

lubrication in internal combustion engines [Текст]: Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in Mechanical Engineering: – Massachusetts Institute of Technology, 2007. – 241 p. 10. Kwang-soo Kim. A Study of Friction and Lubrication Behavior for Gasoline Piston Skirt Profile Concepts [Текст] / Kwang-soo Kim, Paras Shah // Federal-Mogul Corporation, Musashi Institute of Technology. 11. Двигатели внутреннего сгорания [Текст]: серия учеб. для вузов в 6 томах. Т. 1. Разработка конструкций форсированных двигателей наземных транспортных машин / А.П. Марченко, М.К. Рязанцев, А.Ф. Шеховцов; Мин-во образования и науки Украины; под ред. А.П. Марченко и засл. деят. Науки Украины проф. А.Ф. Шеховцова. – Харьков.: Прапор, 2004. – 384 с.

Bibliography (transliterated):

1. Putintsev, S.V. Osnovy rascheta i proektirovaniya uzlov treniya DVS [Текст]: ucheb. posobie / S.V. Putintsev, S.A. Anikin, R.A. Galata; Min-vo obrazovaniya i nauki Rossiyskoy Federatsii, Moskovskiy gos. tehn. Universitet. – Moskva: Izd-vo MGTU, 2000. 2. Samohin, S. Porshen v obschem i v chastnosti [Elektronnyy resurs] / S. Samohin, A. Hrlev. – Rezhim dostupa: <http://www.ab-engine.ru> - 01.01.2008 g. 3. Profilirovanie yubok porshney [Текст]: nauchnoe izdanie / B.Ya. Ginzburg, G.Ya. Vasilchenko, N.S. Sudoyskiy, I.A. Tsimerinov. – М.: Mashinostroenie, 1973. - 89 s. 4. Tokar, I.Ya. Proektirovanie i raschet opor treniya [Текст] / I.Ya. Tokar. – М.: Mashinostroenie, 1971. – 168s. 5. Rozhdestvenskiy, Yu.V. Sovremennyye konstruksii porshney dlya teplykh dvigateley [Текст]: ucheb. posobie / Yu.V. Rozhdestvenskiy, K.V. Gavrilov; Min-vo obrazovani-

ya i nauki Rossiyskoy Federatsii, Yuzhno-Uralskiy. gos. Universitet. – Chelyabinsk: Izd-vo YuUrGU, 2009. 6. Maslov, A.P. Povyshenie tehnikeskogo urovnya dizeley optimizatsiy geometricheskikh parametrov porshney [Текст]: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.04.02; zaschislena 22.01.99; utv. 15.07.99 / Maslov Andrey Petrovich. – Min-vo obrazovaniya i nauki Rossiyskoy Federatsii, Yuzhno-Uralskiy. gos. Universitet. – Chelyabinsk: Izd-vo YuUrGU, 1999. – 158 s. 7. Belogub, A.V. Novyye podhody k konstruirovaniyu porshney [Текст] / A.V. Belogub // Aviatsonno-kosmicheskaya tehnika i tehnologiya: sb. nauch. tr. – Harkov: HAI, 2000. - Vyip. 19. Teplye dvigateli i energo-ustanovki. – S. 201 – 206. 8. Belogub, A.V. Metodika rascheta peremennogo napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya porshnya v tsikle dlya razlichnykh rezhimov raboty dvigatelya [Текст] / A.V. Belogub, O.S. Stribul // Aviatsonno-kosmicheskaya tehnika i tehnologiya: Zb. nauk. prats. – Harkiv: HAI; MikolaYiv: Vid-vo MF NaUKMA, 2002. – Vip. 30. Dviguni ta ener-goustanovki. – S. 124 – 126. 9. McClure, F. Numerical modeling of piston secondary motion and skirt lubrication in internal combustion engines [Текст]: Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in Mechanical Engineering: – Massachusetts Institute of Technology, 2007. – 241 p. 10. Kwang-soo Kim. A Study of Friction and Lubrication Behavior for Gasoline Piston Skirt Profile Concepts [Текст] / Kwang-soo Kim, Paras Shah // Federal-Mogul Corporation, Musashi Institute of Technology. 11. Dvigateli vnutrennego sgoraniya [Текст]: seriya ucheb. dlya vuzov v 6 tomah. Т. 1. Razrabotka konstruksiy forsirovannykh dvigateley nazemnykh transportnykh mashin/ А.П. Марченко, М.К. Рязанцев, А.Ф. Шеховцов; Мин-во образования и науки Украины; под ред. А.П. Марченко и засл. деят. Науки Украины проф. А.Ф. Шеховцова. – Harkov.: Прапор, 2004. – 384 с.

Поступила в редакцию 01.06.2013

Москаленко Иван Николаевич – аспирант кафедры 202 факультета авиационных двигателей Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

Доценко Владимир Николаевич – доктор техн. наук, проф. кафедры 202 факультета авиационных двигателей Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

Белогуб Александр Витальевич – доктор техн. наук, проф. кафедры 203 факультета авиационных двигателей Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», технический консультант ПАО «АВТРАМАТ», Харьков, Украина.

ОГЛЯД МЕТОДІВ ПРОФІЛЮВАННЯ ЮБОК ПОРШНІВ ДВЗ

І.М. Москаленко, В.М. Доценко, О.В. Белогуб

Представлено баланс механічних витрат по механізмам, спряженням, та системам ДВЗ. Показано, що найбільший вклад в загальні механічні витрати двигуна вносить тертя деталей циліндропоршневої групи, а саме трибоспряження «поршень - циліндр». Наведено огляд основних розрахунково-експериментальних методів профілювання юбок. Виділені основні фізичні фактори які враховують автори в розрахунках динаміки трибоспряження. Розглянуті типові та оригінальні конструкторські рішення виконання юбок поршнів, які спрямовані на зниження тертя. Проведено аналіз виконаних робіт та намічені напрямки подальших досліджень.

THE OVERVIEW OF PROFILING METHODS FOR ICE PISTON'S SKIRTS

I.N. Moskalenko, V.N. Dotsenko, A.V. Belogub

In this article the balance of mechanical losses in ICE mechanisms, pairs and systems is represented. It is shown that the most contribution in the general mechanical losses is caused by friction in cylinder-piston group. The overview of the main computational and experimental methods for profiling piston's skirts is described. The main physical factors, which are considered by authors in the dynamical tribounits calculations are highlighted. The typical and original designer's solutions in piston's develop are examined. Analysis of works performed is completed and the direction of further investigations is scheduled.

УДК 62-503.55

И.Ф. Гумеров, В.М. Гуреев, Ю.Ф.Гортышов, Р.Р. Салахов, А.Х. Хайруллин, И.Р. Салахов

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ДВС

Повышение эффективности ДВС, улучшение его экологических и технико-экономических показателей требует новых подходов и решений. В данной работе разрабатывается адаптивная система охлаждения ДВС, обеспечивающая высокие показатели топливной экономичности двигателя и снижающая выбросы вредных веществ. Основной агрегат системы – насос с регулируемым электроприводом. Для проведения численных исследований характеристик системы охлаждения, в программном комплексе 1D-моделирования построена её функциональная модель, которая позволяет проводить виртуальные испытания различных компоновок интеллектуальной системы охлаждения. Первые результаты численных исследований качественно подтверждают эффективность подобных систем, работа переходит в экспериментальную стадию.

Задача повышения единичных мощностей двигателей при одновременном уменьшении их габаритов, металлоемкости, энергопотребления и снижении стоимости на единицу конечного полезного эффекта означает совершенствование их конструкции при снижении материалоемкости, повышении надежности и КПД двигателя.

© И.Ф. Гумеров, В.М. Гуреев, Ю.Ф. Гортышов, Р.Р. Салахов, А.Х. Хайруллин, И.Р. Салахов, 2013
 Одним из наиболее распространённых направлений повышения энергетических и экологических показателей ДВС является их форсирование турбонаддувом. Однако увеличение удельного эффективного давления в рабочей камере приводит к повышению уровня тепловой напряженности деталей цилиндра-поршневой группы (ЦПГ) и образованию прогрессирующих микротрещин на охлаждаемых деталях ДВС. Механизм возникновения микротрещин обусловлен тем, что в двигателях различной мощности в первые 5-10 секунд работы происходит интенсивное нарастание температуры поверхности деталей ЦПГ, а процесс выхода системы охлаждения на стационарный режим работы занимает несколько минут, что приводит к их локальным перегревам [1].

Остановка двигателя после длительной эксплуатации также вызывает значительные термические напряжения в сильно нагретых деталях ЦПГ, поэтому после остановки ДВС для плавного охлаждения нагретых деталей двигателя система охлаждения (СО) должна еще работать в течение определенного времени [2]. Традиционная система охлаждения ДВС с механическим приводом насоса и вентилятора от коленчатого вала двигателя не имеет такой возможности.

Особо стоит упомянуть о проблеме загрязнения окружающей среды выбросами вредных веществ ДВС, которая в настоящее время стоит наиболее остро. Основной задачей при проектировании новых и совершенствовании показателей существующих ДВС является выполнение все более жестких экологических требований (норм "EURO - 5", "EURO - 6"). Влияние температуры охлаждающей жидкости на удельный эффективный расход топлива и оксиды азота в ДВС представлены на рис. 1 и на рис.2.

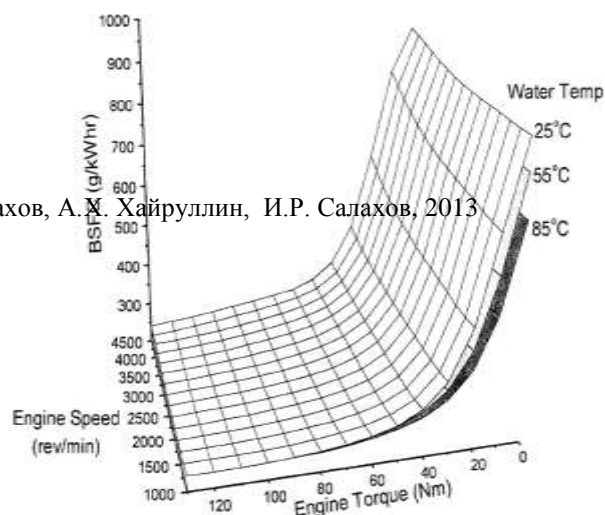


Рис. 1. Визуализация характеристик удельного эффективного расхода топлива при различных температурах ОЖ с системой охлаждения дизеля типа 6ЧН 13/14

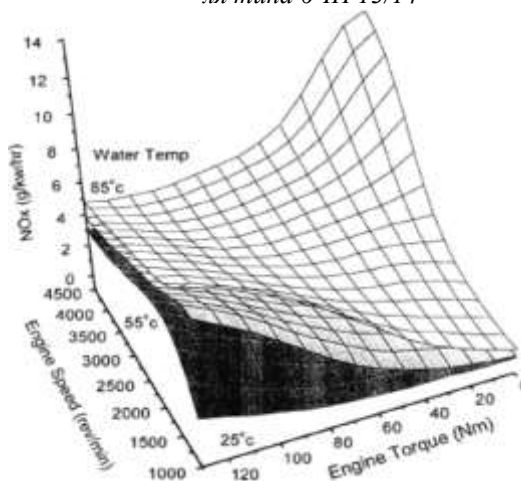


Рис. 2. Визуализация характеристик выбросов оксидов азота при различных температурах ОЖ с системой охлаждения дизеля типа 6ЧН 13/14

Для достижения необходимых экологических показателей ДВС требуется снижение общей тепловой напряженности и поддержание оптимальной температуры ЦПГ.

Применение материалов с низкой теплопроводностью (керамика, жаростойкие сплавы) для снижения потерь тепла в СО двигателя до настоящего времени не нашло широкого распространения. А внесение значительных конструктивных изменений в систему охлаждения двигателя сталкивается с рядом технических, технологических и финансовых проблем и является труднореализуемым.

Сложившаяся к настоящему времени практика проектирования отдельных систем, подсистем и агрегатов ДВС обуславливает учет многообразных взаимных связей и реальных условий его работы.

Исходя из всего вышесказанного, следует, что повышение эффективности ДВС, улучшение его экологических и технико-экономических показателей требует новых подходов и решений. Именно таким решением и является переход ДВС на использование интеллектуальных (адаптивных) систем охлаждения [3].

Адаптивная система охлаждения (АСО) обеспечивает подвод охлаждающей среды к нагретым деталям двигателя и отвод от них в атмосферу лишней теплоты, при оптимальной степени охлаждения в требуемых пределах теплового состояния двигателя, при различных режимах и условиях работы.

Основной агрегат подобных систем - насос с регулируемым электроприводом. Разработку данного типа насосов ведут такие известные производители, как Valeo, Wahler, DANACorp., Delphi, EWP и др. Адаптивные насосы изготавливают, в отличие от традиционных механических автомобильных помп, с широким применением специальных пластиков, устойчивых к высоким температурам, вибрациям, механическим нагрузкам, химическому воздействию агрессивных рабочих жидкостей (антифризов, масел), что позволяет снизить их массу на 65% и на 30% повысить их долговечность по сравнению с традиционными конструкциями [4].

Сравнение эффективности насоса с механическим и электрическим приводом на примере дизелей Volvo VNL 64T 610 и Cummins N14-460E+ST2 ESP представлено на рис. 3.

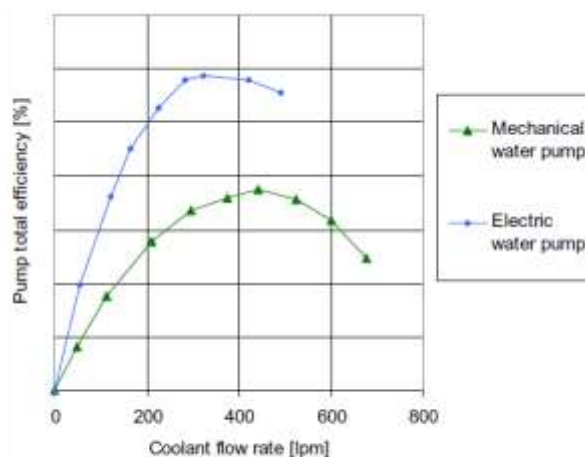


Рис. 3. Зависимость КПД насоса от расхода ОЖ

Из анализа представленных зависимостей видно, что насос СО двигателя с электрическим приводом в диапазоне расходов 200-600 л/мин. превосходит по эффективности традиционный более, чем на 20 %.

Явное преимущество насосов с электроприводом сделало их весьма привлекательными для использования в системах охлаждения двигателей отечественного производства.

Для решения задачи внедрения АСО в отечественные ДВС разработан алгоритм управления адаптивной системой охлаждения, представленный на рис. 4.

Данный алгоритм обеспечивает для системы охлаждения режимы работы с максимальной эффективностью, при высоких показателях топливной экономичности двигателя и снижении выбросов вредных веществ в атмосферу.

В первую очередь контроллер определяет температуру головки блока цилиндров. В случае, если измеренная температура превышает 300⁰С, система переходит в режим максимального охлаждения: клапан полностью открывается, насос и вентилятор работают на максимальных оборотах. Алгоритмом предусмотрено поэтапное включение соответствующих исполнительных механизмов: электропомпы, трехходового клапана, вентилятора радиатора. Задаются контрольные температуры - 30⁰С, 80⁰С, 90⁰С, 95⁰С и 105⁰С на выходе из двигателя. В случае превышения температуры блока ДВС допустимого значения - 105⁰С, система переходит в аварийный режим, на панели приборов автомобиля загорается лампа «Check Engine», дальнейшее движение в этом режиме запрещено.

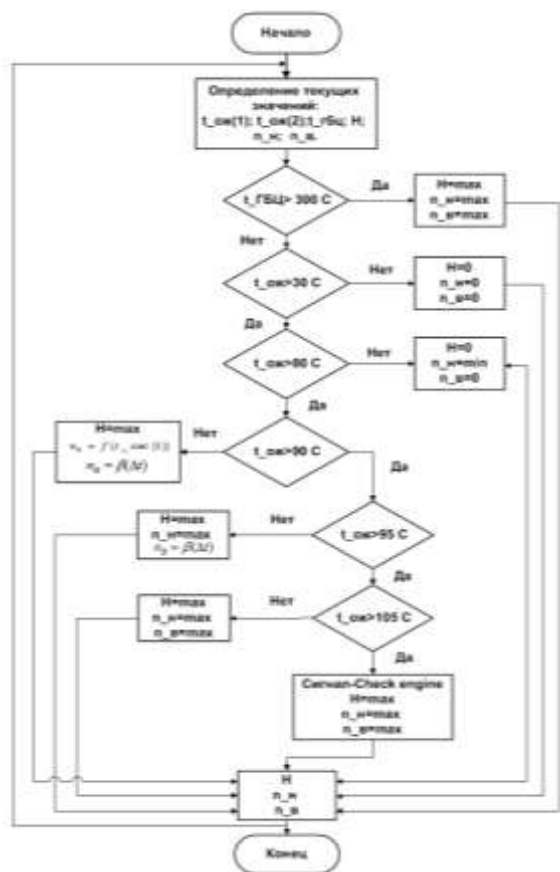


Рис. 4. Алгоритм управления адаптивной системой охлаждения

Для проведения численных исследований характеристик системы охлаждения, в программном комплексе LMS Imagine.Lab AMESim построена её функциональная модель, которая позволяет проводить виртуальные испытания различных компонентов АСО.

LMS Imagine.Lab AMESim - интегрированная платформа многодисциплинарного системного моделирования и оптимизации. Изделия в расчетных моделях Imagine.Lab представляются в виде функциональных схем. Компоненты функциональных схем изделий для решения самых разнообразных задач содержатся в обширном наборе проверенных библиотек. На основе моделей компонентов LMS Imagine.Lab позволяет построить общую компьютерную модель изделия, не требующую полного трехмерного геометрического представления.

На рис. 5 и 6 представлены функциональные модели традиционной СО и АСО ДВС.

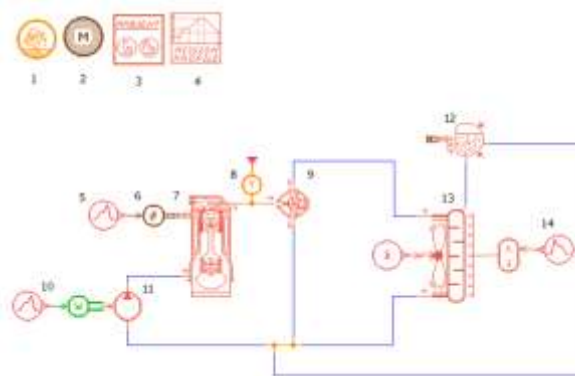


Рис. 5. Функциональная модель традиционной СО ДВС

1 – свойства металла; 2 – характеристики испытательного стенда; 3 – свойства жидкости; 4 – внешние условия; 5 – обороты двигателя; 6 – передаточное число; 7 – помпа; 8 – ДВС; 9 – контрольный датчик температуры; 10 – термостат; 11 – расширительный бачок; 12 – радиатор охлаждения; 13 – скорость набегающего потока воздуха; 14 – малый круг системы охлаждения

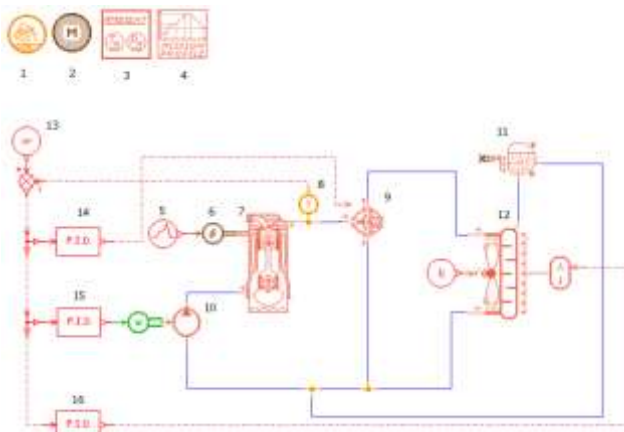


Рис. 6. Функциональная модель АСО ДВС

1 – свойства металла; 2 – характеристики испытательного стенда; 3 – свойства жидкости; 4 – внешние условия; 5 – ДВС; 6 – электромагнитный клапан; 7 – расширительный бачок; 8 – радиатор охлаждения; 9 – скорость набегающего потока; 10 – ПИД-регулятор оборотов помпы; 11 – ПИД-регулятор скорости воздушного потока; 12 – ПИД-регулятор электронного термостата; 13 – малый круг системы охлаждения; 14 – обороты вентилятора

В функциональной модели АСО для проведения тестовых задач использован ПИД-регулятор, который формирует управляющий сигнал, являющийся суммой трёх составляющих, первое из которых пропорционально разности входного сигнала и сигнала обратной связи (сигнал рассогласования), второе — интеграл сигнала рассогласования, тре-

тые — производная сигнала рассогласования. Формула ПИД-регулирования имеет следующий вид:

$$n_n = K_p \cdot f(t_{ож}) + K_I \cdot \int_0^t f(t_{ож}) \cdot dt + K_D \cdot \frac{df(t_{ож})}{dt}, \quad (1)$$

где n_n — обороты водяного насоса; K_p — коэффициент пропорциональной составляющей функции; $t_{ож}$ — температура охлаждающей жидкости на выходе из двигателя; K_I — коэффициент интегральной составляющей функции; K_D — коэффициент дифференциальной составляющей искомой функции.

Результаты численных исследований в LMS AMESim представлены на рис. 7.

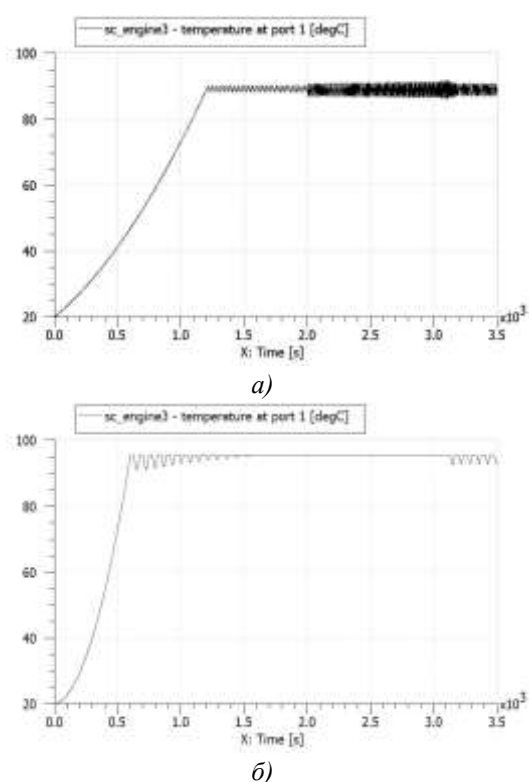


Рис. 7. Результаты численных исследований в LMS AMESim

а - время прогрева ДВС с традиционной системой охлаждения; б - время прогрева ДВС с адаптивной системой охлаждения

Из анализа представленных на рис. 7 результатов хорошо видно, что время выхода на рабочий режим, то есть прогрев от температуры окружающей среды до 92-96⁰С составило 20 мин, а для случая использования АСО 10 мин. Полученные результаты численных исследований позволили качественно оценить перспективность применения АСО ДВС в отечественных двигателях.

Основные результаты, представленные в данной статье, получены в рамках выполнения проекта «Перспективные экологичные колёсные транспортные средства с высокими потребительскими свойствами и низким уровнем эксплуатационных затрат» по постановлению Правительства РФ №218 от 9 апреля 2010 г.

Выводы

1. Проведенный анализ литературы показал перспективность и обоснованность использования электрического привода для водяного насоса системы охлаждения.

2. Разработана функциональная модель системы охлаждения ДВС в программном комплексе 1D моделирования LMS AMESim.

3. Сформулирован закон регулирования оборотами водяного насоса на основе ПИД-регулятора.

4. Проведены предварительные численные исследования характеристик двигателя, которые показали, что применение адаптивного управления системой охлаждения позволяет снизить время прогрева ЦПГ в 2 раза.

5. Для верификации полученных результатов необходимо выполнить комплекс экспериментальных исследований.

Список литературы:

1. Несиоловский О.Г., Улучшение показателей экономичности автомобильного дизеля за счет регулирования его теплового состояния. Автореферат диссертации, ЯПИ. Ярославль, 1995.
2. Жидкостное охлаждение автомобильных двигателей / А.Л. Кригер, М.Е. Дускин, А.Л. Новенников., В.И. Пийкус - М.: Машиностроение, 1985.- 176 с.
3. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического регулирования / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – М: издательство «Наука», 1975. – 768 с.
4. Chalgren R. Development and Verification of a Heavy Duty 42/14V Electric Powertrain Cooling System / R.Chalgren, L. Barron // SAE Technical Paper. – 2003-01-3416. – 2003. – doi: 10.4271/2003-01-3416.

Bibliography (transliterated):

1. Nesiolovskij O.G., Uluchshenie pokazatelej jekonomichnosti avtomobil'nogo dizelja za schet regulirovanija ego teplovogo sostojanija. Avtoreferat dissertacii, JaPI. Jaroslavl', 1995.
2. Zhidkostnoe ohlazhdenie avtomobil'nyh dvigatelej / A.L. Kriger, M.E. Diskin, A.L. Novenikov., V.I. Pijkus - M.: Mashinostroenie, 1985.- 176 s.
3. Besekerskij V.A. Teorija sistem avtomaticheskogo regulirovanija / V.A. Besekerskij, E.P. Popov. – M: izdatel'stvo « Nauka », 1975. – 768 s.
4. Chalgren R. Development and Verification of a Heavy Duty 42/14V Electric Powertrain Cooling System / R.Chalgren, L. Barron // SAE Technical Paper. – 2003-01-3416. – 2003. – doi: 10.4271/2003-01-3416.

Поступила в редакцию 31.05.2013

Гумеров Ирек Флорович – канд. техн. наук, заместитель генерального директора ОАО «КАМАЗ» – директор по развитию, НТЦ ОАО «КАМАЗ», Набережные Челны, Россия, e-mail: pr@kamaz.org.

Гортышов Юрий Федорович – доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедры теоретических основ теплотехники Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н.Туполева «КАИ», Казань, Россия, e-mail: tot@tot.kstu-kai.ru.

Гуреев Виктор Михайлович – доктор техн. наук, профессор, профессор кафедры теоретических основ теплотехники Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н.Туполева «КАИ», Казань, Россия, e-mail: gureev@tot.kstu-kai.ru.

Салахов Ришат Ризович – научный сотрудник Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н.Туполева «КАИ», Казань, Россия, e-mail: akirishat@yandex.ru.

Хайруллин Азат Хативович - младший научный сотрудник Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н.Туполева «КАИ», Казань, Россия, e-mail: azat-meh@mail.ru.

Салахов Илфат Ризович – младший научный сотрудник Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н.Туполева «КАИ», Казань, Россия, e-mail: fix_m@mail.ru.

РОЗРОБКА АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ДВЗ

І.Ф. Гумер, В.М. Гуреев, Ю.Ф.Гортышов, Р.Р. Салах, А.Х. Хайруллин, І.Р. Салах

Підвищення ефективності ДВЗ, поліпшення його екологічних і техніко-економічних показників вимагає нових підходів і рішень. У даній роботі розробляється адаптивна система охолодження ДВЗ, що забезпечує високі показники паливної економічності двигуна і знижує викиди шкідливих речовин. Основний агрегат системи - насос з регульованим електроприводом. Для проведення чисельних досліджень характеристик системи охолодження, в програмному комплексі 1D-моделювання побудована її функціональна модель, яка дозволяє проводити віртуальні випробування різних компонентів інтелектуальної системи охолодження. Перші результати чисельних досліджень якісно підтверджують ефективність подібних систем, робота переходить в експериментальну стадію.

DEVELOPMENT AN ADAPTIVE COOLING SYSTEM OF ENGINE

I.F. Gumerov, Y.F. Gortyshov, V.M. Gureev, R.R. Salakhov, A.H. Hairullin, I.R. Salakhov

Improving the efficiency of internal combustion engines, improving its environmental, technical and economic performance requires new approaches and solutions. In this work we develop an adaptive cooling system of engine, providing high fuel efficiency and reduces emissions. The main unit of the system - the pump with adjustable electric drive. Functional model built in a 1D-simulation software system to carry out numerical researches of the characteristics of the cooling system. 1D-simulation software system allows for virtual testing different layouts intelligent cooling system. The first results of numerical researches qualitatively confirm the efficiency of such systems, the work goes into the experimental stage.

УДК 621.436

Н.М. Луков, О.Н. Ромашкова, А. С. Космодамианский, Г.Ф. Кашиников

АВТОМАТИЧЕСКАЯ КОМБИНИРОВАННАЯ МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА ЭКСТРЕМАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НАДДУВОЧНОГО ВОЗДУХА ДИЗЕЛЯ

Известные автоматические системы регулирования температуры наддувочного воздуха дизеля не обеспечивают поддержание температуры наддувочного воздуха на оптимальных уровнях при изменении в широких диапазонах мощности дизеля и температуры наружного воздуха. Разработана комбинированная микропроцессорная экстремальная автоматическая система регулирования температуры наддувочного воздуха дизеля, связанная с двумя автоматическими системами регулирования: с системой регулирования скорости вращения вала дизеля и с системой регулирования температуры охлаждающей жидкости дизеля. Микропроцессорный контроллер системы содержит программу автоматического поиска температуры наддувочного воздуха, при которой дизель имеет минимальный расход топлива для данного режима работы. Для ускорения процесса поиска оптимальных значений температуры наддувочного воздуха системы регулирования температуры охлаждающей жидкости и экстремального регулирования температуры наддувочного воздуха дизеля выполнены комбинированными с использованием дополнительных сигналов управления по мощности дизеля и по температуре наружного воздуха. Разработанная система обеспечивает минимальный расход топлива, повышение надежности дизеля и уменьшение выброса вредных веществ с выпускными газами.

Известные автоматические системы регулирования температуры наддувочного воздуха (АСРПНВ) дизеля не обеспечивают поддержания температуры наддувочного воздуха на оптималь-