

Конструкция ДВС

УДК 621.43

В.А. Романов, канд. техн. наук, В.С. Кукис, д-р техн. наук

ПОВЫШЕНИЕ МОЩНОСТНЫХ, ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОРШНЕВЫХ ДВС ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

Введение

Одним из путей снижения потребления нефтепродуктов поршневыми ДВС является использование теплоты их отработавших газов (ОГ) для получения дополнительной механической работы. Известно, что с ОГ выбрасывается в атмосферу 25-45 % энергии, полученной в результате термохимических реакций горения топлива. Эти потери энергии с ОГ свидетельствуют о значительных возможностях повышения показателей двигателей в случае ее использования. Дополнительная работа за счет использования энергии ОГ поршневых ДВС может быть получена путем добавления к силовым установкам утилизационных систем на базе двигателей Стирлинга, паровых двигателей, газовых турбин, термоэлектрогенераторов, воздушных расширительных машин и т. п.

Рассматривая пути снижения токсичности ОГ ДВС, наиболее эффективным для двигателей уже находящихся в производстве и эксплуатации следует считать установку в выпускной системе каталитических нейтрализаторов (КН) [1].

Развитие техники требует постоянного роста агрегатной мощности двигателей, уменьшения их удельных габаритов и улучшения экономичности без существенного увеличения массы при постоянно возрастающей тепловой и механической нагруженности деталей и узлов. Увеличение мощности поршневых ДВС без изменения их размеров связано с необходимостью решения задачи сжигания в цилиндрах больших порций топлива за один рабочий цикл. Решение этой задачи требует подачи в цилиндры большего количества воздуха (в дизелях) или горючей смеси (в двигателях с внешним смесеобразованием), т. е. уве-

личения количества свежего заряда. При неизменном рабочем объеме двигателя это может быть обеспечено только за счет повышения плотности заряда в результате предварительного сжатия (наддува). Однако повышение давления заряда сопровождается ростом его температуры, что требует ограничения давления наддува в связи с ухудшением некоторых характеристик рабочего процесса, а также с повышением тепловой нагруженности деталей и узлов двигателя.

1. Формулирование проблемы

Использование систем утилизации теплоты ОГ, нейтрализации, содержащихся в них вредных веществ, и наддува, свидетельствует о том, что на эффективность работы перечисленных систем в значительной степени влияет температура либо ОГ, либо наддувочного воздуха (НВ), которая существенно меняется при функционировании поршневых ДВС. В связи с этим актуальным становится решение задачи по демпфированию колебаний температуры ОГ или НВ.

1.1. Общие принципы решения проблемы

Демпфировать колебания температуры ОГ или НВ можно с помощью устройств, содержащих теплоаккумулирующие вещества (ТАВ), которые могут быть названы демпферами или стабилизаторами колебаний температуры.

Заметим, что для поддержания температуры ОГ или НВ на требуемом уровне ТАВ должно все время находиться в состоянии фазового перехода (либо из твердого состояния в жидкое, либо наоборот), при работе ДВС на различных режимах.

2. Решение проблемы

2.1 Стабилизация температуры в системах утилизации теплоты отработавших газов

На рис. 1, в качестве примера использования ТАВ в системе утилизации теплоты ОГ, приведен вариант схемы стабилизации температуры нагревателя стирлинг-генератора [2]. Работает эта система следующим образом. На выходе из выпускного патрубка установлена заслонка 1, положение которой автоматически регулируется в зависимости от температуры нагревателя двигателя Стирлинга (ДС) 3. В результате работы этой заслонки часть ОГ направляется в полость 6, где теплота от них через ТАВ 5 и стенки нагревателя передается рабочему телу ДС. Другая часть ОГ выходит в атмосферу. Количество ОГ, проходящих через полость 6, регулируется таким образом, что ТАВ все время находится в состоянии фазового перехода и поэтому имеет температуру плавления (затвердевания), свойственную выбранному веществу. В качестве ТАВ - промежуточного теплоносителя, использовался гидроксид лития (LiOH) с температурой фазового перехода, равной 744 К.

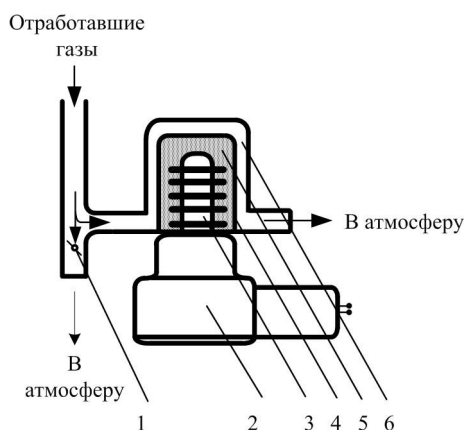


Рис. 1. Принципиальная схема системы стабилизации температуры нагревателя утилизационного стирлинг-генератора:

1 - заслонка; 2 - стирлинг-генератор; 3 - нагреватель двигателя Стирлинга; 4 - контейнер с теплоаккумулирующим веществом; 5 - теплоаккумулирующее вещество; 6 - полость для прохода отработавших газов

Для оценки эффективности работы системы стабилизации температуры нагревателя была воспроизведена картина изменения температуры ОГ дизеля КамАЗ-740 при испытаниях по 11-ти километровому ездовому циклу ECE R15/05, который состоял из последовательно повторяющихся четырех городских и одного скоростного участков.

Проведенные испытания подтвердили предположение о том, что, используя промежуточный теплоноситель с фазовым переходом и обеспечив определенный расход ОГ через систему подвода теплоты к ДС, можно стабилизировать температуру нагревателя практически на уровне температуры плавления ТАВ.

Сохранение ТАВ в состоянии фазового перехода обеспечивалось изменением количества ОГ, проходящих через систему нагрева ДС.

2.2 Стабилизация температуры в системах нейтрализации отработавших газов

Конструкция, обеспечивающая стабилизацию температуры в КН, может быть различной. В настоящей работе показан вариант КН со встроенными теплоаккумулирующими элементами (рис. 2), которые содержат ТАВ, обеспечивающее демпфирование колебаний температуры ОГ, понижая ее, если в нейтрализатор попадают горячие газы, и понижая, если газы на входе имели низкую температуру.

Работает он следующим образом. Направляющиеся из работающего на больших нагрузках поршневого ДВС в КН отработавшие газы, сжимая пружину впускного клапана, открывают впускной клапан, попадают в фильтрационную зону и проходят через сажевые пористые керамические элементы. При этом газы очищаются от твердых частиц и нагревают кольцевые элементы с теплоаккумулирую-

шим веществом. Далее ОГ переходят в окислительную зону и проходят через каталитические элементы окислительного типа. Здесь происходит доокисление оксида углерода и не сгоревших в цилиндре двигателя углеводородов. При этом температура газов повышается, и они нагревают кольцевые элементы этой зоны с теплоаккумулирующим веществом. Затем ОГ попадают в восстановительную зону и проходят через каталитические элементы восстановительного типа. Здесь происходит восстановление оксидов азота. При этом осуществляется нагрев кольцевых элементов восстановительной зоны с теплоаккумулирующим веществом. Высокая температура ОГ (опасная с точки зрения возможности прогорания корпуса нейтрализатора) за счет передачи теплоты теплоаккумулирующему веществу во всех зонах понижается.

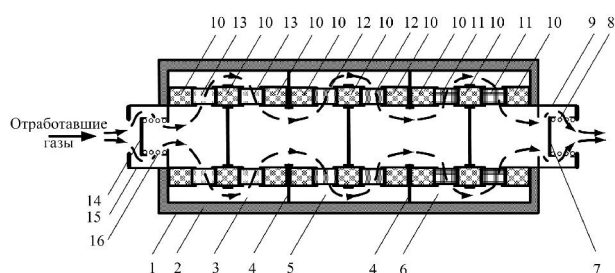


Рис. 2. Каталитический нейтрализатор, содержащий элементы с теплоаккумулирующим веществом:

1 - корпус; 2 - тепловая изоляция; 3 - фильтрационная зона; 4 - разделительные перегородки; 5 - окислительная зона; 6 - восстановительная зона; 7 - входной клапан; 8 - пружина выходного клапана; 9 - выходной патрубок; 10 - кольцевые элементы с теплоаккумулирующим веществом; 11 - кольцевые элементы восстановительного типа; 12 - каталитические кольцевые элементы окислительного типа; 13 - кольцевые сажевые пористые керамические элементы; 14 - входной клапан; 15 - входной патрубок; 16 - пружина входного клапана

Теплоаккумулирующее вещество (гидроксид лития с температурой фазового перехода 744 К) бы-

ло выбрано так, чтобы его количество и температура плавления обеспечивали:

1. Нахождение ТАВ в состоянии фазового перехода в течение всей работы КН независимо от режима работы поршневого ДВС.
2. Оптимальную температуру каталитических процессов внутри нейтрализатора (которой должна быть равна температура фазового перехода ТАВ).

Оценка выбросов вредных веществ с ОГ при работе дизеля КамАЗ-740 по 13-режимному испытательному циклу проводилось на стенде в соответствии с Правилем ЕЭК ООН №49.02 [3].

Эксперименты показали, что установка КН в выпускную систему дизеля существенно (на 50,8 %) снизила удельную концентрацию оксидов азота в ОГ. Однако это мероприятие не обеспечивает достижения допустимого, согласно ЕВРО-3, уровня выбросов NO_x .

Оборудование КН стабилизатором температуры ОГ (СТОГ) привело к дополнительному уменьшению концентрации оксидов азота (на 8,1 % по сравнению с работой КН без стабилизации температуры ОГ) вывела содержание NO_x на уровень требований ЕВРО-3.

Установка КН в выпускную систему дизеля обеспечила снижение удельной концентрации оксида углерода в ОГ на 78 %.

Оборудование КН стабилизатором температуры ОГ привело к дополнительному уменьшению концентрации СО на 26,1 % по сравнению с работой КН без СТОГ. При этом уровень выбросов СО и в первом и во втором вариантах ниже требований ЕВРО-3 {2,00 г/(кВт·ч)}. При использовании только КН содержание оксида углерода в этом случае составляет 67,4 %, во втором - 62,9 % от нормируемого значения.

Установка КН в выпускную систему дизеля снизила удельную концентрацию углеводородов почти в три раза, что обеспечило выполнение условий стандарта ЕВРО-3 по уровню выбросов СН. Оборудование КН стабилизатором температуры ОГ привело к дополнительному уменьшению концентрации углеводородов (на 14,8 % по сравнению с работой КН без стабилизации температуры ОГ).

Установка КН в выпускную систему дизеля позволила снизить содержание твердых частиц в 2,62 раза.

Оборудование КН стабилизатором температуры ОГ привело к дополнительному уменьшению концентрации твердых частиц на 21,3 % по сравнению с работой КН без стабилизации температуры ОГ. При этом в обоих случаях дизель соответствует требованиям ЕВРО-3, а во втором - и ЕВРО-4.

2.3 Стабилизация наддувочного воздуха

Система стабилизации температуры наддувочного воздуха при работе дизеля на переменных режимах и методика определения целесообразного уровня охлаждения НВ с точки зрения «компромисса» между мощностными, экономическими показателями, механической, тепловой нагруженностью и дымностью отработавших газов описана в работе [4], что позволяет не рассматривать эти вопросы в настоящей статье.

Заключение

Представленные в статье примеры показывают, что применение систем, позволяющих стабилизиро-

вать температуру либо ОГ, либо НВ, позволяют обеспечить независимость эффекта работы систем утилизации теплоты ОГ, систем нейтрализации вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу, а также систем наддува поршневых ДВС от режима их работы. Это чрезвычайно важно, потому что эти двигатели, как правило, работают на переменных режимах.

Список литературы:

1. Мельберт А.А. Повышение экологической безопасности поршневых двигателей. – Новосибирск: Наука, 2003. – 170 с.
2. Шуховцев, В.В. Кукис В.С. Обеспечение постоянного скоростного режима утилизационной стирлинг-электрической установки путем стабилизации температуры нагревателя, // Военная техника, вооружения и технологии двойного применения в XXI веке. - Ч. 2. - Омск, 2005. - С. 193-196.
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 12 октября 2005 г. N 609 г. «Об утверждении специального технического регламента "О требованиях к выбросам автомобильной техникой, выпускаемой в обращение на территории Российской Федерации, вредных (загрязняющих) веществ».
4. В.А. Романов, Ю.Л. Попов. Повышение эффективности наддува за счет стабилизации температуры воздуха, поступающего в цилиндры дизеля, работающего на переменных режимах. - Статья в настоящем сборнике.