

УДК 632.438.14

В. В. Вакуленко

## АНАЛИЗ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ВОЕННЫХ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН

*Приведены основные направления создания систем охлаждения эжекционного и вентиляторного типов, показаны преимущества эжекционных систем, способных обеспечить тепловое равновесие двигателей повышенной мощности в процессе создания новых или модернизации ранее разработанных образцов.*

**Постановка проблемы.** Современный танк имеет три основные характеристики – защищенность, огонь, подвижность, и должен обеспечивать выполнение боевых задач в различных условиях эксплуатации, в том числе при температурах окружающей среды до 55 °С. Именно эти условия характерны для пустынных районов Пакистана, Индии, Ирана, Ирака и ряда других стран Восточного региона. Ранее к танкам предъявлялись требования обеспечения эксплуатации без ограничений по скоростным и нагрузочным характеристикам при температурах 40 °С. Повышение требований вызвало необходимость решения более сложных инженерных задач в условиях жестких массогабаритных ограничений. Указанные задачи, на наш взгляд, возможно решить с помощью модификаций танков только с дизельными двигателями.

Сказанное подтверждается наглядным примером, когда во время операции “Буря в пустыне” танки “Абрамс” с газотурбинными двигателями не смогли подтвердить свои характеристики по причине значительного снижения мощности двигателя и уменьшения эффективности системы очистки воздуха при высокой температуре и запыленности воздуха. В этих условиях танки украинской разработки имеют ряд выгодных преимуществ, главными из которых являются двухтактный двигатель и эжекционная система охлаждения.

**Изложение основного материала.** Рассматривая вопрос повышения мощности силовых установок современных танков, можно заключить, что решить его более эффективно возможно с использованием двухтактных двигателей с эжекционными системами охлаждения.

На примере модернизации танка Т-72 российского производства видно, что российские конструкторы пошли по пути повышения мощности двигателя В-46, созданного в Харькове для танка Т-34 еще в 1932 году. Тогда мощность двигателя была на уровне 500 л.с. Сегодня она достигает 1000 л.с. В то же время следует отметить, что максимальная температура, при которой возможна эксплуатация этого танка без ограничений, не превышает 30 °С. При более высоких температурах необходимо снижать нагрузку двигателя, что отрицательно сказывается на параметрах подвижности. Повышение мощности двигателей неизбежно связано с увеличением тепловыделения в различные контуры – охлаждающую жидкость, систему смазки и отработавшие газы. Сравнивая характеристики двух- и четырехтактных двигателей видно, что двигатель В-46, номинальная мощность которого 840 л.с., выделяет в охлаждающую жидкость количество теплоты, аналогичное двухтактному двигателю мощностью 1200 л.с. Это объясняется тем, что двухтактные двигатели значительное количество теплоты выделяют в отработавшие газы. Задача утилизации увеличенного количества теплоты, выделяемого двигателями, более просто решается при использовании эжекционных систем охлаждения, так как в этом случае увеличение расхода воздуха через теплообменники достигается практически без увеличения объектовых потерь мощности на систему охлаждения. Это было подтверждено при модернизации танков Т-72 по версии ХКБМ им. А. А. Морозова. Было разработано два варианта модернизированного танка с силовой установкой мощностью 1000 и 1200 л.с.

Вариант модернизации танка с четырехтактным двигателем мощностью до 1000 л.с. требует увеличения затрат мощности на привод вентилятора. Если для эжекционных систем охлаждения характерен вариант оптимизации эжектора исходя из реальных характеристик двигателя, то для вентиляторных систем охлаждения увеличение производительности возможно только с дополнительной затратой мощности.

Повышение производительности вентилятора  $G_v$  возможно за счет увеличения частоты вращения колеса  $n$  либо за счет увеличения его диаметра  $D$ . В этом случае справедливы следующие закономерности:

$$G_v = G_{v\text{исх}} \left( \frac{n_2}{n_1} \right) \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^3 \dots,$$
$$N_v = N_{v\text{исх}} \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^3 \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^5.$$

Из приведенных зависимостей следует, что при изменении частоты вентилятора производительность изменяется линейно, а потребляемая мощность имеет кубическую зависимость.

Изменение диаметра рабочего колеса вентилятора увеличивает производительность по кубической зависимости отношения диаметров колеса при увеличении мощности в пятой степени.

Оптимизация эжекционной системы охлаждения осуществляется путем выбора соплового аппарата, исходя из условий сохранения в заданных диапазонах противодавления системы выпуска отработавших газов и выбора величины скоростного напора на срезе соплового аппарата для повышения коэффициента эжекции и увеличения расхода воздуха через теплообменники. Именно эти параметры определяют затраты мощности двигателя на систему охлаждения. Кроме того, снижение уровня аэродинамического сопротивления системы выпуска и самого эжектора способствует увеличению расхода воздуха через теплообменники.

При разработке варианта эжектора учитываются следующие исходные параметры двигателя: производительность компрессора наддувочного воздуха, его напорность, общее количество теплоты, выделяемое двигателем на наиболее нагруженных режимах – внешняя характеристика либо нагрузочная (в точке максимального крутящего момента). Основные параметры эжектора выбирают на основании известных зависимостей уравнения эжектора.

Наиболее простое и полное уравнение эжектора, характеризующее его геометрические, теплотехнические и гидравлические характеристики можно представить в виде:

$$\bar{\Delta P}_{\text{Э}} = a + v \left( q \sqrt{\Delta^2} \right)^2 - c \left( 1 + q / \sqrt{\Delta^2} \right)^2,$$

где  $\bar{\Delta P}_{\text{Э}}$  – статический напор эжектора;  $a$ ,  $v$ ,  $c$  – коэффициенты уравнения эжектора;  $q = \frac{G_2}{G_1}$  – коэффициент эжекции;  $G_2$  – расход эжектируемого воздуха;  $G_1$  – расход эжектирующего воздуха.

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

Важным критерием любого эжектора является его масштаб  $m$ , который определяют по формуле:

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

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

Выбрав масштаб эжектора, коэффициент  $a$  определяется из формулы

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

Коэффициент  $v$  определяет минимальные потери давления за счет оптимизации входного участка камеры смешения и выражается следующей зависимостью

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

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

$$A = (2 - \varphi_{\text{д}}) K_3 + \xi,$$

где  $\varphi_{\text{д}} = [1 - 2(K_3 - 1)] \varphi_{\text{д1}}$ .

Величины  $\varphi_{\text{д1}}$  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 коэффициентов  $a$ ,  $v$  и  $c$  видно, что именно они дают возможность в

условиях реальной компоновки эжектора и системы охлаждения выбрать оптимальное сочетание размеров, которое могло бы удовлетворить условиям создания необходимой производительности эжектора для обеспечения теплового равновесия двигателя при работе на внешней характеристике в условиях эксплуатации при высоких температурах окружающего воздуха. Одним из перспективных направлений форсирования эжекционных систем охлаждения является установка дополнительного вентилятора в подрадиаторном пространстве.

Включение такого вентилятора осуществляется только при высоких температурах окружающего воздуха. В этом случае формула производительности эжектора и вентилятора в безразмерных координатах будет иметь вид

$$\frac{\Delta P}{\eta_c} = 1,45 \frac{P_g U^2}{\eta_c} - 1,71^2 \left( \frac{f_c}{D_k B_g} \right) + \frac{2}{m} + \frac{1,75 A^2}{m(m-1)} - \frac{1,8(1+q)}{m^2},$$

где:  $P_g$  – напорность вентилятора;  $U$  – окружная скорость рабочего колеса вентилятора;  $\eta_c$  – напор на выходе газа из сопел эжектора;  $f_c$  – площадь соплового аппарата;  $m$  – масштаб эжектора;  $q$  – коэффициент эжекции;  $A$  – коэффициент качества эжектора;  $D_k$  – диаметр рабочего колеса вентилятора;  $B_g$  – площадь выходного сечения вентилятора.

В настоящее время комбинированный вариант системы охлаждения не нашел применения и его следует рассматривать как перспективный. Практический опыт создания новых образцов бронированной техники и модернизации существующих показал, что за последние годы успешно проводились работы по созданию систем охлаждения танков Т-80УД, Т-84, БМ “Булат” и БМ “Оплот”.

Сравнивая возможные варианты повышения эффективности системы охлаждения в случае применения одного из известных вариантов – вентиляторного или эжекционного, можно сделать вывод, что при использовании вентиляторного варианта форсирование возможно за счет повышения частоты вентилятора или увеличения диаметра колеса. Однако в обоих случаях требуются большие затраты мощности.

Эжекционный вариант применяется для двигателей с турбокомпрессорами или компрессорами наддувочного воздуха с высокой степенью повышения давления. Двигатели семейства 5ТДФ и его модификаций наиболее приспособлены для работы с эжекционными системами охлаждения.

### **Выводы**

1. Модернизация объектов бронированной техники в настоящее время требует установки более мощных двигателей, что обеспечивает высокую скорость движения и улучшение параметров подвижности.
2. Для обеспечения теплового равновесия двигателя требуется создание более эффективных систем отвода тепла в условиях высоких температур окружающего воздуха и максимальных нагрузок.
3. В случае применения вентиляторных систем охлаждения форсирование возможно либо путем увеличения диаметра рабочего колеса, либо частоты его вращения. В обоих случаях это связано с ростом потребляемой мощности на привод.
4. Форсирование эжекционной системы достигается за счет оптимизации геометрических размеров эжектора и выбора скорости истечения газов из соплового аппарата без увеличения потерь мощности, что подтверждено в процессе создания танков Т-80УД, Т-84, БМ “Булат” и БМ “Оплот”.

### **Список использованных источников**

1. Анипко О. Б. Техническая термодинамика и теплопередача в компактных теплообменниках транспортных машин / О. Б. Анипко, М. Д. Борисюк, В. Ф. Климов. – Х., 2006.
2. Теория и конструирование танков. – М. : Машиностроение, 1984. – Т. 4.
3. Сидоров М. Д. Справочник по воздуходувным и газодувным машинам / М. Д. Сидоров. – М. : Машгиз, 1962.
4. Никитин В. Т. Совершенствование силовых установок ВГМ / В. Т. Никитин, Н. И. Прокопенко // ВБТ. – 1988. – № 9.
5. Репин А. А. Комбинированные системы охлаждения ВГМ / А. А. Репин, В. А. Чудаков // ВБТ. – 1985. – № 3.

*Стаття надійшла до редакції 23.03.2011 р.*