

УДК.632.438.32

Климов В.Ф., Магерамов Л.К.-А., Михайлов В.В., Шипулин А.А.

К ВОПРОСУ ВЫБОРА ЭЖЕКТОРА СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ТАНКОВ С ДВУХТАКТНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

Актуальность темы. Условия эксплуатации танков довольно разнообразны, что ставит перед его создателями повышенные требования к проектированию систем силовой установки. Рассматривая различные режимы, доказано, что в любых условиях система очистки воздуха должна обеспечивать высокую степень очистки воздуха, что определяется уровнем очистки воздуха собственно воздухоочистителем и системой автоматического удаления пыли. Последовательное развитие систем очистки воздуха для бронированной техники, разрабатываемой Харьковским конструкторским бюро по машиностроению им. А.А. Морозова показало, что наиболее благоприятной системой является многоступенчатая комбинированная, отличительной особенностью которой является высокоэффективная первая ступень в виде инерционной решетки с отсосом за счет энергии эжекционной системы охлаждения, малогабаритные циклоны сравнительно низкого сопротивления с высокой эффективностью и двухслойные накопительные кассеты. Для надежной работы систем очистки воздуха на всех режимах эксплуатации танков необходима эффективная система автоматического удаления пыли.

Сложность решения этой проблемы определяется постоянным изменением аэродинамических характеристик системы очистки воздуха и параметров двигателя, находящихся в прямой зависимости от режимов эксплуатации. Исходя из этого, весьма актуальной является создание надежных систем очистки воздуха, что, в конечном счете, определяет долговечность и надежность двигателя.

Цель работы. Целью данной статьи является обоснование технических решений выбора способов удаления пыли от инерционной решетки и воздухоочистителя в целом для танков с двухтактными двигателями.

Основная часть. Рассматривая особые режимы эксплуатации танков следует остановиться на эксплуатации танков в пустынных условиях, движении в режимах «Брод» и «ПХ», движении при низких и высоких температурах окружающего воздуха в условиях высокогорья на различных видах топлива. Это далеко не все «особые» режимы эксплуатации танков. Однако перечисленные режимы наиболее полно отражают изменение исходных характеристик, определяющих работу системы очистки воздуха. Общим для всех этих режимов является изменение аэродинамических характеристик системы очистки воздуха и газодинамических показателей двигателя.

Преодоление водных преград и глубокого брода. Одной из характеристик танка является его способность преодолевать водные преграды. Танки разработки ХКБМ им. А.А. Морозова способны преодолевать водные преграды глубиной до 1,8 м без предварительной подготовки. Высота танка Т-84 и «Оплот» по силовому отделению составляет 1,4 м. Танки Т-64А, Т-80УД, Т-84 «Оплот» брод глубиной до 1,8 м преодолевают без предварительной подготовки и без выхода экипажа из танка. Это достигается за счет разработки специальных герметизирующих устройств и воздухозаборного устройства с телескопическими трубами, приводимыми в положение «Брод» специальными устройствами.

Преодоление водных преград глубиной до 5 м осуществляется после подготовки танка на суше. В этом состоянии танк может двигаться со скоростью до 25 км/ч на расстояние до 20 км. После преодоления водных преград воздухозаборная и выхлопная труба сбрасываются автоматически путем поворота башни и в дальнейшем танк способен двигаться по суше без каких-либо ограничений. В режимах «Брод» и «Движение под водой» аэродинамическое сопротивление резко повышается из-за увеличения сопротивления входных элементов и превышает предельно допустимые величины для режимов нормальной эксплуатации. Исходя из этого в случае преодоления водных преград, система сигнализации предельного сопротивления отключается. Но и в этом случае для очистки воздуха необходимо обеспечивать коэффициент отсоса не менее 5 %. В сравнении с танками зарубежных стран, танки украинской разработки имеют значительное преимущество по возможности преодоления водных преград глубиной до 1,8 м. Зарубежные танки не имеют устройств для преодоления глубокого брода без предварительной подготовки и без выхода членов экипажа из танка. Учитывая, что почти все танки имеют высоту по моторному отделению на уровне 1,4 м, то они способны двигаться через водную преграду глубиной не более 1,2 м.

Движение в пустыне. Для пустынной местности характерны высокое содержание пыли в воздухе и повышенная температура окружающей среды. Пустыни представляют собой, как правило, такыры и

барханы. Пустынна пыль значительно более мелкая в сравнении с пылью Средней полосы европейской части. Сравнительный анализ пылей в различных районах эксплуатации показал, что наиболее благоприятным для системы очистки воздуха является район г. Чугуева, где запыленность воздуха в среднем находится на уровне 0,5 г/кг. В то время как в пустыне Кара-Кум (Туркменистан) Средняя запыленность составляет $\cong 2,5 \dots 3,0$ г/кг при пиковых значениях более 10,0 ... 15,0 г/кг. Кроме того, в пустынной пыли содержится большее количество мелких фракций от «0» до 10 $\mu\text{к}$. За счет этого коэффициент пропуска циклонного аппарата на всех режимах работы двигателя увеличивается в 2,0 ... 2,5 раза. С увеличением коэффициента пропуска пыли увеличивается и количество пыли, пропускаемой циклонным аппаратом, что уменьшает длительность движения танка без обслуживания каскет. Испытания показали, что пробег танка Т-80УД в пустыне Кара-Кум без обслуживания каскет составляет около 1000 км, в районе Чугуева – до 6000 км пробега. Наибольшее количество пыли мелких фракций характерно для такыра и более крупные фракции пыли содержатся на барханах и сыпучих песках. В большей степени исследована пыль пустыни Кара-Кум и в меньшей степени – пустыни Тар (Пакистан). Однако пыль пустыни Тар содержит кроме глинистых фракций значительное количество мелких каменных составляющих, что ставит ее в один ряд практически с пылью, рекомендуемой ГОСТ В18185-72 для оценки эффективности циклонных аппаратов и воздухоочистителей в целом любых объектов бронированной техники. Немаловажную роль играет величина начальной запыленности воздуха, которая зависит от множества причин, главными из которых являются – скорость движения объекта, скорость и направление ветра, состояние трассы пробега изделия, глубина разбитого покрова местности, формы изделия и уровень защиты воздухозаборных устройств. И если ряд причин, влияющих на уровень запыленности воздуха, практически невозможно изменить или повлиять на их вероятность снижения, то за счет глубокого изучения всех факторов возможно значительно снизить запыленность воздуха на входе в воздухоочиститель и увеличить, таким образом, продолжительность движения танка без обслуживания каскет для каскетных воздухоочистителей.

При эксплуатации танков в условиях повышенных температур окружающего воздуха, уровень запыленности воздуха и эффективность циклонного аппарата изменяются незначительно. Высокие температуры влияют в большей степени на эффективность систем отвода тепла. Однако следует отметить, что с ростом температуры воздуха снижается плотность воздуха и уменьшается объемная производительность компрессора наддувочного воздуха, что в свою очередь приводит к некоторому снижению общего сопротивления системы очистки воздуха.

Способы удаления пыли из пылесборника воздухоочистителя. В настоящее время существует 2 способа удаления пыли из пылесборника воздухоочистителя – эжекторный и вентиляторный. Каждый из этих способов имеет множество конструктивных решений, главное и которых основной источник, создающий энергию, способную удалять пыль, накапливаемую в пылесборнике. Основное правило работы эжектора – пылесборник постоянно чист и пыль удаляется автоматически в минимально возможное время.

Источником энергии для эжекторных систем могут быть либо сжатый воздух, отбираемый после компрессора наддувочного воздуха, либо выпускные газы, отбираемые в количестве, необходимом для создания заданного коэффициента отсоса. Для двухтактных двигателей использование сжатого воздуха более предпочтительно, так как компрессор создает давление не менее 3,5 атм, что дает возможность при выборе характеристик эжектора более свободно проектировать эжектор с учетом широкого поля значений величин разрежения в пылесборнике для режимов нормальной эксплуатации и «Брод». Учитывая, что разрежение в пылесборнике воздухоочистителя может изменяться от 1,0 до 10 кПа, выбор характеристик следует вести исходя из оптимизации масштаба эжектора и изменения сопротивления входных устройств.

Уравнение эжектора можно представить в виде:

$$\Delta P_3 = a + v \left(q \sqrt{\Delta} \right)^2 - c \left(1 + q / \sqrt{\Delta} \right)^2.$$

Это наиболее простое и полное выражение, характеризующее геометрические и гидравлические характеристики эжектора в данном уравнении:

$\bar{\Delta} P_3$ – статический напор эжектора; a, v, c – коэффициенты уравнения эжектора; q – коэффициент эжекции, равный отношению $\frac{G_2}{G_1}$, где G_2 – расход эжектируемого воздуха, G_1 – расход эжектирующего воздуха.

Коефіцієнти a, ν і c характеризують якість самого ежектора, зміна величин яких дає можливість наблизити ежектор до потрібних характеристик по напорності і продуктивності по повітря.

Важким критерієм будь-якого ежектора є його масштаб – « m », який дорівнює співвідношенню:

$$m = H_{\kappa} \frac{B_{\nu}}{f_c},$$

де H_{κ} – висота камери змішування; B_{ν} – ширина проходного сечення камери змішування; f_c – сумарна площа сопел соплового апарату ежектора.

Вибрав масштаб ежектора, коефіцієнт « a » визначиться з формули

$$a = \frac{2}{m}.$$

Коефіцієнт « ν » визначає мінімальні втрати тиску за рахунок оптимізації входного ділянки камери змішування і виражається наступною залежністю:

$$\nu = \frac{(1 - \xi_{ex})(m - 2)}{[m(m - 1)^2]},$$

де ξ_{ex} – коефіцієнт опору входного ділянки.

Коефіцієнт « c » визначає умови виходу газу в диффузор і геометричні особливості диффузора з точки зору повного використання енергії ежектора з мінімальними втратами статического тиску. Для цього для будь-якого варіанта ежектора визначається коефіцієнт якості « A » по формулі:

$$A = (2 - \gamma_e) K_3 + \xi_m,$$

де $\gamma_e = [1 - 2(K_3 - 1)] \gamma_{e1}$.

Величини γ_{e1} і K_3 визначаються експериментальними дослідженнями і як правило рівні 0,92 і 1,04 відповідно. Тоді коефіцієнт « c » легко визначити по формулі:

$$c = \frac{A}{m^2}.$$

З наведених формул значимості коефіцієнтів a, ν і c видно, що саме вони дають можливість оптимально в умовах реальної компоновки ежектора і системи охолодження вибрати таке поєднання розмірів, яке могло б задовольнити умовам створення необхідної продуктивності ежектора.

Після визначення основних коефіцієнтів ежектора, рівняння ежектора можна представити в більш масштабному вигляді:

$$\frac{\Delta P_{omc}}{n_1} = \frac{2}{m} + \frac{m - 2}{(m - 1)^2 m} \left(\frac{0,01 \cdot q_{omc}}{\sqrt{\Delta} \cdot G} \right)^2 - \frac{A}{m^2} \left(1 + \frac{0,01 \cdot q_{omc}}{\sqrt{\Delta} \cdot G} \right)^2.$$

Динамічний тиск (d_1) і температурний фактор (Δ) визначаються з наступних рівнянь:

$$\eta_1 = \frac{g}{2\rho_1 F_c^2};$$

$$\Delta = \frac{P_{omc}}{F_c},$$

де ρ – густина пилевоповітряної суміші; F_c – площа сопел виходу повітря.

Учитывая, что количество пыли, содержащейся в воздухе не превышает 3 %, возможно представить плотность воздуха при заданной температуре без учета пыли, удельный вес которой примерно в 2,5 раза выше.

Создание эжектора для систем очистки воздуха с двигателями любой мощности технически решается более просто, без значительных потерь объектовой мощности. Модернизация любых бронированных объектов всегда направлена на установку более мощного двигателя. В этом случае оптимизация эжектора для удовлетворения технических требований по всем параметрам, предъявляемым к системе очистки воздуха, решается за счет изменения геометрических размеров эжектора и выбора диаметра сопел эжектора.

Хотя следует учитывать, что увеличение диаметра сопел истечения воздуха связано с увеличением расхода воздуха, отбираемого после компрессора наддувочного воздуха. Потери мощности на отбор воздуха от компрессора выражаются как часть мощности, затраченной на привод компрессора наддувочного воздуха.

Для танков украинской разработки, начиная от танка Т-64 и до танка БМ «Оплот» использовалась эжекционная система удаления пыли из пылесборника. Постепенно увеличивалась мощность двигателя от 700 (515) л.с./кВт до 1200 (882) л.с./кВт и производительность компрессора наддувочного воздуха от 1,2 до 1,85 кг/с. Несмотря на это допустимое аэродинамическое сопротивление, представляющее собой сумму потерь статического давления, оставалось для всех типов танков неизменным на уровне $\cong 13$ кПа. Однако для каждого танка постоянно оптимизировались эжекторы, исходя из реальных значений производительности компрессора и давлений наддувочного воздуха. Экспериментальными исследованиями было определено, что отбор сжатого воздуха от компрессора для эжектора на уровне 0,1 кг/с эквивалентен потерям мощности $\cong 25$ л/с.

Таким образом, эжекционные системы для удаления пыли из пылесборника воздухоочистителя, используемые на танках украинской разработки, позволяют решать задачи сохранения требуемых параметров для каждого варианта танка на основе оптимизации основных геометрических параметров (по коэффициентам a, b, c) и масштаба (m_s).

Эжекторы, работающие на энергии отработавших газов более приемлемы для четырехтактных двигателей, поскольку для таких двигателей требуется меньшая производительность вентиляторов подачи воздуха на питание двигателя и меньшая степень повышения давления воздуха. Оптимизация эжектора проводилась в большей степени увеличением расхода газа, и изменения проточной части самого эжектора и диффузорной части.

Для четырехтактных двигателей характерно широкое изменение расхода воздуха, температуры и давления газов. Поэтому необходимо обеспечить расчетное значение коэффициента отсоса на самых неблагоприятных режимах. В этом случае масштаб (m_s) подбирается исходя из условий:

$$m_{opt} = A \left(\frac{1 + 0,01q_{omc}}{\sqrt{\Delta}} \right).$$

Учитывая, что коэффициент качества эжектора (А) для эжекторов подобного типа практически не влияет на характеристику эжектора, можно предположить, что наиболее оптимальными могут быть условия, при которых будет сохранено следующее равенство:

$$\left(\frac{\Delta P_{omc}}{\eta_1} \right)_{max} = \frac{1}{m_{opt}}.$$

При выборе эжектора независимо от его типа, наиболее важным элементом является масштаб эжектора (m). Именно он определяет эффективность удаления пыли на всех эксплуатационных режимах движения танка либо любого другого объекта специального назначения.

Это уравнение наиболее полно отражает выбранную величину эжектора и изменение (m_{opt}) крайне нежелательно как в меньшую, так и в большую степень. Изменение параметров выпускных газов связано с противодавлением выпуска, создаваемом эжектором и связано с динамическим давлением следующим соотношением; определяемым из уравнения Бернулли:

$$P_2 = \eta_1 - \Delta P'_{omc} - \eta_{кол} (1 - \xi_{кол}),$$

$\eta_{кол}$ – динамическое давление газа в выходном сечении выпускного коллектора двигателя; ξ – коэффициент потерь на участке трассы от коллектора до соплового аппарата.

Для эжекторов, работающих на энергии выпускных газов характерно меньшее влияние потерь мощности при отборе газов на эжектор отсоса пыли из пылесборника воздухоочистителя. Однако с изменением количества газов и отсасываемого из пылесборника воздуха изменяются коэффициенты сопротивления (ξ) и качества (A), что и определяет потери мощности противодействия системы выпуска отработавших газов.

ВЫВОДЫ

1. К системам очистки воздуха объектов бронированной техники предъявляются особые требования обеспечения надежной работы во всех режимах эксплуатации, связанных с изменением аэродинамических характеристик и повышенным содержанием пыли в воздухе.

2. Одним из элементов, обеспечивающем надежную работу системы очистки воздуха является эжектор автоматического удаления пыли от первой ступени и пылесборника воздухоочистителя.

3. Для двухтактных двигателей отличительной особенностью которых является высокая степень давления воздуха после компрессора и эжекционная система охлаждения, оптимальными являются газовые эжекторы, обеспечивающие надежную работу систем очистки воздуха с минимальными затратами мощности двигателей.

Литература

1. Теория танка, 10-томное изд. под редакцией П.П.Исакова, Ленинград, т.4, 1984 г.
2. Конструирование и расчет танка, проф. Талу К.А. Военная ордена Ленина бронетанковая академия, 1958 г.
3. Климов В.Ф. Модульный метод проектирования систем очистки воздуха для объектов бронированной техники / Михайлов В.В., Кудреватых Д.Н., Шипулин А.А. // Интегрированные технологии и энергосбережение, №1.– 2013.– С. 18–21.
4. Климов В.Ф. Оценка эффективности систем очистки воздуха военных гусеничных машин / Магерамов Л.К.-А., Михайлов В.В., Шипулин А.А., Кудреватых Д.Н. // Механіка та машинобудування НТУ «ХПІ» Харків, 2, 2012, с. 105–110.
5. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М. Госэнергоиздат, 1960 г.
6. Климов В.Ф. Циклон для системы очистки воздуха объектов бронированной техники / Колбасов А.Н. // Интегрированные технологии и энергосбережение, Харьков, НТУ «ХПИ».– №3, 2007.– С. 48–50.

Bibliography (transliterated)

1. Teoriya tanka, 10-tomnoe izd. pod redaktsiye P.P.Isakova, Leningrad, t.4, 1984 g.
2. Konstruirovaniye i raschet tanka, prof. Talu K.A. Voennaya ordena Lenina bronetankovaya akademiya, 1958 g.
3. Klimov V.F. Modulnyiy metod proektirovaniya sistem ochistki vozduha dlya ob'ektov bronirovannoy tehniky. Mihaylov V.V., Kudrevatyih D.N., Shipulin A.A. Integrirovannyye tehnologii i energosberezhenie, #1.– 2013.– P. 18–21.
4. Klimov V.F. Otsenka effektivnosti sistem ochistki vozduha voennyih gusenichnyih mashin. Mageramov L.K.-A., Mihaylov V.V., Shipulin A.A., Kudrevatyih D.N. Mehanika ta mashinobuduvannya NTU «HPI» Harkiv, 2, 2012, p. 105–110.
5. Idelchik I.E. Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam. M. Gosenergoizdat, 1960 g.
6. Klimov V.F. Tsiklon dlya sistemyi ochistki vozduha ob'ektov bronirovannoy tehniky / Kolbasov A.N. Integrirovannyye tehnologii i energosberezhenie, Harkov, NTU «HPI».– #3, 2007.– P. 48–50.

УДК 623.438.32

Клімов В.Ф., Магерамов Л.К.-А., Михайлов В.В., Шипулін О.О.

ДО ПИТАННЯ ВИБОРУ ЕЖЕКТОРА СИСТЕМИ ОЧИСТКИ ПОВІТРЯ ТАНКІВ З ДВОТАКТНИМИ ДВИГУНАМИ

У статті показані особливі режими експлуатації танків та необхідність створення повітроочисників з високою ефективністю ежекторів, що працюють на енергії стисненого повітря.

Klimov V.F., Mageramov L.K.-A., Mikhailov V.V., Shipulin O.O.

ABOUT SELECTING AN EJECTOR FOR THE AIR CLEANING SYSTEM OF TANKS THAN ARE FITTED WITH TWO-STROKE ENGINES

The article describes specific modes of operation of tanks and the necessity of designing air cleaners that are fitted with high-efficiency ejectors that operate by wing energy of compressed air.