

***В.М. КУДРОВ, В.А. КУЗЬМИНСКИЙ, Р.В. ЖМЕНЬКО,
И.Д. ЧУЧМАРЬ, В.А. ЗАРЯНОВ, В.Н. ЗОЛОТУХА*** (г. Харьков)

СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК КОЛЁСНЫХ И ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН

В статті описано існуючий стенд для випробувань колесних та гусеничних машин, на якому досліджуються силові установки на різних режимах роботи двигуна та трансмісії, а також надані результати досліджень деяких машин спеціального призначення.

The article presents description of the operating test bench for wheeled and tracked vehicles designed to test power packs at various engine and transmission operating regimes as well as it gives evaluation results of some special-purpose vehicles.

Актуальность проблемы. Ведущиеся в КП ХКБМ им. А.А.Морозова работы по созданию опытных образцов машин повышенной проходимости, а так же мероприятия по модернизации их силовых установок, требуют проведения значительных по объему полевых и стендовых испытаний. Необходимость проведения стендовых испытаний обусловлена, прежде всего, их качественным превосходством над полевыми по оценке конструкций новых узлов на соответствие стандартам и техническим требованиям по мощностным, теплотехническим, экономическим и экологическим показателям, которые по существующим нормативам получают при долговременной работе силовой установки на режимах внешней характеристики двигателя с соблюдением следующих необходимых условий:

- поддержания стабильной нагрузки, равномерного вращения валов двигателя и трансмиссии для проведения точных измерений;
- идентичности внешних факторов при возможном многократном повторении опытов.

Для стационарных исследований силовых установок в КП ХКБМ существует стенд комплексных испытаний моторно-трансмиссионных отделений тяжелых гусеничных машин с мощностью двигателей до 2400 кВт, служащий для определения следующих основных показателей:

- мощностных, тяговых и скоростных характеристик на валах ведущих колёс при работе двигателя на полной либо частичной нагрузке;
- эффективности системы охлаждения при регулировке температуры подогреваемого воздуха на стенде в диапазоне от окружающего значения до +55°C;
- дымности и токсичности выпускных газов;
- теплоизлучений от наружных поверхностей, а также узлов и агрегатов моторно-трансмиссионного отделения;
- расходов горюче-смазочных материалов и воздуха на различных режимах работы двигателя.

На стенде также возможно проведение испытаний силовых установок на режимах, имитирующих длительное движение по среднепересеченной местности при температурах окружающего воздуха до $+55^{\circ}\text{C}$.

Отсутствие до последнего времени возможности определения вышеперечисленных показателей для легкобронированных колёсных и гусеничных машин из-за больших моментов инерции вращающихся масс стеновых тормозов, превышающих приведенный к ведущим колёсам момент инерции от масс данных изделий, вызвало потребность в модернизации нагрузочного стенда.

Целью статьи является отражение возросших технических возможностей данного стенда после проведенных усовершенствований и анализ полученных на нём результатов экспериментальных исследований некоторых машин специального назначения.

Основная часть. Наиболее важными элементами стенда являются нагружающие устройства (левое и правое). При испытаниях гусеничных машин, в зависимости от их типов, каждое из нагружающих устройств может быть собрано по 4-м схемам (см. рис.1) с разными передаточными отношениями от вала ведущего колеса к валу тормоза WS-1200, реализуемых определёнными комбинациями установки переходных валов и двух мультипликаторов с передаточными числами 3,14 и 6. При выборе схемы учитывается вид проводимых испытаний, а также тяговые, скоростные, массовые и габаритные параметры машины. Так, приведенные ниже схемы I и II при проектировке стенда предназначались для испытаний тяжелых гусеничных машин спецназначения, а схемы III и IV разработанные для проведения модернизации, в соответствии со своими массово-инерционными и скоростными характеристиками используются для исследований легкобронированной гусеничной бронетехники.

Используемый в нагружающем устройстве стенда индукторный тормоз WS-1200 фирмы SCHENCK способен рассеять мощность до 1200 кВт (1600 л.с.). В 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. Мультипликаторы предназначены для согласования реальных значений крутящих моментов и угловых скоростей на левом и правом валах ведущих колёс с рабочими характеристиками вала тормоза WS-1200.

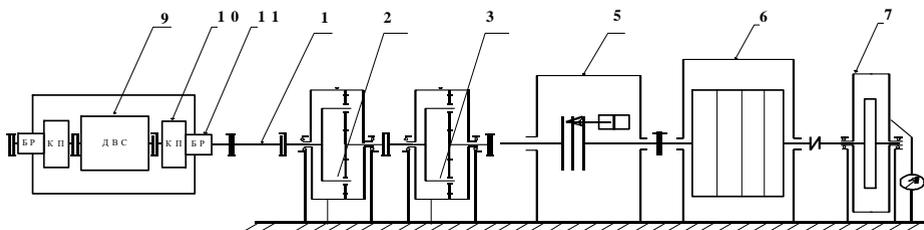


Схема I

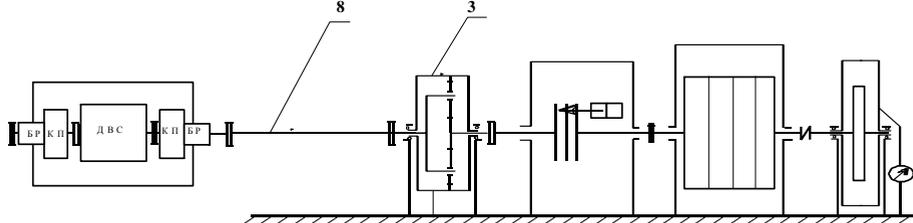


Схема II

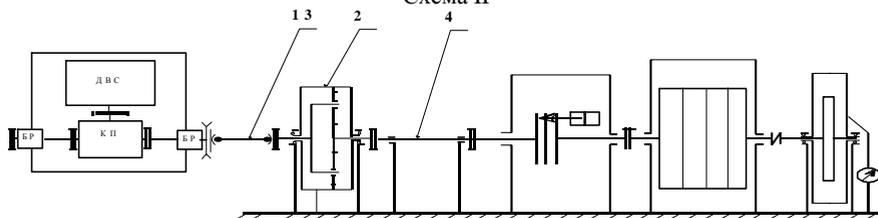


Схема III

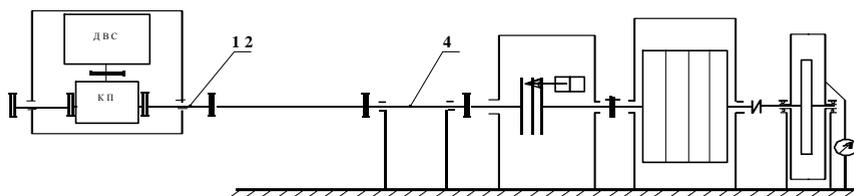


Схема IV

- | | |
|--|--|
| 1 - вал соединительный; | 8 - торсион; |
| 2 - мультипликатор 2 с $i_2=3.14$; | 9 - двигатель; |
| 3 - мультипликатор 1 с $i_1=6$; | 10 - бортовая передача; |
| 4 - вал переходной вместо мультипликатора 1; | 11 - бортовой редуктор; |
| 5 - фрикцион; | 12 - вал переходной вместо бортовой коробки передач и редуктора; |
| 6 - инерционный барабан; | 13 - карданный вал |
| 7 - тормоз типа WS - 1200; | |

Рис. 1. Схемы сборки нагружающего устройства (на один борт)

С целью обеспечения испытаний колёсных машин с несколькими ведущими мостами были изготовлены суммирующие редукторы, позволяющие осуществлять стендовыми нагружающими устройствами одновременное торможение выходных валов двух задних ведущих мостов. Схема сборки такого нагружающего устройства приведена на рис.2.

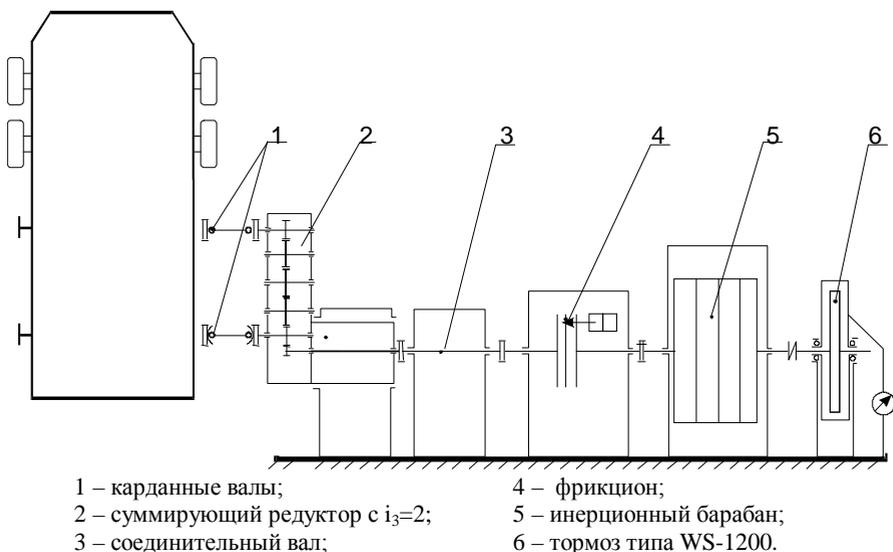


Рис. 2. Схема сборки нагружающего устройства для испытаний колёсных БТР (на один борт)

Суммирующий редуктор представляет собой рядный редуктор с одним выходным и двумя входными валами, к которым от ступиц ведущих колёс через карданные валы и переходные детали передаются крутящие моменты. 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.

Созданные в процессе модернизации стенда схемы 5-ти вариантов сборки нагружающих устройств имеют характеристики, представленные на рис. 3, и позволяют проводить испытания транспортных средств, различных по тяговым и весовым параметрам. Для правильного выбора схемы нагружающих устройств необходимо учитывать ограничение по минимальной (200 мин⁻¹) и максимально-допустимой частоте вращения ротора тормоза (соответствующей 4000 мин⁻¹), а также приведенный к валам ведущих колёс момент инерции I вращающихся деталей левого и правого нагружающих устройств, эквивалентный массе машины m согласно зависимости, приведенной

в [1]:
$$m = \frac{i^2 \cdot I}{R^2}$$

i – передаточное число одного из вариантов сборки нагружающего устройства;
R – радиус ведущего колеса.

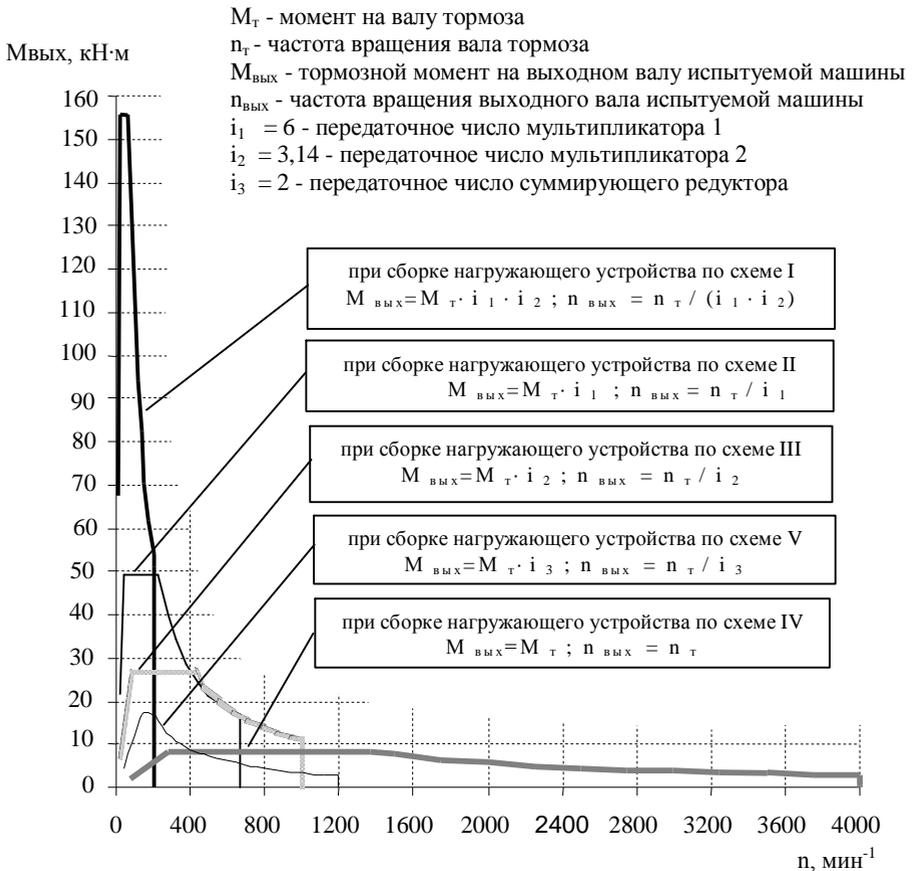


Рис.3. Характеристика нагружающего устройства

Соответственно каждая из схем сборки имеет свой диапазон массового эквивалента, регулируемого набором дисков инерционного барабана, и ограничение по скорости для проводимых испытаний. При подборе схемы испытаний можно ориентироваться на данные, приведенные в табл. 1 для машин с радиусом ведущих колёс $R=0,4$ м; при других значениях R необходимо производить пропорциональный перерасчёт.

Таблица 1

Допустимые максимальные скорости и массы испытуемых машин при разных схемах сборки нагружающих устройств стенда

№ схемы	Для машин с радиусом ведущих колёс 0,4 м		Передаточное число нагру- жающего устройства
	Максимальная скорость, км/ч	Диапазон имитации массы машины, т	
I	30	180 - 700	18,84
II	100	18 - 71	6
III	150	7,5 - 22	3,14
IV	600	0,6 - 2	1
V	180	2,2 - 8,1	2

В процессе проведения испытаний контроль над режимами работы испытуемого изделия осуществляется с помощью информационно-измерительного комплекса ТН800, состоящего из двух персональных компьютеров, блока согласования крейтового типа на 96 измерительных каналов (с возможностью расширения до 256) и двух принтеров. Данный комплекс позволяет в режиме реального времени с частотой от 1 до 100 Гц производить приём и обработку с высокой (до 0,5%) точностью сигналов, поступающих от установленных на испытуемом изделии датчиков. С помощью специального программного обеспечения производится графическое отображение информации на мониторы, а также печать протокола испытаний на принтере и сохранение в файле на жёстком диске компьютера.

Оборудование, измерительная и управляющая аппаратура стенда позволяют проводить испытания в условиях, достаточно близких к реальным условиям работы двигателя, трансмиссии и их систем, а также обеспечивают повторяемость этих условий при сравнительных испытаниях. В стендовом боксе предусмотрена возможность подачи на воздухозаборники силовой установки воздуха с регулируемой температурой от окружающей до $+55^{\circ}\text{C}$, что позволяет проводить доработку систем охлаждения силовых установок для эксплуатации в странах с жарким климатом.

Определение мощности на выходных валах при работе силовых установок под нагрузкой производится на режимах, характеризующихся устойчи-

вым равномерным вращением валов нагружающих устройств по следующей формуле:

$$N_{\text{вых}} = \frac{n_{\text{л}} \cdot (M_{\text{л}} + \Delta M_{\text{л}}) + n_{\text{пр}} \cdot (M_{\text{пр}} + \Delta M_{\text{пр}})}{9545}, \text{ кВт}$$

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 (Н·м);
 $\Delta M_{\text{л}}$ и $\Delta M_{\text{пр}}$ – потери на трение в левом и правом нагружающих устройствах, определённые практическим путём на стендах КП ХКБМ, (Н·м).

Рассмотрим более конкретно использование 5-ти схем сборки нагружающих устройств при исследованиях различных типов машин. В практике комплексного стенда схема II применяется в основном для проведения испытаний средних и тяжёлых машин спецназначения массой от 30 до 60 тонн. Схема I использовалась крайне редко из-за своего большого массового эквивалента; с её помощью изучались динамические процессы в системах силовых установок тяжёлых гусеничных машин при работе на низших передачах трансмиссии.

Назначение схемы III - проведение испытаний легкобронированных гусеничных машин. Так, например, данная схема была применена для определения мощностных характеристик модернизированной силовой установки БМП-2И весом 14.2 т с двигателем мощностью 294 кВт (400 л.с.) и штатной трансмиссией. В ходе испытаний были получены значения мощности на ведущих колёсах $N_{\text{вк}}$ при работе двигателя на режиме максимальной мощности ($n_{\text{дв}}=2600 \text{ мин}^{-1}$) при поочерёдном включении 4-ой и 5-ой передач, а также мощностная характеристика силовой установки на 3-й передаче во всем рабочем диапазоне работы двигателя (см. рис.4).

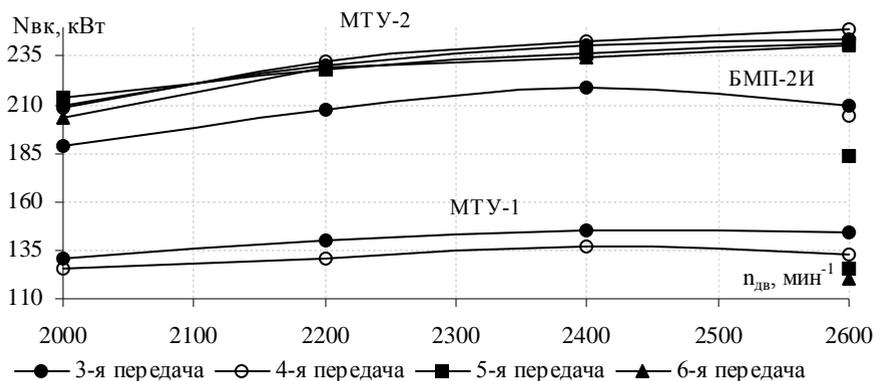


Рис.4. Мощностные характеристики силовых установок МТУ-1, МТУ-2 и БМП-2И

Схема IV может применяться для исследований лёгких колёсных машин, а также силовых установок гусеничных машин с демонтированными бортовыми трансмиссиями или бортовыми редукторами, как это происходило при проведении испытаний макетов двух вариантов моторно-трансмиссионных установок МТУ-1 и МТУ-2 [2]. Данные МТУ предназначались для модернизации гусеничного бронетранспортёра М113, в состав каждой из них входило отделение управления и моторно-трансмиссионное отделение с двигателем мощностью 220 кВт (300 л.с.) для МТУ-1 и двигателем мощностью 368 кВт (500 л.с.) для МТУ-2. Мощностные характеристики обеих МТУ на номинальных режимах работы двигателей при включённых 3 - 6-ой передачах КП приведены на рис. 4.

Схема V для колёсных машин была использована при проведении нагрузочных испытаний разработанных в КП ХКБМ силовых установок четырёхосного бронетранспортёра весом 16 т и двухосного броневедомого автомобиля весом 6,5 т.

Нагружение силовой установки бронетранспортёра, состоящей из дизеля мощностью 220 кВт (300 л.с.) и ступенчатой трансмиссии, производилось через два задних моста (рис. 5), при этом два передних моста были отключены.

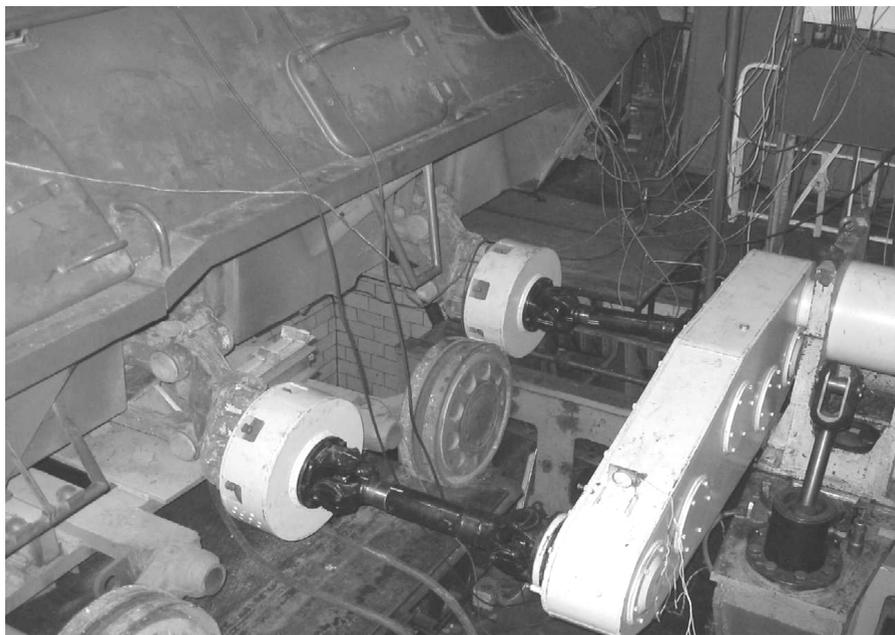


Рис.5. Подключение суммирующего редуктора к ступицам колёс задних мостов бронетранспортёра с помощью карданных валов и переходников

В ходе проведенных испытаний при работе на внешней характеристике двигателя в диапазоне частот вращения коленвала 1600 - 2600 мин⁻¹ на 4-ой и 5-ой передачах были получены мощностные характеристики и основные параметры силовой установки бронетранспортера, представленные на рисунке 6. Как видно из рисунка, измеренные значения мощности на ведущих колёсах $N_{вк}$ свидетельствуют об увеличении механических потерь с увеличением частоты вращения валов в трансмиссии. Вследствие этого на 5-ой передаче наибольшее значение мощности на ведущих колёсах находится в точке 2300 мин⁻¹, а не в точке максимальной мощности двигателя 2600 мин⁻¹.

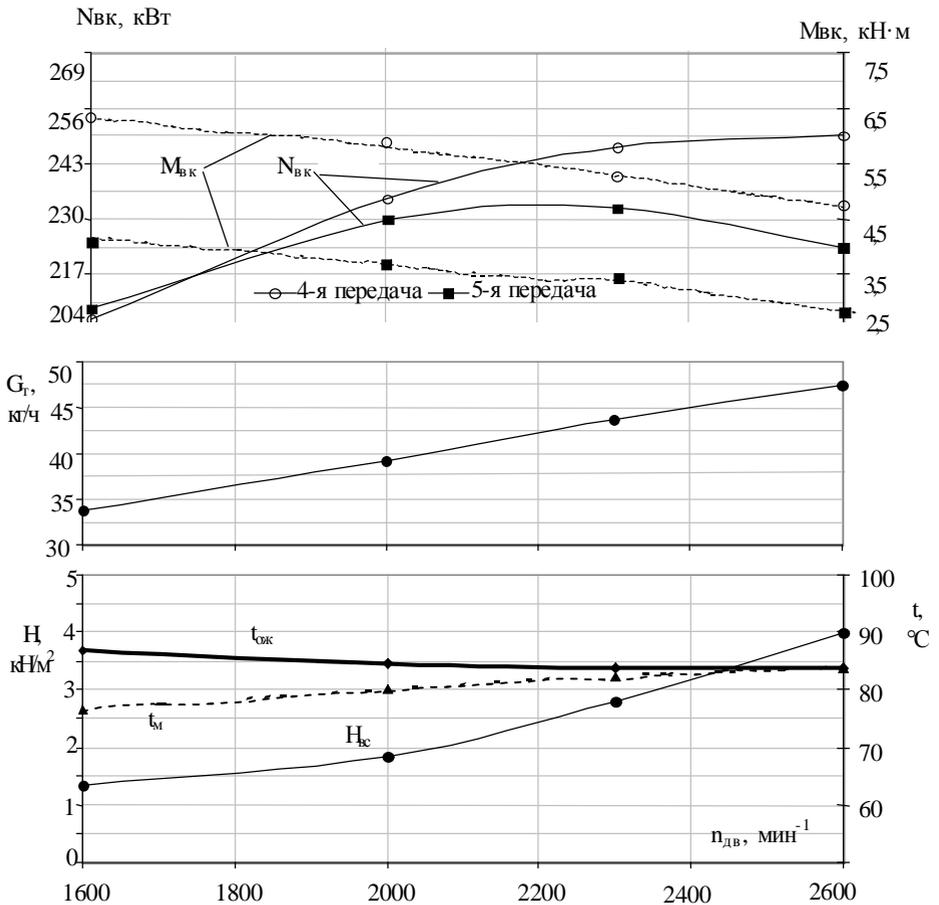


Рис. 6. Характеристики силовой установки бронетранспортера



Рис.7. Подключение входного вала суммирующего редуктора к ступице заднего колеса броневедомого автомобиля

Силовая установка броневедомого автомобиля состояла из ступенчатой коробки передач и дизеля мощностью 90 кВт (122 л.с.). Из-за большого расстояния между осями заднего и переднего мостов съём мощности на обоих бортах производился со ступицы колеса заднего моста через кардан к одному из валов суммирующего редуктора (рис.7).

На рисунке 8 представлены результаты измерений параметров силовой установки броневедомого автомобиля на режиме максимальной мощности двигателя, полученные с помощью измерительного комплекса ТН800.

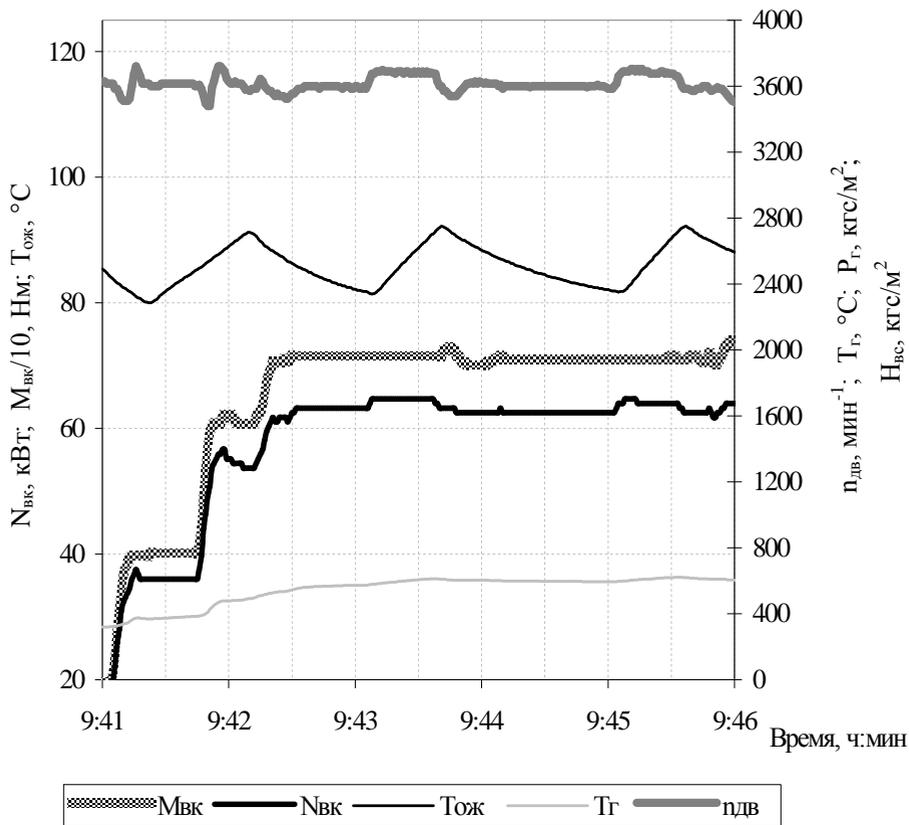


Рис. 8. Изменение параметров силовой установки броневедомого автомобиля при работе на 4-й передаче

Периодическое увеличение и уменьшение температуры охлаждающей жидкости $T_{ож}$ отображает работу системы охлаждения с автоматическим включением и выключением её вентилятора. В момент его включения на выходных валах наблюдается скачкообразное снижение мощности $N_{вк}$, соответствующее потреблению вентилятора.

Приведенные результаты исследований силовых установок колесных и гусеничных бронемашин демонстрируют достаточную эффективность стендовых испытаний и позволяют сократить объёмы полевых испытаний по оценке основных технических характеристик изделий.

ВЫВОДЫ

Модернизированный в КП ХКБМ им. А.А. Морозова нагрузочный стенд позволяет проводить испытания силовых установок разных типов колесных и гусеничных машин на номинальных и частичных режимах нагружения двигателя и трансмиссии при температуре воздуха от окружающих значений до $+55^{\circ}\text{C}$. Согласование тяговых, весовых и скоростных параметров различных транспортных средств с характеристиками стенда обеспечивается 5-ю схемами сборки нагружающих устройств.

Проведенные испытания разработанных в конструкторском бюро машин спецназначения подтвердили работоспособность всех вариантов сборки устройств стенда и демонстрируют возможность получения тяговых характеристик джипов, двух- и трёхосных грузовых автомобилей, автобусов, гусеничных и колёсных вездеходов военного и гражданского назначения, изделий бронетанковой техники.

Список литературы: 1. Основы теории транспортных гусеничных машин / Забавников Н.А. -М.: Машиностроение, 1975. 2. Кудров В.М., Кузьминский В.А. и др. Исследование параметров моторно-трансмиссионных установок бронетранспортёров // Механіка та машинобудування. - 2005. - №1. - С.145-149.

Поступила в редколлегию 20.10.07