

ОПТИМИЗАЦИЯ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ТУРБОКОМПРЕССОРА И ДВИГАТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ ВИХРЕВОГО КОМПРЕССОРА

В.А. Шкабура, канд. техн. наук,

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков,

А.И. Сысун, Ровенский завод тракторных агрегатов, г. Ровно, Украина

Использование турбокомпрессоров для повышения удельной мощности двигателей стало довольно распространённым явлением. Ведущие зарубежные фирмы вкладывают в конструкторские разработки по наддуву и турбокомпрессорам значительные средства, считая эту область приоритетной для реализации высоких технологий и одну из самых наукоемких в автотракторостроении. Например, фирма Garrett (США), входящая в корпорацию Allied-Signal концерна Honeywell, оценивает свои затраты на НИОКР до \$50 млн. в год, так как дальнейшее повышение эффективности двигателей возможно лишь при более глубоком изучении и оптимизации происходящих в них процессов. Повышение экономичности двигателя с системой турбонаддува во всём диапазоне его режимов работы возможно лишь при оптимальном согласовании характеристик поршневой части двигателя и турбокомпрессора. Сложность этой задачи состоит в том, что довольно непросто создать методику расчёта, которая учитывала бы все основные особенности процессов, происходящих в двигателе с турбокомпрессором, а вычисления носили характер численного эксперимента.

Существует достаточно много методик расчёта систем турбонаддува и их согласования с поршневой частью двигателя [1 - 5]. Однако в них не приводятся рекомендации по их оптимальному согласованию. Поэтому задача данного исследования состояла в определении способа оптимизации совместной работы турбокомпрессора и поршневой части двигателя.

В качестве объекта совершенствования был взят турбокомпрессор ТКР 8,5 Н1 для двигателя СМД-18Н. В результате оптимизации геометрических параметров серийного компрессора с помощью программы газодинамического расчёта удалось зна-

чительно повысить его эффективность [6]. Однако детальный анализ результатов сравнительных испытаний серийного и опытного компрессоров турбокомпрессора на двигателе показал, что последний позволяет существенно повысить экономичность двигателя лишь на малых и средних режимах его работы (рис. 1).

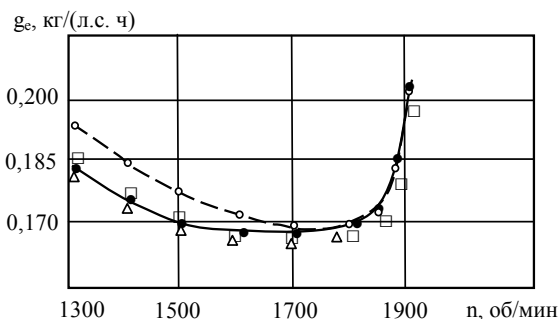


Рис. 1. Зависимость удельного расхода топлива от частоты вращения коленчатого вала с различными ТК:

- о – серийным;
- – опытным;
- – оптимизированным (ТКО);
- Δ – ТК с вихревым компрессором

На режимах больших оборотов двигателя компрессор создаёт избыточный расход воздуха для двигателя, что приводит его к неоптимальному режиму работы и уменьшению экономичности. Поэтому для обеспечения оптимальной работы двигателя на всех режимах пришлось снизить коэффициент напора компрессора (рис. 2) и повысить пропускную способность турбины. Оптимизацию геометрических параметров турбины и компрессора турбокомпрессора в составе двигателя проводили на основе разработанной для указанной задачи методики расчёта действительных процессов комбинированного двигателя. Значение эффективности работы турбины и компрессора определяли с помощью программ газодинамического расчёта турбины и компрессора.

Указанные изменения в проточной части турбины

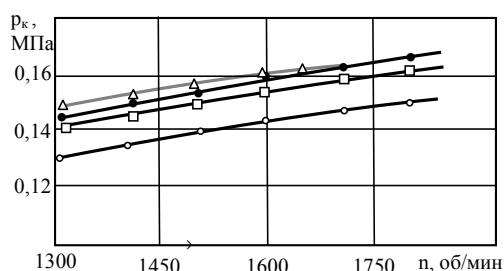


Рис. 2. Зависимость давления наддува с разными ТК:

- о – серийным;
- – опытным;
- – оптимизированным (ТКО);
- Δ – ТКО с вихревым компрессором

и компрессора привели к уменьшению давления турбонаддува во всём диапазоне работы двигателя (рис. 2). Желание повысить давление наддува в области малых и средних частот вращения коленчатого вала для улучшения показателей эффективности двигателя вызвало необходимость поиска способа его достижения.

В регулируемых турбокомпрессорах (ТК) в области чрезмерного роста давления наддува проводят перепуск газа мимо турбины или выпускают сжатый воздух за компрессором [1, 2]. Оба эти способа экономически неэффективны, представляя собой в чистом виде потерю энергии, которая выбрасывается, без её использования.

Нами было принято решение параллельно турбокомпрессору подключить приводной вихревой компрессор (рис. 3), тогда на малых и средних оборотах двигателя они вместе смогут создавать необходимое давление наддува (рис. 2). Чтобы не было чрезмерного роста давления наддува и затрат мощности на привод вихревого

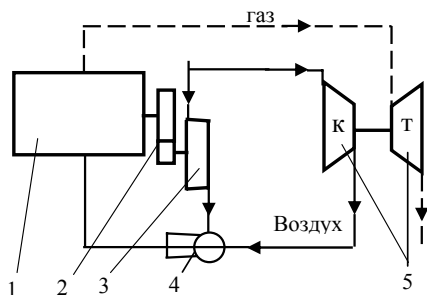


Рис. 3. Схема комбинированного двигателя:

- 1 – поршневой двигатель;
- 2 – вихревой компрессор;
- 3 – передача;
- 4 – смеситель;
- 5 – турбокомпрессор

компрессора на номинальных оборотах двигателя, когда турбокомпрессор самостоятельно способен обеспечить необходимое давление наддува перед двигателем, вихревой компрессор можно отключить. Использование приводного вихревого компрессора повышает приёмистость двигателя, а оптимальное согласование его с турбокомпрессором обеспечивает эффективную работу двигателя во всём диапазоне его работы.

В отличие от других типов компрессоров вихревой компрессор имеет более высокий коэффициент напора [7], что облегчает задачу его согласования с компрессором турбокомпрессора.

Проведенные расчётные исследования показали, что данная схема комбинированного двигателя применима для двигателей с частотой вращения не менее 1200 об/мин, так как при более низких частотах вращения двигателя для обеспечения согласованности в работе компрессора и турбокомпрессора необходимо использовать передачу с большим передаточным отношением, что неприемлемо в данном случае.

Важным элементом в системе комбинированного наддува с вихревым компрессором являются оптимальные размеры смесителя двух потоков воздуха перед поршневой частью двигателя. Чтобы потери энергии при смешении потоков были минимальными, необходимо, чтобы скорости потоков были одинаковыми. Для этого отношение площадей поперечных сечений подводящих рукавов должно быть равным отношению расходов компрессоров

$$F_{к.ц}/F_{к.в} = G_{к.ц}/G_{к.в} \quad (1)$$

Чтобы более низкая экономичность вихревого компрессора не повлияла существенно на общую эффективность турбонаддува двигателя, необходимо ограничить величину мощности, потребляемой вихревым компрессором, до 25%:

$$N_{кв} \leq 0,25 N_{к},$$

где $N_{к}$ – потребляемая компрессорами мощность.

Расход воздуха, подаваемый вихревым компрессором в двигатель, должен быть около 20% воздуха от требуемого количества: $G_{кв} \approx 0,2 G_{к}$.

Результирующий КПД компрессоров влияет на плотность воздуха ρ_k на входе в поршневую часть двигателя. Его можно определить по формуле

$$\eta_k = \frac{G_k}{G_{кц}/\eta_{кц} + G_{кв}/\eta_{кв}}, \quad (2)$$

которая была получена из условия баланса мощностей компрессоров

$$N_k = N_{кц} + N_{кв}. \quad (3)$$

Величина необходимого передаточного отношения от двигателя к ротору вихревого компрессора определяется частотой вращения вала двигателя и давлением наддува.

Для двигателей с частотой вращения вала менее 1200 об/мин более применимы по характеристикам компрессоры роторного типа Roots или винтовые нагнетатели типа Lysholm.

Потребность в воздухе для двигателя определяется коэффициентом избытка воздуха

$$\alpha = \rho_k \eta_v iV_h n / (30 \tau l_0 G_T), \quad (4)$$

где η_v - коэффициент наполнения;

iV_h - рабочий объём двигателя;

l_0 - стехиометрическое отношение воздуха к топливу;

G_T - массовый расход топлива.

В качестве независимых переменных, определяющих режим работы двигателя, были выбраны: частота вращения вала отбора мощности двигателя, частота вращения ротора турбокомпрессора и массовый расход топлива.

Итак, вначале необходимо проводить оптимизацию турбокомпрессора как отдельного агрегата, а затем – в составе двигателя с учётом условий его работы. Для определения условий работы турбокомпрессора и выбора его оптимальных геометрических параметров, необходимо расчёт проводить совместно, особенно для транспортных двигателей.

Преимущество данной схемы наддува заключается в следующем: использование вихревого компрессора позволяет на малых оборотах двигателя снизить перепад давления на турбине и подобрать ей оптимальные геометрические параметры проточной части, уменьшить частоту вращения турбоагрегата, а также улучшить динамику разгона и приемистость автомобиля.

Дальнейшие исследования по оптимизации совместной работы турбокомпрессора и поршневой части двигателя планируется направить на более глубокую проработку методики расчёта компрессора и турбины в составе комбинированного двигателя и поиск новых оригинальных конструктивных решений в целях обеспечения совокупности наилучших технико-экономических показателей, таких, как удельный эффективный расход топлива и эффективная мощность двигателя.

Литература

1. Автомобильные двигатели с турбонаддувом / Н.С. Ханнин, Э.В. Аболтин, Б.Ф. Лямцев, Е.Н. Зайцев.- М.: Машиностроение, 1991.— 336 с.
2. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей: Уч. для вузов / Под ред. А.С. Орлова, М.Г. Круглова.— М.: Машиностроение, 1983.— 372 с.
3. Дизели. Справочник / Под общ. ред. В.А. Ваншейдта.— Л.: Машиностроение, 1977.— 480 с.
4. Симсон А.Э., Каминский В.Н. Турбонаддув высокооборотных дизелей.— М.: Машиностроение, 1976.— 288 с.
5. Манушин Э.А., Михальцев В.Е. Теория и проектирование газотурбинных и комбинированных установок.- М.: Машиностроение, 1977.- 447 с.
6. Шкабура В.А., Сысун А.И. К вопросу о совершенствовании турбокомпрессоров для поршневых двигателей// Авиационно-космическая техника и технология: Сб. науч. тр.— Х.: ХАИ, 2002.— Вып. 31. Двигатели и энергоустановки.— С. 66-68.
7. Виршубский И.М., Рекстин Ф.С., Шквар А.Я. Вихревые компрессоры.- Л.: Машиностроение, 1988.— 271 с.

Поступила в редакцию 15.07.03

Рецензенты: д-р техн. наук, профессор В.П. Герасименко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков; д-р техн. наук, профессор А.Л. Шубенко, ИПМаш НАНУ, г. Харьков.