

DOI 10.5862/JEST/17

УДК 623.438.3–23

О.А. Усов, Г.С. Белоутов, Р.Н. Корольков, А.В. Лойко

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОЕННОЙ ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ОПЕРАТИВНОЙ ПОДВИЖНОСТИ И ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ

О.А. Usov, G.S. Beloutov, R.N. Korol'kov, A.V. Loyko

COMPARATIVE ANALYSIS OF MILITARY TRACKED VEHICLES WITH ELECTROMECHANICAL AND MECHANICAL TRANSMISSION IN TERMS OF OPERATIONAL MOBILITY AND FUEL EFFICIENCY

Приведены рациональные виды рабочей моментной характеристики двигателя, обеспечивающие его работу в экономичном режиме. Дана краткая характеристика тестовой трассы. Результаты моделирования движения военной гусеничной машины (ВГМ) по этой трассе используются для выбора рабочей моментной характеристики. Основным критерием при выборе является расход топлива в процессе движения по трассе. Представлены результаты расчета движения ВГМ с электромеханической трансмиссией по тестовой трассе для четырёх видов рабочей моментной характеристики двигателя и обоснован наиболее приемлемый вариант. Приведены основные результаты расчета режимов работы и нагружения агрегатов МТУ при эксплуатации ВГМ в четырех вариантах среднестатистических условий. Расчет выполнен как для ВГМ с ЭМТ, так и с механической трансмиссией. Сопоставление результатов расчета показывает существенное преимущество электромеханической трансмиссией перед механической трансмиссией по показателям подвижности и топливной экономичности в различных условиях эксплуатации.

ВОЕННАЯ ГУСЕНИЧНАЯ МАШИНА; ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ ТРАНСМИССИЯ; МЕХАНИЧЕСКАЯ ТРАНСМИССИЯ; ОПЕРАТИВНАЯ ПОДВИЖНОСТЬ ВГМ; ТОПЛИВНАЯ ЭКОНОМИЧНОСТЬ; РАБОЧАЯ МОМЕНТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДВИГАТЕЛЯ; ТЕСТОВАЯ ТРАССА; СРЕДНЕСТАТИСТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ.

The article presents the types of rational working torque characteristics of the engine ensuring its operation in economy mode. We have given a brief description of the test track, with the results of motion simulation of a military tracked vehicle used to select the operating characteristics of the moment. The basic factor for choosing the working torque characteristics is fuel consumption while driving on the track. The paper reveals the results of calculating the movement of the military tracked vehicle with the electromechanical transmission on the test track for four types of working torque characteristics of the engine and substantiates the most suitable option. The main results of calculating the operating modes and loading of motor transmission compartment units through the operation of the military tracked vehicle in four average conditions are presented. The calculation is made for the military tracked vehicles with electromechanical transmission and with manual transmission. Comparison of the calculation results shows the significant advantage of the electromechanical transmission over the mechanical transmission in terms of mobility and fuel efficiency in different operating conditions.

MILITARY TRACKED VEHICLES; ELECTROMECHANICAL TRANSMISSION; MANUAL TRANSMISSION; OPERATIONAL MOBILITY; FUEL EFFICIENCY; WORKING MOMENT CHARACTERISTICS OF ENGINE; TEST TRACK; AVERAGE OPERATING CONDITIONS.

Рассматривается вариант военной гусеничной машины (ВГМ) с электромеханической трансмиссией (ЭМТ) и гибридной силовой установкой (ГСУ). ЭМТ разработана на основе ме-

тодики [1] как альтернатива механической трансмиссии (МТ). Все ее характеристики приведены в [2]. Основной целью при разработке ЭМТ было повышение характеристик подвижности и топливной экономичности ВГМ за счет использования ЭМТ с гибридной силовой установкой. При этом оценка показателей ВГМ с ЭМТ ведется в сравнении с ВГМ, имеющей двигатель максимальной мощностью 1109 кВт (1500 л.с.) и механическую трансмиссию, которая имеет гидрообъемный механизм поворота, восемь передач переднего хода и полный реверс.

Сравнительный анализ функциональных и динамических характеристик рассматриваемых вариантов трансмиссий, представленный в [3], показал, что по всем характеристикам ВГМ с ЭМТ и ГСУ соответствует требованиям [4] и превосходит ВГМ с МТ.

Цель настоящей статьи – расчетная оценка показателей подвижности и топливной экономичности ВГМ с ЭМТ и ГСУ в сопоставлении с ВГМ, имеющей МТ. Методика расчета расходов топлива дизельного двигателя на произвольном режиме изложена в [5].

Особенность рассматриваемой ЭМТ – отсутствие жесткой связи коленчатого вала теплового двигателя с ведущими колесами ВГМ. Это позволяет при движении в любых условиях обеспечить работу двигателя на экономичном режиме путем реализации с помощью системы управления ЭМТ определенной рабочей моментной характеристики двигателя. Такой характеристикой может быть одна из следующих рациональных характеристик:

постоянная регуляторная характеристика, проходящая через «ядро» топливно-мощностной характеристики ($i=1$);

постоянная, но произвольная регуляторная характеристика, не проходящая через «ядро» ($i=2$);

характеристика в виде возрастающей линейной зависимости крутящего момента от частоты вращения вала двигателя, проходящая через «ядро» и режим максимальной мощности двигателя ($i=3$);

характеристика в виде зависимости крутящего момента двигателя от частоты вращения его вала, проходящая через значения параметров работы двигателя с наименьшим удельным рас-

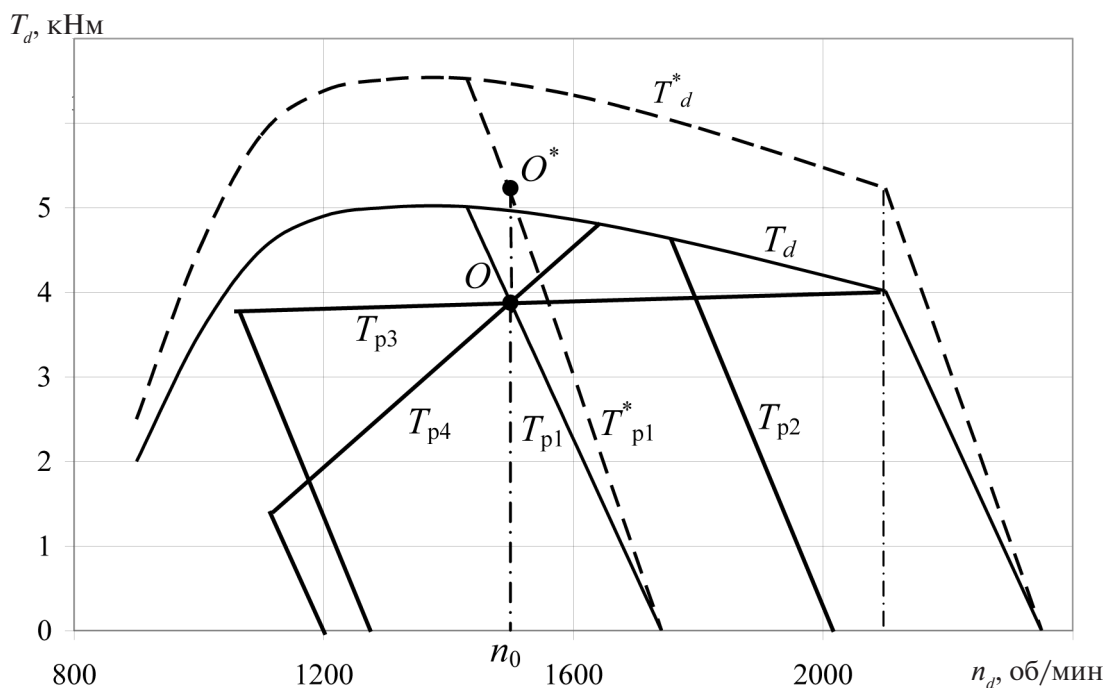


Рис. 1. Характеристики двигателя для ЭМТ ВГМ при четырех вариантах рабочей моментной характеристики $T_{pi} (i = 1, \dots, 4)$; O и O^* – положения «ядра» топливно-мощностной характеристики.

— $N_{\max} = 928$ кВт; - - - $N_{\max} = 1120$ кВт

ходом топлива, включая и внешнюю характеристику ($i = 4$).

Скоростной рабочий диапазон двигателя при 3-м и 4-м видах управления ограничивается заданием крайних регуляторных характеристик. Подробно приведенные виды управления рассмотрены в [6].

Для рассматриваемой ЭМТ внешняя и варианты рабочих моментных характеристик, полученные в соответствии с [7], приведены на рис. 1. Выбор варианта управления тепловым двигателем проведен на основе анализа результатов моделирования движения ВГМ с ЭМТ по тестовой трассе при приведенных на рис. 1 рабочих моментных характеристиках управления.

Расчетная тестовая трасса сформирована для сравнительной оценки по показателям подвижности и топливной экономичности ВГМ с различными вариантами моторно-трансмиссионной установки. Она представляет собой среднестатистическую комбинацию трех типов дорог (автомобильные дороги, полевые автомобильные и полевые дороги) и включает наиболее представительные виды ограничений скорости движения. Описание трассы и методика моделирования движения по ней представлены в [8], а методика расчета средней скорости и расходов топлива – в [9].

В табл. 1 приведены результаты расчета движения по тестовой трассе для различных вариантов управления тепловым двигателем. В таблице обозначены: V_{cp} – средняя скорость

движения ВГМ; N_{dcp} – средняя реализуемая мощность теплового двигателя при движении ВГМ по тестовой трассе; G_{100} – расход топлива за 100 км пробега по тестовой трассе, $\bar{t}_{\Sigma тр}$ – суммарное относительное время режимов разгона и торможений; n_{xx} – частота вращения вала двигателя на холостом ходу при его работе на регуляторной характеристике принятого закона управления.

Расчет второго варианта управления выполнен для нескольких значений регуляторной характеристики (разные значения n_{xx}). Первый вариант управления с регуляторной характеристикой, проходящей через «ядро» топливно-мощностной характеристики теплового двигателя, является фактически частным случаем второго варианта.

Анализ приведенных в табл. 1 результатов расчета показывает, что по формальным признакам наиболее экономичными являются первый вариант управления и второй, приближенный к первому, т. е. постоянная регуляторная характеристика, по которой происходит регулирование теплового двигателя, должна проходить через «ядро» топливно-мощностной характеристики (первый вариант управления) или даже левее «ядра» (второй вариант управления с $n_{xx} = 1550$ об/мин в табл. 1). Однако подобная «экономичность» приводит к существенному падению тяговых характеристик машины. Максимально используемая мощность двигателя при первом варианте управления составляет всего

Таблица 1

Характеристики подвижности и топливной экономичности ВГМ с ЭМТ при движении по тестовой трассе

Вариант управления		V_{cp} , км/ч	N_{dcp} , кВт	G_{100} , кг	$\bar{t}_{\Sigma тр}$
i	n_{xx} , об/мин				
1	1741	36,34	573,0	341,0	0,0772
1*	1741	38,07	613,2	353,3	0,0830
2	1550	34,92	530,3	319,6	0,0710
	1750	36,40	574,1	341,7	0,0773
	1950	37,57	602,6	367,1	0,0818
	2150	37,96	611,2	400,8	0,0831
	2350	38,07	615,2	449,1	0,0832
3	1252	38,07	613,3	356,3	0,0832
4	1200	38,07	609,1	346,6	0,0832

754,6 кВт при максимальном значении 928 кВт. Это не позволяет двигаться из-за отсутствия силы тяги на скоростях 65–75 км/ч. Существенно (на 9–10 %) снижается средняя скорость ВГМ при движении на дорогах с твердым покрытием, да и на тестовой трассе средняя скорость на 4,5 % ниже, чем в вариантах управления с максимальным использованием мощности теплового двигателя (варианты 3 и 4).

В табл. 1 приведена дополнительная строка для первого варианта управления (вариант 1*) при мощности двигателя, увеличенной до уровня, обеспечивающего такие же тяговые характеристики, как и в вариантах управления 3 и 4 при исходном двигателе. Максимальную мощность теплового двигателя при сохранении подобию всех его характеристик пришлось увеличить с 928 до 1120 кВт. В этом случае первый вариант управления уже не является наиболее экономичным, уступая 2,0 % четвертому варианту по расходу топлива на 100 км пробега.

Из приведенных в табл. 1 результатов расчета видно, как при втором варианте управления по мере смещения регуляторной характеристики вправо (по мере роста n_{xx}) увеличиваются расходы топлива и соответственно снижается экономичность работы ЭМТ. Пример второго варианта управления с $n_{xx} = 2350$ об/мин (постоянная работа на предельной регуляторной характеристике) приведен в таблице как заведомо самый неэкономичный. Расчетное значение расхода топлива на 100 км пробега (449,1 кг) при этом на 29,6 % выше, чем при самом экономичном – четвертом – варианте управления (346,6 кг). Можно сказать, что при сохранении тяговых характеристик машины значения расходов топлива на 100 км пробега по тестовой трассе – 449,1 и 346,6 кг – это граничные значения расходов, выход за пределы которых маловероятен при варьировании характеристик законов управления.

Следует особо отметить, что сопоставление двух конкурентных законов управления (третий и четвертый) показало, что теоретически оптимальный четвертый вариант управления обеспечивает по сравнению с третьим вариантом снижение расхода топлива на 2,8 %. В связи с этим сопоставительный анализ характеристик

подвижности ВГМ с механическими и электро-механическими трансмиссиями выполнен для четвертого варианта управления теплового двигателя в составе ЭМТ. Результаты расчета приведены в табл. 2.

Приведенные в табл. 2 данные свидетельствуют, что ВГМ с электромеханической трансмиссией при движении по тестовой трассе превосходит по всем основным характеристикам подвижности ВГМ с механической трансмиссией.

Таблица 2

Характеристики подвижности и топливной экономичности ВГМ с МТ и ЭМТ при движении по тестовой трассе

Вариант ВГМ	V_{cp} , км/ч	G_{100} , кг	$\bar{t}_{\Sigma тр}$
ВГМ с МТ	36,79	392,6	0,1081
ВГМ с ЭМТ	38,07	346,6	0,0832

Средняя скорость у ВГМ с ЭМТ на 3,50 % выше, чем у ВГМ с МТ. Это объясняется лучшими разгонными и тормозными характеристиками ВГМ с ЭМТ. Она быстрее осуществляет переход с участков трассы, где ограничена скорости движения, на участки установившегося движения с повышенной скоростью и обратный переход, когда требуется снижение скорости по условиям безопасности движения. Об этом можно судить по приведенному в табл. 2 параметру $\bar{t}_{\Sigma тр}$ – относительному времени режимов разгона и торможения. У ВГМ с МТ это время в 1,30 раза больше, чем у ВГМ с ЭМТ. Это приводит к снижению средней скорости движения.

Еще более ощутимо преимущество ВГМ с ЭМТ по экономичности движения. Расход топлива на 100 км пробега у нее составляет 346,6 кг, что на 11,7 % ниже, чем у ВГМ с механической трансмиссией. Главная причина этого – работа теплового двигателя в более экономичных режимах по сравнению с двигателями, имеющими механические трансмиссии. Это компенсирует даже потери, связанные с более низким коэффициентом полезного действия ЭМТ по сравнению с МТ.

Наибольший интерес в рамках поставленной задачи исследований представляет анализ вли-

яния различных статистических условий эксплуатации на характеристики подвижности ВГМ с электромеханической трансмиссией и гибридной силовой установкой, а также сопоставление с аналогичными характеристиками ВГМ с механической трансмиссией.

Основная оценка эффективности ВГМ по показателям подвижности проведена по результатам расчета движения ВГМ, моделировавшего при длительном пробеге (марш) и среднестатистической эксплуатации: четыре варианта дорожных условий;

усредненные дорожные условия, соответствующие дорожным условиям проведения контрольно-войсковых испытаний в 70-х годах прошлого столетия (первый вариант условий эксплуатации – индекс $i_{yc} = 1$);

дорожные условия, характерные для движения по местности и усредненным дорожным условиям трасс учебно-боевых групп (индекс $i_{yc} = 2$);

совокупность автомобильных дорог различной категории (индекс $i_{yc} = 3$);

дороги с твердым покрытием (индекс $i_{yc} = 4$).

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

Расчеты режимов работы и нагруженности агрегатов моторно-трансмиссионной установки (МТУ) в среднестатистических условиях эксплуатации для обеих ВГМ проведены по методу [10].

Основные результаты расчетов сведены в табл. 3, где использованы следующие обозначения: V_{cp} – средняя скорость движения ВГМ; G_{100} – расход топлива за 100 км пробега в процессе чистого движения (числитель) и с учетом работы двигателя на стоянке (знаменатель); ΔN_{cp} – среднее значение потерь мощности в агрегатах трансмиссии; $\eta_{эф}$ – средняя эффективность (среднее значение коэффициента полезного действия трансмиссии).

Суммарные потери мощности в ЭМТ больше примерно в 2,6 раза, чем в МТ, и составляют в среднем 117,7 кВт. При этом доля потерь мощ-

Таблица 3

Характеристики подвижности и топливной экономичности ВГМ в различных статистических условиях эксплуатации

Вариант статистических условий эксплуатации i_{yc}	Расчетные параметры	Тип ВГМ	
		ВГМ с МТ	ВГМ с ЭМТ
1	V_{cp} , км/ч	36,31	39,08
	G_{100} , кг	489,8/505,8	452,8/463,5
	ΔN_{cp} , кВт	45,3	134,3
	$\eta_{эф}$, %	93,8	83,3
2	V_{cp} , км/ч	22,52	23,28
	G_{100} , кг	618,9/656,1	557,3/583,5
	ΔN_{cp} , кВт	35,3	106,9
	$\eta_{эф}$, %	93,5	81,5
3	V_{cp} , км/ч	41,29	46,66
	G_{100} , кг	368,1/384,1	350,4/358,9
	ΔN_{cp} , кВт	37,0	125,9
	$\eta_{эф}$, %	94,2	83,2
4	V_{cp} , км/ч	53,58	58,70
	G_{100} , кг	293,3/309,3	249,5/259,6
	ΔN_{cp} , кВт	45,6	113,6
	$\eta_{эф}$, %	93,0	83,4

ности в механической части ЭМТ не превосходит 12,5 % (примерно 16 кВт), что практически в три раза меньше, чем в МТ. Это позволяет уменьшить параметры гидросистемы трансмиссии, в том числе и объем маслобака. Система охлаждения электроагрегатов ЭМТ объединяется с системой охлаждения теплового двигателя без увеличения параметров последней. Применение электропривода вентилятора позволяет обеспечить оптимальный тепловой режим всех силовых агрегатов.

Приведенные в табл. 3 данные свидетельствуют, что ВГМ с электромеханической трансмиссией при всех вариантах статистических условий эксплуатации по всем основным характеристикам подвижности превосходит ВГМ с механической трансмиссией. Как и при движении по тестовой трассе, средняя скорость у него выше, чем у ВГМ с МТ, причем для разных вариантов эксплуатации процент превышения различен и колеблется от 3,3 % в варианте $i_{yc} = 2$ до 13,0 % в варианте $i_{yc} = 3$. Как и в случае тестовой трассы, это объясняется лучшими разгонными и тормозными характеристиками ВГМ с ЭМТ.

Топливная экономичность ВГМ с ЭМТ зависит от вида эксплуатации и может колебаться от 6,6 до 16,1 %. Наименьший эффект по топлив-

ной экономичности (6,6 %) получен для третьего варианта статистических условий эксплуатации ($i_{yc} = 3$). Для всех остальных рассмотренных статистических условий эксплуатации топливная экономичность ВГМ с ЭМТ находится в диапазоне 8,4–16,1 %. Следует отметить, что имеющиеся в литературе [11] данные о повышении топливной экономичности до 30 % при использовании ЭМТ с ГСУ представляются завышенными. Столь значительный эффект по топливной экономичности может быть достигнут только за счет существенного увеличения энергоемкости накопителей энергии (НЭ) и осуществления их заряда перед движением от внешних источников энергии.

При проектировании рассматриваемой ЭМТ с ГСУ предполагалось, что мощность НЭ при движении используется только в редких случаях – при интенсивном разгоне и при преодолении тяжелых участков дороги с большим сопротивлением движению. В соответствии с этой концепцией и выбраны значения максимальной мощности теплового двигателя, энергоемкость НЭ и максимальная мощность, потребляемая от НЭ.

На рис. 2 приведены средние значения коэффициента использования мощности двигателя $K_{и} = N_{дв\ ср} / N_{дв\ max}$ и функции $F(V)$ распределе-

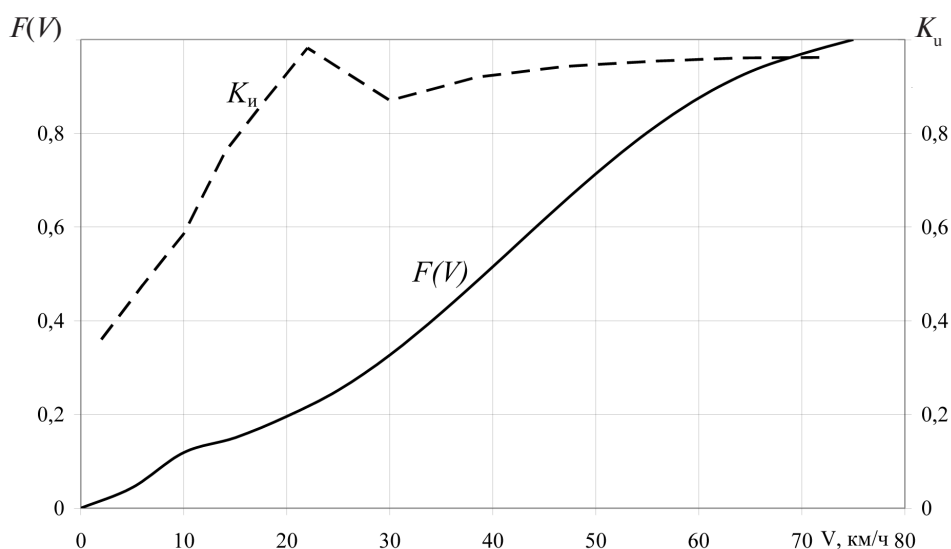


Рис. 2. Коэффициент использования мощности теплового двигателя $K_{и}$ (---) и функция распределения вероятности скорости движения $F(V)$ (—) ВГМ с ЭМТ при эксплуатации по первому варианту дорожных условий

Таблица 4

Характеристика подвижности и топливной экономичности ВГМ с МТ и увеличенной мощностью двигателя

Вариант статистических условий эксплуатации, i_{yc}	Расчетные параметры	Значения параметров
1	V_{cp} , км/ч	37,95
	G_{100} , кг	477,9/494,4
2	V_{cp} , км/ч	23,26
	G_{100} , кг	608,0/646,4
3	V_{cp} , км/ч	44,78
	G_{100} , кг	354,3/370,7
4	V_{cp} , км/ч	56,22
	G_{100} , кг	283,6/300,0

ния вероятности скорости движения ВГМ с ЭМТ при первом варианте условий эксплуатации.

Как видно из рис. 2, средняя нагрузка теплового двигателя в наиболее используемом скоростном интервале находится в диапазоне 0,9–1,0 от максимальной, что свидетельствует о достаточном и рациональном выборе параметров двигателя и НЭ.

Заряд НЭ происходит в процессе движения при торможении. Однако, как показал расчет, этого недостаточно. Дополнительный заряд НЭ должен производиться на стоянках (при расчете возможная подзарядка НЭ при движении в условиях малой загрузки теплового двигателя не проводилась).

Сравнение расхода топлива проведено с учетом работы двигателя на стоянке, что позволяет учесть дополнительный расход топлива на заряд НЭ.

Следует отметить, что у ВГМ с МТ тяговая характеристика несколько ниже, чем требуется по [4]; в частности, в скоростном диапазоне 70–75 км/ч она ниже в 1,2–1,3 раза. Это сказывается на сравнительных показателях рассматриваемых машин. Поэтому проведены дополнительные расчеты движения ВГМ с МТ в

среднестатистических условиях эксплуатации при использовании на машине двигателя повышенной мощности $N_{дв} = 1170$ кВт, обеспечивающего полное соответствие тяговой характеристики требованиям [4]. Результаты этих расчетов приведены в табл. 4 и также свидетельствуют о преимуществе ВГМ с ЭМТ.

Выводы

Повышенные характеристики приемистости ВГМ с ЭМТ – интенсивные разгоны и торможения – сказываются на средней скорости движения. На любых дорогах и при любых статистических условиях эксплуатации она выше, чем у соответствующей ВГМ с МТ. Увеличение средней скорости может достигать 13,0 %.

Наиболее ощутимы преимущества ВГМ с ЭМТ по сравнению с аналогичной ВГМ с МТ в топливной экономичности. Реализация предлагаемого управления тепловым двигателем при движении по тестовой трассе обеспечивает у ВГМ, имеющей ЭМТ снижение расхода топлива на 11,7 % по сравнению с ВГМ с МТ, а для наиболее типичных вариантов статистических условий эксплуатации оно может колебаться от 6,6 до 16,1 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Усов О.А., Белоутов Г.С., Гусев, М.Н., Корольков Р.Н., Лойко А.В.** 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 // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2015. №2(219). С. 167–174.
3. **Усов О.А., Белоутов Г.С., Корольков Р.Н., Лойко А.В.** Функциональные и динамические характеристики ВГМ с электромеханической трансмиссией и гибридной силовой установкой // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2015. №3(226). С. 121–131. DOI 10.5862/JEST.14.
4. **ОСТ В3-6889-97.** Машины гусеничные военные. Трансмиссии военных гусеничных машин. Общие технические требования / ВНИИТрансмаш. СПб., 1997.
5. **Белоутов Г.С., Корольков Р.Н., Усов О.А.** Модель расчета расхода топлива дизельного двигателя на произвольном режиме // Актуальные проблемы защиты и безопасности: Труды пятнадцатой всероссийской научно-практической конференции РАРАН (1–4 апреля 2012 г.) Т. 3. Бронетанковая техника и вооружение. М.: Изд-во РАРАН, 2012. С. 197–201.
6. **Усов О.А., Лойко А.В.** Основные варианты управления дизельным двигателем военных гусеничных машин с электромеханической трансмиссией // Труды Всероссийской конференции по проблемам науки и технологий, посвященной 70-летию Победы. Миасс, 2015. С. 98–106.
7. **Усов О.А., Корольков Р.Н., Лойко А.В.** Математическая модель дизельного двигателя для расчета режимов работы моторно-трансмиссионных установок ВГМ // Труды Всероссийской конференции по проблемам науки и технологий, посвященной 70-летию Победы. Миасс, 2015. С. 114–121.
8. **Усов О.А., Корольков Р.Н.** Метод расчета средней скорости и расхода топлива при движении ВГМ по тестовой трассе // Труды шестнадцатой Всероссийской научно-практической конференции. Т. 3. Бронетанковая техника и вооружение. М.: Изд-во РАРАН, 2013. С. 164–172.
9. **Усов О.А., Белоутов Г.С., Корольков Р.Н.** Расчетный метод определения показателей подвижности и топливной экономичности для сравнительной оценки транспортных машин // Труды Всероссийской конференции по проблемам науки и технологий, посвященной 70-летию Победы. Миасс, 2015. С. 56–67.
10. **ОСТ В3-5969-92.** Трансмиссии ВГМ. Метод расчета характеристик вероятностных режимов работы ВНИИТМ. СПб., 1992.
11. All Electric Vehicle Study. All Electric Combat Vehicles (AECV) for Future Application. July 2004.

REFERENCES

1. **Usov O.A., Beloutov G.S., Gusev M.N., Korolkov R.N., Loyko A.V.** Osnovnyye varianty skhemy elektromekhanicheskoy transmissii gibridnogo tipa i metodika opredeleniya parametrov yeye agregatov dlya voyennykh gusenichnykh mashin The main variants of the hybrid electromechanical transmission tupe and method of determining the parameters of its units for military tracked vehicles. *Aktualnyye problemy zashchity i bezopasnosti: Trudy semnadsatoy 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. **Usov O.A., Gusev M.N., Loyko A.V., Makarov A.S.** Elektromekhanicheskaya transmissiya dlya VGM s gibridnoy silovoy ustanovkoy. [Electromechanical transmission for military tracked vehicle with hybrid power plant]. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU.* 2015. №2(219). S. 167–174. (rus)
3. **Usov O.A., Beloutov G.S., Korolkov R.N., Loyko A.V.** Funktsionalnyye i dinamicheskiye kharakteristiki VGM s elektromekhanicheskoy transmissiyey i gibridnoy silovoy ustanovkoy. [Dynamic and functional specifications of a military tracked vehicle with electromechanical transmission and a hybrid power unit]. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU.* 2015. №3(220). S. 121–131. DOI 10.5862/JEST.14. (rus)
4. **OST V3-6889-97.** Mashiny gusenichnyye voyennyye. Transmissii voyennykh gusenichnykh mashin. Obshchiye tekhnicheskiye trebovaniya [V3-6889-97 industry standard. Machinery tracked military. Transmissions military tracked vehicles. General specifications] / SPb., VNIITransmash. 1997. (rus)
5. **Beloutov G.S., Korolkov R.N., Usov O.A.** Model rascheta raskhoda topliva dizelnogo dvigatelya na proizvolnom rezhime. [The model for calculating the fuel consumption of the diesel engine on any mode.]. *Aktualnyye problemy zashchity i bezopasnosti: Trudy pyatnadsatoy vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii RARAN (1–4 aprelya 2012 g.) T. 3. Bronetankovaya tekhnika i vooruzheniye.* M.: Izd-vo RARAN, 2012. S. 197–201. (rus)

6. **Usov O.A., Loyko A.V.** Osnovnyye varianty upravleniya dizelnym dvigatelyem voyennykh gusenichnykh mashin s elektromekhanicheskoy transmissiyey. [Key management options diesel engine military tracked vehicles with electro-mechanical transmission.]. *Trudy Vserossiyskoy konferentsii po problemam nauki i tekhnologii, posvyashchennoy 70-letiyu Pobedy*. Miass. 2015. С. 98–106. (rus)

7. **Usov O.A., Korolkov R.N., Loyko A.V.** Matematicheskaya model dizelnogo dvigatelya dlya rascheta rezhimov raboty motorno-transmissionnykh ustanovok VGM. [Mathematical model of the diesel engine to calculate modes engine-transmission units military tracked vehicles.]. *Trudy Vserossiyskoy konferentsii po problemam nauki i tekhnologii, posvyashchennoy 70-letiyu Pobedy*. Miass., 2015. S. 114–121. (rus)

8. **Usov O.A., Korolkov R.N.** Metod rascheta sredney skorosti i raskhoda topliva pri dvizhenii VGM po testovoy trasse. [The method of calculating the average speed and fuel consumption when driving a military tracked vehicle

on the test track.]. *Trudy shestnadsatoy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. T. 3. Bronetankovaya tekhnika i vooruzheniye*. M.: Izd-vo RAPAN, 2013. S. 164–172.

9. **Usov O.A., Beloutov G.S., Korolkov R.N.** Raschetnyy metod opredeleniya pokazateley podvizhnosti i toplivnoy ekonomichnosti dlya sravnitelnoy otsenki transportnykh mashin. [Calculation method for determining the parameters of mobility and fuel efficiency for comparative assessment of transport vehicles.]. *Trudy Vserossiyskoy konferentsii po problemam nauki i tekhnologii, posvyashchennoy 70-letiyu Pobedy*. Miass, 2015. S. 56–67. (rus)

10. **OST V3-5969-92.** Transmissii VGM. Metod rascheta kharakteristik veroyatnostnykh rezhimov raboty. [V3-5969-92 industry standard. Transmissions military tracked vehicles. The method of calculation of probability characteristics of operation modes.] VNIITM. SPb, 1992. (rus)

11. All Electric Vehicle Study. All Electric Combat Vehicles (AECV) for Future Application. July 2004.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ/AUTHORS

УСОВ Олег Александрович – генеральный директор Открытого акционерного общества «Всероссийский научно-исследовательский институт транспортного машиностроения», канд. техн. наук, доц..
198323, Санкт-Петербург, ул. Заречная, д.2..
E-mail: usov496@mail.ru

USOV Oleg A. – Public joint-stock company The 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@vniitransmash.ru

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