

УДК 621.436

В. С. КУКИС, В. А. РОМАНОВ

ВОЗМОЖНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ НА БАЗЕ АККУМУЛЯТОРОВ ЭНЕРГИИ В ПОРШНЕВЫХ ДВС

Рассмотрены примеры применения систем стабилизации колебаний температуры рабочего тела при каталитической нейтрализации отработавших газов, утилизации их теплоты и наддуве поршневых двигателей внутреннего сгорания. *Каталитический нейтрализатор; стирлинг-электрическая установка; наддувочный воздух; энергоаккумулирующее вещество*

Широкое распространение и непрерывное развитие мобильной техники требует постоянного совершенствования ее силовых установок с целью повышения их технико-экономических показателей. Среди этих установок особое место занимают поршневые ДВС (ПДВС), которые производят более 80% энергии, потребляемой человечеством. Однако широкое использование этих двигателей порождает серьезные проблемы. В первую очередь, это их вредное воздействие на окружающую среду и интенсивное расходование запасов углеводородных топлив.

Вредное воздействие на окружающую среду связано, прежде всего, с токсичными веществами, входящими в состав отработавших газов (ОГ). Кроме того, ОГ имеют высокую температуру, что обуславливает большое количество энергии, выбрасываемой из ПДВС в окружающую среду. Так, в дизелях эти «потери» составляют 85–110% по отношению к эффективной мощности, в двигателях с искровым зажиганием превосходят ее на 25–45%. Учитывая сказанное, можно утверждать, что существуют значительные резервы повышения эффективности использования энергии, выделяемой при сжигании углеводородных топлив, в случае утилизации этих «потерь» (с помощью утилизационных систем на базе двигателей Стирлинга (ДС), паровых двигателей, газовых турбин, термоэлектрогенераторов и т. п. [1]).

Исследование систем нейтрализации содержащихся в ОГ вредных веществ и утилизации теплоты ОГ, с целью более эффективного использования термохимической энергии сжигаемых в ПДВС топлив [1, 2, 3 и др.], свидетельствует о том, что на эффективность работы

перечисленных систем в значительной степени влияет температура ОГ, которая существенно меняется при функционировании ПДВС.

Еще одна особенность ПДВС заключается в существенной зависимости эффективности их рабочего процесса и надежности от температуры поступающего в цилиндры свежего заряда. В двигателях с наддувом как нагрев, так и охлаждение наддувочного воздуха (НВ) выше или ниже некоторых оптимальных температурных границ ведут к негативным последствиям. В связи с этим актуальным является решение задачи по демпфированию колебаний температуры ОГ. Эту задачу возможно решить с помощью устройств, содержащих энергоаккумулирующие вещества (ЭАВ), которые могут быть названы демпферами или стабилизаторами колебаний температуры ОГ. Для поддержания температуры ОГ на требуемом уровне ЭАВ должно все время находиться в состоянии фазового перехода (либо из твердого состояния в жидкое, либо наоборот), при работе ПДВС на различных режимах.

Конструкция, обеспечивающая стабилизацию температуры в КН может быть различной. В настоящей работе приведены результаты испытаний КН со встроенными элементами (рис. 1) [2], которые содержали ЭАВ, обеспечивающее демпфирование колебаний температуры ОГ, понижая ее, если в нейтрализатор попадали горячие газы, и повышая, если газы на входе имели низкую температуру.

Энергоаккумулирующее вещество (гидроксид лития с температурой фазового перехода 744 К) было выбрано так, чтобы его количество и температура плавления обеспечивали нахождение ЭАВ в состоянии фазового перехода в течение всей работы КН независимо от режима работы ПДВС и оптимальную температуру ка-

талитических процессов внутри нейтрализатора (которой должна соответствовать температура фазового перехода ЭАВ).

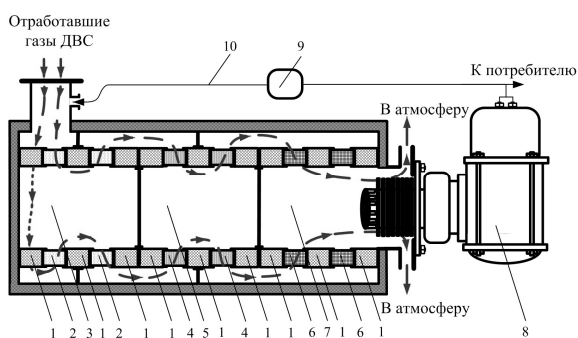


Рис. 1. Каталитический нейтрализатор с утилизационной стирлинг-электрической установкой и дополнительной подачей воздуха в зону химических реакций нейтрализации: 1 – блоки с ЭАВ; 2 – пористые керамические элементы; 3 – фильтрационная зона; 4 – каталитические элементы окислительного типа; 5 – окислительная зона; 6 – каталитические элементы восстановительного типа; 7 – восстановительная зона; 8 – утилизационная стирлинг-электрическая установка; 9 – нагнетатель воздуха; 10 – воздухопровод

Энергоаккумулирующее вещество (гидроксид лития с температурой фазового перехода 744 К) было выбрано так, чтобы его количество и температура плавления обеспечивали нахождение ЭАВ в состоянии фазового перехода в течение всей работы КН независимо от режима работы ПДВС и оптимальную температуру каталитических процессов внутри нейтрализатора (которой должна соответствовать температура фазового перехода ЭАВ).

На рис. 2, в качестве примера, показаны удельные выбросы оксидов азота и оксида углерода с ОГ дизеля КамАЗ-740 при его работе по 13-режимному испытательному циклу. Исследования проводилось на стенде в соответствии с Правилем ЕЭК ООН № 49.02 [2].

Как видно из рисунка, оборудование КН стабилизатором температуры ОГ (СТОГ) привело к уменьшению концентрации оксидов азота на 8,1% по сравнению с работой КН без стабилизации температуры ОГ, а концентрации CO на 26,1%. Исследования показали, что соответствующие уменьшения концентрации углеводородов составили 14,8%, а твердых частиц 21,3%

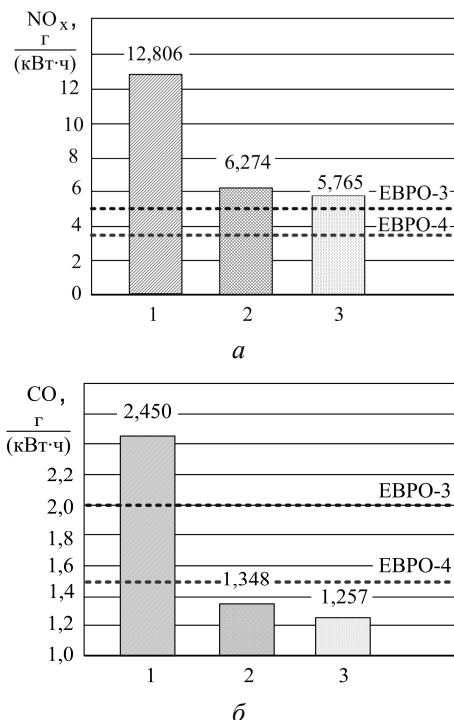


Рис. 2. Удельные выбросы оксидов азота (а) и оксида углерода (б): 1 – в штатной комплектации выпускной системы; 2 – с применением КН; 3 – с использованием КН со встроенными элементами ЭАВ

Применение КН приводит к заметному повышению температуры ОГ, а следовательно, и их энергетической ценности. При этом важно, что температура эта практически не изменяется на различных режимах работы дизеля, благодаря наличию СТОГ. Используя утилизационную систему, помещенную на выходе из КН (см. рис. 1), можно вырабатывать большее количество механической (электрической) энергии, чем при утилизации теплоты ОГ, выходящих непосредственно из цилиндра двигателя. Сказанное позволяет повысить мощностные и экономические показатели силовой установки.

На рис. 3 приведены результаты повышения мощностных и экономических показателей дизеля КамАЗ-740 за счет утилизации теплоты газов, уходящих из КН с помощью ДС [4] при различных вариантах комплектации выпускной системы двигателя в условиях его городской эксплуатации.

Как видно, утилизация теплоты ОГ дизеля обеспечивает увеличение средней эксплуатационной мощности на 11 кВт (на 9,9%), а установка КН с утилизационной стирлинг-электрической установкой – еще на 2,6 кВт (на 2,3%). При этом в итоге на 24,5 г/(кВт·ч) снижается удельный эффективный расход топлива, а часовая его экономия достигает 2,7 кг.

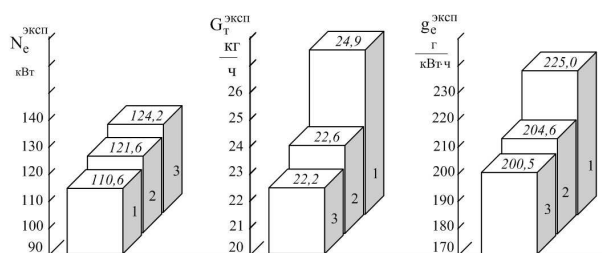


Рис. 3. Эффективная мощность, часовой и удельный эффективный расходы топлива при эксплуатации дизеля в городских условиях: 1 – в штатной комплектации; 2 – с утилизационной стирлинг-электрической установкой; 3 – с КН и утилизационной стирлинг-электрической установкой

Выше было отмечено, что в двигателях с наддувом, как нагрев, так и охлаждение НВ выше или ниже некоторых оптимальных температурных границ ведут к негативным последствиям. Решение задачи поддержания температуры НВ в целесообразных пределах для обеспечения «компромисса» между мощностными, экономическими показателями дизеля, механической и тепловой нагруженностью его деталей и узлов при работе на любых режимах представляется принципиально возможным, путем аккумулятора энергии, который в рассматриваемом аспекте логично называть «стабилизатором температуры наддувочного воздуха» – СТНВ, установленного во впускном тракте комбинированного ДВС после компрессора (рис. 4) [3].

Предлагаемая система функционирует следующим образом. Когда дизель работает на больших оборотах, температура НВ после компрессора достигает 100°C и более.

Проходя через устройство, объединяющее емкость, содержащую ЭАВ и рубашку для прохода ОГ (СТНВ), воздух нагревает ЭАВ, охлаждается и по впускному коллектору направляется в цилиндры дизеля. При этом регулирующее устройство, связанное с датчиком, установленным на выходе НВ из СТНВ, обеспечивает такое положение регулирующей заслонки, которое исключает попадание ОГ в полость 11, и все они из газовой турбины через выхлопную трубу направляются в атмосферу.

Если частота вращения коленчатого вала дизеля уменьшается, то соответственно снижаются обороты рабочего колеса компрессора и температура НВ понижается. Если она станет ниже температуры разогретого ранее ЭАВ, то от последнего начнется подвод теплоты к НВ, проходящему через СТНВ, и во впускной кол-

лектор будет поступать подогретый воздух (в это время положение регулирующей заслонки таково, что, исключает попадание ОГ в полость 11, и все они из газовой турбины через выхлопную трубу направляются в атмосферу).

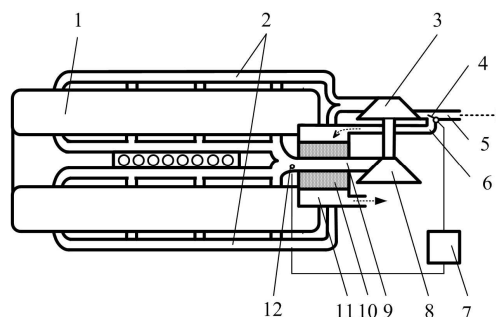


Рис. 4. Принципиальная схема стабилизации температуры наддувочного воздуха на оптимальном уровне при работе дизеля на переменных режимах, режимах малых нагрузок и холостого хода: 1 – дизель; 2 – выпускные коллекторы; 3 – газовая турбина; 4 – регулирующая заслонка; 5 – выхлопная труба; 6 – патрубок подвода ОГ к СТНВ; 7 – управляющее устройство; 8 – компрессор; 9 – впускной коллектор; 10 – ЭАВ; 11 – полость для прохода ОГ; 12 – температурный датчик

Если же двигатель работает при малых частотах вращения коленчатого вала или на режиме холостого хода продолжительное время и температура НВ опустится ниже требуемой, то управляющее устройство, начнет воздействовать на регулируемую заслонку, и часть ОГ будет поступать в полость 7 СТНВ и нагревать ЭАВ, которое, в свою очередь, будет подогреть НВ.

Для того чтобы обеспечить оптимальную температуру НВ независимо от режима работы дизеля, температура плавления ЭАВ должна быть равна этой оптимальной температуре (точнее, с учетом потерь – незначительно превышала ее), а его количество должно быть таким, чтобы при работе ПДВС на любом режиме ЭАВ находилось в состоянии фазового перехода либо из твердого в жидкое, либо из жидкого в твердое состояние.

В работе [3] показано, что оптимальные значения этой температуры с точки зрения «компромисса» между мощностными, экономическими показателями, механической, тепловой нагруженностью и дымностью ОГ для дизеля ЯМЗ-8424 лежат в диапазоне $66\text{--}81^{\circ}\text{C}$.

Для оценки эффективности использования СТНВ были проведены испытания при работе указанного дизеля в условиях городской эксплуатации. Эксперименты показали [3], что при

работе штатного охладителя наддувочного воздуха (ОНВ) имеют место значительные колебания температуры на различных режимах и существенное превышение уровня целесообразной температуры, которое в некоторых случаях достигает 29°C. Максимальный размах колебания температуры НВ на входе в штатный ОНВ составил 88°C, после него – 31°C. Замена штатного ОНВ на опытный СТНВ с кристаллогидратом окиси бария (температура плавления 78°C) в качестве ЭАВ обеспечило снижение температуры НВ на режимах больших нагрузок до 73°C.

Колебания его температуры составляли 3–4°C, а отклонения от уровня целесообразной температуры не превысило 2°C. Максимальный размах колебания температуры НВ после СТНВ в процессе проведенных испытаний не превышал 5°C.

ВЫВОДЫ

1. Стабилизация колебаний температуры отработавших газов при каталитической нейтрализации в проведенных экспериментах позволила дополнительно снизить концентрации оксидов азота на 8,1, СО – на 26,1, углеводородов – на 14,8 и твердых частиц – на 21,3%.

2. Утилизация теплоты отработавших газов дизеля КамАЗ-740 в условиях городской эксплуатации с помощью стирлинг-электрической установкой, установленной в каталитическом нейтрализаторе со стабилизацией температуры газов обеспечивает увеличение средней эксплуатационной мощности на 2,3%.

3. Возможна стабилизация температуры наддувочного воздуха на оптимальном уровне с точки зрения «компромисса» между мощностными, экономическими показателями, механической, тепловой нагруженностью и дымностью отработавших газов. Для дизеля ЯМЗ-8424 эта температура составляет 66–81°C.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кукис В. С.** Энергетические установки с двигателем Стирлинга в качестве утилизатора тепловых потерь. Челябинск: ЧВВАКИУ, 1997. 121 с.
2. **Романов В. А., Султанов Т. Ф.** Результаты исследования вредных выбросов дизеля КамАЗ-740 при работе по 13-режимному испытательному циклу // Повышение мощностных и экономических показателей силовых установок колесных и гусеничных машин. Науч. вест. ЧВВАКИУ. 2007. Вып. 19. С. 118–123.
3. **Романов В. А., Попов Ю. Л.** Повышение эффективности наддува за счет стабилизации температуры воздуха, поступающего в цилиндры дизеля, работающего на переменных режимах // Двигатели внутреннего сгорания. Харьков, 2007. № 2. С. 39–43.
4. **Романов В. А., Кукис В. С.** Повышение эффективности утилизации теплоты отработавших газов ДВС // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Вип. 7. Т. 4: Мелітополь, 2007. С. 130–136.
5. Комбинированный двигатель / В. С. Кукис [и др.] // Патент на полезную модель № 64291. Выдан 27.06.2007.

ОБ АВТОРАХ



Кукис Владимир Самойлович, проф. каф. двигателей Челябинск. высш. воен. автомобильн. ком.-инж. училища (воен. ин-та). Д-р техн. наук по тепл. двигателям (Ленинградск. политехн. ин-т, 1990). Засл. деятель науки РФ; академик Акад. военных наук РФ. Иссл. в обл. раб. процессов поршневых ДВС.



Романов Виктор Анатольевич, дир. ФУГП «15 Центальный автомобильный ремонтный завод» Мин. обороны РФ. Канд. техн. наук по тепл. двигателям (Алтайск. гос. техн. ун-т, 2006). Иссл. в обл. рабочих процессов поршневых ДВС.