВГМ в этих условиях можно осуществлять при включенном втором диапазоне, и в процессе разгона не будет потерь на переключение диапазонов.

Предельные тяговые характеристики равномерного поворота ВГМ с ЭМТ показывают, с какими минимальными действительными радиусами в зависимости от скорости движения возможны повороты машины на первом и втором диапазонах. Ограничения возможны либо по загрузке тягового электродвигателя на забегаю-

щем борту, либо по кинематике, когда частота вращения вала этого электродвигателя достигает предельного значения, либо по предельной мощности теплового двигателя. На легких грунтах ограничения возможны по заносу машины.

При расчете равномерного поворота ВГМ с ЭМТ принималось, что НЭ при повороте не используются, т.е. оценка работы ЭМТ в криволинейном движении проводится независимо от степени заряда НЭ

Расчетные кривые предельных тяговых характеристик равномерного поворота ВГМ с ЭМТ и с МТ приведены на рис. 2. Расчет выполнен для среднестатистического грунта с параметрами $f_c = 0,03$ и $\mu_{c \max} = 0,65$.

Для более детального анализа причин ограничения радиусов поворота у ВГМ с ЭМТ и ГСУ в табл. 3 приведена расширенная информация по рассмотренным режимам равномерного поворота. В таблице обозначены: V – скорость движения ВГМ; R_d – минимально возможный действительный радиус поворота; R_s – радиус поворота, при котором на рассматриваемом грунте начинается занос; N_1 – мощность тягового электродвигателя на забегающем борту; n_1 –

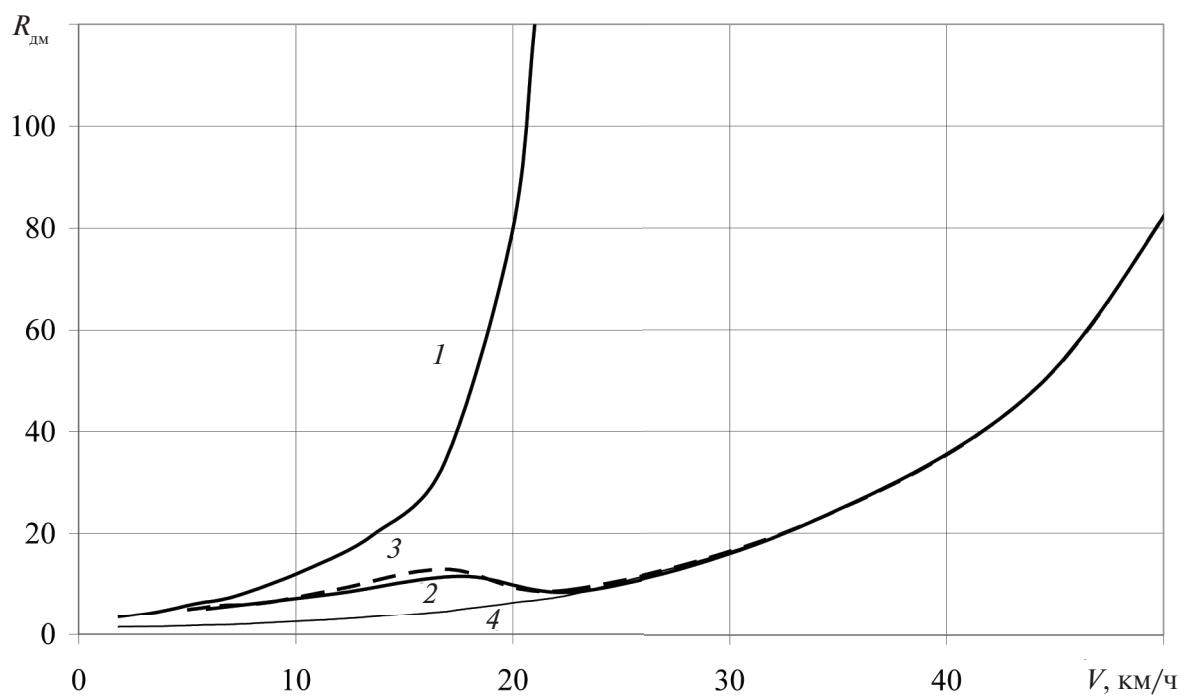


Рис. 2. Предельные тяговые характеристики равномерного поворота ВГМ на грунте с параметрами $f_c = 0,03$ и $\mu_{c \max} = 0,65$
1 – ЭМТ, 1-й диапазон; 2 – ЭМТ, 2-й диапазон; 3 – МТ; 4 – кривая ограничений по заносу



частота вращения вала электродвигателя забегающего борта; N_2 – мощность тягового электродвигателя на отстающем борту; n_2 – частота вращения вала электродвигателя отстающего борта.

Как следует из табл. 3, на втором диапазоне в скоростном диапазоне 23–45 км/ч ограничение радиусов поворота обусловлено только условиями заноса машины, а при более низких скоростях радиус поворота ограничивается мощностью тягового электродвигателя на забегающем борту. На первом диапазоне ограничение происходит при достижении частотой вращения вала электродвигателя забегающего борта максимального значения 10000 об/мин и поворот с меньшим радиусом возможен только со снижением скорости движения ВГМ.

Сравнение предельных тяговых характеристик равномерного поворота показывает, что у электромеханической трансмиссии на втором диапазоне допустимые радиусы поворота практически совпадают с предельными радиусами поворота при механической трансмиссии.

Важным функциональным требованием к современной ВГМ является возможность пово-

рота на месте вокруг центра масс. Принятая схема электромеханической трансмиссии для перспективной ВГМ обеспечивает поворот на месте как на первом диапазоне, так и на втором. При этом по условиям загрузки тяговых электродвигателей и теплового двигателя возможен поворот на месте практически на любом грунте, в том числе и на тяжелом (с максимальным коэффициентом сопротивления повороту $\mu_{c \max} = 1,00$ на первом диапазоне и $\mu_{c \ max} = 0,80$ на втором диапазоне).

Расчет по методике [3] показывает, что при включенном первом диапазоне максимально возможная теоретическая угловая скорость поворота составляет 0,842 рад/с и ограничивается максимальными частотами вращения валов электродвигателей 10000 об/мин. Расчетная мощность на каждом электродвигателе при этом равна 354 кВт. В соответствии с современным требованием максимальная теоретическая угловая скорость равномерного поворота должна быть не менее 1,0 рад/с (57,3 град/с). В рассматриваемой ЭМТ это обеспечивается при повороте на месте при включенном втором диапазоне и частоте вращения валов электродвигателей

Таблица 3

Параметры режимов равномерного поворота на минимально возможных действительных радиусах поворота ВГМ с ГМТ

| Первый диапазон | | | | | | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| V , км/ч | 1,81 | 3,61 | 5,42 | 7,23 | 10,41 | 13,60 | 16,78 | 19,97 |
| R_d , м | 3,40 | 4,50 | 6,20 | 7,70 | 12,80 | 19,90 | 33,30 | 39,30 |
| R_s , м | 1,44 | 1,52 | 1,71 | 1,91 | 2,60 | 3,46 | 4,60 | 6,39 |
| N_1 , кВт | 396 | 367 | 351 | 342 | 310 | 281 | 257 | 216 |
| n_1 , об/мин | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 |
| N_2 , кВт | 15 | 8 | 2 | -1 | -2 | 5 | 21 | 53 |
| n_2 , об/мин | -9211 | -7346 | -5514 | -4247 | -1102 | 1484 | 4083 | 7110 |
| Второй диапазон | | | | | | | | |
| V , км/ч | 5,87 | 11,74 | 17,61 | 23,49 | 33,83 | 44,18 | | |
| R_d , м | 5,10 | 8,10 | 11,60 | 8,86 | 22,30 | 48,67 | | |
| R_s , м | 1,78 | 2,88 | 5,09 | 8,86 | 22,30 | 48,67 | | |
| N_1 , кВт | 500 | 500 | 500 | 500 | 327 | 344 | | |
| n_1 , об/мин | 4516 | 4948 | 5565 | 9400 | 7331 | 7472 | | |
| N_2 , кВт | 6 | -7 | -10 | -123 | 62 | 180 | | |
| n_2 , об/мин | -2955 | -1925 | -947 | -3186 | 1542 | 4193 | | |

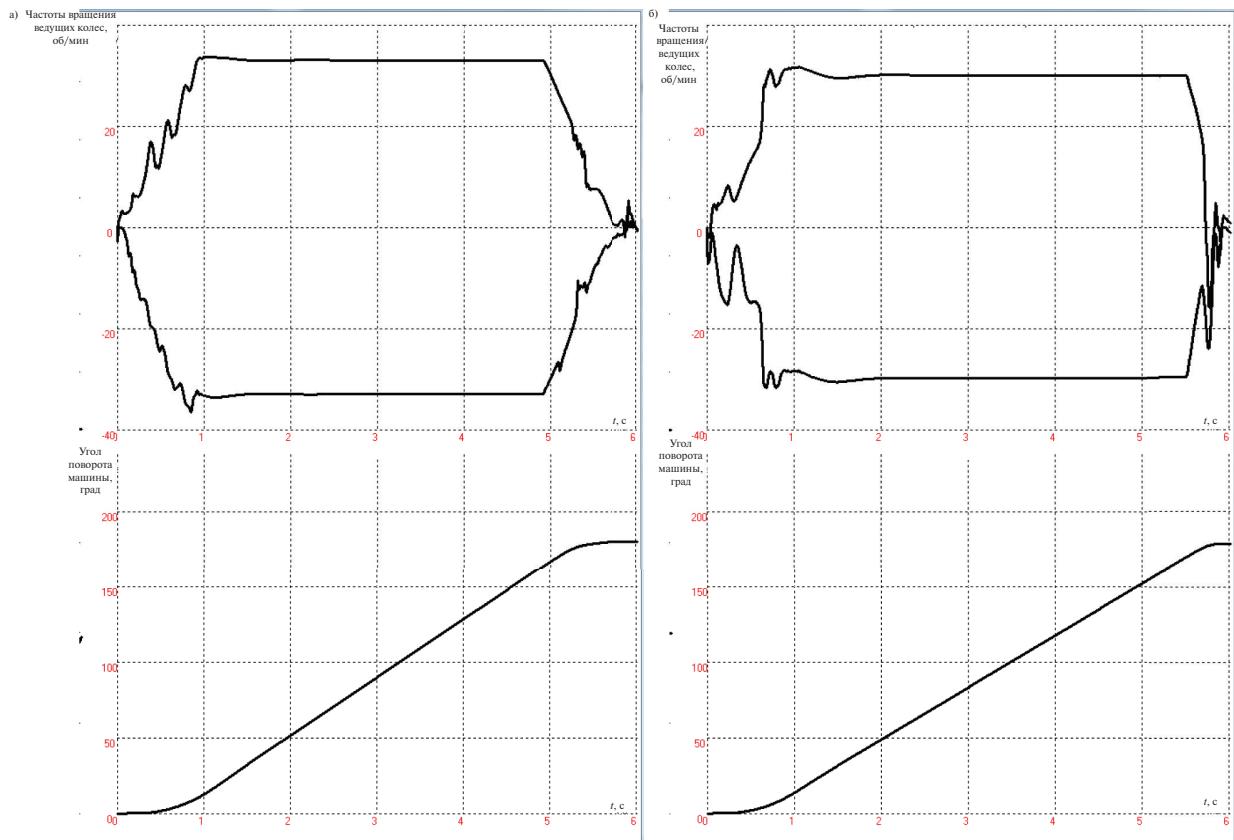


Рис. 3. Результаты моделирования поворота на месте вокруг центра масс перспективной ВГМ с ЭМТ (а) и с МТ (б) на грунте с параметрами $f_c = 0,06$ и $\mu_{c\max} = 0,80$

3658 об/мин. Расчетная мощность при этом на каждом электродвигателе составляет 326 кВт при повороте на грунте с параметрами $f_c = 0,04$ и $\mu_{c\max} = 0,80$.

Поворот состоит из входа в поворот, движения в повороте и выхода из поворота. Представляет интерес динамичность процесса поворота ВГМ с рассматриваемыми трансмиссиями. Особый интерес представляет поворот на месте вокруг центра масс, как наиболее тяжелый. На рис. 3 совмещены результаты моделирования поворота на месте вокруг центра масс ВГМ с ЭМТ (рис. 3, а) и с МТ (рис. 3, б).

Приведенные графики представляют собой распечатки с экрана монитора. Каждый рисунок состоит из двух графиков. На верхнем графике приводятся кривые изменения во времени частот вращения ведущих колес забегающего и отставшего бортов. На нижнем – кривая изменения угла поворота машины. Моделирование режимов поворота выполнено по программе [7].

В электромеханической трансмиссии поворот осуществляется за счет работы тяговых электродвигателей в противоположных направлениях (один из электродвигателей работает в режиме полного реверса по отношению к другому). В ВГМ с механической трансмиссией поворот на месте осуществляется при включенной нейтрали в коробке перемены передач. В ВГМ используется комбинированный дифференциальный механизм поворота, в котором параллельно ветви с гидрообъемной передачей максимальной мощностью 500 кВт имеется механическая ветвь передачи мощности к механизму поворота при включении управляемых фрикционных узлов. За счет этого поворот возможен практически на любом реальном грунте, в том числе и на расчетном грунте.

Время поворота выбрано таким образом, чтобы получить суммарный угол поворота 180 градусов (полный разворот машины на месте). Затраты времени на разворот машины в вариантах



ЭМТ и МТ очень близки. Около 6 сек. затрачивается на поворот ВГМ на 180 градусов, включая стадии входа в поворот, установившегося поворота и выхода из поворота. Как видно из рис. 3, продолжительность (интенсивность) входа в поворот и выхода из него, характеризующая динамику движения при развороте, у обеих ВГМ практически одинакова

В целом можно считать, что ни один из рассмотренных вариантов трансмиссии не имеет преимуществ по режиму поворота (в том числе и разворота на месте) по сравнению с другим вариантом.

Разгонные и тормозные характеристики ВГМ входят в число важнейших характеристик, определяющих интегральные характеристики подвижности. Расчет разгонных характеристик выполнен по методике [8] и программе [9] для двух типов дорог: для ровной дороги с твердым покрытием и расчетным коэффициентом сопротивления прямолинейному движению $f_c = 0,02$ и для типичной грунтовой дороги со средней величиной неровностей 126 мм и коэффициентом сопротивления прямолинейному движению $f_c = 0,07$ [10].

Расчет выполнен для перспективной ВГМ с ЭМТ и ГСУ и с МТ. В процессе разгона на обеих

ВГМ рассматривалось максимально возможное использование мощности тепловых двигателей. При этом для ВГМ с ЭМТ из-за особенности внешней характеристики тяговых электродвигателей управление моторно-трансмиссионной установкой было представлено двумя этапами.

На этапе разгона при частоте вращения валов электродвигателей менее номинальной система автоматического управления ЭМТ реализует работу электродвигателей с максимальным крутящим моментом, а для обеспечения минимального расхода топлива – работу теплового двигателя на переменном режиме с возрастающей мощностью, соответствующей мощности электродвигателей, реализуемой на текущем режиме.

На втором этапе, т.е. при работе тяговых электродвигателей с частотой вращения валов более номинальной, система управления обеспечивает постоянную работу теплового двигателя и тяговых электродвигателей на режиме максимальной мощности, а также подключает накопители энергии к дополнительному питанию электродвигателей.

На всем периоде разгона ВГМ с ЭМТ учитывается среднестатистическое значение отбора

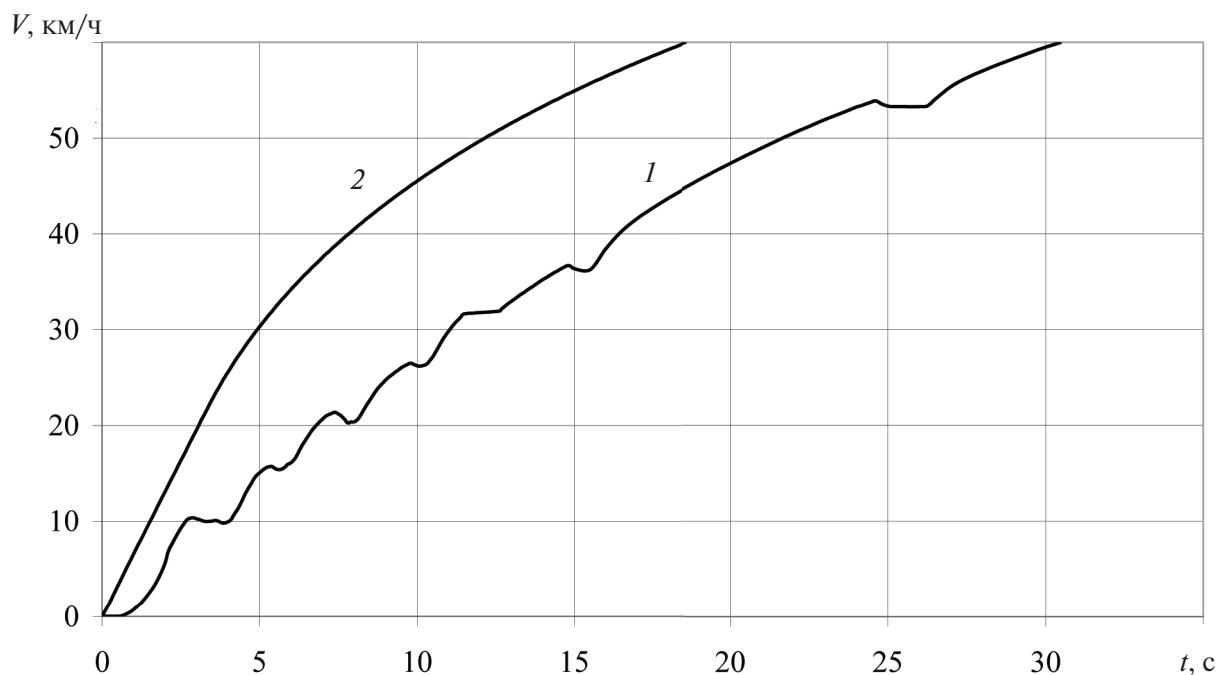


Рис. 4. Разгонные характеристики на ровной дороге с твердым покрытием
1 – перспективная ВГМ с МТ; 2 – ВГМ с ЭМТ и ГСУ

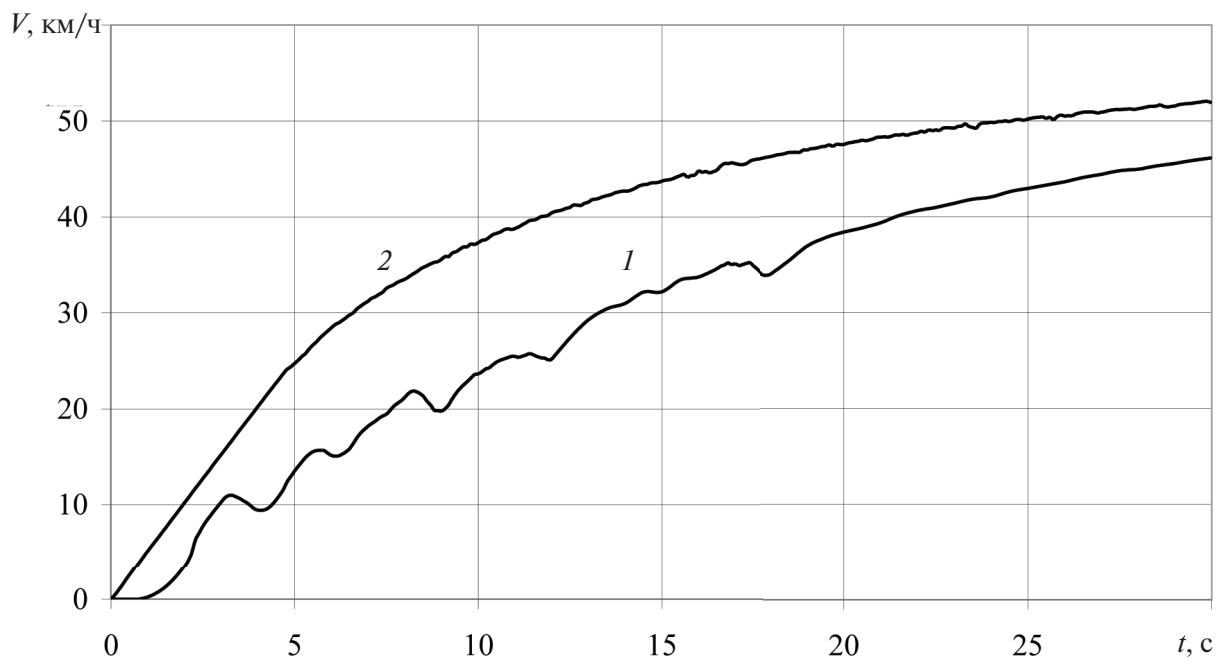


Рис. 5. Разгонные характеристики рассматриваемых ВГМ на грунтовой дороге со средней высотой неровностей 126 мм ($f_c = 0,07$) при разгоне в течение 30 с: 1 – перспективная ВГМ с МТ; 2 – ВГМ с ЭМТ и ГСУ

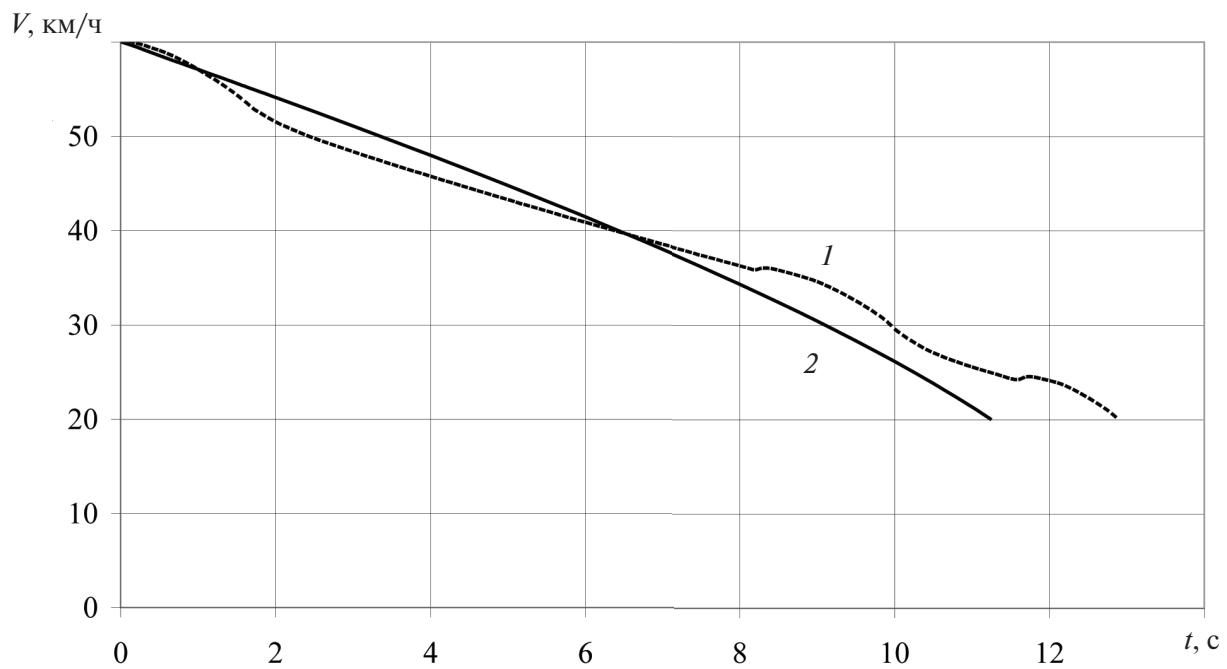


Рис. 6. Тормозные характеристики рассматриваемых ВГМ на ровной дороге с твердым покрытием ($f_c = 0,02$)
1 – ВГМ с МТ; 2 – ВГМ с ЭМТ и ГСУ



мощности на привод вспомогательных агрегатов, равное 0,48 от максимального.

Разгонные характеристики на ровной дороге с твердым покрытием для двух вариантов машины приведены на рис. 4. Расчет выполнен до скорости 60 км/ч.

Как следует из приведенных графиков, минимальное время разгона у ВГМ с ЭМТ равно 18,6 с, а у ВГМ с МТ время разгона составляет 30,5 с. Столь существенные преимущества в интенсивности разгона у ВГМ с ЭМТ объясняются, с одной стороны, отсутствием потерь скорости на переключения передач, а с другой стороны, наиболее эффективным использованием тяговых возможностей машины за счет постоянной реализации максимальной мощности тяговых электродвигателей при использовании в процессе разгона накопителей энергии.

Поскольку на грунтовой дороге с неровностями и коэффициентом сопротивления прямолинейному движению $f_c = 0,07$ тяговые возможности машин на высоких скоростях ограничены, расчет процесса разгона выполнен в течение 30 с. На рис. 5 представлены соответствующие разгонные характеристики.

На грунтовой дороге с неровностями профиля дорожного полотна машина с ЭМТ также имеет преимущества по разгону по сравнению с механической трансмиссией. За 30 секунд она разгоняется до скорости 51,9 км/ч, а перспективная ВГМ с механической трансмиссией – до скорости 46,1 км/ч.

Для ровной дороги с твердым покрытием в дополнение к разгонным характеристикам выполнен расчет тормозных характеристик с на-

чальной скорости 60 км/ч до скорости 20 км/ч без использования остановочных тормозов. Рассматривалось движение по ровной дороге с твердым покрытием и расчетным коэффициентом сопротивления прямолинейному движению $f_c = 0,02$. Для оценки тормозных характеристик ВГМ выполнены расчеты, которые включают максимальный режим электродинамического торможения ВГМ с ЭМТ на втором диапазоне и режим торможения двигателем ВГМ с МТ.

При торможении ВГМ с МТ по мере снижения скорости движения проводятся переключения передач в соответствии со штатным алгоритмом управления.

Результаты расчета приведены на рис. 6.

Как следует из рис. 6, и по тормозным характеристикам ВГМ с ЭМТ имеет преимущество по сравнению с ВГМ с МТ, что важно при комплексной оценке подвижности.

Выводы

Разработанные методики и программы позволяют проводить расчет основных функциональных характеристик с ЭМТ и ГСУ. В основу указанных методик положены методы, используемые для расчета аналогичных характеристик ВГМ с механическими и гидромеханическими трансмиссиями, что позволяет проводить сравнительный анализ ЭМТ и МТ

ВГМ с электромеханической трансмиссией и гибридной силовой установкой по функциональным характеристикам не уступает ВГМ с механической трансмиссией, а по разгонным и тормозным характеристикам значительно превосходит ее.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Усов О.А., Белоутов Г.С., Гусев, М.Н. [и др.]. Основные варианты схемы электромеханической трансмиссии гибридного типа и методика определения параметров ее агрегатов для военных гусеничных машин // Актуальные проблемы защиты и безопасности: Труды семнадцатой Всероссийской научно-практической конференции РАРАН (1 - 4 апреля 2014 г.) Т. 3. Бронетанковая техника и вооружение. М.: Изд-во РАРАН, 2014. С. 111–122.
2. Усов О.А., Гусев М.Н., Лойко А.В., Макаров А.С. Электромеханическая трансмиссия для ВГМ с гибридной силовой установкой / СПб.: Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2015. №2(219). С. 167–174.
3. Кузнецов И.С., Усов О.А., Корольков Р.Н., Белоутов Г.С. Программа расчета показателей функционирования и долговечности узлов электромеханических передач № 035.08 ПП / ВНИИТрансмаш. СПб.: 2014.
4. Кузнецов И.С., Усов О.А., Корольков Р.Н., Белоутов Г.С. Программа расчета тяговых характеристик прямолинейного движения транспортных машин № 035.15 ПП / ВНИИТрансмаш. СПб., 2005.
5. Кузнецов И.С., Усов О.А., Корольков Р.Н., Белоутов Г.С. Программа расчета предельной характеристики равномерного поворота транспортной машины № 035.20 ПП / ВНИИТрансмаш. СПб., 2005.

6. **ОСТ В3-6889-97.** Машины гусеничные военные. Трансмиссии военных гусеничных машин. Общие технические требования / ВНИИТрансмаш. СПб., 1997.

7. **Кузнецов И.С., Усов О.А., Корольков Р.Н., Белоутов Г.С.** Программа расчета динамических процессов в переходных режимах работы моторно-трансмиссионных установок транспортных машин № 035.03 ПП / ВНИИТрансмаш. СПб., 2014.

8. **ОСТ В3-5971-94.** Трансмиссии военных гусеничных машин. Метод расчета динамических процессов в переходных режимах работы / ВНИИТМ, СПб., 1994.

9. **Белоутов Г.С., Гусев М.Н., Усов О.А.** Программа расчета динамических процессов в пере-

ходных режимах работы моторно-трансмиссионных установок транспортных машин // Актуальные проблемы защиты и безопасности: Труды десятой Всероссийской научно-практической конференции РАРАН (1–4 апреля 2007 г) Т.3. Бронетанковая техника и вооружение. СПб.: Изд-во РАРАН, 2007. С. 204–207.

10. **Рождественский С.В., Усов О.А.** Оценка скоростных возможностей танка в бою по критериям максимальной подвижности // Труды семнадцатой Всероссийской научно-практической конференции РАРАН (1–4 апреля 2014 г) Т.3. Бронетанковая техника и вооружение., М: Изд-во РАРАН, 2014. С. 131–135.

REFERENCES

1. **Усов О.А., Белоутов Г.С., Гусев, М.Н. [и др.]** Osnovnyye varianty skhemy elektromekhanicheskoy transmissii gibrnidnogo tipa i metodika opredeleniya parametrov yeye agregatov dlya voyennyykh gusenichnykh mashin. [The main options schemes hybrid electromechanical transmission type and method of determining the parameters of its units for military tracked vehicles]. *Aktualnyye problemy zashchity i bezopasnosti: Trudy semnadtsatoy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii RARAN* (1–4 aprelya 2014 g.) T. 3. *Bronetankovaya tekhnika i vooruzheniye.*, M: Izd-vo RARAN, 2014. S.111–122 (rus.)

2. **Усов О.А., Гусев М.Н., Лойко А.В., Макаров А.С.** Elektromekhanicheskaya transmissiya dlya VGM s gibrnidnoy silovoy ustanovkoj. [Electromechanical transmission for military tracked vehicle with hybrid power plant]. *Nauchno-tehnicheskiye vedomosti SPbGPU*. 2015. № 2(219). S. 167–174 (rus.)

3. **Кузнецов И.С., Усов О.А., Корольков Р.Н., Белоутов Г.С.** Programma rascheta pokazateley funktsionirovaniya i dolgovechnosti uzlov elektromekhanicheskikh peredach № 035.08 PP [Program for calculating performance indicators and durability electromechanical assemblies gear] / VNIITrasmash. SPb., 2014. (rus.)

4. **Кузнецов И.С., Усов О.А., Корольков Р.Н., Белоутов Г.С.** Programma rascheta tyagovykh kharakteristik pyramolineynogo dvizheniya transportnykh mashin № 035.15 PP [The program of calculation of traction performance linear motion of transport vehicles] / VNIITrasmash. –SPb., 2005. (rus.)

5. **Кузнецов И.С., Усов О.А., Корольков Р.Н., Белоутов Г.С.** Programma rascheta predelnoj kharakteristiki ravnomernogo poverota transportnoy mashiny № 035.20 PP [The calculation program limiting characteristic uniform rotation transport car] / VNIITrasmash. SPb., 2005.

6. **ОСТ В3-6889-97.** Mashiny gusenichnyye voyennyye. Transmissii voyennyykh gusenichnykh mashin.

Obshchiye tekhnicheskiye trebovaniya[V3-6889-97 industry standard. Machinery tracked military. Transmissions military tracked vehicles. General specifications] / VNIITransmash. SPb., 1997. (rus.)

7. **Кузнецов И.С., Усов О.А., Корольков Р.Н., Белоутов Г.С.** Programma rascheta dinamicheskikh protsessov v perekhodnykh rezhimakh raboty motorno-transmissionnykh ustanovok transportnykh mashin № 035.03 PP [The program of calculation of dynamic processes in the transition modes engine-transmission systems of transport vehicles] / VNIITransmash, SPb., 2014. (rus.)

8. **ОСТ В3-5971-94.** Transmissii voyennyykh gusenichnykh mashin. Metod rascheta dinamicheskikh protsessov v perekhodnykh rezhimakh raboty. [ОСТ В3-5971-94. Transmissions military tracked vehicles. The method of calculation of dynamic processes in the transition modes.] / VNIITM, SPb., 1994. (rus.)

9. **Белоутов Г.С., Гусев М.Н., Усов О.А.** Programma rascheta dinamicheskikh protsessov v perekhodnykh rezhimakh raboty motorno-transmissionnykh ustanovok transportnykh mashin [The program of calculation of dynamic processes in the transition modes engine-transmission systems of transport vehicles]. *Aktualnyye problemy zashchity i bezopasnosti: Trudy desyatoy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii RARAN* (1–4 aprelya 2007 g.) T.3. *Bronetankovaya tekhnika i vooruzheniye.*, SPb: Izd-vo RARAN, 2007. S. 204–207(rus.)

10. **Рождественский С.В., Усов О.А.** Otsenka skorostnykh vozmozhnostey tanka v boyu po kriteriyam maksimalnoy podvizhnosti [Evaluation of high-speed capabilities of the tank in the battle on the criteria of maximum mobility]. *Trudy semnadtsatoy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii RARAN* (1–4 aprelya 2014g.) T.3. *Bronetankovaya tekhnika i vooruzheniye.* M: Izd-vo RARAN, 2014. S. 131–135.(rus)



СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ/AUTHORS

УСОВ Олег Александрович – кандидат технических наук генеральный директор Открытого акционерного общества «Всероссийский научно-исследовательский институт транспортного машиностроения».

198323, Санкт-Петербург, ул. Заречная, д.2.
E-mail: usov496@mail.ru

USOV Oleg A. – Public joint-stock company Russian Mobile Vehicle Engineering Institute.
2, Zarechnaya St., St. Petersburg, 198323.
E-mail: usov496@mail.ru

БЕЛОУТОВ Геннадий Сергеевич – кандидат технических наук ведущий научный сотрудник открытого акционерного общества «Всероссийский научно-исследовательский институт транспортного машиностроения».

198323, Санкт-Петербург, ул. Заречная, д.2.
E-mail: tm@vniittransmash.ru

BELOUTOV Gennadii S. – Public joint-stock company The Russian Mobile Vehicle Engineering Institute.
2, Zarechnaya St., St. Petersburg, 198323.
E-mail: tm@vniittransmash.ru

КОРОЛЬКОВ Рудольф Николаевич – кандидат технических наук ведущий инженер Открытого акционерного общества «Всероссийский научно-исследовательский институт транспортного машиностроения».

198323, Санкт-Петербург, ул. Заречная, д.2.
E-mail: aleksandr.loyko@inbox.ru

KOROL'KOV Rudolf N. – Public joint-stock company The Russian Mobile Vehicle Engineering Institute.
2, Zarechnaya St., St. Petersburg, 198323.
E-mail: aleksandr.loyko@inbox.ru

ЛОЙКО Александр Владимирович – инженер Открытого акционерного общества «Всероссийский научно-исследовательский институт транспортного машиностроения».

198323, Санкт-Петербург, ул. Заречная, д.2.
E-mail: aleksandr.loyko@inbox.ru

LOYKO Aleksandr V. – Public joint-stock company Russian Mobile Vehicle Engineering Institute.
2, Zarechnaya St., St. Petersburg, 198323.
E-mail: aleksandr.loyko@inbox.ru