

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СИЛОВЫХ УСТАНОВОК БТР-4 С РАЗЛИЧНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

Актуальность темы. Для локализации вооруженных конфликтов, происходящих в настоящее время, обычно применяются государственные силовые структуры, которые для более успешных действий должны быть обеспечены мобильной бронетехникой высокой проходимости. Как показали последние события в новейшей мировой истории, в том числе и в Украине, наиболее востребованным средством для этих целей являются современные колесные бронетранспортеры (БТР), имеющие усиленное бронирование, автоматическую коробку передач (АКП) и современные комплексы вооружения, включающие в себя скорострельные пушки и гранатометы малого калибра. При решении поставленных задач они способны преодолевать любые дорожные препятствия при различных погодных условиях и водные преграды вплавь, без предварительной подготовки.

С учетом развития мировых тенденций, в ГП «ХКБМ им. А.А.Морозова» за последнее время было спроектировано, модернизировано, доведено до опытного образца, а также серийно изготовлено порядка десяти наименований различных колесных БТР, оснащенных отечественным вооружением. Двигатели и АКП применялись как отечественного, так и зарубежного производства. Наиболее перспективным из них является модельный ряд бронетранспортеров БТР-4 и спецмашин на его базе, имеющих различный состав и компоновку силовых установок:

- БТР-4А с двигателем IVECO Cursor 10 (С10ЕНТ С), вентиляторной системой охлаждения (СО) и 5-ти ступенчатой АКП В1318.40.010сб-1;
- БТР-4В с двигателем DEUTZ BF6M1015CP, вентиляторной СО и 6-ти ступенчатой АКП Allison 4500SP;
- БТР-4Е с двигателем ЗТД-3А, эжекционной СО и 5-ти ступенчатой АКП В1318Е.40.010сб.

Целью статьи является комплексная сравнительная оценка моторно-трансмиссионных установок колесных БТР, выполненная по существующим показателям качества на основании полученной информации стендовых и полевых испытаний.

Основная часть. Значительным шагом в направлении повышения боевых и технических свойств бронетранспортеров разработки ГП «ХКБМ» явилось создание и выпуск четырехосных полноприводных БТР. Конструктивные особенности этих машин обеспечивают им высокую подвижность и проходимость, возможность использования во взаимодействии с другими боевыми машинами. Бронетранспортеры выполнены плавающими, имеют высокую проходимость, хорошую плавность хода и рациональную компоновку.

Под компоновкой колесного бронетранспортера следует понимать взаимное размещение боевого расчета, вооружения, основных агрегатов и систем, подчиненное задаче обеспечения заданных боевых и технических свойств.

Основными компоновочными отделениями бронетранспортеров являются (рис. 1) отделение управления 1, боевое (десантное) отделение 2 и моторно-трансмиссионное отделение (МТО), состоящее из отделения силовой установки 3 и трансмиссионного отделения 4.

© А.В.Бобер, 2014

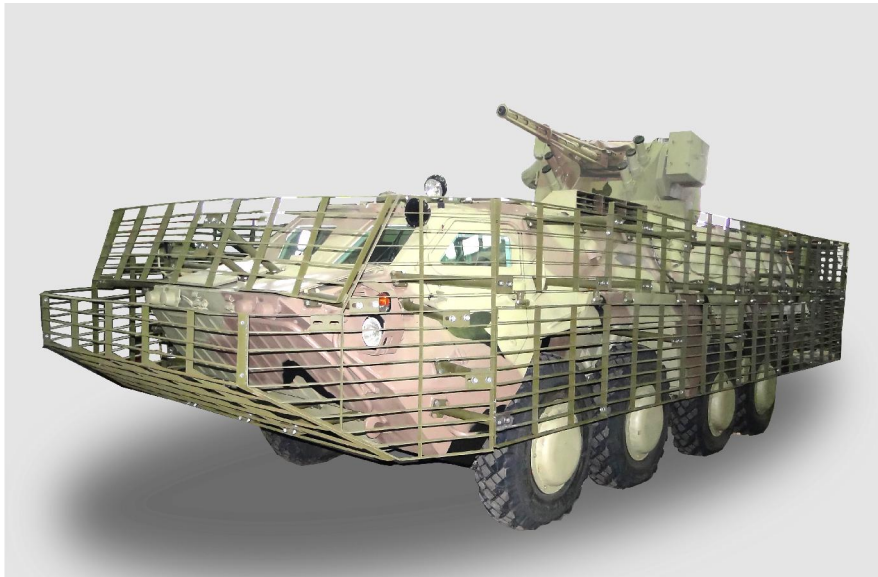


Рис.1. Бронетранспортер БТР-4Е

Как видно из рис.2б, ряд БТР-4 имеет компоновку, отличную от выпускавшихся ранее в СССР тем, что отделение силовой установки 3 расположено в средней части машины (приближено к геометрическому центру корпуса изделия), между отделением управления 1 и боевым отделением 2. Такое компоновочное решение обеспечивает более равномерную весовую нагрузку на все колеса БТР, что позволило выполнить трансмиссию в полноприводном исполнении, а также облегчило центровку изделия на плаву.

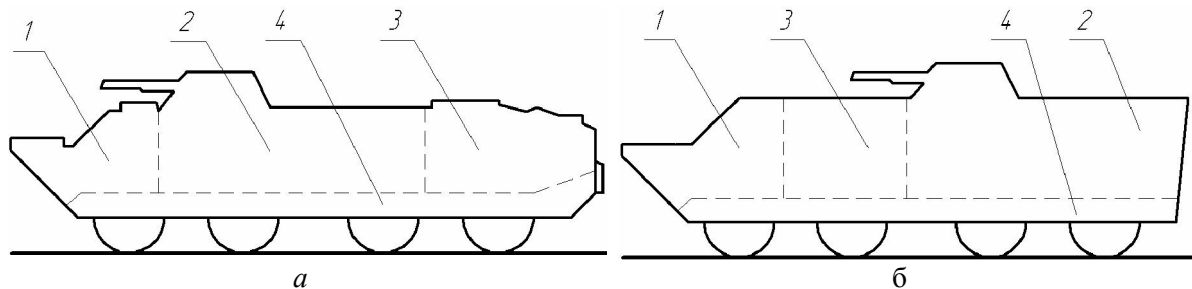


Рис.2. Принципиальная схема компоновки бронетранспортеров:
а – БТР-60ПБ, БТР-70, БТР-80, БТР-90, БТР-94; *б* – БТР-4А, БТР-4В, БТР-4Е;
1 – отделение управления; 2 – боевое (десантное) отделение; 3 – отделение силовой установки; 4 – трансмиссионное отделение.

Силовая установка (СУ) – это совокупность двигателя и систем, обеспечивающих его работу в заданных технических требованиями условиях. Силовая установка с трансмиссией образует моторно-трансмиссионную установку, которая обычно размещается в изолированном объеме корпуса изделия, называемым моторно-трансмиссионным отделением (МТО).

При оценке качества СУ в основном используются показатели назначения и конструктивные параметры, перечень которых определен отраслевыми стандартами [1], к основным из которых относятся:

$N_e^{об}$ – максимальная мощность СУ, равная мощности двигателя в условиях объекта;

$m_{МТУ}$ – сухая масса моторно-трансмиссионной установки (МТУ) (без заправок

топливом, маслами и охлаждающей жидкостью), определяется как сумма масс следующих агрегатов и узлов:

$$m_{МТУ} = m_{об} + m_c + m_{mp}, \text{ где:} \quad (1)$$

$m_{об}$ и m_c – сухая масса двигателя и его систем, соответственно;

m_{mp} – сухая масса трансмиссии;

$$N_{уд}^{МТУ} = \frac{N_e^{об}}{m_{МТУ}} - \text{удельная мощность МТУ;} \quad (2)$$

g_e – удельный расход топлива.

Для проведения сравнения СУ разных бронетранспортеров используют следующие мощностные и габаритно-массовые показатели:

- относительные потери мощности СУ, представляющие собой отношение затрат мощности на системы СУ к мощности двигателя в условиях стенда N_e^{cm} :

$$\Delta_{пот} = \frac{N_e^{cm} - N_e^{об}}{N_e^{cm}}; \quad (3)$$

- объемная мощность МТО, представляющая собой отношение максимальной мощности двигателя в условиях стенда N_e^{cm} к объему МТО $V_{МТО}$:

$$N_{об}^{МТО} = \frac{N_e^{cm}}{V_{МТО}}. \quad (4)$$

При сравнительной оценке изделий БТР также используется показатель удельной мощности $N_{уд}^{БТР}$, определяемый по формуле:

$$N_{уд}^{БТР} = \frac{N_e^{cm}}{m_{БТР}}, \quad (5)$$

где: N_e^{cm} – максимальная стендовая мощность двигателя;

$m_{БТР}$ – максимальная масса полностью снаряженного БТР с полными заправками систем.

Для проведения анализа по сравнению силовых установок, разработанных в ГП «ХКБМ им. А.А.Морозова» ряда четырехосных БТР-4 с колесной формулой 8x8, в таблице 1 приведены их наименования, марки двигателей, некоторые основные технические характеристики, а также полученные значения показателей назначения, конструктивных параметров, мощностных и габаритно-массовых показателей, описанных выше и более подробно в [2]. В данной публикации отмечено, что рассматриваемые БТР-4 по величине мощностей двигателей в условиях объекта $N_e^{об} \approx 390...415$ л.с. значительно превосходят ранее выпускавшиеся бронетранспортеры, $N_e^{об}$ которых находится в пределах 260...291 л.с. Это в основном связано с увеличением массы данных БТР-4 до 21 ...22 т. (12...16 т. у других бронетранспортеров) в связи усилением бронирования, в следствие чего для сохранения характеристик подвижности потребовались двигатели большей мощности.

Из рассматриваемого ряда БТР-4 наибольшая мощность двигателя в условиях

объекта у БТР-4Е (415 л.с.), а наименьшая – у БТР-4А (390 л.с.); также незначительно разнятся сухие массы m_{MTU} моторно-трансмиссионных установок (MTU). Тем не менее, наибольший показатель удельной мощности $N_{уд}^{MTU} = 97,6$ л.с./т у БТР-4В, а наименьший, равный 90,6 л.с./т – у БТР-4А.

Удельные расходы топлива g_e для дизелей, примененных в модельном ряде бронетранспортеров БТР-4, на режимах максимальной мощности мало разнятся между собой и находятся в пределах 211...216 г/кВт·ч, что в целом свидетельствует об одинаково высоком уровне их изготовления с применением современных технологий на предприятиях-изготовителях Италии, Украины и Германии соответственно.

Таблица 1

Показатели четырехосных БТР-4 с колесной формулой 8x8

Наименование и обозначение	Размерность	Наименование бронетранспортеров		
		БТР-4А	БТР-4В	БТР-4Е
Максимальная масса БТР, $m_{БТР}$	т	21,0	21,9	21,9
Максимальная скорость по шоссе, v	км/час	110	110	110
Марка двигателя	-	IVECO Cursor 10 C10ENTC	Deutz BF6M 1015CP	3ТД-3А
Максимальная стендовая мощность двигателя, $N_e^{ст}$	кВт (л.с.)	286 (390)	330 (449)	368 (500)
Тип системы охлаждения	-	вентиляторная	вентиляторная	эжекционная
Марка коробки передач	-	B1318.40.10сб-1	Allison MD 4500SP	B1318E.40.010сб
Показатели назначения и конструктивные параметры СУ				
$N_e^{об}$	кВт (л.с.)	286 (390)	300 (408)	305(415)
m_{MTU}	т	4,31	4,18	4,43
$N_{уд}^{MTU}$	л.с./т	90,6	97,6	93,7
g_e :				
-мин	г/кВт·ч	196	195	-
-на N_e^{max}	г/кВт·ч	216	212	211
Мощностные и габаритно-массовые показатели СУ				
$\Delta_{пот}$	-	0,09	0,09	0,17
V_{MTO}	м ³	5,4	5,4	5,4
$N_{об}^{MTO}$	л.с./м ³	79,63	83,15	92,59
Удельная мощность БТР, $N_{уд}^{БТР}$	л.с./т	20,476	20,50	22,83

В процессе анализа показателей относительных потерь мощности выявлено, что у силовых установок с дизелями DEUTZ и IVECO, имеющих вентиляторные системы охлаждения, относительные потери составляют 0,09 и 0,11, что меньше чем у установки с двигателем 3ТД-3А и системой охлаждения эжекционного типа, у которой $\Delta_{пот} = 0,17$. Это связано с тем, что эжекционные системы охлаждения при работе используют энергию

отработавших газов, поэтому двигатели с эжекционной системой охлаждения, по сравнению с двигателями с вентиляторной системой охлаждения, допускают примерно в три-четыре раза больше сопротивление выпускных трасс, а также примерно вдвое больше разрежение в системе питания воздухом, что в целом уменьшает объективную мощность силовой установки.

Перед проведением сравнения по показателю объемной мощности МТУ необходимо отметить тот факт, что поскольку все приведенные БТР являются плавающими, их объемы МТО определяются компоновкой машины. Для компоновки бронетранспортеров характерно размещение трансмиссионного отделения между днищем броневого корпуса и полом десантного отделения. Объемы МТО указанных бронетранспортеров одинаковы и равны $5,4 \text{ м}^3$. Самой энергоемкой является МТУ бронетранспортера БТР-4Е, показатель $N_{об}^{МТО}$ которого составляет $92,59 \text{ л.с./м}^3$, а самый низкий показатель $79,63 \text{ л.с./м}^3$ у БТР-4А.

По общепринятому для транспортных средств критерию удельной мощности, колесные бронетранспортеры БТР-4 укладываются в существующий диапазон $20 \dots 26 \text{ л.с./т}$ для бронемашин пехоты и разведывательных подразделений основных стран-производителей [3]. Из приведенных в таблице 1 значений $N_{уд}^{БТР}$ наибольшее $22,83 \text{ л.с./т}$ у БТР-4Е, а у БТР-4А и БТР-4В удельные мощности почти равны и составляют $20,5 \text{ л.с./т}$.

Реальную оценку созданным СУ получают в процессе проведения ходовых и стендовых испытаний БТР, причем следует отметить тот факт, что стендовые испытания моторно-трансмиссионных установок имеют качественное превосходство над полевыми в плане определения мощностных, теплотехнических, экономических и экологических показателей на соответствие стандартам и техническим требованиям, поскольку по существующим нормативам их получают при долговременной стабильной работе двигателя на режимах внешней характеристики.

Определение основных параметров силовых установок БТР производилось на существующем в ГП «ХКБМ» стенде комплексных испытаний моторно-трансмиссионных отделений [3] с применением схемы сборки нагружающих устройств для колесных машин, представленной на рис.3.

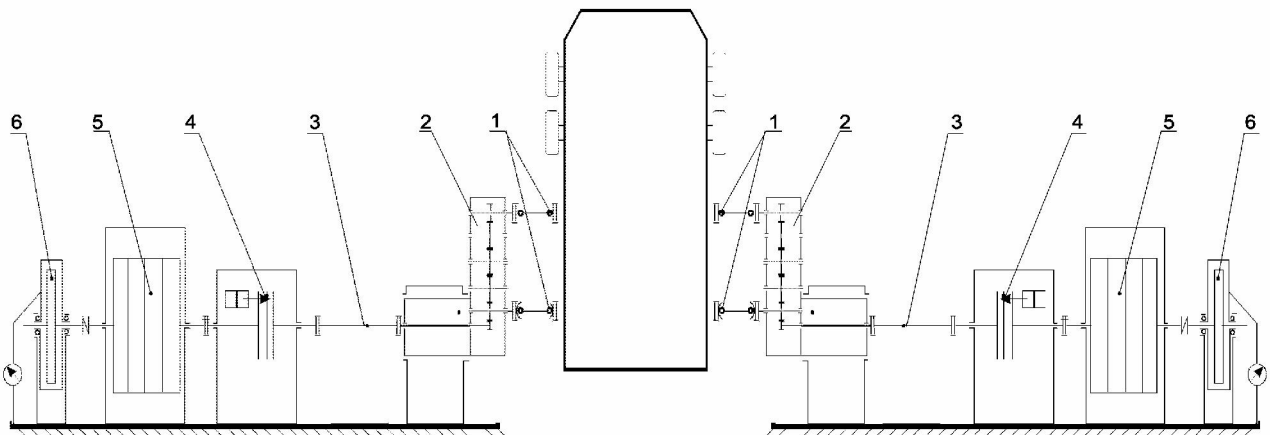


Рис. 3. Схема сборки нагружающих устройств для испытаний колесных БТР

- | | |
|---------------------------|--------------------------|
| 1 – карданные валы; | 4 – фрикцион; |
| 2 – суммирующий редуктор; | 5 – инерционный барабан; |
| 3 – соединительный вал; | 6 – индукторный тормоз. |

В данной схеме используются суммирующие редукторы, позволяющие создавать стендовыми нагружающими устройствами одновременное торможение выходных валов двух задних ведущих мостов БТР (см. рис.3). В состав левого и правого нагружающих устройств входят: карданные валы, суммирующий редуктор, соединительный вал и индукторный тормоз типа WS-1200 мощностью 1200 кВт (1600 л.с.).

Суммирующий редуктор представляет собой рядный редуктор с одним выходным и двумя входными валами, к которым через карданные валы и переходные детали передаются крутящие моменты со ступиц ведущих колёс (см. рис.4).



Рис. 4. Подключение суммирующего редуктора к ступицам колёс задних мостов БТР с помощью карданных валов и переходников.

Исключение в данной схеме передачи мощности парой трения «резиновая покрышка – дорожное покрытие» значительно упрощает нагружение силовой установки и не заставляет решать проблемы, связанные с имитацией дорожного полотна. Таким образом, увеличивается точность измерения мощности на выходных валах ведущих колёс, так как не нужно вводить в рассмотрение сложные математические модели по определению геометрии шин, коэффициентов проскальзывания и сцепления. В индукторном тормозе происходит двойное преобразование энергии: подводимый к его ротору крутящий момент тормозится магнитным полем, энергия которого преобразуется в вихревые токи, нагревающие статор. Для отвода тепла статор охлаждается проточной водой. Инерционный барабан имитирует массу испытуемого изделия, требуемый момент инерции обеспечивается соответствующим набором из 12-ти дисков. Фрикцион служит для предохранения механизмов испытуемого изделия от поломок путём быстрого отключения вращающихся масс инерционного барабана и ротора тормоза.

Оборудование, измерительная и управляющая аппаратура стенда позволяют проводить испытания в условиях, достаточно близких к реальным условиям работы двигателя, трансмиссии и их систем, а так же обеспечивают повторяемость этих условий при сравнительных испытаниях. В стендовом боксе предусмотрена возможность подачи на воздухозаборники силовой установки воздуха с регулируемой температурой от +20°C

до +55 °С, что позволяет проводить отработку систем охлаждения силовых установок для стран с жарким климатом.

Одновременно с определением мощностных характеристик, на стенде осуществляется постоянный контроль текущего состояния испытуемой силовой установки, заключающийся в измерении её следующих основных параметров:

- частот вращения выходного вала двигателя и выходных валов задних мостов;
- температур и давлений охлаждающей жидкости, моторного и трансмиссионного масел, топлива, воздуха на входе в радиаторы и двигатель, выпускных газов на выходе из него;
- тормозных моментов правого и левого нагружающих устройств.

Для определения этих параметров в составе комплексного стенда имеется измерительный комплекс ТН 800, который состоит из двух совместимых компьютеров, блока согласования устройства сопряжения с объектом, печатающего устройства и набора информационных датчиков для каждого исследуемого параметра. В зависимости от требований программы испытаний разрабатываются информационные модели, которые с частотой от 1 до 100 Гц и точностью 0,5...1% обеспечивают приём, обработку, отображение и регистрацию информации с датчиков, установленных на испытываемом изделии. В качестве исходных данных в математические модели закладываются паспортные характеристики датчиков, в особых случаях производится прямая тарировка измерительного канала.

Оценка значений этих основных параметров позволяет количественно определить потерю мощности двигателя и, соответственно, её влияние на конечную мощность силовой установки, вызванную конструктивными особенностями (в случае значительных потерь мощности - негативными) функционирования определённой системы СУ в целом. А затем, опираясь на нормативную документацию двигателя, выбрать направления и методы устранения данного негативного фактора.

Определение мощности на валах ведущих колес при работе СУ под нагрузкой, создаваемой индукторными тормозами, производится на режимах, характеризующихся устойчивым равномерным вращением валов нагружающих устройств, при использовании следующей формулы:

$$N_{\text{вых}} = \frac{n_{\text{л}} \cdot (M_{\text{л}} + \Delta M_{\text{л}}) + n_{\text{пр}} \cdot (M_{\text{пр}} + \Delta M_{\text{пр}})}{716.2}, \text{ л.с.} \quad (6)$$

где: $n_{\text{л}}$ и $n_{\text{пр}}$ – частоты вращения левого и правого тормозов (мин^{-1});
 $M_{\text{л}}$ и $M_{\text{пр}}$ – тормозные моменты левого и правого тормозов ($\text{кгс}\cdot\text{м}$);
 $\Delta M_{\text{л}}$ и $\Delta M_{\text{пр}}$ – потери на трение в левом и правом нагружающих устройствах ($\text{кгс}\cdot\text{м}$), определённые практическим путём на стендах ГП «ХКБМ им. А.А. Морозова».

Стационарные испытания моторно-трансмиссионных установок БТР в разные периоды времени проводились на стенде, собранном по представленной выше схеме, в результате чего были получены мощностные характеристики, приведенные на рис.5.

При получении данных результатов, двигатели работали на режимах внешних характеристик, но в зависимости от требований программ испытаний и пожеланий заказчиков, либо других субъективных факторов, испытания не всегда проводились на всех высших передачах АКП и не во всем рабочем диапазоне частоты вращения коленчатых валов двигателей ($n_{\text{об}}$). Так, например, испытания БТР-4В проводились при включенной III-ей передаче АКП во всем рабочем диапазоне внешней характеристики дизеля DEUTZ, а на других высших передачах – только на режимах максимальной мощности при $n_{\text{об}} = 1900 \text{ мин}^{-1}$. Тем не менее, по полученным результатам, приведенным

на рис.5, можно в целом выделить следующие общие тенденции для МТУ колесных БТР-4:

- с увеличением номера передачи АКП происходит снижение мощности $N_{\text{вых}}$ на валах колес 3-го и 4-го мостов, что связано с увеличением механических потерь в трансмиссиях вследствие повышения частот вращения их элементов;

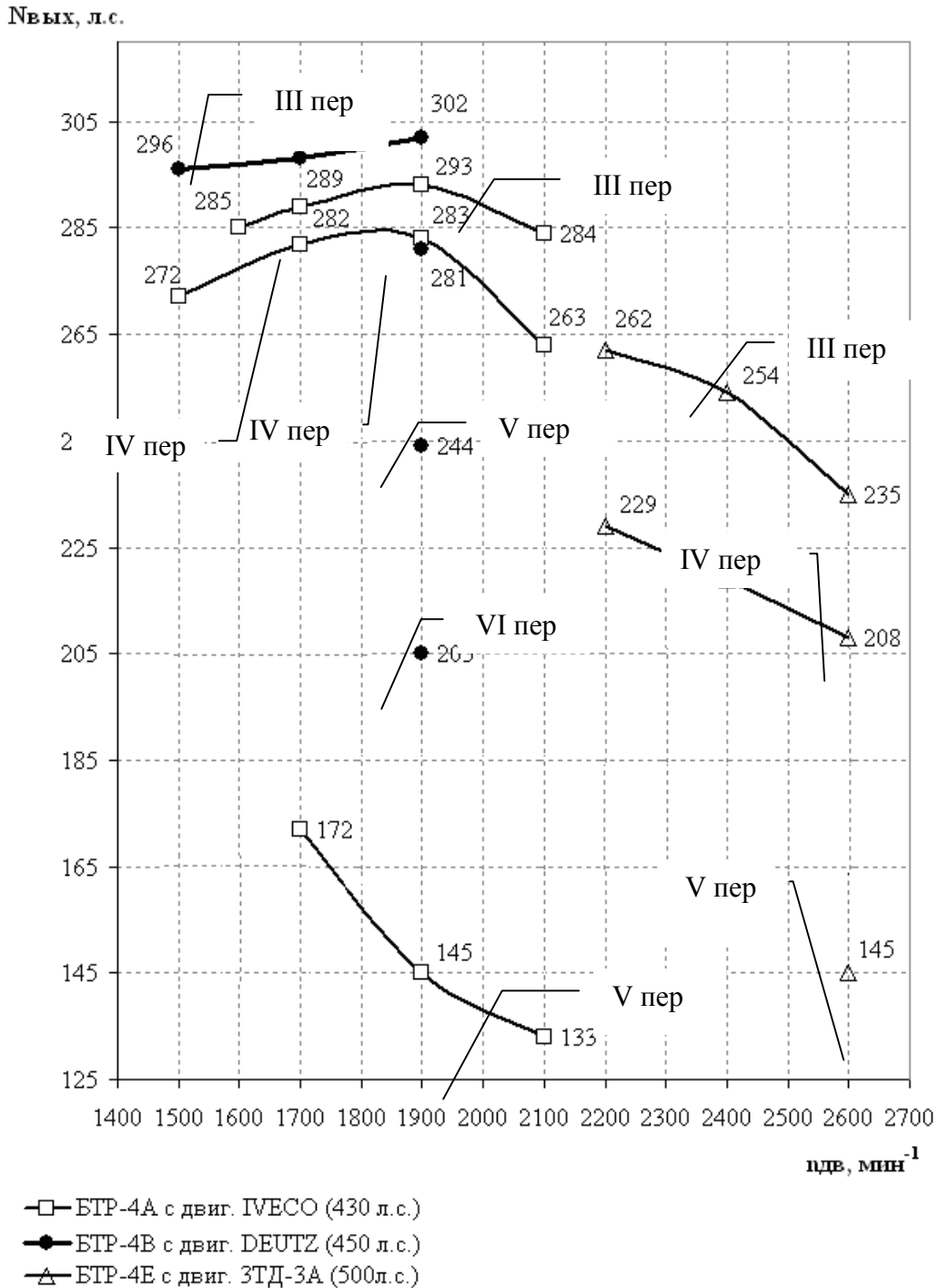


Рис. 5. Мощностные характеристики мотодно-трансмиссионных установок бронетранспортёров ряда БТР-4, созданных в ГП «ХКБМ»

- на приведенных кривых для определенных передач АКП с увеличением частоты $n_{об}$ происходит снижение выходной мощности, в результате чего значения $N_{вых}$, соответствующие режиму максимальной мощности двигателя, меньше других измеренных значений; в каждом отдельном случае это объясняется или значительным повышением потерь мощности с ростом $n_{об}$ в каких-то узлах трансмиссии, или нелинейным увеличением потребляемой мощности отдельными агрегатами также с повышением частоты вращения коленчатого вала двигателя (например, вентиляторами системы охлаждения БТР-4А и БТР-4В);

- наибольший диапазон устойчивой работы на внешней характеристике по частоте вращения коленчатого вала, составляющий 600 мин^{-1} у дизеля IVECO Cursor 10 C ENTС (от 1500 до 2100 мин^{-1}); дизели Deutz BF6М 101SCP и ЗТД-3А имеют рабочие частотные диапазоны по 400 мин^{-1} .

Необходимо отметить, что трансмиссии колесных БТР имеют более низкий КПД и большую зависимость механических потерь от частоты вращения коленвалов двигателей $n_{об}$ и выходных валов АКП по сравнению с танковыми, вследствие примерно вдвое большего числа зубчатых соединений, карданных передач и подшипниковых узлов в кинематических схемах передачи крутящего момента от двигателя к колесам.

Полученные мощностные характеристики позволяют реально оценить существующие потери в моторно-трансмиссионных установках, на этапах доработок провести конструкторские мероприятия по их снижению, качественно улучшить коэффициент полезного действия трансмиссий, повысив, таким образом, тяговые, экономические и ресурсные показатели БТР-4.

Выводы. Спроектированные в ГП «ХКБМ им. А.А.Морозова» колесные четырехосные бронетранспортеры БТР-4 имеют компактные силовые установки, в состав которых входят современные экономичные дизели отечественного и зарубежного производства, а также автоматические коробки передач планетарного типа производства фирмы Allison и собственной разработки.

Полученные при стендовых испытаниях мощностные характеристики выявили общую для колесных БТР тенденцию значительного роста потерь мощности в трансмиссиях в зависимости от частот вращения валов двигателей и выходных валов АКП. В целом по показателям качества силовых установок наиболее перспективными являются моторно-трансмиссионные установки БТР-4Е и БТР-4В.

Оптимально подобранные соотношения габаритно-массовых и мощностных показателей созданных в ГП «ХКБМ им. А.А.Морозова» бронетранспортеров позволяют им обладать улучшенными характеристиками подвижности вследствие соответствия их удельных мощностей ($20...23 \text{ л.с./т}$) современным требованиям для колесных объектов бронетехники, что обеспечивает их спрос на мировом рынке вооружений.

Литература: 1. Теория и конструирование танков. Том 4 – Москва, «Машиностроение», 1984, с.39 – 40. 2. Бусяк Ю.М., Веретенников А.И., Завадский А.М., Корецкий Н.А., Лизунов К.М. Перспективы развития трансмиссий военных бронированных машин. «Механика та машинобудування», - 2004, №1, с.102 – 106. 3. Кудров В.Н., Кузьминский В.А., Жменько Р.В., Чучмарь И.Д., Зарянов В.А., Золотуха В.Н. Стенд для испытаний силовых установок колесных и гусеничных машин. «Вестник национального технического университета «ХПИ»», тематический выпуск «Транспортное машиностроение», - 2007, №33, стр.83 – 94.

Bibliography (transliterated) 1. Teorija i konstruirovanie tankov. Tom 4 – Moskva, «Mashinostroenie», 1984, - S.39-40 2. Busjak Yu.M., Veretennikov A.I., Zavadskij A.M., Koretskij N. A., Lizunov K.M. Perspektivi razvitija transmissij voennyh bronirovannyh mashin // «Mehanika ta mashinobuduvannja», -2004, №1,- S.102-106 3. Kudrov V.M., Kuzminskij V.A., Zhmen'ko R.V., Chuchmar' I.D., Zarjanov V.A., Zolotuha V.N. Stend dlja ispytanij silovyh ustanovok kolesnyh I gusenichnyh maschin. // «Vestnik natsional'nogo tehničeskogo universiteta «HPI»», tematicheskij vupusk «Transportnoje maschinostroenije», - 2007, №33, - S.83-94

Бобер А.В., Зарянов В.А., Крот С.Г., Кузьминський В.А., Федянин А.В.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СИЛОВЫХ УСТАНОВОК БТР-4 З РАЗЛИЧНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

В статье представлена сравнительная оценка моторно-трансмиссионных отделений БТР-4, разработанных ГП «ХКБМ им. А.А. Морозова», по мощностным и качественным показателям, основанных на экспериментальных данных.

Бобер А.В., Зарянов В.А., Крот С.Г., Кузьмінський В.А., Федянін О.В.

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА СИЛОВИХ УСТАНОВОК БТР-4 З РІЗНИМИ ДВИГУНАМИ

У статті наведена порівняльна оцінка моторно-трансмісійних відділень БТР-4, розроблених у ДП «ХКБМ ім. О.О. Морозова», за показниками потужності та якості, що ґрунтуються на експериментальних даних.

Bober A.V., Zarjanov V.A., Krot S.G., Kuzminskiy V.A., Fedyanin A.V.

POWER DESCRIPTION AND QUALITATIVE INDEXES OF ARMoured VEHICLE POWER PACK, DESIGNED BY SE KMDB

The article shows comparative estimate of power pack of armoured vehicle, designed by SE KMDB, according to power and qualitative indexes. Estimate methods of perfection of power pack are showed in this article too.