

УДК 623.438.32

В.В. Вакуленко

*КП ХКБМ им. А.А. Морозова, Харьков*

## **ОСНОВНЫЕ ПУТИ СОЗДАНИЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ДЛЯ ВОЕННЫХ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН**

*В статье приведены материалы относительно выбора основных направлений создания многоступенчатой системы очистки воздуха для питания двигателей танков украинской разработки*

**Ключевые слова:** *система очистки воздуха, военная гусеничная машина.*

### **Актуальность проблемы**

Степень очистки воздуха для современных высокооборотных двигателей военных гусеничных машин является одним из основных факторов, определяющих надежность и долговечность двигателей. Как правило, двигатели имеют высокую степень давления в цилиндрах, что обеспечивается уменьшением зазоров в паре цилиндр-гильза. Исходя из этого, дисперсность пыли, содержащейся в воздухе после очистки воздухоочистителем, должна быть не больше зазоров в паре цилиндр-гильза. В противном случае наступает абразивный износ, который приводит к дополнительным потерям масла и снижению мощности двигателя.

История отечественного танкостроения неразрывно связана с совершенствованием систем очистки воздуха и выбором основных направлений, применительно к возрастающим требованиям к силовым установкам, способных обеспечивать надежную очистку воздуха в любых условиях эксплуатации. Учитывая массогабаритные ограничения любого объекта бронированной техники, постоянное увеличение мощности двигателей, создание систем очистки воздуха сопряжено с рядом технических трудностей. Повышение степени очистки воздуха связано с увеличением аэродинамического сопротивления, что

приводит к снижению помпажного запаса компрессоров наддувочного воздуха и увеличению объектовых потерь мощности на впуске [1 – 3].

Исходя из этого, создание эффективных систем очистки воздуха является актуальной задачей для любого транспортного объекта, особенно для военных гусеничных машин, эксплуатируемых в условиях повышенной запыленности воздуха.

### **Основная часть**

Наиболее распространенными вариантами системы очистки воздуха являются комбинированная многоступенчатая система и одноступенчатая на базе высокоэффективных циклонов инерционного типа.

Типичным вариантом многоступенчатой системы очистки воздуха является система, реализованная на танке Т-72 и его модификациях. Первая степень очистки воздуха выполнена на базе циклонов инерционного типа сравнительно невысокого аэродинамического сопротивления. Вторая степень представляет собой трехслойную кассету, две из которых пропитаны топливом, одна - маслом, применяемом в системе смазки двигателя. Многолетний опыт эксплуатации танков Т-72 в условиях повышенной запыленности воздуха показал, что такая система очистки воздуха обеспечивает движение танка без обслуживания или замены кассет в

объеме не более 400 км пробега. Распределение величин сопротивления и масса пыли, задерживаемой каскетами приведена в табл. 1.

Таблица 1  
Величины сопротивления и масса пыли

Кассета	Начальное аэродинамическое сопротивление		Конечное сопротивление		Масса задержанной пыли	
	кПа	%	кПа	%	г	%
верхняя	0,650	33	0,890	15	117	8
средняя	0,460	23	0,640	11	76	6
нижняя	0,880	44	4,430	74	1210	86
комплект	1,990	100	5,960	100	1403	100

Общее сопротивление, представляющее собой сумму потерь статического давления, складывается из сопротивления отдельных элементов:

$$\Delta D_{\hat{A}\hat{I}} = \Delta D_{\hat{\delta}} + \Delta D_{\hat{I},\hat{e}} + \Delta D_{\hat{n},\hat{e}} + \Delta D_{\hat{a},\hat{e}}$$

Коэффициент пропуска пыли при этом равен:

$$\xi_{\hat{A}\hat{I}} = \frac{\xi_{\hat{\delta}} \cdot \xi_{\hat{I},\hat{e}} \cdot \xi_{\hat{n},\hat{e}} \cdot \xi_{\hat{a},\hat{e}}}{100},$$

где  $\Delta D_{\hat{\delta}}$ ,  $\xi_{\hat{\delta}}$  – сопротивление и коэффициент пропуска циклонного аппарата;  $\Delta D_{\hat{I},\hat{e}}$ ,  $\xi_{\hat{I},\hat{e}}$  – сопротивление и коэффициент пропуска нижней каскеты;  $\Delta D_{\hat{n},\hat{e}}$ ,  $\xi_{\hat{n},\hat{e}}$  – сопротивление и коэффициент пропуска средней каскеты;  $\Delta D_{\hat{a},\hat{e}}$ ,  $\xi_{\hat{a},\hat{e}}$  – сопротивление и коэффициент пропуска верхней каскеты.

Анализ распределения сопротивления отдельных элементов системы очистки воздуха танка Т-72 показывает, что начальное сопротивление двух каскет - верхней и средней составляет 56%, при этом суммарно они накапливают всего лишь 14% пыли. В то же время нижняя каскета, пропитанная маслом, при общем уровне сопротивления в 44%, накапливает до 86% задерживаемой пыли.

Такая нерациональность, с учетом габаритов и сложности, не дает каких-либо преимуществ двухступенчатой системе очистки воздуха с 3-х слойными каскетами по сравнению с многоступенчатой системой, реализованной в танках украинской разработки, начиная с танка Т-80УД.

В качестве первой ступени в танке Т-72, использован циклон сравнительно низкой эффективности - с коэффициентом пропуска  $\cong 0,4\%$  на режиме работы двигателя 80% от  $N_{\hat{a}} \text{ max}$ .

Уровень очистки воздуха тремя каскетами может быть определен по эмпирической зависимости в безразмерном виде для чистых каскет по формуле:

$$\varepsilon_{\hat{e},\hat{I}} = \frac{1,4 \cdot 10 \bar{V}_{\hat{e}}^{0,5} \cdot \bar{S}^{1,2} \cdot \bar{d}_{\hat{I}\hat{\delta}}^{0,85}}{\left(1 + \bar{V}_{\hat{e}}^{1,5}\right) \left(1 + \bar{q}_{\hat{e}} \cdot 10^{-3}\right)^3 \left(1 + 10 \bar{I}\right)^2},$$

где  $\bar{V}_{\hat{e}} = V_{\hat{e}} / V_{\hat{e}1}$  – действительная скорость воздуха, отнесенная к скорости,  $V_0 = 1,0 \text{ м} / \text{с}$ ;  $\bar{S} = S / S_0$  – величина удельной набивки каскет, приходящаяся на единицу массы,  $S_0 = 1750 \text{ см}^2 / \text{а}$ ;  $\bar{d}_{\hat{I}\hat{\delta}} = d_{\hat{I}\hat{\delta}} / d_{\hat{I}\hat{\delta}0}$  –

диаметр проволоки канители каскет, отнесенный к  $d_{\hat{I}\hat{\delta}0} = 1 \text{ мм}$ ;  $\bar{q}_{\hat{e}} = q_{\hat{e}} / q_0$  – величина объемной набивки каскет,  $q_0 = 1,0 \text{ г} / \text{см}^3$ ;  $\bar{I} = \hat{I} / \hat{I}_0$  – высота каскет, при условии  $\hat{I}_0 = 1 \text{ м}$ .

Уровень очистки воздуха зависит от скорости потока воздуха из-за различия сущности механизма воздействия на частицы пыли: при малой скорости преобладает эффект диффузии, при большой - силы инерции. Анализ формулы, определяющей эффективность каскет, показывает, что основное влияние на эффективность очистки воздуха оказывает диаметр проволоки канители, удельная плотность набивка каскет, скорость потока воздуха и высота каскет.

Принимая во внимание, что общий пробег танка Т-72 в условиях Средней Азии до очередного обслуживания каскет не превышает 400 км, можно с уверенностью предположить о низкой эффективности каскет и системы очистки воздуха в целом.

Исходя из этого, система очистки воздуха на танках украинской разработки была построена на принципе использования каскет и разработки циклонов, способных обеспечить высокую степень очистки воздуха даже без каскет вообще.

В условиях жестких ограничений практически по всем размерам в базовой модели танка 478Б (прототипа танка Т-80УД) была создана новая многоступенчатая система очистки воздуха.

В качестве первой ступени, для защиты циклонного аппарата от слабозакрепленного растительного покрова местности, использовалась инерционная решетка с отсосом за счет разрежения в сопловом аппарате системы охлаждения.

На танках Т-10 и ПТ-76 инерционная решетка была единственным средством для очистки воздуха. Однако ее эффективность сравнительно невысока и коэффициент пропуска не может быть меньше 1,5%.

Техническим достижением явилось создание циклонного аппарата с коэффициентом пропуска на уровне 0,2%. Для этого был использован метод математического моделирования базового циклона с размерами - длина (L) - 242,0 мм и диаметр (D) - 42 мм. При создании такого циклона учитывались два взаимоисключающих фактора - высокая степень очистки всегда возможна только с ростом аэродинамического сопротивления, что ограничено потерями мощности силовой установки на систему всасывания помпажным запасом компрессора наддувочного воздуха. Приведем две основные формулы, характеризующие работу циклонного аппарата:

$$\Delta D_{\hat{\delta}} = \frac{D_1 - D_2}{\rho_1 W_1^2 / 2} + \left(1 - \lambda \frac{\ell_1}{D_1}\right) - \left(1 + \lambda \frac{\ell_2}{D_2}\right) \frac{\rho_2}{\rho_1} \left(\frac{W_2}{W_1}\right)^2;$$

$$\eta_0 = 1 - 0,139 D^{0,97} \times$$

$$\times \left[ (W d_1 f_1 / \mu)^{-0,87} \hat{O}_1 \tilde{N}_1 + \dots + (W d_n f_n / \mu)^{-0,87} \hat{O}_n C_n \right],$$

где  $\Delta E_0$  – величина аэродинамического сопротивления циклонного аппарата;  $E_1, \rho_1, W_1, \ell_1, D_1, \rho_2, \rho_2, W_2, \ell_2, D_2$  – характерные размеры во входном и выходном патрубке циклона;  $\eta_0$  – коэффициент очистки пыли циклонным аппаратом;  $D$  – наружный диаметр циклона;  $W$  – скорость газа на входе в циклон;  $f_{1...n}$  – удельный вес газовой среды;  $\hat{O}_1... \hat{O}_n$  – содержание частиц пыли отдельных фракций по массе;  $d_1...d_n$  – средний размер частиц пыли;  $\mu$  – динамическая вязкость воздуха.

Анализируя оба уравнения, нетрудно заметить, что уровень сопротивления зависит в основном от скорости воздушного потока во входном патрубке и плотности пылевоздушной смеси. В то же время величина пропускания пыли зависит как от скорости ( $W$ ), так и от размера элементарных частиц пыли, содержащихся в воздухе. Причем их размеры существенным образом отличаются в зависимости от районов эксплуатации объектов бронетехники. Наихудшие условия в этом случае – пустынные районы Средней Азии и пустыни Тар в Пакистане (другие районы нами не исследовались).

Для окончательной очистки воздуха, была разработана двухслойная кассета, способная в условиях Средней Азии задерживать до 1,5 кг мелкодисперсной пыли с фракционным составом до 5,0  $\mu\text{m}$ .

Такая система очистки воздуха способна обеспечить пробег танка до 1000 км в пустыне и до 3000 км в средней полосе Европейской части, где запыленность воздуха не превышает 0,5 г/кг. Исследования показали, что начальная запыленность воздуха в значительной степени зависит от скорости движения танка. Многоступенчатая система очистки воздуха, состоящая из инерционной решетки, циклонного аппарата высокой эффективности и двухслойной кассеты, на сегодняшний день является базовой и применяется на всех бронированных объектах, созданных КП ХКБМ им.А.А.Морозова за последние годы - Т-84 и БМ «Оплот».

Анализ такой системы позволяет выработать ряд критериальных зависимостей, которые позволят в зависимости от мощности двигателя и производительности компрессора наддувочного воздуха создавать систему очистки воздуха по модульному принципу. В качестве критериальных параметров

могут быть различные значения основных параметров, характеризующих работу отдельных элементов и системы очистки воздуха в целом.

## Выводы

1. Система очистки воздуха для любого транспортного средства является определяющим фактором, обеспечивающим надежность и длительность эксплуатации силовых установок.

2. В настоящее время существует два вида систем очистки воздуха - многоступенчатая и одноступенчатая. При этом многоступенчатая система предусматривает наличие циклонных аппаратов и абсолютных фильтров. Из-за большой производительности компрессоров наддувочного воздуха в одноступенчатых системах очистки воздуха используется циклонный аппарат с высокой степенью очистки воздуха.

3. Для украинских танков используется многоступенчатая система, в составе которой в качестве первой ступени используется инерционная решетка, второй ступени - циклонный аппарат высокой эффективности - с коэффициентом пропускания не хуже 0,2%, третьей ступени - двухслойная кассета, одна из которых пропитана топливом, другая - моторным маслом.

Такая система очистки воздуха обеспечивает пробег танка без обслуживания кассет до 1000 км в пустыне и 3000 км - в Европейской части, что значительно лучше в сравнении с системой очистки воздуха танка Т-72 российского производства.

4. Разработанная система очистки воздуха может быть использована для танков с силовыми установками любой мощности с сохранением основных критериальных зависимостей каждой ступени и системы в целом.

## Список литературы

1. Теория, конструкция и расчет танка / Под ред. П.П.Исакова. – Л.: Машиностроение, 1984. – Т.4. – 420 с.
2. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика / Г.Н. Абрамович. – М.: Наука, 1969. – 382 с.
3. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик. – М.: Госэнергоиздат, 1960. – 560 с.

Поступила в редколлегию 7.10.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.В. Певцов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## ОСНОВНІ ШЛЯХИ СТВОРЕННЯ ВИСОКОЕФЕКТИВНИХ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ПОВІТРЯ ДЛЯ ВІЙСЬКОВИХ ГУСЕНИЧНИХ МАШИН

В.В. Вакуленко

У статті приведені матеріали щодо вибору основних напрямків створення багатоступеневої системи очистки повітря для живлення двигунів танків української розробки.

**Ключові слова:** система очищення повітря, військова гусенична машина.

## BASIC WAYS OF CREATION OF THE HIGH-EFFICIENCY SYSTEMS OF CLEANING AIR ARE FOR SOLDIERY CATERPILLAR MACHINES

V.V. Vakulenko

In the articles resulted materials are in relation to the choice of basic directions of creation of the багатоступеневої системи of cleaning of air for the feed of engines of tanks of Ukrainian development.

**Keywords:** system of cleaning of air, military caterpillar machine.