

На правах рукописи

Ратнов Александр Евгеньевич

**УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ
ДВИГАТЕЛЕЙ ПУТЁМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СВОЙСТВ
ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ**

Специальность 05.04.02. – Тепловые двигатели.

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание учёной степени

кандидата технических наук

Санкт-Петербург 2005 г.

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования “Рыбинская государственная авиационная технологическая академия им. П.А.Соловьёва”, на кафедре “Авиационные двигатели”.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Безюков Олег Константинович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Петриченко Михаил Романович

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
Баранов Сергей Петрович

Ведущая организация – ОАО «ЗВЕЗДА», Санкт-Петербург

Защита состоится «____» _____ 2005 г. в «____» часов на заседании диссертационного совета Д 212.229.09 при Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования “Санкт-Петербургский государственный политехнический университет” по адресу: 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая 29, Главное здание, ауд. _____ .

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ГОУ “СПбГПУ”

Автореферат разослан “____” _____ 2005 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета Д 212.229.09

д.т.н., профессор

Хрусталёв Б.С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Двигатели внутреннего сгорания одно из массовых изделий машиностроения, поэтому сокращение затрат при эксплуатации и ремонте может дать существенный экономический эффект для народного хозяйства России.

Эффективным является подход к повышению топливной экономичности двигателей за счёт уменьшения тепловых потерь. Реализация такого подхода не требует изменения основных конструктивных элементов остова и может быть проведена совершенствованием схем регулирования теплового состояния путем модернизации двигателей на ремонтных предприятиях машиностроительной отрасли. Кроме того, за счёт увеличения коррозионностойкости деталей можно повысить их надежность примерно на 20-50 %, снизить трудоемкость ремонта на 20-30 %. Совершенствование свойств охлаждающих жидкостей, чаще всего, идёт по двум несвязанным друг с другом направлениям, одно из которых преследует цель уменьшения коррозионных разрушений, а другое направлено на применение альтернативных воде охлаждающих жидкостей, например, антифризов. Таким образом, как для научно-исследовательских организаций, так и производителей и потребителей двигателей остается актуальной работа по совершенствованию свойств охлаждающих жидкостей. Улучшение теплофизических и физико-химических свойств охлаждающих жидкостей может быть достигнуто путём введения водорастворимых полимеров.

Цель работы – повышение долговечности и топливной экономичности автотракторных ДВС воздействием на физико-химические и теплофизические свойства охлаждающих жидкостей.

Задачи работы. Для достижения поставленной цели необходимо обеспечить решение следующих задач:

1. Выполнить анализ проблем и тенденций развития автотракторных ДВС. Выявить влияние свойств охлаждающих жидкостей на технико-экономические показатели работы двигателя.
2. Провести лабораторные исследования эффективности действия полимеров как ингибиторов коррозии деталей системы охлаждения ДВС.
3. Провести лабораторные исследования теплофизических свойств охлаждающих жидкостей, содержащих полимеры.
4. Выполнить уточнение критериального уравнения для расчёта процесса конвективного теплообмена.
5. Провести стендовые и эксплуатационные испытания автотракторных ДВС с новыми охлаждающими жидкостями, имеющих в своём составе полимеры.

Исследования предусматривают разработку и создание необходимых лабораторных установок, а также методик, программ исследований и соответствующих инструктивных материалов для проведения эксплуатационных испытаний.

Объектом исследования являются транспортные ДВС, их системы охлаждения и охлаждающие жидкости.

Предметом исследования являются физико-химические, теплофизические свойства охлаждающих жидкостей, процессы коррозии и теплообмена, протекающие в системах охлаждения ДВС.

Методы исследования базируются на теориях ДВС, электрохимии, теплообмена, математической статистике.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов обеспечена непротиворечивостью полученных результатов основным положениям теории ДВС, электрохимии, конвективного теплообмена, подтверждена многочисленными экспериментами, проведенными на специально созданных стендах с применением поверенных измерительных приборов, положительными результатами опытной эксплуатации нескольких типов автотракторных ДВС.

Научная новизна полученных результатов состоит в том, что:

- экспериментально подтверждена гипотеза о возможности повышения долговечности и экономичности автотракторных ДВС за счёт использования новых охлаждающих жидкостей, имеющих в своём составе полимеры;
- установлено, что наибольший защитный эффект от коррозионных разрушений в воде обеспечивает полиакриламид и поверхностно-активное вещество “Синтанол”, в растворе воды (46%) и этиленгликоля (54%) – полиакриламид и поливиниловый спирт;
- выявлено, что смесь полиакриламида и поливинилового спирта обеспечивают синергетический эффект, заключающийся в снижении интенсивности конвективного теплообмена;
- установлено, что наибольший эффект в снижении расхода топлива обеспечивает новая охлаждающая жидкость, имеющая в своём составе полиакриламид и поливиниловый спирт при их суммарной концентрации 0.1% (0.05% ПАА + 0.05% ПВС);
- получено критериальное уравнение для расчета числа Нуссельта (Nu), учитывающее влияние полимеров на интенсивность конвективного теплообмена;
- установлено, что эксплуатация двигателей ВАЗ и ЯМЗ с новыми охлаждающими жидкостями приводит к снижению токсичности отработавших газов на режимах холостого хода на 5 ... 18 %.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в том, что разработаны, опробованы в лабораторных исследованиях, стендовых моторных и эксплуатационных испытаниях новые охлаждающие жидкости на основе воды, этиленгликоля, полимеров полиакриламида и поливинилового спирта, способные снижать коррозию деталей систем охлаждения, расход топлива и токсичность отработавших газов на холостом ходу и долевых режимах работы автотракторных ДВС.

На защиту выносятся:

- результаты исследований эффективности полимеров как ингибиторов коррозии деталей систем охлаждения ДВС;

- результаты исследований влияния полимеров на теплофизические свойства охлаждающих жидкостей и экономичность автотракторных ДВС;
- критериальное уравнение для расчёта числа Нуссельта (Nu), учитывающего влияние полимеров на интенсивность конвективного теплообмена;
- результаты стендовых и эксплуатационных испытаний ДВС с разработанными охлаждающими жидкостями.

Апробация работы. Основные материалы диссертационной работы доложены автором и обсуждены на заседаниях кафедры “АД” РГАТА (Рыбинск) и кафедры “ТМ и ДВС” ТФРГАТА (Тутаев) в 2000-2003 гг.; IX Всероссийских Туполевских чтений студентов: Научно-техническая конференция, Казань, 2000 г.; научно-технической конференции “Теплофизика процессов горения и охрана окружающей среды”, Рыбинск, 2001 г.; втором Международном конгрессе студентов, молодых учёных и специалистов «Молодежь и наука – третье тысячелетие»/YSTM’02, Москва, 2002 г.; всероссийской научно-технической конференции «Новые материалы и технологии НТМ – 2002», Москва, 2002 г.; Международной научно-практической конференции «Безопасность водного транспорта», посвящённой 300-летию Санкт-Петербурга. Санкт-Петербург, 2003 г и др.

Реализация работы.

- Исследования выполнены по заказу ООО «Тутаевский моторный завод» и реализованы при создании двигателей 8ЧН 14/14 нового поколения (Заключение о реализации от 27 сентября 2004 г.).
- Разработанные новые охлаждающие жидкости используются в автотракторной технике фирмы «Комплекс», г. Тутаев, Ярославская область (Акт о внедрении от 1 июля 2004 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 печатных работ.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, общих выводов, списка использованных источников (включающего 120 наименований), и 10 приложений. Работа содержит 227 страницы текста, 40 рисунков и диаграмм, 6 фотографий и 30 таблиц.

В первой главе выполнен анализ основных свойств и требований предъявляемых к воде, к специальным охлаждающим жидкостям. Показаны достоинства и недостатки химических веществ, используемых в качестве ингибиторов коррозии, наиболее предпочтительными являются водорастворимые полимеры, которые при минимальной концентрации способны снижать интенсивность коррозионных разрушений и снижать потери теплоты в системе охлаждения.

Вторая глава посвящена коррозионным исследованиям, которые проведены с целью оценки эффективности защиты полимерами металлов от коррозии, и оптимизации концентрации полимеров с использованием потенциостатического и гравиметрического методов. Установлено, что присадки к воде снижают коррозию максимум на 55 %, к ТОСОЛу тормозят окисление до 2 раз.

Третья глава посвящена исследованиям влияния полимеров на процесс теплообмена в системе жидкостного охлаждения ДВС. Показано, что введение полимеров способно изменять интенсивность теплоотдачи на границе “стенка – охлаждающая жидкость”. Уточнены расчетные зависимости, с помощью которых возможен расчёт теплообмена в зарубашечном пространстве и теплообменниках в присутствии полимеров.

Четвертая глава посвящена моторным испытаниям, в результате которых установлено снижение циклового расхода топлива при использовании новых охлаждающих жидкостей. Завершающим этапом работы являлись испытания, показавшие работоспособность новых охлаждающих жидкостей в условиях реальной эксплуатации.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Форсирование транспортных двигателей сопровождающееся повышением температурного уровня деталей цилиндрико-поршневой группы. Для обеспечения надёжной работы двигателя необходимо организовать их интенсивное охлаждение. В то же время с целью повышения экономичности двигателя следует минимизировать тепловые потери. Снижение тепловых потерь может быть достигнуто за счёт изменения свойств охлаждающих жидкостей (ОЖ).

Совершенствование свойств ОЖ позволяет также защитить элементы системы охлаждения от коррозионных разрушений, предотвратить накипеобразование и повысить за счёт этого надёжность и долговечность двигателей. В качестве способа воздействия на физико-химические свойства ОЖ было выбрано введение водорастворимых полимеров, совместимых с водой и этиленгликолевыми растворами, ингибирующих коррозию и оказывающих влияние на процессы теплообмена. Применение таких полимеров позволяет повысить надёжность и экономичность двигателя.

Исследование эффективности полимеров и ПАВ как ингибиторов коррозии деталей систем охлаждения ДВС

В результате предварительных испытаний и анализа научно-технической и патентной литературы для исследований были выбраны следующие водорастворимые полимеры:

- полиакриламид (ПАА)
- поливиниловый спирт (ПВС)
- поверхностно-активное вещество Синтанол ДС – 10 (ПАВ).

Целью проведенных исследований коррозии являлось определение эффективности защиты полимерами основных конструктивных материалов систем охлаждения двигателей от коррозионных разрушений.

Коррозионные исследования проводились двумя методами: потенциостатическим и гравиметрическим.

При проведении потенциостатическим методом проводилось снятие поляризационных кривых, необходимых для определения скорости коррозии, производилось на установке, основой которой являлся потенциостат П - 5827. Скорость коррозии металлов определялась по формуле:

$$V_K = \frac{A \cdot I_{КОРР}}{n \cdot F \cdot \rho} \cdot 10, \text{ мкм/ч} \quad (1)$$

где A – атомная масса металла, г/моль; $I_{КОРР}$ – плотность тока коррозии, А/см²; n – валентность металлов (для сплавов – валентность металла, составляющего основу); ρ – плотность металла, г/см³; $F = 26.8$ А ч/моль – постоянная Фарадея.

В качестве количественного показателя скорости коррозии была выбрана глубина коррозионных разрушений в единицу времени. Глубинный показатель коррозии пригоден как для равномерной, так и для местной коррозии и весьма удобен при сравнении скорости коррозии и оценке эффективности защиты от неё. Коррозионные токи в ОЖ, содержащих различные полимеры представлены на рис. 1 и 2.

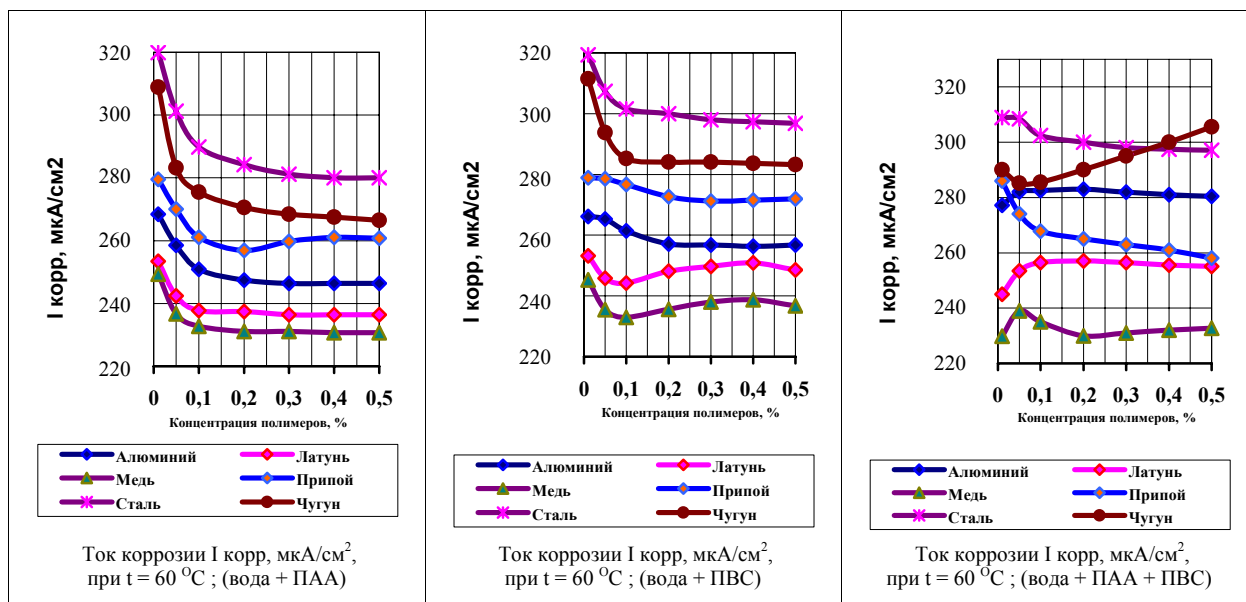


Рис. 1 Коррозионные токи в водных растворах.

При гравиметрическом методе исследований скорости коррозионного разрушения металлов определялись по убыли массы образцов ΔG_K , изготовленных в соответствии с ГОСТ 28084 – 89.

$$\Delta G_K = ((G_1 - G_2) \cdot 10^6 / (365 \cdot (2 \cdot (d \cdot b + b \cdot H + H \cdot d))), \text{ г/(м}^2 \cdot \text{сут)} \quad (2)$$

где G_1 – масса образца до испытаний, г/год; G_2 – масса образца после испытаний, г/год; $H \times b$ габариты пластинки, мм, (50 мм X 25 мм); d – толщина пластинки, мм, (5 мм).

Коэффициенты защиты Z_{Γ} рассчитывались по формулам:

$$Z_{\Gamma} = (1 - \Delta G_2 / \Delta G_1) \cdot 100, \% \quad (3)$$

где ΔG_1 – потеря массы образца в воде, г/(м²*сут); ΔG_2 – потеря массы образца в водо-этиленгликолевом растворе, г/(м²*сут).

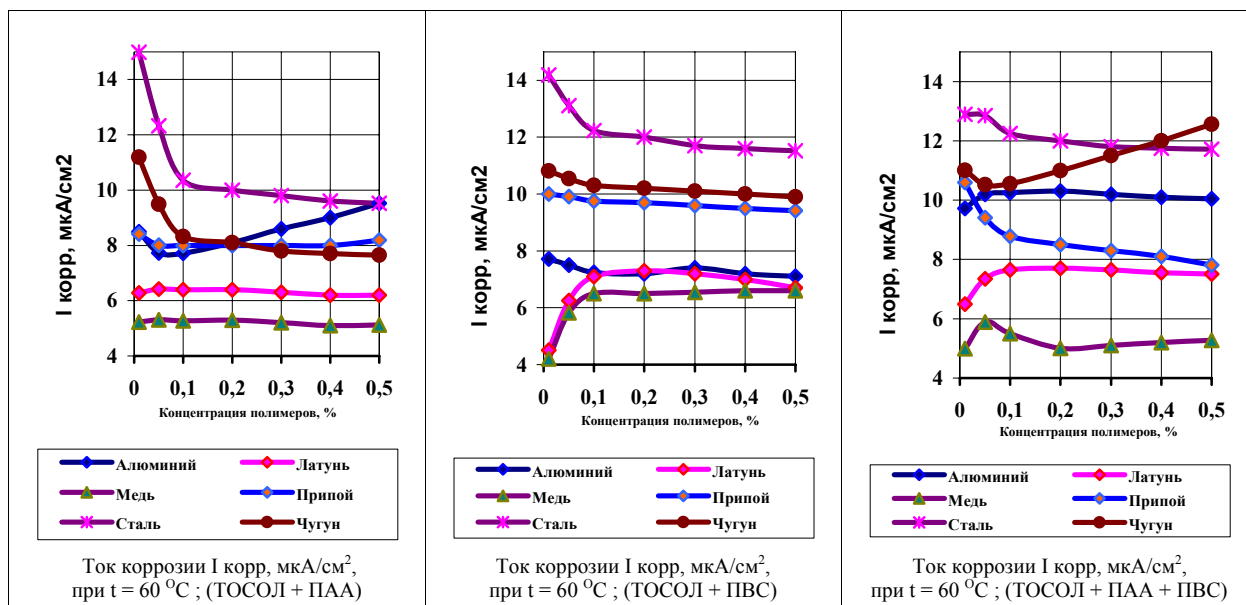


Рис. 2. Коррозионные токи в этиленгликолевых растворах.

защитный эффект:

$$\gamma_{Г} = \Delta G_1 / \Delta G_2 \quad (4)$$

Коэффициенты защиты и защитные эффекты при исследовании отдельных компонентов и их комбинаций представлены на рис. 3 и 4.

Представленные в главе результаты проведенных гравиметрических и потенциостатических исследований коррозии позволяют сделать вывод, что агрессивность антифризов на основе этиленгликолей (ТОСОЛов) ниже, чем у воды без специальной обработки. Это объясняется присутствием в составе ТОСОЛов ингибиторов коррозии. Введение в антифриз водорастворимых полимеров (ПВС, ПАА, ПАВ) и их сочетаний оказывает влияние на интенсивность коррозии металлов. ПАВ монотонно уменьшает коррозию припоя и при изменении концентрации от 0.01 до 0.5 % для латуни, стали и меди.

При больших концентрациях ПАВ монотонно увеличивает коррозию. Резкое уменьшение наблюдается для чугуна при увеличении концентрации присадки с 0.01 % до 0.05 %. Увеличение содержания ПАА монотонно уменьшает коррозию латуни, стали, меди и чугуна. Для алюминия и припоя наблюдается обратный эффект. При увеличении концентрации ПВС интенсивность коррозии стали, алюминия, чугуна и припоя монотонно уменьшается. Скорость коррозионных разрушений латуни и меди сначала возрастает (при концентрации полимера до 0.10 %), а потом уменьшается.

Исследования коррозионного воздействия охлаждающих жидкостей (воды и антифриза) проводились различными методами. Причем в одном методе (гравиметрическом) использовался массовый показатель скорости коррозии, а другом (потенциостатическом) – глубинный показатель.

Полученные результаты позволяют утверждать, что “ТОСОЛ” обладает меньшей коррозионной агрессивностью по сравнению с водой. Добавление полимеров сказывается не значительно, но в большинстве случаев уменьшает коррозию, особенно ПАВ и ПАВ + ПАА. Наиболее эффективное действие замечено при концентрациях полимеров 0.05 % ПАА + 0.05 % ПВС. Проведенные исследования подтверждают возможность введения полимеров и поверхностно-активных веществ в охлаждающие жидкости на основе этиленгликолей.

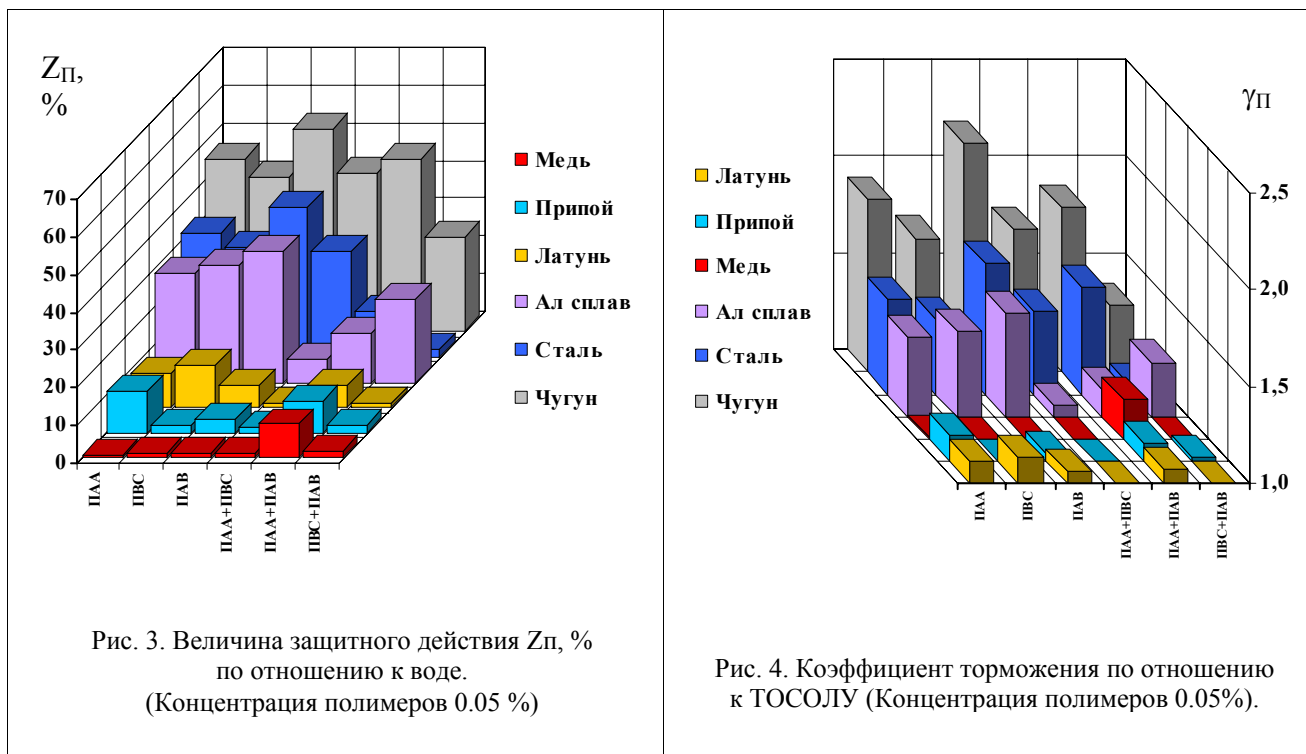


Рис. 3. Величина защитного действия Z_p , % по отношению к воде. (Концентрация полимеров 0.05 %)

Рис. 4. Коэффициент торможения по отношению к ТОСОЛУ (Концентрация полимеров 0.05%).

Исследования влияния полимеров и ПАВ на теплофизические свойства охлаждающих жидкостей и экономичность автотракторных ДВС

По имеющимся данным, характер влияния ПАВ и полимеров на процессы теплопереноса зависит от условий, в которых он протекает, и обусловливается способностью данных веществ ламинировать пристенный слой в водных растворах, подавлять турбулентные пульсации скорости и температуры, а также уменьшать поверхностное натяжение жидкости.

Исследование влияния состава охлаждающей жидкости на процессы теплообмена в реальных условиях представляет большую сложность. Решение данной задачи может быть упрощено применением лабораторной установки, позволяющей моделировать режимы циркуляции жидкости в системе охлаждения двигателя. Разработана специальная установка основой которой является гильза от двигателя ЯМЗ – 840 с рубашкой охлаждения. Испытания проводились при входных температурах жидкости 60 °С и 80 °С, которые являются наиболее характерными для систем охлаждения автомобильных ДВС.

Диапазон скоростей составлял от 0.1 до 1.0 м/сек, что соответствует наиболее характерной скорости в зарубашечном пространстве. Во избежание выпадения мицеллярных соединений концентрации присадок полимеров не превышали 0.1 %. После исследования каждой жидкости, содержащей добавки, лабораторная установка тщательно промывалась и заполнялась чистой водой. Испытываемые вещества предварительно растворялись в жидкостях, которые затем заливались в установку. Обработка результатов испытаний проводилась в следующем порядке: 1) расчет средних коэффициентов теплоотдачи в каждой экспериментальной точке; 2) построение графических зависимостей среднего коэффициента от скорости течения w для жидкостей различного состава.

Коэффициент теплоотдачи при проведении испытаний определялся по методу стационарного теплового потока, в котором используется закон Ньютона-Рихмана:

$$dQ = \alpha_F \cdot (t_w - t_f) \cdot dF, \quad (5)$$

где α_F – местный коэффициент теплоотдачи; t_w – температура стенки;
 dF – площадь элемента поверхности; dQ – тепловой поток, проходящий через элемент поверхности.

Среднее значение коэффициента теплоотдачи определялось по формуле:

$$\alpha_F = \frac{c_p \cdot G \cdot (t_f'' - t_f')}{F \cdot (t_w - t_f)}, \quad \text{Вт/м}^2 \cdot \text{град} \quad (6)$$

При малых скоростях течения жидкостей ($w = 0.1 - 0.3$ м/с), соответствующих переходному режиму течения значения коэффициентов теплоотдачи в жидкости различного состава отличаются друг от друга незначительно. Это объясняется тем, что интенсивность турбулентных пульсаций еще недостаточно велика, молекулы высокополимеров и мицеллярные образования поверхностно-активных веществ не оказывают значительного влияния на характер течения жидкости и структуру потока. Полученные результаты свидетельствуют, что для условий эксперимента порог влияния присадок соответствует скорости $0.3 \div 0.4$ м/сек, так как, именно, при превышении этой скорости появляются существенные различия в значениях коэффициентов теплоотдачи.

При развитом турбулентном течении ($w = 0.4 - 1.0$ м/с) значительное снижение коэффициента теплоотдачи было получено для раствора, содержащего более 0.05 % полимеров. Еще большее снижение коэффициента теплоотдачи имело место для раствора, содержащего 0.05 % полиакриламида и 0.05 % поливинилового спирта.

Испытания растворов ПАВ и полимеров различной концентрации показало, что увеличение концентрации ПАА и ПВС приводит к более существенному снижению коэффициентов теплоотдачи при турбулентном течении, а увеличение концентрации ПАВ вызывает повышение интенсивности теплообмена, но при этом происходит сильное вспенивание раствора, что крайне не желательно при использовании в системе охлаждения автомобиля.

Критериальное уравнение для расчета числа Nu

Влияние присадок на интенсивность теплообмена оценивалась по относительному коэффициенту теплоотдачи:

$$\alpha' = \frac{\alpha_{\text{ПРИС}} - \alpha_{\text{БАЗ. ЖИДК}}}{\alpha_{\text{БАЗ. ЖИДК}}} \cdot 100\% \quad (7)$$

$\alpha_{\text{БАЗ. ЖИДК}}$ – чистая вода или ТОСОЛ;

$\alpha_{\text{ПРИС}}$ – базовая жидкость с присадкой.

Изменения α' в зависимости от концентрации присадок показаны на рис. 5.

Изменения α' в зависимости от скорости течения показаны на рис. 6.

Проведенные на экспериментальной установке исследования позволяют сделать следующие выводы. Полимеры, введенные в состав охлаждающих жидкостей, могут оказывать существенное влияние на процессы теплообмена. Это необходимо учитывать при их применении. Характер влияния исследованных полимеров зависит от скорости циркуляции жидкости и температуры теплоотдающей поверхности.

С целью возможного расширения области применения полученных результатов, они были представлены в виде критериальных уравнений. Для стационарных процессов конвективного теплообмена в однофазной несжимаемой жидкости с постоянными (кроме плотности) физическими свойствами характерны следующие безразмерные числа: Нуссельта, Стантона, Рейнольдса, Прандтля, Пекле, Грасгофа, Архимеда.

Обобщенное уравнение конвективного теплообмена имеет вид:

$$Nu_{ж} = C \cdot Re^m \cdot Pr^n \cdot Gr^p \cdot (Pr_{ж} / Pr_{см})^{0,25} \cdot (l/l_0)^q \quad (8)$$

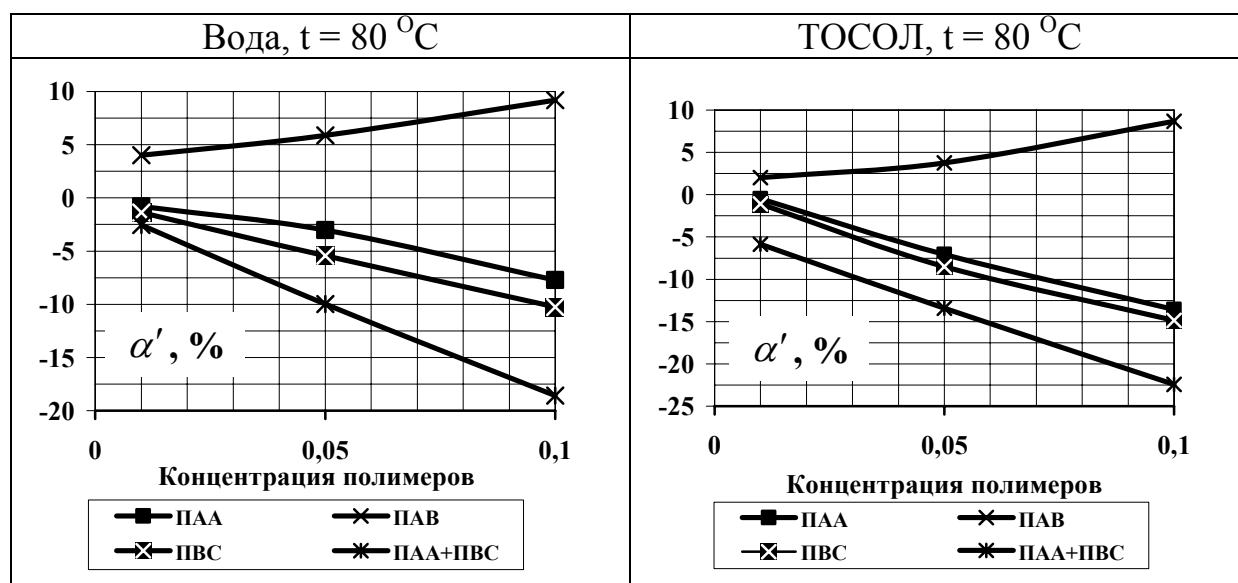


Рис. 5. Изменения относительного коэффициента теплоотдачи α' в зависимости от полимеров

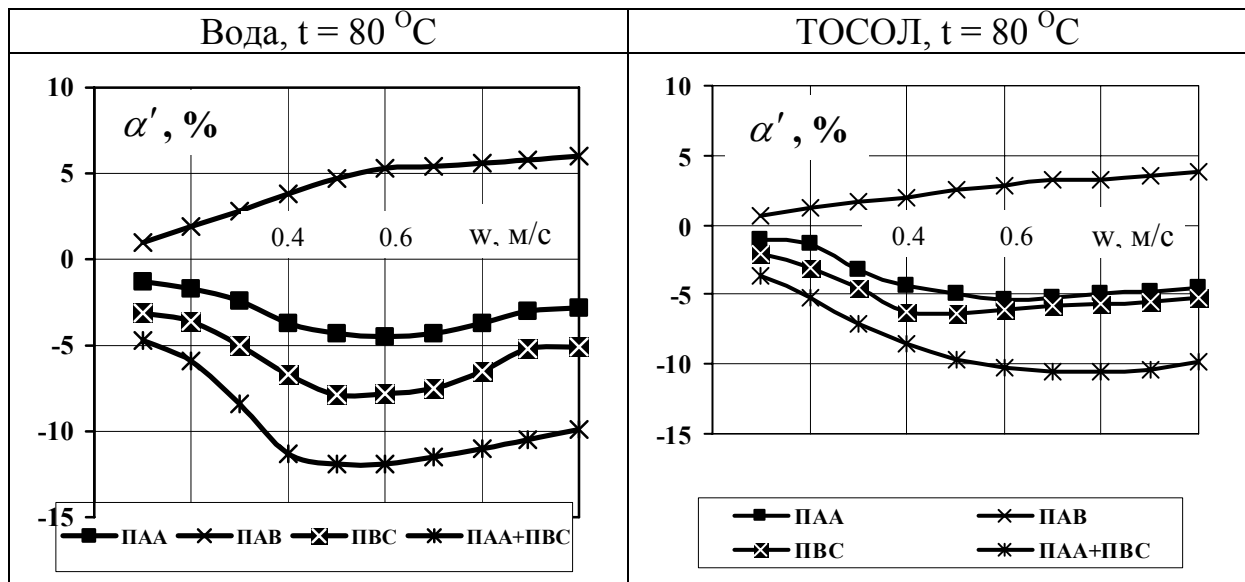


Рис. 6. Изменения относительного коэффициента теплоотдачи α' в зависимости от скорости течения жидкости.

Опыты проводились на установке, представляющей из себя кольцевой канал. Для расчёта теплообмена в кольцевом канале удовлетворительные результаты даёт формула Нуссельта-Крауссольда:

$$Nu_p = 0.023 \cdot Pr^{0.4} \cdot Re^{0.8}, \quad (9)$$

Для учёта влияния полимеров на теплообмен на границе “стенка – охлаждающая жидкость” необходимо скорректировать формулу (9), введя в неё коэффициент, учитывающий изменение состава ОЖ. Разница между $\alpha_{\text{э}}$ (экспериментальное) и α_p (расчётное, из уравнения 9) определяется по формуле:

$$\varepsilon_N = \frac{\alpha_{\text{э}}}{\alpha_p} \quad (10)$$

С учётом формул (9) и (10) полученные экспериментально значения среднего коэффициента теплоотдачи $\alpha_{\text{э}}$ представляются в виде:

$$\alpha_{\text{э}} = \alpha_p \cdot \varepsilon_N = 0.023 \cdot Pr^{0.4} \cdot Re^{0.8} \cdot \varepsilon_N \quad (11)$$

Величины $Pr^{0.4}$ и ε_N постоянны для каждой жидкости, поэтому выражение (9) можно представить в виде

$$Nu = Nu_p \cdot \varepsilon_N, \quad (12)$$

где ε_N – поправочный коэффициент учитывающий влияние полимеров на процесс теплоотдачи. Коэффициент ε_N зависит от типа базовой жидкости, применяемого полимера, его концентрации, температуры жидкости и скорости:

$$\varepsilon_N = f(\phi, \chi, N, t, w) \quad (13)$$

где ϕ – тип теплоносителя (вода или антифриз), χ – тип применяемого полимера, N – концентрация полимера, t – температура жидкости, w – скорость течения потока. Окончательно, критериальное уравнение, в котором учтено влияние полимеров имеет вид:

$$Nu = 0.023 \cdot Pr^{0.4} \cdot Re^{0.8} \cdot \varepsilon_N \quad (14)$$

Поправочный коэффициент ε_N представим в виде полинома:

$$\varepsilon_N = x_0 + x_1 \cdot y + x_2 \cdot y^2 \quad x_1 = a_1 \cdot z_0 \cdot N \quad x_2 = a_2 \cdot N^2 \quad (15)$$

Для получения коэффициентов x_0 , x_1 , x_2 составляется система уравнений:

$$\begin{cases} x_0 \cdot n + x_1 \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i \right) + x_2 \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 \right) = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{Ni} \\ x_0 \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i \right) + x_1 \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 \right) + x_2 \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i^3 \right) = \sum_{i=1}^n (y_i \cdot \varepsilon_{Ni}), \\ x_0 \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 \right) + x_1 \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i^3 \right) + x_2 \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i^4 \right) = \sum_{i=1}^n (y_i^2 \cdot \varepsilon_{Ni}) \end{cases} \quad (16)$$

Результаты решения системы уравнений (16) представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1.

Поправочные коэффициенты.

	Вода				ТОСОЛ			
X_0	$a_0 \cdot (N + 0.0014 \cdot t)$				$a_0 \cdot (N + 0.0009 \cdot t)$			
Y	$0.51 \cdot y_0 + 0.00011 \cdot t_2$				$0.49 \cdot y_0 + 0.00010 \cdot t_2$			
	a_0	a_1	a_2	y_0	a_0	a_1	a_2	y_0
ПАА	1.11	9.81	0.48	$1 - 0.9944 \cdot N + 0.8573 \cdot N^2$	1.10	8.70	0.33	$1.0112 - 1.2957 \cdot N + 0.3444 \cdot N^2$
ПВС	1.14	10.13	0.50	$0.9953 - 1.0164 \cdot N + 0.7229 \cdot N^2$	1.12	9.28	0.42	$0.9991 - 0.9228 \cdot N + 2.0053 \cdot N^2$
ПАВ	1.22	12.80	0.53	$1.0139 - 0.5833 \cdot N + 2.7778 \cdot N^2$	1.15	12.12	0.49	$1.0141 - 0.52 \cdot N + 7.3333 \cdot N^2$
ПАА+ПВС	1.18	11.14	0.51	$0.994 - 1.85506 \cdot N + 1.413 \cdot N^2$	1.13	10.45	0.47	$1.0006 - 2.0501 \cdot N + 3.0873 \cdot N^2$

Для воды

Полимер	Z_0
ПАА	$-2.2998 + 18.987 \cdot w - 105.68 \cdot w^2 + 149.96 \cdot w^3 - 58.571 \cdot w^4 - 5.198 \cdot w^5$
ПВС	$-4.8447 + 33.33 \cdot w - 185.31 \cdot w^2 + 276.67 \cdot w^3 - 125.65 \cdot w^4 + 0.7267 \cdot w^5$
ПАВ	$0.8029 - 2.3101 \cdot w + 53.53 \cdot w^2 - 92.459 \cdot w^3 + 55.385 \cdot w^4 - 8.9307 \cdot w^5$
ПАА+ПВС	$-9.0862 + 89.596 \cdot w - 568.28 \cdot w^2 + 1211.8 \cdot w^3 - 1095.5 \cdot w^4 + 361.56 \cdot w^5$

Для ТОСОЛа

Полимер	Z_0
ПАА	$-3.1207 + 43.629 \cdot w - 272.1 \cdot w^2 + 558.74 \cdot w^3 - 487.95 \cdot w^4 - 156.28 \cdot w^5$
ПВС	$-4.1353 + 47.973 \cdot w - 337.32 \cdot w^2 + 763.92 \cdot w^3 - 722.06 \cdot w^4 + 246.41 \cdot w^5$
ПАВ	$2.0271 - 24.08 \cdot w + 173.26 \cdot w^2 - 353.76 \cdot w^3 + 315.97 \cdot w^4 - 105.61 \cdot w^5$
ПАА+ПВС	$-3.4247 + 8.6801 \cdot w - 145.42 \cdot w^2 + 336.26 \cdot w^3 - 313.98 \cdot w^4 + 108.08 \cdot w^5$

Разработан алгоритм и программа, позволяющая корректировать коэффициенты критериальных уравнений. Достоверность разработанной программы подтверждена экспериментально.

Стендовые и эксплуатационные испытания ДВС с новыми охлаждающими жидкостями

В городских условиях эксплуатации автомобиля работа двигателя на режимах холостого хода может составлять до 50 % от всего времени работы. При таких режимах имеют место наихудшее смесеобразование, неравномерность распределения смеси по цилиндрам, замедленное сгорание, большая токсичность отработавших газов по содержанию в них СО и C_nH_m . Улучшение экономических и экологических показателей работы двигателя на холостом ходу является значимой проблемой.

С целью проверки работоспособности разработанных новых ОЖ в условиях реальной системы охлаждения автомобильного двигателя и определения их влияния на показатели работы двигателя и его температурное состояние были проведены стендовые испытания. Экспериментальная установка выполнена на базе автомобильного карбюраторного двигателя 4Ч 8.2/7.1 (ВАЗ-21083). Экспериментальная установка имеет замкнутую систему охлаждения, что позволяет испытывать различные охлаждающие жидкости.

В испытаниях участвовали следующие жидкости: вода; вода + 0.05 % ПАА + 0.05 % ПВС; “ТОСОЛ-А40М-Север”; “ТОСОЛ-А40М-Север” + 0.05 % ПАА + 0.05 % ПВС. При снятии характеристики холостого хода определялись часовой и цикловой расход топлива, температура отработавших газов (ОГ), их токсичность. Расход топлива замерялся весовым способом. Замеры выбросов СО и C_nH_m и температуры ОГ осуществлялись газоанализатором PALTEST JT 280. Все замеры производились на установившихся режимах работы прогретого двигателя. Результаты стендовых испытаний представлены на рис. 9.

Испытания показали:

- при введении полимеров в охлаждающую воду цикловой расход топлива уменьшался от 8 % при оборотах коленчатого вала $n_{xx} = 1000$ об/мин, до 2 % при $n_{xx} = 5000$ об/мин.
- при введении полимеров в “ТОСОЛ – А40М – СЕВЕР” расход топлива уменьшался от 6 % при оборотах коленчатого вала $n_{xx} = 1000$ об/мин, до 0.7 % при $n_{xx} = 5000$ об/мин;

При проведении испытаний было зафиксировано сокращение времени прогрева при введении новых ОЖ.

В результате стендовых испытаний подтверждено влияние полимеров на «утепление» деталей ЦПГ, что приводит к сокращению тепловых потерь через систему охлаждения и снижению расхода топлива, к повышению температуры газа внутри цилиндра, что влияет на температуру и состав отработавших газов.

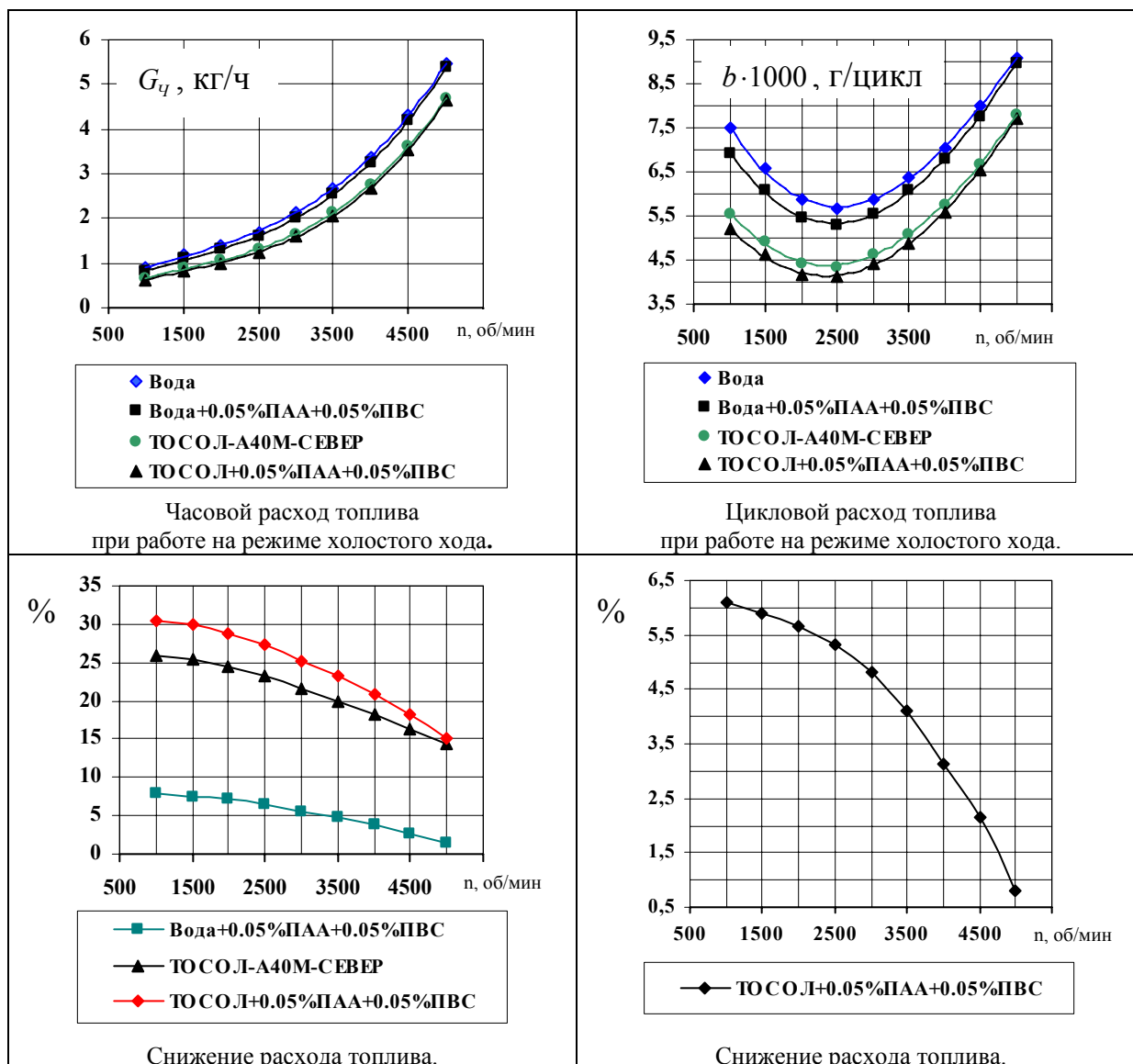


Рис. 9. Результаты испытаний двигателя 4Ч 8.2/7.1 на экономичность.

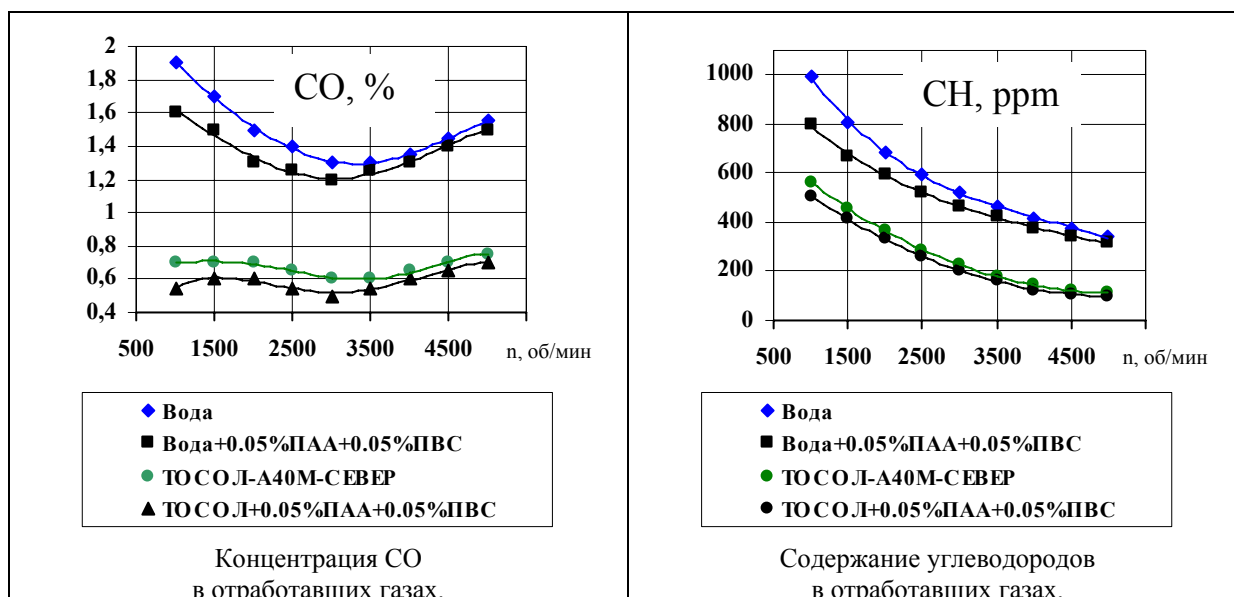


Рис. 10. Результаты экологических испытаний двигателя 4Ч 8.2/7.1.

Завершающим этапом работы являются эксплуатационные испытания, проведённые с целью определения работоспособности новых ОЖ в условиях реальной эксплуатации.

Испытания проведены на автомобиле ВАЗ– 21099 с двигателем 4Ч 8.2/7.1 имеющем мощность $N_e = 70$ кВт, литраж $L_h = 1.5$ л. При проведении испытаний использовался “ТОСОЛ – А40М – СЕВЕР”, содержащий полимер, состоящий из 0.05% ПАА + 0.05% ПВС. Испытания проводились в период с марта 2002 по август 2002 года и составили 6 месяцев. За время испытания пробег автомобиля составил 3500 километров. Автомобиль эксплуатировался на территории Ярославской области. Двигатель работал в широком диапазоне скоростных и нагрузочных режимов. При эксплуатации были отмечены следующие факты: двигатель работал равномерно без перебоев; двигатель не перегревался во всём диапазоне нагрузок и скоростей; при частичной разборке деталей системы охлаждения не обнаружено выпадение ржавчины и осадка.

Контрольные эксплуатационные испытания проводились в период с декабря 2002 по июнь 2004 года в фирме ООО «КОМПЛЕКС» (г. Тутаев Ярославской области, ул. Промышленная, д. 3). Полимеры вводилась в системы охлаждения двигателей в концентрации 0.1 % от массы охлаждающей жидкости, содержащейся в системе охлаждения. Испытания проводились на двигателях ЯМЗ–236, 238, 8424.10; ЗМЗ–53, 402; УМЗ–4178; Д–240, 245. Проведённые испытания не выявили отрицательного воздействия новых охлаждающих жидкостей с полимерами на работу двигателей автотракторной техники. Контрольные испытания новых охлаждающих проводились в течение 19 месяцев и дали положительные результаты. Новые ОЖ используются и по настоящее время. Данные, полученные при стендовых и эксплуатационных испытаниях, свидетельствуют о возможности повышения экономичности двигателей путём изменения состава и свойств охлаждающих жидкостей введением в них полимеров.

Наибольший эффект от применения новых ОЖ следует ожидать при работе двигателя на холостом ходу и по городскому циклу.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ВЫВОДЫ

1. Анализ научно-технической и патентной литературы, практики эксплуатации показал, что для производителей и потребителей автотракторных ДВС является актуальным совершенствование свойств охлаждающих жидкостей, так как это направление исследований может дать высокий экономический эффект при минимальных затратах времени и ресурсов на его достижение.

2. Разработаны стенды, методики для потенциостатических и гравиметрических исследований коррозионных свойств охлаждающих жидкостей, проведены эксперименты, которые показали, что использование полимеров (полиакриламида, поливинилового спирта и ПАВ–Синтанола) позволяют снизить на 10 ... 40 % разрушение деталей систем охлаждения ДВС. Испытания новых охлаждающей жидкостей не выявили отрицательного

воздействия на неметаллические материалы, используемые в системах охлаждения двигателей.

3. Разработаны стенды, методики теплофизических экспериментов, проведены исследования конвективного теплообмена, которые показали, что введение полимеров в охлаждающие жидкости приводит к снижению интенсивности теплоотдачи на 5...20%.

4. Установлен синергетический эффект снижения интенсивности конвективного теплообмена, который проявляется при введении в охлаждающие жидкости смеси полиакриламида и поливинилового спирта при их суммарной концентрации 0.1 % (0.05 % ПАА + 0.05 % ПВС).

5. Получено критериальное уравнение для расчета числа Nu , учитывающее влияние полимеров и ПАВ на интенсивность конвективного теплообмена.

6. Установлено, что использование новых охлаждающих жидкостей приводит к снижению токсичности отработавших газов (уменьшение концентрации СО на 5 ... 18 %, СН на 3 ... 14 %).

7. Проведены стендовые моторные испытания новых охлаждающих жидкостей на двигателе 4Ч 8.2/7.1, которые подтвердили гипотезу влияния полимеров в составе ОЖ на показатели работы двигателя. Экономия топлива на режиме холостого хода достигает 6 ... 8 %.

8. Проведённые эксплуатационные испытания подтвердили работоспособность новых охлаждающих жидкостей на двигателях типа ЯМЗ – 8424 (пробег 77 т. км) и типа ЗМЗ – 402 (пробег 71 т. км).

Таким образом, цель и задачи диссертационной работы достигнуты – предложен и экспериментально обоснован новый способ повышения долговечности и экономичности автотракторных ДВС, заключающийся во введении минимального числа и массы полимерных присадок в охлаждающие жидкости, состоящих из воды и этиленгликоля.

Дальнейшие исследования по этой проблеме, на наш взгляд, должны быть посвящены разработке методов снижения расхода топлива с помощью введения полимеров в охлаждающую воду форсированных ДВС, работающих в условиях поверхностного кипения недогретой охлаждающей жидкости.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. Безюков О.К., Жуков В.А., Ратнов А.Е. Влияние свойств охлаждающих жидкостей на экономические и экологические показатели двигателей. Авиационно-космическая техника и технология: 36 сборник научных трудов. Харьков: «Харьковский авиационный институт», 2001. – Вып. 26. Двигатели и энергоустановки. – С. 60 - 63.

2. Безюков О.К., Жуков В.А., Ратнов А.Е. Исследование влияния присадок к охлаждающим жидкостям на процессы теплообмена в ДВС. Международная научно – практическая конференция «Безопасность водного транспорта», посвящённая 300 – летию Санкт – Петербурга. СПб, 2003. С. 150-153.

3. Безюков О.К., Жуков В.А., Ратнов А.Е. Способ оптимизации свойств охлаждающих жидкостей для ДВС. Авиационно-космическая техника и технология: 38 сборник научных трудов. Харьков: «Харьковский авиационный институт», 2003. – Вып. 29. Двигатели и энергоустановки. С. 40 - 43.
4. Безюков О.К., Жуков В.А., Ратнов А.Е. Способ повышения экономичности транспортных ДВС. Аэрокосмические технологии и образование на рубеже веков. Тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции: в 3-х ч. Рыбинск, РГАТА им. П. А. Соловьёва, 2002 – С. 15 - 16.
5. Безюков О.К., Жуков В.А., Ратнов А.Е., Тарасов М.А. Конструктивные и режимные усовершенствования систем охлаждения ДВС. Международный симпозиум “Образование через науку”: Материалы докладов секции “Двигатели внутреннего сгорания”. Отдельный выпуск.– М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2005. – С. 78 - 79.
6. Жуков В.А., Ратнов А.Е. Влияние состава охлаждающих жидкостей на экономические и экологические показатели работы двигателей внутреннего сгорания. Тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции «Новые материалы и технологии НТМ – 2002». В 4-х т. Т.– 2, Москва, 2002. С. 71 - 72.
7. Жуков В.А., Ратнов А.Е. Исследование процессов теплообмена в зарубашечном пространстве. Авиационно-космическая техника и технология: 37 сборник научных трудов. Харьков: «Харьковский авиационный институт», 2002. – Вып. 31. Двигатели и энергоустановки. С. 51 - 54.
8. Жуков В.А., Ратнов А.Е. Способ снижения токсичности отработавших газов поршневого двигателя. / Сборник трудов молодых учёных – Рыбинск: РГАТА, 2000. – С.24 - 27.
9. Жуков В.А., Ратнов А.Е. Способ совершенствования рабочего цикла поршневого ДВС. XXII Российская школа по проблемам науки и технологий. Краткие сообщения, Екатеринбург, 2002. С. 67 - 69.
10. Жуков В.А., Ратнов А.Е. Теплофизические характеристики охлаждающих жидкостей ДВС и режимы охлаждения. Теплофизика процессов горения и охрана окружающей среды. Сборник трудов: Под ред. Пиралишвили Ш.А.. – Рыбинск, 2001. – С. 21 - 22.
11. Ратнов А.Е. Влияние состава охлаждающей жидкости на процессы теплообмена и показатели работы двигателя. Сборник тезисов участников Второго Международного конгресса студентов, молодых учёных и специалистов «Молодежь и наука – третье тысячелетие» / YSTM'02, Москва, 2002. – С. 56.
12. Ратнов А.Е. Способ оптимизации свойств охлаждающих жидкостей для ДВС. Проблемы современного энергомашиностроения. Тезисы докладов Всероссийской молодёжной научно-технической конференции. – Уфа, 2002. С. 100.