

УДК 629.1.032.1

Возгрин Ю.В., Герасименко В.И., Золотуха В.Н., Кузьминский В.А., Крот С.Г.

### МОЩНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА СИЛОВЫХ УСТАНОВОК БРОНЕТРАНСПОРТЕРОВ, РАЗРАБОТАННЫХ В КП ХКБМ

**Актуальность темы.** Современные военные концепции сухопутных войск выдвигают повышение требований к подвижности, проходимости, защите, огневой мощи и плавучести боевых транспортных средств мотопехотных подразделений. Учитывая мировые тенденции развития вооружения, а также запросы рынка, в конструкторском бюро им. А.А. Морозова в течение последних десяти лет проводились работы по проектированию и изготовлению четырехосных бронетранспортеров (БТР), в составе моторно-трансмиссионных установок которых были использованы отечественные и зарубежные двигатели мощностью 220...370 кВт (300...500 л.с.), а также автоматические коробки передач (АКП) собственного изготовления и фирмы Allison. В результате были созданы следующие модели:

- БТР-ДА с двигателем DEUTZ BF 6M 1015, вентиляторной системой охлаждения (СО) и 6-ти скоростной АКП Allison MD 3066;
- БТР-3Е с двигателем УТД-20С1, эжекционной СО и 5-ти скоростной КП (индекс 14.1700105);
- БТР-3Е1 с двигателем MTU 6R 106 TD 21, вентиляторной СО и 6-ти скоростной АКП Allison Transmission MD 3200SP;
- БТР-4А с двигателем IVECO Cursor 10(C10ENTC), вентиляторной СО и 5-ти скоростной АКП B1318.40.010сб-1;
- БТР-4Е с двигателем ЗТД-3А, эжекционной СО и 5-ти скоростной АКП B1318Е.40.010сб;
- БТР-4В с двигателем DEUTZ BF6M1015CP, вентиляторной СО и 6-ти скоростной АКП Allison 4500 SP.

В зависимости от создавшихся экономических и политических условий одни из них стали выпускаться серийно, а другие остались только в виде опытных образцов. Тем не менее, все они проходили полевые и стендовые испытания по подтверждению своих характеристик, в результате чего полученный исследовательский материал позволяет произвести сравнительный анализ моторно-трансмиссионных установок по основным показателям. В связи с этим весьма актуальным является вопрос о выборе эффективной моторно-трансмиссионной установки, устанавливаемой в бронетранспортёр и отвечающей всем требованиям заказчика.

**Целью статьи** является сравнительная оценка разработанных в КП ХКБМ им. А.А. Морозова моторно-трансмиссионных установок БТР по показателям качества и мощностным характеристикам. В настоящей работе приводятся экспериментальные данные по основным параметрам моторно-трансмиссионных установок и методы оценки совершенства конструктивных элементов. Эксперименты проводились на стенде комплексных испытаний моторно-трансмиссионных отделений.

**Основная часть.** Силовая установка (СУ) – это совокупность двигателя и систем, обеспечивающих его работу в заданных технических требованиях условиях. Силовая установка с трансмиссией образуют моторно-трансмиссионную установку, которая обычно размещается в изолированном объеме корпуса изделия, называемом моторно-трансмиссионным отделением (МТО). Объем МТО обычно определяется типом и конструктивными особенностями двигателя и трансмиссии, пространственным расположением их в корпусе, соединением двигателя с трансмиссией и особенностями систем СУ. Поскольку приведенные выше БТР плавающие и оборудованы водяными движителями, все они имеют завышенные объемные показатели по сравнению с объемами

МТО танков, что обусловлено требованиями к плавучести машин. Создание силовых установок связано, как правило, с исследованием их моделей, хотя такие исследования весьма трудоёмки и дороги, тем не менее они оправданы и необходимы для обеспечения надёжной конструкции с заданными тактико-техническими параметрами.

Оценка качества СУ дается по показателям назначения и конструктивным параметрам, номенклатура которых определена отраслевыми стандартами [1]. Основными из них является максимальная мощность СУ, сухая масса МТУ, удельная мощность МТУ, удельный расход топлива. Для сравнения между собой СУ различных машин целесообразно использовать также такие мощностные и габаритно – массовые показатели, как относительные потери мощности, объемную мощность МТО, удельную мощность всего БТР.

В таблице 1 приведены наименования основных показателей качества, формулы их расчета и полученные значения для моделей БТР, рассматриваемых в данной статье.

По представленным в таблице 1 значениям удельного расхода топлива видно, что дизель MTU 6R106TD21 обладает лучшей топливной экономичностью ( $g_e = 194...207$  г/кВтч), а дизели DEUTZ BF 6M 1015 и УТД-20С1 имеют несколько большие величины удельных расходов  $g_e$  по сравнению с остальными, хотя в целом эти различия между расходами незначительны (не более 10 %), что свидетельствует о высоком качестве исполнения данных двигателей с применением современных технологий.

Таблица 1

| Наименование показателя                                                                          | Обозначение                            | Наименование бронетранспортера |             |                   |                         |                   |                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------|-------------|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|
|                                                                                                  |                                        | БТР-ДА                         | БТР-3Е      | БТР-3Е1           | БТР-4А                  | БТР-4Е            | БТР-4В            |
| Марка двигателя                                                                                  | ---                                    | Deutz BF6M 1015                | УТД-20С1    | MTU 6R106TD21     | IVECO Cursor 10 C10ENTC | 3ТД-3А            | Deutz BF6M1015CP  |
| Максимальная стендовая мощность двигателя, кВт (л.с.)                                            | $N_e^{ст}$                             | 240 (326)                      | 220 (300)   | 240 (326)         | 316 (430)               | 368 (500)         | 330 (449)         |
| Максимальная мощность двигателя в условиях объекта, кВт (л.с.)                                   | $N_e^{об}$                             | 210 (291)                      | 191 (260)   | 210 (291)         | 286 (390)               | 305 (415)         | 300 (408)         |
| Удельный расход топлива, г/кВт.ч :<br>– минимальный;<br>– на режиме максимальной мощности дизеля | $g_e$                                  | 205<br>230                     | 225<br>238  | 194<br>207        | 196<br>216              | ---<br>211        | 195<br>212        |
| Сухая масса двигателя (без заправок топливом, маслом и охлаждающей жидкостью), т                 | $m_{дв}$                               | 0.83                           | 0.67        | 0.61              | 0.93                    | 0.90              | 0.83              |
| Сухая масса двигателя и его систем без наружных бронированных топливных баков, т                 | $m_{дв} + m_c$                         | 1.332                          | 1.555       | 1.170             | 1.666                   | 1.866             | 1.648             |
| Марка коробки передач                                                                            | ---                                    | Allison MD 3066                | 14.1700 105 | Allison MD 3200SP | B1318.40. 010с6-1       | B1318E .40.010с 6 | Allison MD 4500SP |
| Сухая масса коробки передач, т                                                                   | $m_{кп}$                               | 0.243                          | 0.31        | 0.268             | 0.375                   | 0.475             | 0.31              |
| Сухая масса трансмиссии, т                                                                       | $m_{тр}$                               | 1.963                          | 2.03        | 1.988             | 2.640                   | 2.562             | 2.531             |
| Сухая масса МТУ без наружных бронированных топливных баков, т                                    | $m_{мту} = m_{дв} + m_c + m_{тр}$      | 3.295                          | 3.585       | 3.158             | 4.306                   | 4.428             | 4.179             |
| Максимальная масса изделия, т                                                                    | $m_{бр}$                               | 14.2                           | 15.0        | 16.5              | 21.0                    | 21.9              | 21.9              |
| Удельная мощность МТУ, л.с./т                                                                    | $\frac{N_e^{об}}{m_{мту}}$             | 91.0                           | 72.7        | 94.7              | 90.6                    | 93.7              | 97.6              |
| Относительные потери мощности силовой установки                                                  | $\frac{N_e^{ст} - N_e^{об}}{N_e^{ст}}$ | 0.11                           | 0.13        | 0.11              | 0.09                    | 0.17              | 0.09              |
| Объем моторно-трансмиссионного отделения, м <sup>3</sup>                                         | $V_{МТО}$                              | 6.8                            | 6.8         | 6.8               | 5.4                     | 5.4               | 5.4               |
| Объемная мощность МТО, л.с./м <sup>3</sup>                                                       | $\frac{N_e^{ст}}{V_{МТО}}$             | 47.94                          | 44.12       | 47.94             | 79.63                   | 92.59             | 83.15             |
| Удельная мощность БТР, л.с./т                                                                    | $\frac{N_e^{ст}}{m_{бр}}$              | 22.95                          | 20.00       | 19.76             | 20.476                  | 22.83             | 20.50             |

Наибольшую удельную мощность МТУ, соответствующую 97.6 л.с./т, имеет БТР-4В; удельные мощности МТУ других БТР несколько меньше и составляют 91...95 л.с./т, кроме мощности МТУ изделия БТР-3Е, у которого она значительно ниже и равна 72.7 л.с./т.

Относительные потери мощности силовых установок с отечественными двигателями УТД-20С1 и ЗТД-3А (соответственно 13 % и 17 %) превышают значения относительных потерь для силовых установок с дизелями DEUTZ, MTU и IVECO, равные 9 % и 11 %. Основными причинами здесь являются особенности потребления мощности и ее потери при функционировании систем охлаждения эжекционного типа на БТР-3Е, БТР-4Е и систем охлаждения вентиляторного типа на БТР-ДА, БТР-3Е1, БТР-4А и БТР-4В, а также тот факт, что отечественные дизели по сравнению с импортными допускают примерно в два раза большее сопротивление систем воздухопитания.

По показателю объемной мощности МТО наиболее перспективен БТР-4Е, имеющий 92.6 л.с./м<sup>3</sup>, затем идут БТР-4В и БТР-4А (соответственно 83.15 л.с./т и 79.63 л.с./т); значения данного показателя для остальных БТР примерно вдвое меньше.

Удельные мощности БТР, созданных в КП ХКБМ, укладываются в существующий диапазон 20...26 л.с./т для бронированных машин пехоты и разведывательных колесных машин основных стран – производителей [2]; при этом наибольшей удельной мощностью 22.95 л.с./т обладает БТР-ДА, затем БТР-4Е (22.83 л.с./т), у других БТР данный показатель составляет порядка 20 л.с./т.

Более реалистичную 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 КП ХКБМ стенде комплексных испытаний моторно-трансмиссионных отделений [3] с применением схемы сборки нагружающих устройств для колесных бронемашин, представленной на рис. 1.

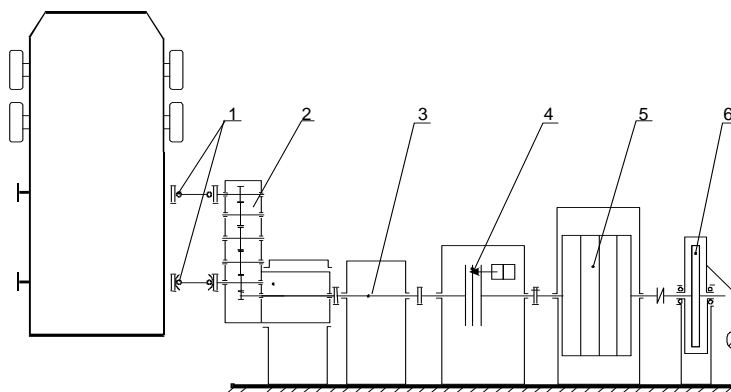


Рисунок 1 – Схема сборки нагружающего устройства для испытаний колёсных БТР (на один борт)

1 – карданные валы; 2 – суммирующий редуктор; 3 – соединительный вал; 4 – фрикцион;  
5 – инерционный барабан; 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. 2). 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. 2).

Исключение в данной схеме передачи мощности парой трения «резиновая покрывка – 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 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.



Рисунок 2 – Подключение суммирующего редуктора к ступицам колёс задних мостов бронетранспортера с помощью карданных валов и переходников

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 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 за рабочим состоянием испытуемой моторно-трансмиссионной 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 МТУ под нагрузкой, создаваемой индукторными тормозами, производится на режимах, характеризующихся устойчивым равномерным вращением валов нагружающих устройств, при использовании следующей формулы:

$$N_{\text{вих}} = \frac{n_l \cdot (M_l + \Delta M_l) + n_{np} \cdot (M_{np} + \Delta M_{np})}{716.2}, \text{ л.с.},$$

где  $n_l$  и  $n_{np}$  – частоты вращения левого и правого тормозов ( $\text{мин}^{-1}$ );  $M_l$  и  $M_{np}$  – тормозные моменты левого и правого тормозов (кгс·м);  $\Delta M_l$  и  $\Delta M_{np}$  – потери на трение в левом и правом нагружающих устройствах (кгс·м), определённые практическим путём на стендах КП ХКБМ.

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. 3.

При получении данных результаты 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 коленвалов двигателей ( $n_{\text{ог}}$ ). Так, например, испытания БТР-3Е1 проводились только при включенной III передаче в двух точках внешней характеристики дизеля MTU (на режимах максимальной мощности при  $n_{\text{ог}} = 2000 \text{ мин}^{-1}$  и максимального момента при  $n_{\text{ог}} = 1600 \text{ мин}^{-1}$ ); испытания БТР-4В – 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  $n_{\text{ог}} = 1900 \text{ мин}^{-1}$ . Тем не менее, по полученным результатам, приведенным на рис. 3, можно в целом выделить следующие общие тенденции для МТУ колесных БТР:

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

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

- наибольший диапазон устойчивой работы на внешней характеристике по частоте вращения коленвала, составляющий  $1000 \text{ мин}^{-1}$ , имеет дизель УТД-20С1 (от  $1600$  до  $2600 \text{ мин}^{-1}$ ); меньший диапазон  $600 \text{ мин}^{-1}$  у дизеля IVECO Cursor 10 С ENTC (от  $1500$  до  $2100 \text{ мин}^{-1}$ ); остальные дизели имеют рабочие частотные диапазоны по  $400 \text{ мин}^{-1}$ .

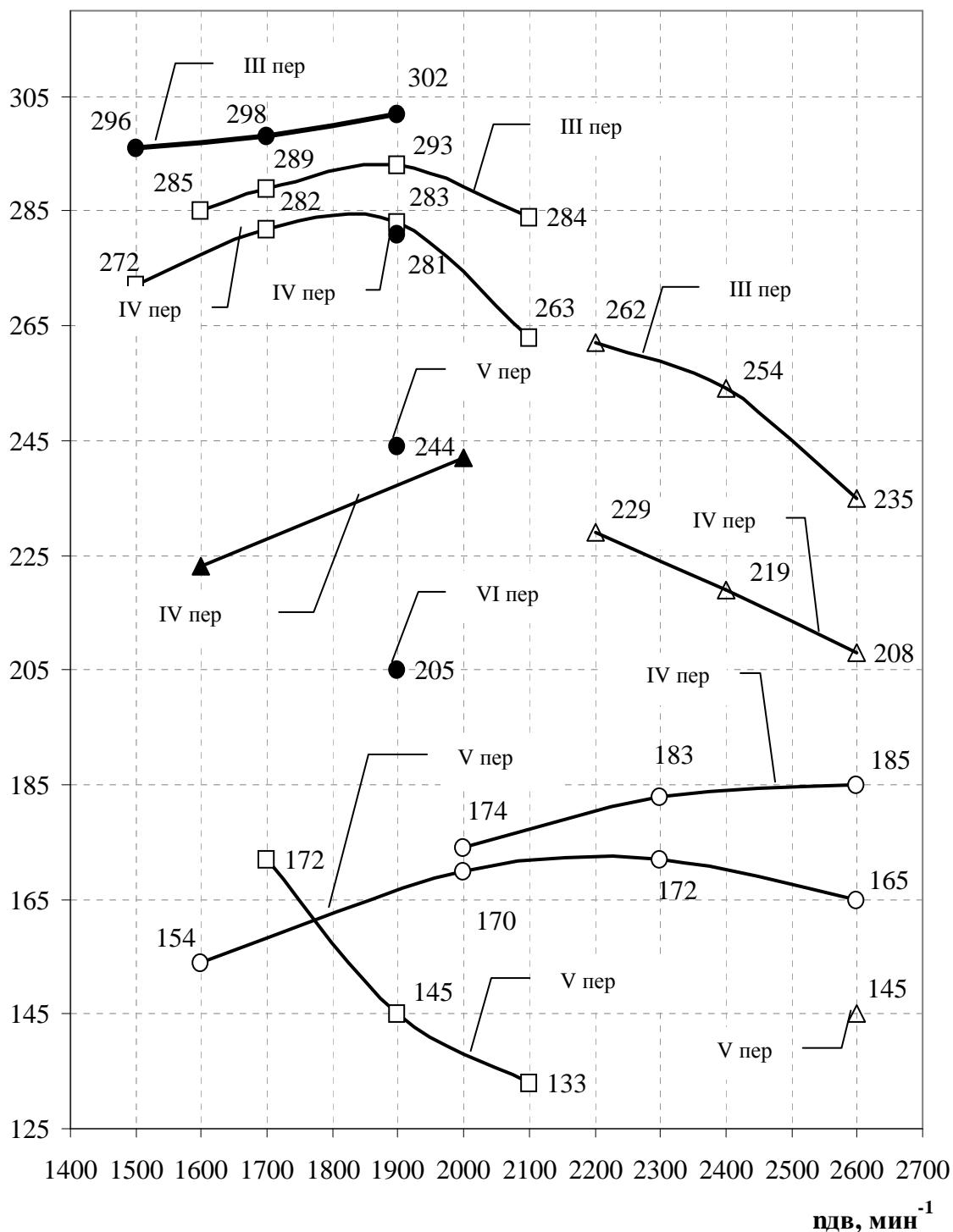
Необходимо отметить, что трансмиссии колесных БТР имеют более низкий КПД и более значительную зависимость механических потерь от частоты вращения коленвалов двигателей  $n_{\text{ог}}$  и выходных валов АКП по сравнению с танковыми вследствие примерно вдвое большего числа зубчатых соединений и подшипниковых 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.

**Выводы.** Созданные в КП ХКБМ им. А.А.Морозова колесные четырехосные бронетранспортеры 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 от частот вращения валов двигателей и выходных валов АКП. В целом по показателям качества силовых установок наиболее перспективными являются моторно-трансмиссионные установки БТР-ДА, БТР-4Е, БТР-3Е1 и БТР-4В.

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

Н<sub>в<sub>их</sub></sub>, л.с.



- — БТР-3Е с двиг. УТД-20С1 (300 л.с.)
- — БТР-4А с двиг. IVECO (430 л.с.)
- ▲ — БТР-3Е1 с двиг. MTU (327 л.с.)
- — БТР-4В с двиг. DEUTZ (450 л.с.)
- △ — БТР-4Е с двиг. ЗТД-3А (500 л.с.)

Рисунок 3 – Мощностные характеристики моторно-трансмиссионных установок бронетранспортёров, созданных в КП ХКБМ



Рисунок 4 – Установка БТР-4Е на стенде комплексных испытаний моторно-трансмиссионных отделений

#### 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. «Механіка 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. Teoriya i konstruirovaniye tankov. Tom 4 – Moskva, «Mashinostroeniye», 1984, p. 39–40.
2. Busyak Yu.M., Veretennikov A.I., Zavadskiy A.M., Koretskiy N.A., Lizunov K.M. Perspektivy raz-vitiya transmissiy voennykh bronirovannykh mashin. «Mehanika ta mashinobuduvannya», – 2004, #1, p. 102–106.
3. Kudrov V.N., Kuzminskiy V.A., Zhmenko R.V., Chuchmar I.D., Zaryanov V.A., Zolotuha V.N. Stend dlya ispytaniy silovyykh ustanovok kolesnykh i gusenichnykh mashin. «Vestnik natsionalnogo tehniceskogo universiteta «HPI», tematicheskii vyipusk «Transportnoye mashinostroeniye», – 2007, #33, p. 83–94.

УДК 629.1.032.1

Возгрін Ю.В., Герасименко В.І., Золотуха В.Н., Кузьминський В.А., Крот С.Г.

#### **ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТУЖНОСТІ ТА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ СИЛОВИХ УСТАНОВОК БРОНЕТРАНСПОРТЕРІВ, РОЗРОБЛЕНИХ У КП ХКБМ**

У статті наведена порівняльна оцінка моторно-трансмісійних відділень БТР, розроблених у КП ХКБМ ім. О.О. Морозова, за показниками потужності та якості що ґрунтуються на експериментальних даних; наведені методи оцінки досконалості моторно-трансмісійних відділень.

Vozgrin Y.V., Gerasimenko V.I., Zolotuha V.N., Kuzminskiy V.A., Krot S.G.

**POWER DESCRIPTION AND QUALITATIVE INDEXES OF ARMOURED VEHICLE POWER  
PACK, DESIGNED BY SOE KhMMBDB**

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