

IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE COOLING SYSTEM OF DIESEL ENGINE WITH USING PHASE TRANSITIONS OF HEAT TRANSFER AGENT

Ja.K. Sklifus, V.I. Mogila

The possibility of using the phase transitions of coolant in the cooling system of locomotive diesel engine is considered. Identified strengths, weaknesses and prospects of this area. This design of the cooling system of diesel locomotives using fluid phase transitions, as well as a rational physical properties and chemical composition of the fluid. It also describes the theoretical and experimental studies of serial sections of radiator steam condenser mode, the mathematical modeling of heat transfer during condensation of steam in the flat-oval tubes, and the results of the regression analysis of experimental data.

УДК 621.43.016

А. В. Тринёв, Д. Г. Сивых, Е. В. Синявский, О. Ю. Пилипенко

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ КЛАПАННОГО УЗЛА БЫСТРОХОДНОГО ДИЗЕЛЯ

Разработана электронная система автоматического регулирования теплового состояния клапанного узла форсированного быстроходного дизеля. Проведена проверка алгоритма работы системы и надежности рабочих элементов в условиях безмоторного эксперимента. Для охлаждения клапанного узла и межклапанной перемычки используется сжатый воздух. Предусматривается внедрение системы регулирования на форсированных дизелях грузовых автомобилей.

Введение

Надежная работа наиболее теплонапряженных деталей камеры сгорания (КС) двигателя, которые и определяют его моторесурс, в сочетании с высокой топливной экономичностью были и остаются основными показателями перспективности конструкции ДВС. При этом следует заметить, что уровень требований по надежности, экономичности, удельным габаритным и массовым показателям постоянно возрастает.

Тепловое состояние клапанного узла (выпускной клапан, седло, направляющая втулка) является одним из определяющих факторов, влияющих на надежную работу узла в условиях эксплуатации, на его ресурс. Эффективным способом повышения надежности узла, как показали расчетные и экспериментальные исследования, проводившиеся на кафедре ДВС НТУ «ХПИ», может стать локальное воздушное охлаждение как отдельных деталей, так и узла в целом (несколько контуров охлаждения). Выбор варианта охлаждения зависит от уровня максимальных температур деталей в эксплуатации, конструктивных особенностей головки цилиндров (ГЦ), приспособленности ДВС и установки в целом к размещению системы локального охлаждения (ЛО).

Полученные в ходе расчетно-экспериментальных исследований положительные результаты для их практической реализации на ДВС серийного производства требуют разработки средств управления процессами охлаждения в зависимости от теплового состояния деталей в автоматическом режиме. Постоянный подвод охладителя при постоянном давлении на всех режимах, как термически

напряженных, так и ненапряженных, требует существенных затрат мощности двигателя на циркуляцию охладителя с избыточным давлением, что ухудшает экономические показатели ДВС. Решением поставленной задачи может стать разработка системы автоматического регулирования теплового состояния (САРТС) клапанного узла. Важным моментом также для практической реализации ЛО является и выбор установки, наиболее приспособленной по своим массогабаритным показателям к размещению локальной системы охлаждения. Проведенный предварительный анализ показал, что наиболее рациональным является размещение систем ЛО на дизелях большегрузных автомобилей. На сегодняшний день одними из наиболее известных производителей большегрузных автомобилей являются фирмы Tatra, Scania, Volvo, MAN. В качестве силового агрегата фирмы используют 4-х тактные дизельные ДВС с литровой мощностью от 25 до 30 кВт/л и уровнем форсирования по среднему эффективному давлению от 1,2 до 2,0 МПа. Техника во многих случаях используется в труднопроходимых местностях и в регионах с тяжелыми климатическими условиями.

Повышение уровня форсирования дизелей требует внедрения дополнительных мероприятий для повышения надежности. При этом массогабаритные показатели этой техники допускают размещение дополнительных систем ЛО без заметного ухудшения экономических показателей.

В работе на основе расчетно-экспериментальных исследований показана возможность автоматического управления тепловым состоянием

клапанного узла с системой воздушного ЛО на теплонапряженных режимах эксплуатации.

Анализ публикаций.

Разработке САРТС клапанного узла быстрого дизеля предшествовало обобщение результатов расчетных исследований, моторных и безмоторных экспериментов с применением ЛО, а также современных подходов к практической реализации САРТС на двигателе.

Основным преимуществом воздушного ЛО является возможность локально уменьшать температуру наиболее нагретых участков деталей клапанного узла, уменьшать перепады температур между тарелкой клапана и стержнем, в зоне межклапанной перемычки ГЦ. Эффективность ЛО оценивалась в ходе моторных и безмоторных экспериментов, проводившихся на кафедре ДВС НТУ «ХПИ».

В работе [1] приведены результаты моторных испытаний по определению теплового состояния серийного и охлаждаемого воздухом выпускных клапанов автотракторного дизеля 4ЧН12/14 ($N_e=73,6$ кВт, $n=1800$ мин⁻¹). Испытания проводились по нагрузочной характеристике для режимов с $n=1600$ мин⁻¹, $n=1800$ мин⁻¹. Избыточное давление охлаждающего воздуха P_v изменялось от 0,1 до 0,3 МПа, контролировались также температура охладителя на входе и на выходе и расход. При давлении $P_v=0,1$ МПа снижение температуры выпускного клапана в наиболее нагретых точках тарелки (в центре, вблизи опорной фаски) составило 150-120°C, снижение температуры стержня вблизи тарелки – 180 °С. Дальнейшее повышение давления P_v до 0,2-0,3 МПа усиливает охлаждающий эффект в среднем на 30-40 °С. Расход воздуха через клапан составил на отдельных режимах 3,7-6,5 м³/час.

В ходе безмоторного эксперимента [2] исследовалось тепловое состояние фрагмента ГЦ дизеля 4ЧН12/14. Фрагмент оснащался термопарами в зоне вставных седел, были выполнены дополнительные воздухоподводящие полости и каналы. Нагрев фрагмента до заданного температурного режима (восстанавливался по результатам ранее проведенных моторных испытаний) осуществлялся с помощью плавильной электропечи. Контролировались расход и давление охлаждающего воздуха, создаваемые автономным поршневым компрессором в диапазоне от 0,1 до 0,3 МПа. Достигнутый максимальный эффект по снижению температуры седла при $P_v=0,3$ МПа составил 80-120°C вблизи седел клапанов и 50-60°C на периферийных участках огневого днища головки.

С использованием описанного безмоторного стенда в работе [3] оценивалась эффективность ЛО

индивидуальной головки цилиндров дизеля КаМАЗ-740. При этом для усиления эффекта опытные седла выполнялись с увеличенной теплоотводящей поверхностью, термопары устанавливались не только на огневом днище, но и на самих клапанах. Давление охладителя изменялось в пределах от 0,1 до 0,3 МПа, расход воздуха составил 4,5-5,4 м³/час. Снижение температуры в зоне седла выпускного клапана и самой опорной фаски клапана составило 100-140°C.

Экспериментальные исследования теплообменных процессов в сопряжении клапаннаправляющей втулки проводились на моторном стенде дизеля 4ЧН12/14. Охлаждение стержня при $P_v=0,1-0,3$ МПа существенно повлияло только на температурное поле самого стержня (снижение $\Delta t^\circ=40-120^\circ$ С) и практически не сказалось на температурном поле тарелки. При этом расход охладителя через клапан возрос до 6,5-7,0 м³/час. В том же эксперименте охлаждение направляющей втулки при расходе воздуха от 2,3 до 3,3 м³/час и работе с серийным неохлаждаемым клапаном дало снижение температуры втулки в среднем на 30-40°C и практически не сказалось на температуре стержня клапана [4].

Проведенный в работе [1] расчетный анализ энергетических затрат на привод поршневого компрессора для приведенных расходов охладителя и в пересчете на развернутый двигатель показал дополнительные затраты мощности в диапазоне от 2 до 7 кВт (на один контур охлаждения) в зависимости от давления.

Как следует из проведенного анализа, современный уровень развития САРТС требует использования систем микропроцессорного управления [5]. Внедрение микропроцессоров (МП) при построении САРТС связано с принципиальными изменениями в их схемах и характеристиках. Преобладают системы с децентрализованным управлением, микропроцессорные системы с изменяющейся структурой, реализующие алгоритмы оптимального управления и регулирования, системы с автоматической настройкой и диагностированием.

САРТС, содержащие в своем составе электронные блоки, по сравнению с традиционными системами регулирования, имеют ряд преимуществ: возможность изменять в широком диапазоне параметры настройки в зависимости от режимов и условий работы двигателя, высокое быстродействие, простота реализации достаточно сложных алгоритмов управления. Введение в состав САРТС МП еще более расширяет их функциональные возможности [5].

При выборе рациональной схемы ЛО клапанного узла и оценке ее эффективности были также использованы результаты расчетных исследований, проводившихся ранее с помощью конечноэлементной узловой математической модели, разработанной на кафедре ДВС НТУ “ХПИ”.

Цель исследования и постановка задачи

Целью исследования является улучшение технико-экономических показателей форсированных быстроходных дизелей автотракторного типа за счет практической реализации управляемого автоматически ЛО деталей клапанного узла и ГЦ.

Для достижения поставленной цели на данном этапе решаются такие задачи:

- усовершенствование конструкции безмоторного стенда [3], дополнение, позволяющее организовать автоматическое включение и отключение подачи охлаждающего воздуха в зависимости от давления воздуха в ресивере и заданной критической температуры;
- выбор или разработка конструкции исполнительных устройств, подбор датчиков, проверка работоспособности этих элементов в безмоторном и моторном экспериментах;
- разработка алгоритмов управления и электронной схемы для их реализации;
- проверка в безмоторном эксперименте работоспособности системы управления.

Основные этапы и результаты исследования.

Принцип работы создаваемой САРТС клапанного узла с ЛО заключается в подаче сжатого воздуха из накопительного ресивера (баллонов) под избыточным давлением 0,1-0,3 МПа через воздухоподводящие каналы, выполненные в ГЦ, с выходом продуктов продувки в атмосферу. Исследование выполнялось в несколько этапов. На первом этапе был проведен расчетный анализ теплонапряженного состояния (ТНС) клапанного узла быстроходного дизеля 4ЧН12/14. По результатам проведенного анализа был выбран контур охлаждения седла выпускного клапана, отличающийся высокой эффективностью при снижении температуры наиболее нагретой и напряженной части выпускного клапана и не требующий внесения и существенных изменений в серийную конструкцию ГЦ.

Система содержит регулятор подачи воздуха (РПВ), который включает подачу при достижении заданной критической температуры седла или выпускного клапана. Для определения критических температур при разработке или доводке конструкции форсированного дизеля проводится серия моторных испытаний, моделирование ТНС. При этом

термометрия клапана (седла) по нагрузочной характеристике сопровождается измерением температуры отработавших газов с помощью серийного датчика, установленного в выпускном коллекторе. Этот серийный датчик и должен косвенно отслеживать температуру клапана, по его сигналу включается или выключается РПВ. На рис. 1 показана нагрузочная характеристика, снятая при моторных испытаниях дизеля 4ЧН12/14 и на которой приведены законы изменения температуры выпускного клапана (точка 1 в центре тарелки) и отработавших газов [1].

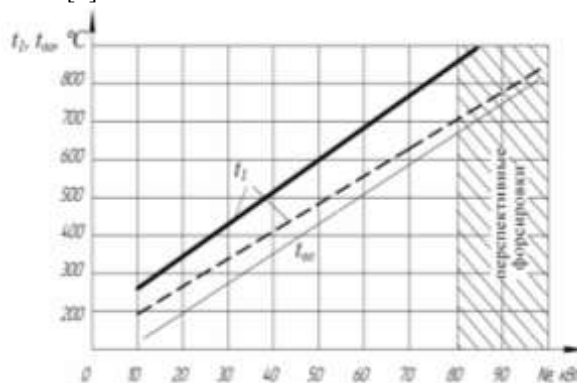


Рис. 1. Нагрузочная характеристика дизеля 4ЧН12/14;

- t_1 - температура выпускного клапана в т. 1;
- — — - охлаждаемый клапан, $R_v=0,1$ МПа;
- - - - - температура отработавших газов, t_{0e}

Контролю подлежит также избыточное давление в накопительном ресивере, создаваемое приводным компрессором. При падении давления ниже заданного уровня РПВ отключает подачу воздуха в ГЦ, компрессор переводится в рабочий режим для восстановления давления, повторно запрашивается температура отработавших газов и РПВ включает или не включает подачу охладителя.

Для проведения исследования на втором этапе использовался безмоторный стенд, описанный в работах [2, 3], но с внесением дополнений. Схема модернизированного стенда представлена на рис. 2. Объектом исследования является ГЦ дизеля КаМАЗ, оснащенная термопарами и содержащая каналы ЛО.

Регулирование ЛО осуществляется микропроцессорной системой. При включении питания РПВ 9 устанавливается в полностью закрытое положение. В моменты открытия-закрытия включаются зеленый HL1 или красный HL2 светодиоды. В крайних положениях (полное открытие-закрытие) соответствующий светодиод горит непрерывно. После установки в исходное положение РПВ начинается проверка температуры, измеряемой термо-



Рис. 3. Регулятор подачи воздуха

Вся необходимая информация передается через линии последовательного обмена UART микроконтроллера и преобразователь интерфейсов на базе MCP2200 на порт USB ноутбука. Каждая посылка включает в себя текущее время, напряжение на выходе с усилителя сигнала термопары, измеряемую температуру и состояние РПВ (0 – закрыт, 1 – открыт). Эти данные для последующей обработки записываются на жесткий диск компьютера в виде текстового файла.

Предварительно проверка работоспособности системы и выполнения заложенного алгоритма выполнялась с использованием кипящих жидкостей и моторных масел. Так при испытаниях в нагретом моторном масле задавались температура открытия РПВ - 150 °С и 100 °С на его закрытие. Анализ передаваемых микропроцессорной системой данных показал плавное нарастание напряжения (температуры) на выходе усилителя, и своевременное (153,7 °С) открытие РПВ. При медленном охлаждении масла закрытие РПВ произошло при 99,2 °С. В результате такой проверки было установлено, что погрешность измерений находится в пределах $\pm 2,5\%$, а алгоритм работы микропроцессорной системы выполняется для задаваемых граничных значений температуры без ошибок.

Следующим этапом проверки работоспособности САПТС был собственно безмоторный эксперимент, в котором задавались граничные температуры и давления в ресивере для включения-выключения РПВ.

На рис. 4 показан характерный пример изменения сигналов от датчиков давления и температуры во времени, отмечены также временные интервалы (289 - 326 с, 356 - 373 с), соответствующие открытому состоянию РПВ. График построен на основе информации, поступившей на жесткий диск ПК в виде текстового файла.

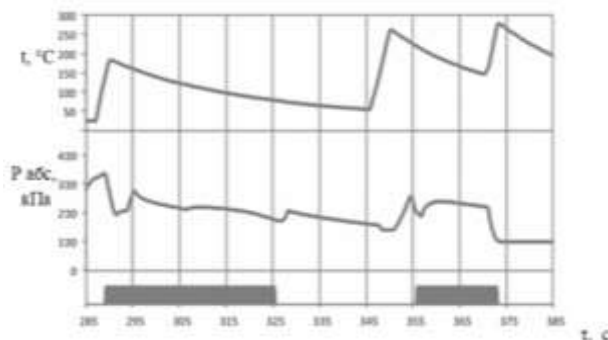


Рис. 4. Изменения сигналов при тестировании САПТС

При этом открытие подачи охлаждающего воздуха для данного тестового варианта задается при 150 °С (289 с), а закрытие – при снижении температуры до 80 °С (326 с). Как только давление в ресивере станет меньше 150 кПа подача воздуха прекращается при любой температуре и включается компрессор для накачки ресивера.

Выводы

Проведенные расчетно-экспериментальные исследования показали возможность автоматического управления системой ЛО клапанного узла для задаваемых в программе критических температур деталей узла, характерных при высоких уровнях форсирования. Разработанная САПТС подтвердила свою работоспособность, надежность в условиях безмоторного эксперимента. Полученные результаты будут использованы при подготовке моторного эксперимента, в котором в качестве задающего параметра предполагается контролировать температуру отработавших газов, а также отслеживать давление охлаждающего воздуха в ресивере.

Список литературы:

1. Тринёв А.В. Улучшение напряженно-деформированного состояния выпускных клапанов форсированных тракторных дизелей: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.04.02./ Тринёв А.В. - Х. - 1995. - 24с.
2. Тринёв А.В. Исследование условий локального воздушного охлаждения днища головки цилиндров с использованием безмоторного стенда / А. В. Тринев, А. Н. Авраменко, С. В. Обозный, В. И. Вахрушев // Двигатели внутреннего сгорания. - 2007. - №2. - с. 15-20.
3. Тринёв А.В. Оценка эффективности локального охлаждения головки цилиндров двигателя КаМАЗ в безмоторном эксперименте / А. В. Тринев, В. Т. Коваленко, С. В. Обозный, А. Н. Клименко // Двигатели внутреннего сгорания. - 2011. - №2. - с. 19 – 24.
4. Тринёв А.В. Экспериментальный анализ теплового состояния втулки выпускного клапана тракторного дизеля / А. В. Тринев, А. Ф. Минак, В. Т. Коваленко, А. Н. Авраменко, С. В. Обозный // Двигатели внутреннего сгорания. - 2007. - №2. - с. 15-20.
5. Марченко А. П. Двигуни внутрішнього згорання: у бт. т. 3 Комп'ютерні системи керування ДВЗ / А. П. Марченко, М. К. Рязан-

цев, А. Ф. Шеховцов; за ред. А. П. Марченка та А. Ф. Шеховцова. - Харків: Прапор, 2004. – 344с.

Bibliography (transliterated):

1. Trinjov A.V. Uluchshenie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya vyipusknykh klapanov forsirovannykh traktornykh dizeley: avtoref. dis. kand. tehn. nauk: 05.04.02./ Trinjov A.V. - H. – 1995. – 24s. 2. Trinjov A.V. Issledovanie usloviy lokalnogo vozdušnogo ohlazhdeniya dnischa golovki tsilindrov s ispolzovaniem bezmotornogo stenda / A. V. Trinjov, A. N. Avramenko, S. V. Oboznyiy, V. I. Vahrushhev // Dvigateli vnutrennego sgoraniya.- 2007.- №2.- s. 15-20. 3. Trinjov A.V. Otsenka

effektivnosti lokalnogo ohlazhdeniya golovki tsilindrov dvigatelya KaMAZ v bezmotornom eksperimente / A. V. Trinjov, V. T. Kovalenko, S. V. Oboznyiy, A. N. Klimenko // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. - 2011.- №2.- s. 19 – 24. 4. Trinjov A.V. Eksperimentalnyy analiz teplovogo sostoyaniya vtulki vyipusknogo klapana traktornogo dizelya / A. V. Trinjov, A. F. Minak, V. T. Kovalenko, A. N. Avramenko, S. V. Oboznyiy // Dvigateli vnutrennego sgoraniya.- 2007. - №2. – s. 15-20. 5. Marchenko A. P. Dviguni vnutrishnogo zgoriannya: u 6t. t. 3 Komp'yuterni sistemi keruvannya DVZ / A. P. Marchenko, M. K. Ryazantsev, A. F. Shehovtsov; za red. A. P. Marchenka ta A. F. Shehovtsov. - Harkiv: Prapor, 2004. – 344s.

Поступила в редакцію 28.05.2013

Тринёв Александр Владимирович - канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры двигателей внутреннего сгорания, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, тел. 0967596021.

Сивых Дмитрий Георгиевич - канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры колесно-гусеничных машин, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, e-mail: sivikh@rambler.ru

Синявский Евгений Валериевич – магистр кафедры двигателей внутреннего сгорания, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, e-mail: nardtron@mail.com.

Пилипенко Олег Юрьевич - магистр кафедры колесно-гусеничных машин Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, e-mail: andgak@gmail.com.

АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО СТАНУ КЛАПАННОГО ВУЗЛА ШВИДКОХІДНОГО ДИЗЕЛЯ

О. В. Триньов, Д. Г. Сивих, Є. В. Синявський, О. Ю. Пилипенко

Розроблена електронна система автоматичного регулювання теплового стану клапанного вузла форсованого швидкохідного дизеля. Проведена перевірка алгоритму роботи системи та надійності робочих елементів в умовах безмоторного експерименту. Для охолодження клапанного вузла і міжклапанної перетинки використовується стиснене повітря. Передбачається впровадження системи регулювання на форсованих дизелях вантажних автомобілів.

AUTOMATIC CONTROL OF THE THERMAL STATE OF THE VALVE UNIT IN HIGH-SPEED DIESEL ENGINE

A.V. Trinjov, D.G. Sivyih, E.V. Sinyavskii, O.Y. Pylypenko

Developed an electronic system of automatic control of the thermal state of the valve unit of the high-speed diesel engine. The algorithm of the system and the reliability of the work items in a non-motorized experiment was audited. For cooling the valve unit and the arch between the valves a compressed air was used. It is expected to use such control system at high-load lorry diesels.

УДК 621.43.052

A.P. Marchenko, D.E. Samoilenko, Omar Adel Hamzah

THE PROBLEMS OF UTILIZATION OF FLARE GASES IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES

The problem of flare gases utilization in internal combustion engines is considered. Flaring associated gas from oil drilling sites is the most promising fuel for such purpose. Also the problems of detonation arising during the operation of internal combustion engines on flare gases are also studied. It is shown that the only independent parameter that affects the occurrence of detonation during operation of a gas engine is methane number which is a physical characteristic of the gas. The new conception of the internal combustion engine with on-board steam reformer to avoid the problem of detonation is offered in present study.

Introduction

Flare gases such as flaring associated gas from oil drilling sites can be utilized in Internal Combustion Engines. At present, such gas is just flaring in gas combustion devices that is harmful for human health, and is a contributor to the worldwide anthropogenic

emissions of carbon dioxide. For example, oil refinery flare stacks may emit methane and other volatile organic compounds as well as sulfur dioxide and other sulfur compounds, which are known to exacerbate asthma and other respiratory problems. Other emissions include, aromatic hydrocarbons (benzene, tolu-