

АНАЛИЗ ТРАНСМИССИЙ СОВРЕМЕННЫХ ЛЕГКОБРОНИРОВАННЫХ КОЛЕСНЫХ ВОЕННЫХ МАШИН И ИХ ВЛИЯНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ ПОДВИЖНОСТИ

1. Введение

Легкобронированные колесные военные машины (ЛКВМ) относятся к особому классу транспортных машин, которые предназначены для выполнения боевых задач воинскими подразделениями на больших пространствах, как с развитой сетью дорог, в условиях городов, так и на операционных направлениях вне дорог, в условиях бездорожья, а также в условиях сильных разрушений, затоплений и искусственных заграждений. В связи с этим современные образцы ЛКВМ должны надежно работать в боевой обстановке при различных дорожных и климатических условиях и обладать высокими параметрами подвижности, маневренности, проходимости, экономичности. По этой причине конструкторы и ученые непрерывно решают научно-технические задачи, которые направлены на повышение тактико-технических характеристик ЛКВМ.

Существует два основных подхода решения задач повышения параметров подвижности, проходимости и экономичности при модернизации ЛКВМ: 1^й – качественное улучшение конструкции энергетической установки и 2^й – совершенствование конструкции трансмиссии. Однако, в виду того, что в настоящее время на всех ЛКВМ, как правило, применяется дизельный двигатель, наиболее удовлетворяющий по совокупности ряда особых требований, предъявляемых к энергетическим установкам военных машин, то в последнее время выше перечисленные характеристики ЛКВМ повышают путем разработки трансмиссий с наилучшими параметрами. Таким образом, научно-технические задачи разработки и совершенствования конструкций трансмиссий для ЛКВМ остаются актуальными и в настоящее время.

2. Анализ публикаций

Трансмиссия на современной ЛКВМ представляет собой совокупность агрегатов и механизмов, которые связывают коленчатый вал двигателя с ведущими колесами машины для передачи потока мощности, вырабатываемой двигателем, и распределения ее между ведущими колесами. Она должна в первую очередь удовлетворять общим требованиям, предъявляемым к трансмиссиям транспортных машин. К ним относятся обеспечение высоких тягово-скоростных и топливо-экономичных характеристик транспортной машины, высокий коэффициент полезного действия (КПД), минимальные габаритные размеры и вес, высокая надежность в эксплуатации, простота и легкость управления, технологичность конструкции, малый объем обслуживания и ремонтпригодность [1].

Выполнение выше перечисленных требований к трансмиссиям ЛКВМ достигается путем выбора наиболее рациональной кинематической схемы трансмиссии для соответствующего вида машины, правильным ее расчетом, применением современных агрегатов, автоматизацией управления, качественной конструктивной обработкой узлов и деталей, современной технологией их изготовления, применением новых материалов. Поэтому конструкторами и учеными разработано, исследовано и внедрено на транспортных машинах большое разнообразие конструкций трансмиссий. В зависимости от способа передачи, изменения и распределения крутящего момента на ведущие колеса ЛКВМ трансмиссии делятся на механические, гидромеханические, гидрообъемные, гидро-объемно-механические, электрические и электро-механические [2]. В свою очередь следует учесть, что на современных ЛКВМ устанавливают дизельные двигатели мощностью от 120 до 600 кВт в зависимости от веса машины, который лежит в пределах от 7 до 35 т. А для обеспечения повышенной проходимости на ЛКВМ внедряют только конструкции трансмиссий, которые раздают поток мощности на все колеса. По этим причинам не каждый тип трансмиссии подходит для внедрения на рассматриваемом классе машин.

Например, механические вариаторы скорости привлекают внимание разработчиков трансмиссий для автомобилей благодаря их высокому КПД до 96 %, большому диапазону непрерывного регулирования. Однако они не способны передавать мощность более 120 кВт от двигателя к колесам транспортной машины. Поэтому механические вариаторы скорости пока что применяют только на легкой технике – мопеды, мотороллеры, снегоходы, а также легковые автомобили весом до 2,5 т [3]. Тем не менее, работы по совершенствованию конструкций механических вариаторов скорости продолжают, так как в них энергия вращения коленчатого вала двигателя не преобразуется ни в какой другой вид энергии, а лишь изменяется частота и крутящий момент, передаваемый от коленвала двигателя к колесам машины, что позволяет обеспечивать высокий КПД данного типа передачи [4].

Передавать достаточные мощности от дизельного двигателя к колесам машины способны гидромоторы или электродвигатели, используя соответственно энергию гидронасоса или электрического генератора. В паре гидронасос – гидромотор или генератор – электродвигатель образуют гидравлическую или электрическую передачи. Однако эти типы передач имеют низкие значения КПД, в пределах 57–83 % в зависимости от режима работы [5]. Это происходит из-за того, что энергия вращения коленчатого вала двигателя сначала преобразуется в давление жидкости (скоростной поток жидкости) или электрический ток (электромагнитное поле), а затем в энергию вращения ведущего колеса. Т.е. в передаче энергии от коленвала двигателя к ведущим колесам участвуют промежуточные носители энергии – рабочая жидкость, электрическое и магнитное поля. Кроме того, при передаче мощностей более 50 кВт гидромоторы и электродвигатели имеют большие габаритные размеры и массу. Тем не менее, гидравлическая и электрическая передачи до сегодняшнего дня являются незаменимыми при проектировании трансмиссий для колесных машин особо большой грузоподъемности имеющих массу до 100 тон и более – карьерные экскаваторы и самосвалы, тягачи и т.п. В этих случаях проблема стоит в отсутствии возможности механически передавать большую величину управляемого крутящего момента на колеса подобной машины. Поэтому параметры экономичности трансмиссии для данного класса машин уходят на второй план. Также следует учесть, что гидравлическая и электрическая передачи дают преимущество в выполнении компоновки полноприводных транспортных машин, так как отсутствуют жесткие механические связи между элементами трансмиссии. Это позволяет реализовать различные варианты компоновки машины – расположения энергетической установки и её систем, выполнить разное количество приводных осей и разные варианты колесной формулы, а также увеличить внутреннее полезное пространство в транспортной машине.

Для повышения КПД гидравлической и электрической передач, а также уменьшения габаритно-массовых размеров гидромоторов и электродвигателей конструкторы и ученые занимаются совершенствованием их конструкций и объединением гидравлических и электрических передач с планетарными механическими передачами. В результате чего появились так называемые комбинированные трансмиссии для автомобилей. К ним относятся гидромеханические, гидро-объемно-механические и электромеханические трансмиссии [3].

Анализ ЛКВМ, которые находятся на вооружении армий зарубежных стран и Украины, с точки зрения применяемых трансмиссий показал, что на данном классе транспортных машин серийно устанавливаются механическая ступенчатая трансмиссия с ручным управлением и автоматизированная гидромеханическая трансмиссия (ГМТ). Результаты анализа представлены в таблице 2.1.

Одновременно продолжаются опытно-конструкторские работы и исследования по внедрению гидро-объемно-механических и электромеханических видов трансмиссий для ЛКВМ.

С целью определения типа перспективной трансмиссии для рассматриваемого класса транспортных машин, выполним анализ технических характеристик существующих трансмиссий и оценим их влияние на подвижность машины.

3. Цель и постановка задачи

Целью настоящей работы является проведение сравнительного анализа конструктивных особенностей трансмиссий, применяемых на ЛКВМ, и их технических характеристик, а также поиск новых конструкторских решений для разработчиков трансмиссий, которые позволят повысить параметры подвижности ЛКВМ отечественного производства.

4. Анализ технических характеристик трансмиссий и их влияния на параметры подвижности ЛКВМ

Как уже было отмечено выше, некоторые производители ЛКВМ серийно устанавливают на машинах механические ступенчатые трансмиссии с ручным управлением. Это объясняется тем, что механическая ступенчатая трансмиссия обладает самым высоким КПД среди других типов трансмиссий, простотой конструкции, относительно небольшими габаритными размерами и массой, а также высокой надежностью в эксплуатации. Однако к недостаткам данной трансмиссии относят трудоемкость управления, особенно при наличии 6^{ти} и более передач, значительный объем технического обслуживания, повышенные динамические нагрузки на агрегаты и механизмы, ступенчатость изменения крутящего момента, подводимого к колесам.

В связи с ограниченным диапазоном рабочих частот вращения коленвала двигателя и фиксированным числом передач существующие механические ступенчатые трансмиссии изменяют крутящий момент, подводимый к колесам транспортной машины, не плавно, а ступенчато, что приводит к не оптимальному использованию мощности двигателя. В результате этого уменьшается средняя скорость движения транспортной машины, снижается ее проходимость. По этой причине, для обеспечения лучшей приспособляемости при движении в различных дорожных условиях в транспортной машине с механической ступенчатой трансмиссией желательно иметь в коробке передач как можно больше ступеней, особенно для машин весом более 10 т. Однако с увеличением числа передач усложняется конструкция механической

коробки передач и управление ею, кроме того снижается отказоустойчивость и ремонтпригодность. С другой стороны, увеличение числа передач приводит к ухудшению разгонной характеристики, поскольку время разгона до заданной скорости увеличивается на суммарное время переключения передач [27]. Существуют различные способы выбора передаточных чисел в трансмиссии, при этом, как правило, каждый из них оптимален только для определенного типа дорожных условий движения. Универсального способа выбора передаточных чисел для механической ступенчатой трансмиссии, обеспечивающего оптимальные параметры при любых условиях движения не существует. С целью экономии средств выбор оптимальных, с точки зрения заданного критерия, передаточных чисел ступенчатой трансмиссии, как правило, определяется в результате математического моделирования динамических процессов движения изделия с целью построения разгонных и тормозных характеристик, при этом разрабатывается математическая модель двигателя [28], трансмиссии и взаимодействия колёсного движителя с грунтом, имеющим заданные характеристики.

Перечисленные недостатки механической ступенчатой трансмиссии с ручным управлением оказывают меньшее влияние на параметры подвижности ЛКВМ оборудованной гидромеханической трансмиссией благодаря наличию в её составе гидродинамической передачи (комплексного гидротрансформатора). На ЛКВМ большое распространение получила конструкция гидромеханической трансмиссии с последовательным соединением блокируемого комплексного гидротрансформатора и механических узлов, которые применяются в механической ступенчатой трансмиссии [6]. Такая конструкция смогла объединить в себе положительные свойства механической ступенчатой и гидравлической бесступенчатой трансмиссий. С одной стороны возможность блокировать комплексный гидротрансформатор на стационарных режимах движения транспортной машины позволяет повышать величину КПД гидромеханической трансмиссии до уровня величины КПД механической ступенчатой трансмиссии. С другой стороны комплексный гидротрансформатор обеспечивает в определенных пределах плавное изменение крутящего момента, передаваемого на ведущие колеса транспортной машины, и частоты их вращения в зависимости от сопротивления движению [7]. Кроме того он выполняет функции сцепления, которое применяется на механических ступенчатых трансмиссиях. Поэтому сцепление в гидромеханической трансмиссии не требуется.

Также к достоинствам гидромеханической трансмиссии следует отнести: легкость ее автоматизации, что позволяет упростить управление движением; снижение пиковых динамических нагрузок в трансмиссии, в результате чего увеличивается ресурс работы ее элементов; обеспечение передачи крутящего момента от двигателя к ведущим колесам без разрыва потока мощности при разблокированном гидротрансформаторе, что позволяет увеличить среднюю скорость движения ЛКВМ в сравнении с применением механической ступенчатой трансмиссии с ручным управлением; исключение возможности непреднамеренной остановки двигателя – «заглохания» при тяжелых условиях движения машины, и надежная работа в различных дорожных и климатических условиях [8]. Следует отметить, что при движении на повышенных передачах с целью повышения КПД в гидромеханической трансмиссии, как указывалось выше, включается блокировка гидротрансформатора. В этом случае гидромеханическая трансмиссия приобретает все недостатки механической ступенчатой трансмиссии.

С целью определения степени влияния конструктивных особенностей механической ступенчатой трансмиссии с ручным управлением и гидромеханической трансмиссии с микропроцессорной системой автоматического управления на подвижность ЛКВМ рассмотрим критерии ее оценки. Среди количественных критериев оценки подвижности военных машин основными являются удельная мощность машины, максимальная и средняя скорости движения, время разгона до величины средней скорости движения, запас хода по топливу [9].

Для сравнения количественных критериев оценки подвижности военных машин возьмем ЛКВМ, которые разрабатывались и модернизировались в Государственном предприятии «Харьковское конструкторское бюро по машиностроению им. А.А. Морозова» (ГП «ХКБМ»), а также образцы изделий зарубежных производителей.

В ГП «ХКБМ» была выполнена модернизация изделий БТР-70 и БТР-80 с целью улучшения их тягово-скоростных и эксплуатационных характеристик, которые получили в последующем индексы обозначения БТР-70М и БТР-3Е1. А также разработаны новые изделия БТР-3 и БТР-4Е.

На изделия БТР-70М заменили два карбюраторных двигателя ЗМЗ-4905 мощностью 115 л.с. на один дизельный двигатель УТД-20 мощностью 300 л.с. с соответствующим подбором передаточных чисел согласующего редуктора с двумя механическими ступенчатыми коробками передач в трансмиссии.

На изделия БТР-3Е1 заменили дизельный двигатель ЯМЗ-238М2 мощностью 240 л.с. на дизельный двигатель немецкой фирмы DEUTZ BF6M1015FC мощностью 326 л.с. и заменили механическую пятиступенчатую коробку переключения передач на автоматическую гидромеханическую шестиступенчатую коробку переключения передач американской фирмы Allison MD 3066.

Изделие БТР-3 было разработано на основе изделия БТР-80, в котором установили дизельный двигатель УТД-20С1 и полноприводную механическую трансмиссию с пятиступенчатой коробкой передач и двухступенчатой раздаточной коробкой.

Изделие БТР-4Е является полностью новой разработкой ГП «ХКБМ». Для этого изделия Государственным предприятием «Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению» была разработана новая модель дизельного двигателя ЗТДЗ-А мощностью в 500 л.с., а предприятием ГП «ХКБМ» разработаны корпус машины, боевой модуль и внедрены целый ряд новых узлов и агрегатов, к которым также относится гидромеханическая трансмиссия с микропроцессорной системой автоматического управления, являющаяся собственной разработкой ГП «ХКБМ» [10].

Среди ЛКВМ, разработанных зарубежными производителями, для сравнения возьмем изделия с колесной формулой 6x6 или 8x8, которые имеют удельную мощность в пределах диапазона 19–25 л.с./т. К ним относятся российский БТР-90, изготовленный Арзамасским машиностроительным заводом, швейцарская Piranha IV компании Mowag, немецкий Fuchs II компании Rheinmetall Landsysteme, австрийский Pandur II компании Steyr-Daimler-Puch Spezialfahrzeug AG.

Количественные критерии оценки подвижности рассматриваемых выше моделей ЛКВМ приведены в таблице 4.1. Они были получены в результате выполнения анализа следующих источников информации [11]–[18].

Следует отметить, что показатели подвижности: удельная мощность машины, максимальная скорость движения, запас хода по топливу в первую очередь зависят от параметров максимальной мощности применяемого двигателя, частоты вращения коленчатого вала двигателя при максимальной мощности, удельного расхода топлива и количества возимого топлива в баках изделия. Влияние параметров трансмиссии: вес трансмиссии, передаточное отношение на высшей передаче, КПД трансмиссии в этом случае является второстепенным. Поэтому однозначно сказать о том, что из-за улучшения перечисленных параметров трансмиссии улучшились соответствующие показатели подвижности можно только в том случае, когда сравниваемые изделия будут иметь одинаковый вес и на них будут установлены дизельные двигатели одинаковой мощности и удельного расхода топлива. Однако в результате сравнения величин средней скорости движения машины и времени разгона до величины средней скорости движения с учетом удельной мощности машины однозначно можно дать оценку качества, установленной в изделии, трансмиссии.

Например, если взять ЛКВМ в таблице 4.1 удельной мощностью менее 23,8 л.с./т. с установленной на них автоматической гидромеханической трансмиссией и сравнить их величины средней скорости движения и времени разгона до средней скорости движения с соответствующими величинами изделия БТР-70М, то получаем, что применение гидромеханической трансмиссии с микропроцессорной системой автоматического управления существенно улучшает рассматриваемые показатели подвижности. Кроме того, все ЛКВМ, на которых установлена автоматическая гидромеханическая трансмиссия, имеют наименьшую минимальную скорость движения вперед в сравнении с изделиями БТР-70М и БТР-3, на которых установлена механическая ступенчатая трансмиссия с ручным управлением. Такую возможность дают конструктивные свойства применяемых комплексных гидротрансформаторов в гидромеханических трансмиссиях.

Еще одним показателем оценки подвижности ЛКВМ является их проходимость. Проходимость автомобиля делится на профильную и опорную. Профильная проходимость характеризует возможность преодолевать неровности пути, препятствия и вписываться в требуемую полосу движения. Опорная проходимость определяет возможность движения в ухудшенных дорожных условиях по деформируемым грунтам.

На проходимость машины влияют технические характеристики дизельного двигателя, трансмиссии и ходовой части, которые установлены на машине. В частности трансмиссия характеризуется способностью увеличения максимального крутящего момента развиваемого дизельным двигателем с последующей передачей и распределением его на ведущие колеса машины.

Для достоверной оценки влияния конструктивных особенностей разных видов трансмиссий на проходимость ЛКВМ необходимо сравнивать машины одинакового веса, с одинаковой удельной мощностью и с одинаковыми параметрами колесного движителя. Таких машин с указанными одинаковыми параметрами в таблице 4.1 нет. Однако, если сравнить технические характеристики изделий БТР-70М, БТР-3, БТР-3Е1 и БТР-4Е на соответствие их техническим требованиям в части проходимости, то все машины должны двигаться по грунтовой и песчаной дороге, преодолевать подъемы с максимальным углом 30°, вертикальную стенку высотой 0,5 м, водную преграду шириной без ограничения. При этом отметим, что изделие БТР-4Е имеет наибольшую массу и мощность двигателя среди сравниваемых ЛКВМ. А соответственно трансмиссия на изделии БТР-4Е обеспечивает увеличение и передачу на ведущие колеса наибольшей величины крутящего момента, развиваемого дизельным двигателем, среди сравниваемых ЛКВМ. Кроме того в результате ходовых испытаний изделия БТР-4Е было отмечено, что оно способно преодолевать вертикальную стенку высотой 0,6 м [19]. Преодоление естественной и искусственных преград изделием БТР-4Е показано на фотографиях рисунок 4.1.



Рисунок 4.1 – Преодоление преград изделием БТР-4Е

В результате сравнительного анализа конструктивных особенностей и технических характеристик механической ступенчатой трансмиссии с ручным управлением и гидромеханической трансмиссии с микропроцессорной системой автоматического управления, а также параметров подвижности ЛКВМ получаем, что по всем показателям наиболее подходящей для установки на ЛКВМ является автоматизированная гидромеханическая трансмиссия.

Проведенный анализ теоретических и экспериментальных работ [20]–[22] показал, что все больше специалистов в области проектирования трансмиссий для ЛКВМ предлагают отказаться от применения механической ступенчатой и автоматизированной гидромеханической трансмиссий, в которых выполняется общее распределение и управление подводимой мощности к ведущим колесам, и перейти к индивидуальному подводу мощности на каждое колесо и индивидуальному управлению ею. Это связано с тем, что возможности совершенствования механической ступенчатой и автоматизированной гидромеханической трансмиссий, при применении многоколесного движителя на машине, практически исчерпаны.

Индивидуальный подвод мощности к каждому колесу машины и индивидуальное управление им позволят повысить проходимость ЛКВМ, благодаря предотвращению буксования колес на разных дорожных покрытиях, повысить маневренность ЛКВМ, за счет реализации возможности выполнения поворота с радиусом равным половине ширины колеи машины (разворот на месте), а также позволят реализовать функции антиблокировочной, антипробуксовочной систем и системы курсовой устойчивости машины.

Принципиально конструкцию трансмиссии с индивидуальным управлением и подводом мощности к каждому ведущему колесу можно реализовать путем применения гидро-объемно-механической или электромеханической передачи. Однако в последнее время конструкторы и ученые в области разработки трансмиссий для ЛКВМ все больше отдают приоритет применению электромеханической передачи, хотя по габаритно-массовым характеристикам современные тяговые электродвигатели мощностью до 60кВт имеют удельную массу в диапазоне 2..3,5 кг/кВт, а гидромоторы – 0,5..1,5 кг/кВт [5]. Причиной этому является то, что гидрообъемную передачу используют в небольшом диапазоне низких скоростей движения машины, а на высоких скоростях движения ее отключают из-за особенностей рабочих процессов в гидрообъемных машинах. Также при разработке гидрообъемных передач необходимо детально разрабатывать ее вспомогательные системы и оборудование. К ним относятся бак для запаса рабочей жидкости, система подпитки, силовые элементы системы управления, клапаны, регуляторы расхода, система прокачки трансмиссии, система дренажа для сбора и отвода в бак утечек жидкости, радиатор для охлаждения рабочей жидкости, фильтры и т.д. В результате громоздкость конструкции вспомогательных систем и оборудования оборачиваются существенным падением КПД, повышением массогабаритных показателей гидрообъемных передач и машины в целом.

Еще одним не маловажным фактором активного внедрения электромеханических передач на ЛКВМ является появление накопителей с большой плотностью накопления электрической энергии и удельной мощностью [23]. Это позволило построить электромеханическую трансмиссию для ЛКВМ с индивидуальным подводом и управлением мощности к ведущим колесам на совершенно новых принципах работы, в которых заложены функции накопления кинетической энергии машины при движении ее на спуске и в режиме торможения, а также во время работы дизельного двигателя на холостом ходу с последующим использованием накопленной энергии в режимах движения машины с перегрузкой. Такой вид трансмиссий в настоящее время получил название гибридной электромеханической трансмиссии. Она включает в себя все элементы электромеханической трансмиссии, блок накопителей электрической энергии и микропроцессорную систему автоматического управления их взаимодействием.

Проведем сравнительный анализ влияния конструкций гибридной электромеханической и автоматизированной гидромеханической трансмиссий на параметры подвижности ЛКВМ.

В 2002 году компания General Dynamics Land Systems создала разведывательный 4-х колесный автомобиль Shadow RST-V с гибридной электромеханической трансмиссией на базе тактического автомобиля армии США HUMVEE и 8-ми колесную полноприводную ЛКВМ ANEAD [24]. Со слов представителей компании, в результате ходовых испытаний Shadow RST-V и HUMVEE было получено, что Shadow RST-V имеет запас хода в 1,45 раза больше чем HUMVEE, и Shadow RST-V проходит трассу с препятствиями за 15 мин. 50 с., а

HUMVEE ту же трасу проходить за 32 мин. Крім того, Shadow RST-V способен перемещаться на накопителях энергии без работающего дизельного двигателя до 30 км. О технических характеристиках ЛКВМ ANEAD имеется только общая описательная информация, а об особенностях конструкции ее гибридной электромеханической трансмиссии практически ничего не известно.

В 2013 году «Военно-промышленная компания» в рамках выполнения научно-исследовательской работы шифр «Крымск» разработала и испытала колесный макетный образец ЛКВМ с гибридной энергоустановкой и электромеханической трансмиссией на базе БТР-90 «Росток» [25]. В состав макетного образца входят корпус и ходовая часть БТР-90, дизельный двигатель с тяговым генератором вентильно-индукторного типа мощностью 300 кВт, блок молекулярных накопителей электрической энергии мощностью 80 кВт, восемь тяговых электродвигателей вентильно-индукторного типа с независимым возбуждением, номинальной мощностью 35 кВт и максимальной мощностью 40 кВт, бортовая микропроцессорная система управления с блоками силовой электроники и система охлаждения тяговых электрических машин и блоков силовой электроники [22].

В результате масса колесного макетного образца ЛКВМ без боевого модуля и защиты составила 22 т. Эта величина соответствует полной боевой массе БТР-90.

Макетный образец имеет максимальную скорость движения 97 км/ч и разгоняется до скорости 80 км/ч за 33 секунды.

БТР-90 имеет максимальную скорость движения 100 км/ч и разгоняется до скорости 80 км/ч за 49 секунд.

Запас хода по топливу у макетного образца составил 940 км при движении со средней скоростью 40 км/ч, а у БТР-90 – 800 км. Т.е. увеличился в 1,175 раза.

Обе машины БТР-90 и макетный образец преодолевают подъем углом 30°.

Возникает вопрос о запасе по величине силы тяги у макетного образца ЛКВМ на базе БТР-90 «Росток», в случае установки боевого модуля и защиты.

Рассчитаем максимальную силу тяги машины при получении максимального крутящего момента от восьми тяговых электродвигателей по формуле [26]:

$$P_{\text{тяги max}} = 8 \cdot \frac{M_{\text{ГЭД max}}}{R_{\text{вк}}} i_{\text{кр}} \eta_{\text{кр}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{тяги max}}$ – максимальная сила тяги машины, Н; $M_{\text{ГЭД max}}$ – максимальный крутящий момент на валу тягового электродвигателя, Н·м; $R_{\text{вк}}$ – радиус ведущего колеса, м; $i_{\text{кр}}$ – передаточное отношение колесного редуктора; $\eta_{\text{кр}}$ – КПД колесного редуктора.

Из источника информации [22] известно, что $M_{\text{ГЭД max}} = 610$ Н·м, $i_{\text{кр}} = 13,6$, $\eta_{\text{кр}} = 0,985$. Зададимся величиной $R_{\text{вк}} = 0,5$ м. В результате получим $P_{\text{тяги max}} = 130,744$ кВт. Для сравнения $P_{\text{тяги max}}$ у изделия БТР-4Е составляет 119,5 кВт.

Из формулы определения тяговых характеристик колесной машины найдем массу машины:

$$m = \frac{P_{\text{тяги max}}}{(f \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) \cdot 9,8}, \quad (2)$$

где m – масса машины в кг; $P_{\text{тяги max}}$ – максимальная сила тяги машины, Н; f – коэффициент сопротивления качению; α – угол наклона дороги к горизонту.

Принимаем $P_{\text{тяги max}} = 130$ кВт, $f = 0,045$ и $\alpha = 30^\circ$. В результате получаем $m = 24600$ кг. Таким образом, на макетный образец ЛКВМ можно добавить вес 2600 кг.

Если предположить, что вес защиты машины будет составлять до 1000 кг, то на такой макетный образец можно устанавливать боевые модули БАУ-23, Штурм и Парус, но при этом полученные преимущества по запасу хода и времени разгона несколько ухудшатся.

Таким образом, получаем, что в результате применения гибридной электромеханической трансмиссии на ЛКВМ в сравнении с применением автоматизированной гидромеханической трансмиссией увеличивается вес машины и соответственно уменьшается ее удельная мощность. Незначительно уменьшилась максимальная скорость движения машины. Это может быть исправлено путем изменения передаточных чисел колесных редукторов и увеличения скоростного диапазона тяговых электродвигателей. Увеличились запас хода машины, средняя скорость движения и уменьшилось время разгона. Улучшилась маневренность машины благодаря появлению возможности выполнять поворот с радиусом равным половине ширины колеи машины.

Также следует отметить, что имеются проблемы с отводом тепла от тяговых электродвигателей при температурах окружающей среды от +45 °С и выше. А это снижает надежность работы гибридной элек-

тримеханичної трансмісії в порівнянні з автоматизованою гидромеханичною. І ще одним недолугом даного типу трансмісії являється висока ціна виготовлення її складних частин. Вона приблизно в три рази дорожче виготовлення автоматизованою гидромеханичною трансмісії.

Тем не менше, роботи по вдосконаленню конструкцій гибридных електромеханичних трансмісій для ЛКВМ продовжуються. Оскільки вони наділяють даний клас машин новими бойовими властивостями: здатністю рухатися поки на невеликі відстані безшумно і з більш меншим тепловиділенням на накопичувачах енергії при неработаючому двигателі і можливістю в майбутньому застосування електроманітного озброєння, яке буде працювати на нових фізичних принципах, завдяки наявності на борту ЛКВМ потужного джерела електричної енергії і молекулярних накопичувачів енергії, котрі дозволяють акумулювати і за короткий проміжок часу звільнити її великі об'єми.

5. Висновки

Проведений аналіз конструктивних особливостей різних видів трансмісій, котрі встановлюють на ЛКВМ, їх технічних характеристик і параметрів подвижності ЛКВМ показав:

1. Гибридна електромеханична трансмісія забезпечує найкращу подвижність ЛКВМ в частині збільшення запасу ходу машини, її середньої швидкості руху і маневрування, але при цьому у неї низька надійність роботи при температурах оточуючої середовища більш +45 °С, і вона має високу ціну виготовлення. По цим причинам даний тип трансмісії поки ще серійно не встановлюється на ЛКВМ, і продовжуються науково-дослідницькі роботи по вдосконаленню конструкції тягового електродвигача для ЛКВМ.

2. Друге місце по підвищенню подвижності на ЛКВМ займає гидромеханична трансмісія з мікропроцесорною системою автоматичного управління. Вона також надійно працює в різних дорожніх і кліматичних умовах, во всьому діапазоні температур оточуючої середовища і не значуще дорожче в виготовленні порівняно з ступінчастою механічною трансмісією. Тому, в нинішній час даний тип трансмісії серійно встановлюється на більшості ЛКВМ.

Література

1. Многоцелевые гусеничные и колесные машины: Конструкция: Учеб. для вузов/ Г.И. Гладов, А.В. Вихров, В.В. Кувшинов, В.В. Павлов; Под редакцией Г.И. Гладова. – М.: Транспорт, 2001. – 272 с.
2. Проектирование полноприводных колесных машин: В 2 т. Т. 1. Учебн. для вузов / [Б.А. Афанасьев, Н.Ф. Бочаров, Л.Ф. Жеглов и др.]; под ред. А.А. Полунгина. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 488 с.
3. Динамика транспортно-тяговых колесных и гусеничных машин / [Александров Е.Е., Волонцевич Д.О., Карпенко В.А. и др.]; под ред. А.Н. Туренко. – Харьков: ХГАДТУ(ХАДИ), 2001. – 642 с.
4. Супервариатор – перспективная бесступенчатая коробка передач для автомобилей / Н.В. Гулия, И.В. Бессуднов // Наука и техника. – 2004 – №3. – С. 31–37.
5. Колесные транспортные средства особо большой грузоподъемности. Конструкция. Теория. Расчет. / Б.Н. Белоусов, С.Д. Попов / Под общ. ред. Б.Н. Белоусова. – М.: Из-во МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2006. – 728 с.
6. Микропроцессорные системы автоматического управления гидродинамическими трансмиссиями легкобронированных колесных военных машин / С.В. Стримовский // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2012. – №4. – С. 80–87.
7. Математическая модель рабочего процесса гидротрансформатора / А.И. Веретенников, В.М. Соловьев, С.В. Стримовский, В.А. Толстолицкий, В.А. Кошман, С.В. Журавлев // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2010. – №3. – С. 50–57.
8. Перспективы применения гидромеханической трансмиссии с микропроцессорной системой управления на военных машинах / Е.Е. Александров, С.В. Стримовский // Механіка та машинобудування. – 2006. – №1. – С. 92–98.
9. Концептуальное проектирование объектов бронетанковой техники: монография / О.Б. Анипко, М.Д. Борисюк, Ю.М. Бусяк. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – 196 с.
10. Розробка та впровадження автоматичної трансмісії легкоброньованих колісних військових машин для підвищення параметрів рухливості В 2 т. Т. 2. Монографія / В.М. Соловйов, С.В. Стримовський, В.О. Толстолицький. – Харків: КП «ХКБМ», 2010. – 200 с.
11. Austria infantry fighting vehicle takes shape. /Christopher F Foss. // Jane's Defence Weekly. – 5 November 2007. – P. 12–14.
12. MOWAG Piranha IV multipurpose armoured vehicle. / Christopher F Foss. // Jane's Defence Weekly. – 24 March 2007. – P. 15–17.

13. Complete Guide Medium Armoured Vehicles 2009. / Eric H. // armada.– 2009.–№1.– 40 с.
14. Российский БТР-90 – машина XXI века / Дмитрий Галкин. // Военный парад. – 2006. – июль-август. – С. 12–13.
15. Акт № 191 від 29.08.03 державних випробувань бронетранспортера БТР-70М. Шифр «Привод-1». /Кондратьев В.В., Большаков А.К. // КП ХКБМ, 2003. – 223 с.
16. Акт №226 от 12.08.04 предварительных испытаний опытного образца шасси БТР-ДА. / Борисюк М.Д., Веретенников А.И. //КП ХКБМ, 2004.– 184 с.
17. Акт №81 від 30 березня 2007 року попередніх випробувань дослідного зразка бронетранспортера БТР-3Е, виготовленого КП КРМЗ по конструкторській документації КП ХКБМ ім. О.О. Морозова. / Глебов В.В., Гур'єв М.Ю., Богомолов В.І. // КП ХКБМ, 2007. – 318 с.
18. Акт № 161 от 21 сентября 2007 Об испытаниях изделия БТР-4 пробегом по маршруту Харьков-Ровно-Харьков. / Воронин С.Е., Мормило Я.М., Щерба В.А. // КП ХКБМ, 2007.
19. Акт № 72 от 3 июля 2008 года Об испытаниях изделия БТР-4 пробегом по маршруту Харьков-Кременчуг-Харьков. / Воронин С.Е., Павлюченко А.А. // КП ХКБМ, 2008.
20. Перспективные направления повышения тягово-скоростных и топливо-экономичных характеристик военных машин / С.В. Стримовский // Механіка та машинобудування. – 2012. – №2. – С. 165–177.
21. Применение электромеханической трансмиссии для машин класса бронетранспортеров / А.В. Поторока, Е.И. Решетило, Г.П. Гращенков и др. // Механіка та машинобудування. – 2012. – №2. – С 152–158.
22. Разработка системы управления для электротрансмиссии с тяговыми вентильно-индукторными двигателями: Автореферат диссертации / М.М. Лашкевич. – Москва 2013.– 20 с.
23. Автомобильный справочник BOSCH: [справ. пособие для студ. высш. учеб. зав. и инж.] / Роберт Босш. – [1-е изд.]. – пер. с англ. Ф.П. Тарасенко. // М.: За рулем, 2009.
24. Военное применение гибридных электроприводов / Сергей Вэй// http://army_guide.com, 2002.
25. Новый БТР «Крымск» сделают из русских деталей. РОСИНФОРМБЮРО <http://rosinform.ru>, 2013.
26. Тягово-скоростные характеристики быстроходных гусеничных и полноприводных колесных машин: Теория и расчет: [учеб. пособие для студ. высш. учеб. зав.] / [Александров Е.Е., Епифанов В.В., Медведев Н.Г., Устиненко А.В.]; под ред. В.В. Епифанова – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. – 124 с.
27. Выбор параметров алгоритма управления движением гусеничной машины со ступенчатой трансмиссией. / Слюсаренко Ю.А., Александров Е.Е., Александрова Т.Е. и др. // «Інтегровані технології та енергозбереження», – Харків: 2004, №2. –с. 147–153.
28. Математическая модель вращения коленчатого вала дизельного двигателя для моделирования динамических процессов криволинейного движения ВГМ. / Слюсаренко Ю.А. // «Інтегровані технології та енергозбереження», – Харків: 2012, №4, –с. 54–61.

Bibliography (transliterated)

1. Mnogotselevyie gusenichnyie i kolesnyie mashiny: Konstruktsiya: Ucheb. dlya vuzov. G.I. Gladov, A.V. Vihrov, V.V. Kuvshinov, V.V. Pavlov; Pod redaktsiey G.I. Gladova. – М.: Transport, 2001. – 272 p.
2. Proektirovanie polnoprivodnyih kolesnyih mashin: V 2 t. T. 1. Uchebn. dlya vuzov [B.A. Afanasev, N.F. Bocharov, L.F. Zheglov i dr.]; pod red. A.A. Polungyana.– М.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 1999.– 488 p.
3. Dinamika transportno-tyagovyih kolesnyih i gusenichnyih mashin [Aleksandrov E.E., Volontsevich D.O., Karpenko V.A. i dr.]; pod red. A.N. Turenko. – Harkov: HGADTU(HADI), 2001. – 642 p.
4. Supervariator – perspektivnaya besstupenchataya korobka peredach dlya avtomobiley. N.V. Guliya, I.V. Bessudnov. Nauka i tehnika. – 2004 – #3. – P. 31–37.
5. Kolesnyie transportnyie sredstva osobo bolshoy gruzopod'emnosti. Konstruktsiya. Teoriya. Raschet. B.N. Belousov, S.D. Popov. Pod obsch. red. B.N. Belousova. – М.: Iz-vo MGTU imeni N.E. Baumana, 2006. – 728 p.
6. Mikroprotsessornyie sistemyi avtomaticheskogo upravleniya gidrodinamicheskimi transmissiyami legkobronirovannyih kolesnyih voennyih mashin. S.V. Strimovskiy. Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya. – 2012. – #4. – P. 80–87.
7. Matematicheskaya model rabocheho protsessa gidrotransformatora. A.I. Veretennikov, V.M. Solovev, S.V. Strimovskiy, V.A. Tolstolutskiy, V.A. Koshman, S.V. Zhuravlev. Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya. – 2010. – #3. – P. 50–57.
8. Perspektivnyi primeneniya gidromehanicheskoy transmissii s mikroprotsessornoy sistemoy upravleniya na voennyih mashinah. E.E. Aleksandrov, S.V. Strimovskiy. Mehanika ta mashinobuduvannya. – 2006. – #1. – P. 92–98.
9. Kontseptualnoe proektirovanie ob'ektov bronetankovoy tehniki: monografiya. O.B. Anipko, M.D. Borisyuk, Yu.M. Busyak. – Harkov: NTU «HPI», 2008. – 196 p.

10. Rozrobka ta vprovadzheniya avtomatichnoyi transmisiyi lekobronovanih kolisnih viyskovih mashin dlya pidvischennya parametriv ruhливosti V 2 t. T. 2. Monografiya. V.M. Solovyov, S.V. StrImovskiy, V.O. Tolstolutskiy. – Harkiv: KP «HKBM», 2010. – 200 p.
11. Austria infantry fighting vehicle takes shape. Christopher F Foss. Jane's Defence Weekly. – 5 November 2007. – P. 12–14.
12. MOWAG Piranha IV multipurpose armoured vehicle. Christopher F Foss. Jane's Defence Weekly. – 24 March 2007. – P. 15–17.
13. Complete Guide Medium Armoured Vehicles 2009. Eric H. armada.– 2009.–#1.– 40 p.
14. Rossiyskiy BTR-90 – mashina XXI veka. Dmitriy Galkin. Voennyiy parad. – 2006. – iyul-avgust. – P. 12–13.
15. Akt # 191 vid 29.08.03 derzhavnih viprobuvan bronetransportera BTR-70M. Shifr «Privod-1». Kondratyev V.V., Bolshakov A.K. KP HKBM, 2003. – 223 p.
16. Akt #226 ot 12.08.04 predvaritelnyih ispytaniy opyitnogo obraztsa shassi BTR-DA. Borisyuk M.D., Veretennikov A.I. KP HKBM, 2004.– 184 p.
17. Akt #81 vid 30 bereznaya 2007 roku poperednih viprobuvan doslidnogo zrazka bronetransportera BTR-3E, vigotovlennogo KP KRMZ po konstruktorskiy dokumentatsiyi KP HKBM im. O.O. Morozova. / Glebov V.V., Gur'Ev M.Yu., Bogomolov V.I. // KP HKBM, 2007. – 318 p.
18. Akt # 161 ot 21 sentyabrya 2007 Ob ispytaniyah izdeliya BTR-4 probegom po marshrutu Harkov-Rovno-Harkov. Voronin S.E., Mormilo Ya.M., Scherba V.A. KP HKBM, 2007.
19. Akt # 72 ot 3 iyulya 2008 goda Ob ispytaniyah izdeliya BTR-4 probegom po marshrutu Harkov-Kremenchug-Harkov. Voronin S.E., Pavlyuchenko A.A. KP HKBM, 2008.
20. Perspektivnyie napravleniya povyisheniya tyagovo-skorostnyih i toplivo-ekonomichnyih karakteri-stik voennyih mashin. S.V. Strimovskiy. Mehanika ta mashinobuduvannya. – 2012. – #2. – P. 165–177.
21. Primenenie elektromekhanicheskoy transmisiyi dlya mashin klassa bronetransporterov. A.V. Potoroka, E.I. Reshetilo, G.P. Graschenkov i dr. Mehanika ta mashinobuduvannya. – 2012. – #2. – P 152–158.
22. Razrabotka sistemyi upravleniya dlya elektrotransmissii s tyagovymi ventilno-induktornyimi dvigatelyami: Avtoreferat dissertatsii. M.M. Lashkevich. – Moskva 2013.– 20 p.
23. Avtomobilnyiy spravochnik BOSCH: [sprav. posobie dlya stud. vyssh. ucheb. zav. i inzh.] Robert Bossh. – [1-e izd.]. – per. s angl. F.P. Tarasenko. M.: Za rulem, 2009.
24. Voennoe primeneniye gibridnyih elektroprivodov. Sergey Vey. http://army_guide.com, 2002.
25. Novyy BTR «Krymsk» sdelayut iz russkih detaley. ROSINFORMBYURO <http://rosinform.ru>, 2013.
26. Tyagovo-skorostnyie karakteristiki bystrohodnyih gusenichnyih i polnoprivodnyih kolesnyih mashin: Teoriya i raschet: [ucheb. posobie dlya stud. vyssh. ucheb. zav.] [Aleksandrov E.E., Epifanov V.V., Medvedev N.G., Ustinenko A.V.]; pod red. V.V. Epifanova – Harkov: NTU «HPI», 2007. – 124 p.
27. Vyibor parametrov algoritma upravleniya dvizheniem gusenichnoy mashinyi so stupenchatoy transmisiyey. Slyusarenko Yu.A., Aleksandrov E.E., Aleksandrova T.E. i dr. «Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya», – Harkiv: 2004, #2. –p. 147–153.
28. Matematicheskaya model vrascheniya kolenchatogo vala dizelnogo dvigatelya dlya modelirovaniya dinamicheskikh protsessov krivolineynogo dvizheniya VGM. Slyusarenko Yu.A. «Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya», – Harkiv: 2012, #4, –p. 54–61.

УДК 621.85.52

Стримовский С.В., Слюсаренко Ю.О., Соловйов В.М.

АНАЛІЗ ТРАНСМІСІЙ СУЧАСНИХ ЛЕГКОБРОНЬОВАНИХ КОЛІСНИХ ВІЙСЬКОВИХ МАШИН ТА ЇХ ВПЛИВ НА ПАРАМЕТРИ РУХОМОСТІ

В статті виконано порівняльний аналіз конструктивних відмінностей різних типів трансмісій, які використовуються на легкоброньованих колісних військових машинах, їх технічних характеристик та параметрів рухомості. Визначені напрямки підвищення рухливості легкоброньованих колісних військових машин.

Strimovskij S.V., Sljusarenko J.A., Solovjov V.M.

THE ANALYSIS OF TRANSMISSIONS MODERN EASY-ARMOUR WHEEL MILITARY VEHICLES AND THEIR INFLUENCE ON MOBILITY PARAMETERS

In article the comparative analysis design features various types of transmissions which are applied on easy-armor wheel military vehicles, their technical characteristics and mobility parameters is made. Directions of increase of mobility of is easy-armor wheel military vehicles are defined.