

УДК 629.1.032.1

Борисюк М.Д., Вакуленко В.В., Бобер А.В., Зарянов В.А., Иванов Ю.П., Фолунин С.А.

## **О ПРИМЕНЕНИИ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ С ДВИГАТЕЛЕМ ЗТД-3А В БРОНЕТРАНСПОРТЕРЕ БТР-4Е**

**Актуальность проблемы.** Повышение мобильности мотопехотных подразделений сухопутных войск является одной из основных тенденций современного развития вооруженных сил большинства стран. В связи с этим, в настоящее время среди закупок бронетанкового вооружения на мировом рынке вооружений и военной техники преобладает легкобронированная бронетехника – бронетранспортеры, боевые машины пехоты, боевые машины десанта и машины на их базе.

Вместе с тем, повышение характеристик подвижности, предъявляемое к машинам этой категории, требует от разработчиков поиска все новых путей и комплексного подхода в решении данной проблемы, так как повышение мобильности осуществляется на фоне общего повышения тактико-технических характеристик легкобронированных машин: увеличения уровня защиты и огневой мощи, которые приводят к возрастанию массы машины.

С середины 1990-х годов в Украине ведутся работы по модернизации, а с начала 2000-х годов – и разработке новых конструкций бронетранспортеров. В КП ХКБМ им. А.А. Морозова были разработаны, изготовлены и прошли испытания опытные образцы бронетранспортеров с силовыми установками, оснащенными двигателями УТД-20, IVECO, DEUTZ и ЗТД-3А. Накопленный опыт работ по силовым установкам с двухтактными дизельными двигателями 5ТДФ, 6ТД и 6ТД-2 в значительной мере предопределил создание силовых установок для легкобронированной техники с аналогичными двигателями меньшей мощности.

Кроме того, при выборе типа двигателя для нового бронетранспортера, были учтены и такие основные преимущества двухтактных двигателей по сравнению с четырехтактными как:

- меньшие габаритные размеры и масса;
- более высокая габаритная и литровая мощности;
- меньшая суммарная теплоотдача в жидкие теплоносители.

**Целью данной статьи** является отражение теоретических и экспериментальных исследований по обеспечению эксплуатации бронетранспортера БТР-4Е в условиях жаркого (до 55 °С) и запыленного (до 2,5 г/кг) окружающего воздуха за счет применения силовой установки с двигателем ЗТД-3А.

**Основная часть.** Применяемая модель двигателя ЗТД-3А, разработанная КП ХКБД на базе типовой серии ЗТД, была спроектирована специально для установки в данный бронетранспортер и характеризуется следующими основными параметрами [1], которые приведены в таблице 1.

Тактико-техническим заданием на БТР были оговорены требования по выполнению боевых задач в условиях температур окружающего воздуха от минус 40 °С до 55 °С и его запыленности до 2,5 г/кг, без ограничений по скоростному и нагрузочному режимам.

Таким образом, основная задача для обеспечения эффективного функционирования силовой установки сводилась к созданию систем охлаждения, выпуска отработавших газов и питания воздухом с характеристиками, удовлетворяющими вышеуказанным требованиям.

Таблиця 1

Параметр	Значення
максимальная мощность двигателя при работе на дизельном топливе, кВт, (л.с.)	305 (415)
максимальный крутящий момент, Н·м (кгс·м)	1285,5 (131)
при статическом разрежении на впуске в дизель 0,0135 МПа (1350 мм вод. ст.) для расхода воздуха 0,8 кг/с и при статическом противодавлении на выпуске из дизеля 0,03 МПа (0,3 кгс/см <sup>2</sup> ) для расхода газа 0,77 кг/с;	
максимальная мощность двигателя в стендовых условиях, кВт, (л.с.)	368 (500)
удельный расход дизельного топлива на режиме максимальной мощности в стендовых условиях, г/кВт·ч (г/л.с.·ч)	211 (155)
теплоотдача дизеля в масло, кДж/ч (ккал/ч)	168 000 (40 000)
теплоотдача дизеля в ОЖ, кДж/ч (ккал/ч)	450 450 (110 000)
прокачка масла через двигатель, кг/ч	4500
прокачка ОЖ через двигатель, м <sup>3</sup> /ч	25
рабочий диапазон температур ОЖ, К (°С)	348...393(75...120)
максимальная температура ОЖ (кратковременно в течение одного часа), не более, К (°С)	403 (130)

Исходя из особенностей рабочего цикла двигателя, была выбрана эжекционная система охлаждения. Для обеспечения отвода тепла при повышении верхнего предела температуры окружающего воздуха до 55 °С потребовалась оптимизация параметров эжектора системы охлаждения и ресивера системы выпуска отработавших газов, определение наиболее рациональной величины давления на срезе сопел ресивера, а также площадей поверхности теплообменников водяного и масляного контура.

Выбор характеристик эжектора и ресивера производился путем расчета [2] и исследования методом моделирования. Принятые в конструкции параметры приведены в таблице 2.

Таблиця 2

Параметр	Обозначение	Размерность	Значение
Диаметр сопла	$d_c$	мм	12
Площадь сопел	$f_c$	м <sup>2</sup>	0,0055
Высота камеры смещения	$H_k$	м	0,08
Ширина свободного проходного сечения камеры смещения	$B_э$	м	1,3
Расстояние от среза сопел до камеры смещения	$l_c$	м	0,04
Длина камеры смещения эжектора	$l_k$	м	0,22
Длина диффузора эжектора	$L_d$	м	0,42
Углы раскрытия диффузора	$\alpha_1$	град	4
	$\alpha_2$	град	4
Число рядов сопел	—	—	2
Число сопел	$z_c$	—	48

Масштаб эжектора ( $m$ ), характеризующий его эффективность, определялся по соотношению

$$m = \frac{H_k B_3}{f_c} \quad (1)$$

Масштаб эжектора составил 18,91.

Расчет безразмерной характеристики эжектора осуществлялся по уравнению для квазистационарного потока отработавших газов

$$\frac{\Delta P}{h_1} = a + b \left( \frac{q}{\sqrt{\Delta}} \right)^2 - c \left( 1 + \frac{q}{\sqrt{\Delta}} \right)^2, \quad (2)$$

где  $\frac{\Delta P}{h_1}$  – коэффициент статического напора эжектора;  $a, b, c$  – коэффициенты уравнения эжектора;  $\frac{q}{\sqrt{\Delta}}$  – приведенный коэффициент эжекции, определяемый масштабом эжектора ( $m$ ).

Результаты расчета безразмерных характеристик приведены в таблице 3.

Таблица 3

$\frac{q}{\sqrt{\Delta}}$	5,98	5,18	4,44	4,04	3,64	3,09	2,49
$\frac{\Delta P}{h_1}$	-0,06674	0,12770	0,29372	0,38610	0,47268	0,56361	0,66635

Точки размерной характеристики вычислялись из уравнений

$$\Delta P_3 = \left( \frac{\Delta P}{h_1} \right) P_c x \quad \text{и} \quad G_3 = \left( \frac{q}{\sqrt{\Delta}} \right) G_1 \sqrt{\Delta}, \quad (3)$$

где  $\Delta P_3$  – статический напор эжектора, определяемый как разность статического давления на срезе диффузора и полного давления под радиаторами, кгс/см<sup>2</sup>;  $G_3$  – расход воздуха через пакет радиаторов, кг/с;  $P_c$  – скоростной напор на срезе сопел;  $x$  – коэффициент, учитывающий сжимаемость отработавших газов;  $G_1$  – расход газа через сопла эжектора, кг/с;  $\sqrt{\Delta}$  – температурный коэффициент.

После определения сопротивления сети  $\Delta P_3$  – суммы сопротивлений всех элементов воздушной трассы (входных и выходных жалюзи, пакета радиаторов) – строятся размерные характеристики эжектора и сети, являющиеся функцией  $G_3$ . Точка пересечения характеристики эжектора и сопротивления сети и определяет значение максимального расхода воздуха через пакет радиаторов (рис. 1).

Анализ проведенных расчетов позволил установить, что при производительности эжектора 4,96 кг/с на режиме максимальной мощности и фронтальной площади теплообменников 0,81 м<sup>2</sup> максимальная температура окружающего воздуха для эксплуатации двигателя без ограничений мощности составляет 55 °С.

Последующая отработка элементов системы охлаждения, проведенная натурным моделированием и исследованием параметров силовой установки на комплексном стенде под нагрузкой, позволила обеспечить установившийся тепловой режим при предельной эксплуатационной температуре окружающего воздуха 58 °С.

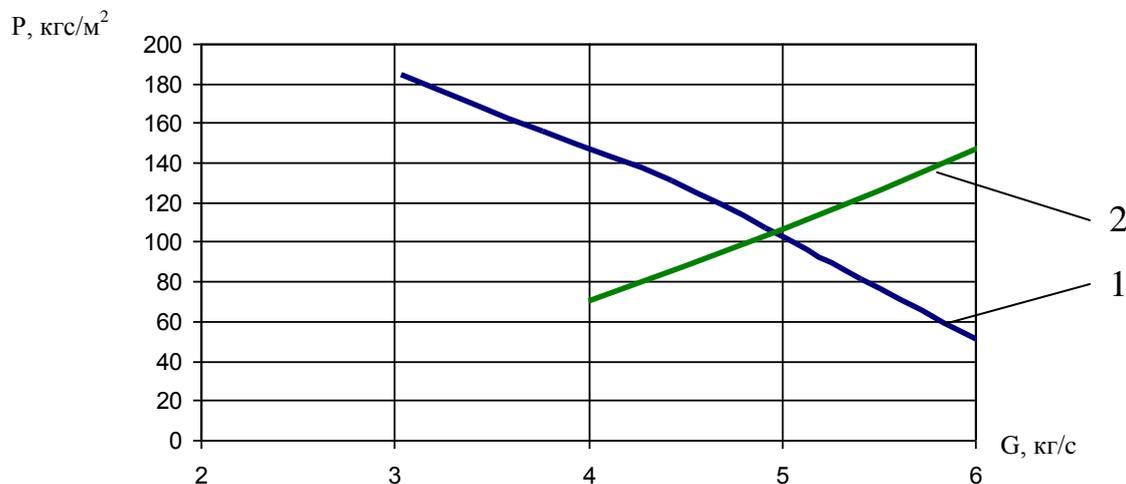


Рисунок 1 – Размерные характеристики эжектора и сети  
 1 – характеристика эжектора системы охлаждения;  
 2 – сопротивление сети системы охлаждения

Следующим этапом в решении поставленной задачи было создание системы питания двигателя воздухом, позволяющей эксплуатировать двигатель при запыленности окружающего воздуха 2,5 г/кг.

Конструктивно была принята схема с трехступенчатой очисткой воздуха, обеспечивающая степень очистки воздуха не менее 99,8 %, в которой первой ступенью является инерционная решетка, второй – циклонный аппарат, третьей – кассеты многоразового использования.

Система питания двигателя воздухом установлена в моторно-трансмиссионном отделе (МТО) и состоит из воздухозаборного устройства, расположенного в крыше МТО, бункера с инерционной решеткой, циклонного аппарата, кассет, трассы отвода очищенного воздуха из воздухоочистителя к нагнетателю двигателя, а также эжекторов для удаления пыли из пылесборника воздухоочистителя и инерционной решетки.

Воздухозаборное устройство, выполненное в виде сварной конструкции и состоящее из обечайки с откидными защитными жалюзи с сетками и фланца для крепления бункера воздухоочистителя, обеспечивает подвод воздуха в бункер воздухоочистителя.

Бункер воздухоочистителя – съемной конструкции, состоит из сварного кожуха, в котором установлена инерционная решетка и уплотняющие узлы, обеспечивающие уплотнение бункера с фланцем воздухозаборного устройства и циклонным аппаратом воздухоочистителя. В бункере с инерционной решеткой осуществляется предварительная очистка атмосферного воздуха и подвод его в циклонный аппарат воздухоочистителя. Пыль из пылесборника инерционной решетки удаляется эжектором.

Воздухоочиститель состоит из циклонного аппарата, установленного в сварном герметичном кожухе, съемных сеток, установленных на воздухоочистителе, патрубка отвода очищенного воздуха, который соединяется переходником с патрубком трассы к нагнетателю двигателя. Пыль из пылесборника циклонного аппарата удаляется эжекто-

ром. Вместе с пылесборником и эжектором пылеудаления он представляет собой вторую ступень очистки.

В головке воздухоочистителя размещены два блока кассет, каждый блок состоит из двух горизонтально расположенных кассет. Кассеты составляют третью ступень очистки воздуха. Каждая кассета состоит из корпуса и обечаек с сетками. Корпуса кассет заполнены специальной набивкой из тонкой проволоки.

Для исключения подсоса неочищенного воздуха между верхними и нижними кассетами воздухоочистителя установлены войлочные прокладки.

Для уменьшения суммарного веса бронетранспортера БТР-4Е узлы и детали системы питания двигателя воздухом изготовлены из алюминиевых сплавов.

Расчет системы питания двигателя воздухом проводился по методике [3] с учетом требований, предъявляемых к данному двигателю.

Нагрузка на один циклон вычислялась по формуле:

$$g = \frac{G_B}{Z_{\text{ц}}}, \quad (4)$$

где  $G_B$  – расход воздуха, кг/с;  $Z_{\text{ц}}$  – количество установленных циклонов, шт.

Сопротивление циклонного аппарата  $\Delta H_{\text{ц.а.}} = 800 \text{ кгс/м}^2$  определялось при  $g = 0,0049 \text{ кг/с}$  по графику комплексных характеристик циклонных аппаратов воздухоочистителей [4].

Суммарное сопротивление первой ступени очистки воздуха составило:  $\Delta H_{\text{вх.}} = 150 \text{ кгс/м}^2$ .

Сопротивление кассет составило:  $\Delta H_{\text{к.}} = 150 \text{ кгс/м}^2$ .

Суммарное аэродинамическое сопротивление системы питания двигателя воздухом определялось по формуле:

$$\Sigma H_{\text{во}} = \Delta H_{\text{ц.а.}} + \Delta H_{\text{вх.}} + \Delta H_{\text{к.}} \quad (5)$$

Суммарное аэродинамическое сопротивление системы составило  $1070 \text{ кгс/м}^2$ .

С целью проверки расчетных параметров системы питания двигателя воздухом были проведены стендовые испытания составляющих системы поэлементно.

Для уменьшения погрешности результатов стендовых приемосдаточных испытаний воздухоочистителей и оценки правильности проектирования всех ступеней очистки воздуха, воздухоочиститель был укомплектован всеми штатными узлами системы.

В процессе данных испытаний определялись следующие параметры воздухоочистителя:

– аэродинамическое сопротивление,  $H_{\text{во}}$ , которое должно быть в пределах  $(8,5^{+0,5}_{-1,5}) \text{ кПа} [(850^{+50}_{-150}) \text{ кгс/м}^2]$ ;

– коэффициент отсоса,  $q$ , (не менее 15 %);

– коэффициент пропуски,  $\varepsilon$ , (не более 0,22 %).

Результаты стендовых испытаний приведены в таблице 4.

Анализ проведенных расчетов и результатов испытаний показал, что контролируемые аэродинамические и пылевые параметры соответствуют требованиям, предъявляемым к системе питания двигателя воздухом, и позволяют обеспечить эксплуатацию бронетранспортера в условиях запыленности окружающего воздуха до  $2,5 \text{ г/кг}$ .

Таблиця 4

№ п/п	Параметр	Размерность	Значение
$N_e = 100\%$ мощности, $G_b = 0,8$ кг/с, $P_{стр} = 1,57$ кгс/см <sup>2</sup>			
1.	Начальное аэродинамическое сопротивление воздухоочистителя с кассетами в штатном режиме, $\Delta H_{во}$	кПа (кгс/м <sup>2</sup> )	8,43 (843)
2.	Аэродинамическое сопротивление первой ступени очистки воздуха, $\Delta H_{вх.}$	кПа (кгс/м <sup>2</sup> )	1,13 (113)
3.	Аэродинамическое сопротивление второй ступени очистки воздуха, $\Delta H_{ц.а}$	кПа (кгс/м <sup>2</sup> )	6,86 (686)
4.	Аэродинамическое сопротивление третьей ступени очистки воздуха, $\Delta H_{к}$	кПа (кгс/м <sup>2</sup> )	0,5 (50)
5.	Коэффициент отсоса эжектора пылеудаления, $q$	%	16,48
$N_e = 80\%$ мощности, $G_b = 0,63$ кг/с, $P_{стр} = 0,97$ кгс/см <sup>2</sup>			
6.	Коэффициент пропуска пыли, $\epsilon$	%	0,17

**Выводы.** Силовая установка с двигателем ЗТД-3А, созданная для бронетранспортера БТР-4Е на основании теоретических расчетов, конструкторских разработок и экспериментальных исследований, обеспечивает его эксплуатацию без ограничений по скоростному и нагрузочному режимам в условиях высоких температур и запыленности окружающего воздуха.

#### Литература

1. Двигатель ЗТД-3А. Технические условия 494СА. ТУ– Харьков, 2010 г.
2. ОСТ В3-1470-72 «Машины военные гусеничные. Методика расчета системы охлаждения» – М., 1972 г.
3. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. Госэнергиздат. М., 1960 г.
4. Отчет № 89030140 о составной части ОКР ВНИИТМ. 1989 г.

УДК 629.1.032.1

Борисюк М.Д., Вакуленко В.В., Бобер А.В., Зарянов В.А., Иванов Ю.П., Фолунін С.О.

### ПРО ЗАСТОСУВАННЯ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ З ДВИГУНОМ ЗТД-3А В БРОНЕТРАНСПОРТЕРІ БТР-4Е

У статті описано визначення на підставі розрахунків та експериментальних досліджень метод підвищення параметрів рухливості бронетранспортера БТР-4Е за рахунок використання силової установки з двигуном ЗТД-3А.

Borysiuk M.D., Vakulenko V.V., Bober A.V., Zaryanov W.A., Ivanov Yu.P., Folunin S.A.

### ABOUT USING THE POWER PACK WITH ENGINE 3TD-3A IN THE BTR-4E ARMORED PERSONNEL CARRIER

The article describes the method of updating the parameters of BTR-4E armored personnel carrier mobility at the expense of using the power pack with engine 3TD-3A. The method is grounded on the calculations and experimental researches.