

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 каскады. 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. Пустынная 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 кассет. Испытания показали, что пробег танка Т-80УД в пустыне Кара-Кум без обслуживания кассет 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 каменистых 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 кассет для кассетных 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 – эжекционный 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 эжекционных 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:

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

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.

Коэффициенты a, v и c характеризуют качество самого эжектора, изменение величин которых дает возможность приблизить эжектор к требуемым характеристикам по напорности и производительности по воздуху.

Важним критерием любого эжектора является его масштаб – « m », который равен соотношению:

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

где H_{κ} – высота камеры смешения; $B_{\text{э}}$ – ширина проходного сечения камеры смешения; f_c – суммарная площадь сопел соплового аппарата эжектора.

Выбрав масштаб эжектора, коэффициент « a » определится из формулы

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

Коэффициент « ϵ » определяет минимальные потери давления за счет оптимизации входного участка камеры смешения и выражается следующей зависимостью:

$$\epsilon = \frac{(1 - \xi_{\text{вх}})(m - 2)}{[m(m - 1)^2]},$$

где $\xi_{\text{вх}}$ – коэффициент сопротивления входного участка.

Коэффициент « c » определяет условия выхода газа в диффузор и геометрические особенности диффузора с точки зрения полного использования энергии эжектора с минимальными потерями статического давления. Для этого для любого варианта эжектора вычисляется коэффициент качества « A » по формуле:

$$A = (2 - \gamma_{\epsilon}) K_3 + \xi_m,$$

где $\gamma_{\epsilon} = [1 - 2(K_3 - 1)] \gamma_{\epsilon 1}$.

Величины $\gamma_{\epsilon 1}$ и K_3 определяются экспериментальными исследованиями и как правило равны 0,92 и 1,04 соответственно. Тогда коэффициент « c » легко вычислить по формуле:

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

Из приведенных формул значимости коэффициентов a, ϵ и c видно, что именно они дают возможность оптимально в условиях реальной компоновки эжектора и системы охлаждения выбрать такое сочетание размеров, которое могло бы удовлетворить условиям создания необходимой производительности эжектора.

После определения основных коэффициентов эжектора, уравнение эжектора можно представить в более масштабном виде:

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

Динамическое давление (d_1) и температурный фактор (Δ) определяются из следующих уравнений:

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

$$\Delta = \frac{\rho_{\text{омс}}}{F_c},$$

где ρ – плотность пылевоздушной смеси; F_c – площадь сопел истечения воздуха.

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

об'єктів завжди направлена на установку більш потужного двигателя. В цьому випадку оптимізація ежектора для задоволення технічних вимог по всім параметрам, пред'являемим до системи очищення повітря, вирішується за рахунок зміни геометричних розмірів ежектора і вибору діаметра сопел ежектора.

Хоча слід врахувати, що збільшення діаметра сопел виходу повітря пов'язано з збільшенням витрати повітря, відбираемого після компресора наддувочного повітря. Втрати потужності на відбір повітря від компресора виражаються як частину потужності, затраченої на привод компресора наддувочного повітря.

Для танків української розробки, починаючи від танка Т-64 і до танка БМ «Оплот» використовувалась ежекційна система видалення пилі з пылесборника. Поступово збільшувалась потужність двигателя від 700 (515) л.с./кВт до 1200 (882) л.с./кВт і продуктивність компресора наддувочного повітря від 1,2 до 1,85 кг/с. Незважаючи на це допустиме аеродинамічне опір, що представляє собою суму втрат статичного тиску, залишалося для всіх типів танків незмінним на рівні $\cong 13$ кПа. Однак для кожного танка постійно оптимізувалися ежектори, виходячи з реальних значень продуктивності компресора і тисків наддувочного повітря. Експериментальними дослідженнями було встановлено, що відбір стиснутого повітря від компресора для ежектора на рівні 0,1 кг/с еквівалентен втратам потужності $\cong 25$ л/с.

Таким чином, ежекційні системи для видалення пилі з пылесборника воздухоочистителя, що використовуються на танках української розробки, дозволяють вирішувати завдання збереження потрібних параметрів для кожного варіанта танка на основі оптимізації основних геометричних параметрів (по коефіцієнтам a, b, c) і масштабу (m_s).

Ежектори, що працюють на енергії оброблених газів більш прийнятні для чотирьохтактних двигателів, оскільки для таких двигателів вимагається менша продуктивність вентиляторів подачі повітря на живлення двигателя і менша ступінь підвищення тиску повітря. Оптимізація ежектора проводилась в більшій ступені збільшенням витрати газу, і зміни проточної частини самого ежектора і дифузійної частини.

Для чотирьохтактних двигателів характерно широке змінювання витрати повітря, температури і тиску газів. Тому необхідно забезпечити розрахункове значення коефіцієнта відбору на самих небажаних режимах. В цьому випадку масштаб (m_s) вибирається виходячи з умов:

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

Враховуючи, що коефіцієнт якості ежектора (A) для ежекторів подібного типу практично не впливає на характеристику ежектора, можна передбачити, що найбільш оптимальними можуть бути умови, при яких буде збережено наступне рівняння:

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

При виборі ежектора незалежно від його типу, найбільш важливим елементом є масштаб ежектора (m). Саме він визначає ефективність видалення пилі на всіх експлуатаційних режимах руху танка або будь-якого іншого об'єкта спеціального призначення.

Це рівняння найбільш повно відображає вибрану величину ежектора і зміну (m_{opt}) дуже небажано як в меншу, так і в більшу ступінь. Зміна параметрів вихідних газів пов'язано з протидавленням виходу, створюваного ежектором і пов'язано з динамічним тиском наступним співвідношенням; визначеном з рівняння Бернуллі:

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

$\eta_{кол}$ – динамічне тиску газу в вихідному перерізі вихідного колектора двигателя; ξ – коефіцієнт втрат на ділянці траси від колектора до соплового апарату.

Для ежекторів, що працюють на енергії вихідних газів характерно менше впливання втрат потужності при відборі газів на ежектор відбору пилі з пылесборника воздухоочистителя. Однак з зміною кількості газів і відсмолюваного з пылесборника повітря змінюються коефіцієнти опору

ления (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 redaktsiyei 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 tehniki. 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 tehniki / 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.