

равномерности на режимах малых подач в 2...2,5 раза.

3. Целесообразно методом проливки определять статическую производительность форсунок, а по движению топливных струй – запаздывание открытия и закрытия клапанов форсунок и периодически во время технического обслуживания автомобиля вводить в блок управления данные о статической и динамической коррекции управляющих импульсов индивидуально для каждой форсунки.

4. Для этого в блоке управления должна быть область перепрограммируемой памяти, доступной для ввода данных через диагностический разъём.

**Список литературы:**

1. *Аппаратура впрыска легкого топлива автомобильных двигателей / Ю.И. Будыко, Ю.В. Духнин, В.Э. Коганер и др. – Л.: Машиностроение, 1982. – 144 с.*
2. *Покровский Г.П. Электроника в системах подачи топлива автомобильных двигателей. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 176 с.*
3. *Пинский Ф.А., Давтян Р.И., Черняк Б.Я. Микропроцессорные системы управления автомобильными двигателями внутреннего сгорания. Учебное пособие. – М.: Легион-Автодата, 2002. – 136 с.*
4. *Системы управления бензиновыми двигателями. Пер. с нем. Первое рус. изд. – М.: ООО «Книжное изд. «За рулем», 2005, - 480 с.*

УДК 621.431

*О.К. Безюков, д-р техн. наук, В.А. Жуков, канд. техн. наук, О.В. Жукова, асп.*

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ И КОНТРОЛЬ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ ДВС**

### **Введение**

Технический уровень двигателей внутреннего сгорания (ДВС), характеризующий их конкурентно-способность, определяется, главным образом, надежностью и эффективностью, которые закладываются при проектировании, обеспечиваются на стадии производства и проявляются в процессе эксплуатации. В период эксплуатации особенно важное значение имеет использование качественных горюче-смазочных материалов и рабочих жидкостей. Качеству топлив и моторных масел, которое регламентируется соответствующими стандартами, традиционно уделяется большое внимание, при этом вопросы обеспечения и контроля эксплуатационных свойств охлаждающих жидкостей не решены в полной мере.

### **Формулирование проблемы**

При решении задачи обеспечения требуемых эксплуатационных свойств охлаждающих жидкостей

необходимо проанализировать условия их работы и сформулировать предъявляемые к ним требования. Этому посвящены работы [1, 2], в которых отмечается, что теплоносители систем охлаждения ДВС должны иметь низкую химическую агрессивность по отношению к основным конструкционным материалам, не иметь склонности к накипеобразованию, расслоению, шламообразованию, в качестве дополнительного требования заявляется возможность целенаправленного воздействия на процессы теплообмена.

В зависимости от температурных условий эксплуатации ДВС, в качестве охлаждающей жидкости используются специально подготовленная вода, или водные растворы этиленгликолей (антифризы).

Вопросам водоподготовки для систем охлаждения ДВС посвящены работы [3, 4], в которых делается вывод, что наиболее эффективным и целесообразным методом улучшения свойств теплоносителей,

приемлемым как для воды, так и для антифризов, является введение в них присадок в малых концентрациях. К настоящему времени при участии авторов разработаны многофункциональные присадки к охлаждающим жидкостям различного состава. Эффективность действия присадок показана в работах [5].

Актуальным остается вопрос долговечности присадок и процессов старения охлаждающих жидкостей под действием эксплуатационных факторов.

### Решение проблемы

Решение поставленного вопроса включало следующие этапы:

1) выбор параметров, характеризующих наиболее важные эксплуатационные свойства охлаждающих жидкостей;

2) анализ факторов, способных вызвать старение охлаждающих жидкостей, заключающееся в ухудшении их эксплуатационных свойств;

3) исследование закономерностей изменения свойств теплоносителей под действием эксплуатационных факторов.

Исходя из требований, предъявляемых к охлаждающим жидкостям, а также используя рекомендации отраслевых требований, в качестве параметров, характеризующих качество теплоносителя систем охлаждения следует использовать:

– для оценки коррозионной агрессивности – общее солесодержание или содержание хлоридов, водородный показатель (рН), содержание растворенного кислорода;

– для определения склонности к накипеобразованию – жесткость воды;

– для оценки способности оказывать влияние на процессы теплообмена – вязкость, поверхностное натяжение.

Деструкция присадок и связанное с этим ухудшение свойств теплоносителей может происходить в

результате двух основных воздействий: теплового и механического.

Макроизменения температуры соответствуют процессам прогрева двигателя после запуска и охлаждения после остановки, микроизменения соответствуют колебаниям температуры в процессе циркуляции по системе охлаждения. Единицей измерений интенсивности теплового воздействия является величина °С/мин. Длительность воздействия может быть измерена в мото-часах или количестве циклов макроагрева.

Механическое воздействие на жидкости оказывается в процессе их прокачивания по системе охлаждения. В существующих системах охлаждения скорость циркуляции находится в диапазоне от 1 до 5 м/с [6]. При этом в системе охлаждения имеют место застойные зоны, в которых скорость жидкости составляет лишь 0,1 – 0,3 м/с. Указанные скорости соответствуют турбулентному и ламинарному режимам течения. В связи с этим, на лабораторной установке воспроизводились оба характерных режима течения с числами Рейнольдса менее 1000 и более 10000, при поддержании скорости в реальном диапазоне.

Потери напора в отдельных участках системы охлаждения складываются из потерь на трение  $\Delta H_{тр}$  и местных потерь  $\Delta H_{м.л.}$ . В автотракторных двигателях гидравлическое сопротивление жидкостного тракта системы охлаждения распределяется следующим образом [6]: сопротивление трубопроводов 7,35 – 12,25 кПа, рубашек цилиндров 12,25 – 14,7 кПа, радиаторов 19,6 – 24,5 кПа и общее сопротивление 39,2 – 51,4 кПа. В системах охлаждения судовых дизелей в связи с увеличением длины трубопроводов их сопротивление следует считать 20 – 40 кПа, сопротивлению радиаторов отсутствует, а сопротивление водо-водяных холодильников по охлаждающему тракту составляет 49 – 98 кПа. В двигателях, оснащенных газотурбинным наддувом, следует учи-

тывать сопротивление охладителей надувочного воздуха, которое составляет по тракту охлаждающей жидкости 50 – 60 кПа. Поэтому суммарное сопротивление систем охлаждения судовых двигателей следует принять выше и считать равным 60 – 200 кПа. Таким образом, на лабораторной установке необходимо было моделировать потери гидравлического сопротивления в диапазоне от 40 до 200 кПа.

Для моделирования процессов теплового и механического воздействия на охлаждающую жидкость использовалась экспериментальная установка, изображенная на рис. 1. Экспериментальная установка представляет собой замкнутый контур, в который входят: гильза (от двигателя ЯМЗ – 8424.10) с нагревателем и с рубашкой охлаждения, резервуар с исследуемой жидкостью и циркуляционный насос.

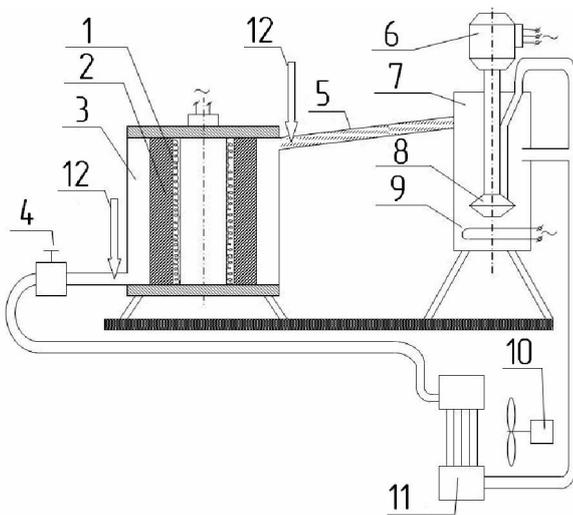


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

- 1 – нагреватель; 2 – гильза; 3 – рубашка охлаждения; 4 – вентиль для регулирования расхода жидкости; 5 – стеклянная труба; 6 – электродвигатель; 7 – резервуар с исследуемой жидкостью; 8 – циркуляционный насос; 9 – нагреватель; 10 – электровентилятор; 11 – радиатор; 12 – термометр

Гильза имеет следующие размеры: внутренний диаметр 140 мм, наружный диаметр 160 мм, высота

омываемой поверхности 280 мм. В гильзе установлено 9 хромель-копелевых термопар.

Рубашка охлаждения имеет вид кольцевого с диаметрами  $D = 190$  мм и  $d = 160$  мм и высотой 270 мм.

Испытания проводились в течение 300 часов при температуре на входе в зарубашечное пространство  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Скорость циркуляции, определяемая по массовому расходу, составляла  $0.5$  м/сек, что соответствует наиболее характерной скорости в зарубашечном пространстве. Отбор проб охлаждающих жидкостей осуществлялся через каждые 50 часов. Для определения водородного показателя использовался рН-метр 673-М.

Вязкости исследуемых жидкостей измерялись при температурах испытаний капиллярным вискозиметром типа ВПЖ – 4.

При разработке методики исследований учитывалось, что наиболее характерными для современных форсированных двигателей являются процессы теплообмена с пузырьковым кипением на наиболее нагретых поверхностях зарубашечного пространства [7]. При кипении на твердой поверхности центрами парообразования служат микровпадины, которые могут быть заполнены паром или газом. Возникшие в отдельных микровпадинах пузырьки пара быстро растут, увеличиваясь в объеме в  $10^5 - 10^9$  раз за тысячные доли секунды пребывания на поверхности. Достигая диаметра отрыва, который вычисляется по формуле [8]

$$d_o = 0,02\theta \sqrt{\frac{\sigma}{(\rho' - \rho'')g}}, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – поверхностное натяжение жидкости;  $\theta$  – краевой угол, характеризующий смачивающую способность жидкости;  $(\rho' - \rho'')$  – разность плотностей жидкости и пара;  $g$  – ускорение свободного падения.

Паровые пузыри отрываются от поверхности и, попадая в недогретое ядро потока, конденсируются.

Частота отрыва пузырьков  $f$  связана с отрывным радиусом зависимостью, приведенной в работе [8]

$$f = \frac{3\sqrt{3}}{8} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}} r_o^{3/2} \quad (2)$$

Быстрый рост и отрыв пузырьков вызывает турбулентные пульсации масс жидкости и пара в пограничном слое. Кроме того, всплывающие пузырьки увлекают из граничного кипящего слоя в сравнительно холодное ядро потока присоединенную массу перегретой жидкости, что создает интенсивный молярный перенос теплоты от поверхности к охлаждающей жидкости.

В настоящее время не существует аналитических зависимостей, связывающих интенсивность теплообмена при кипении с характеристиками парообразования, что объясняется в первую очередь вероятностной природой возникновения, роста и отрыва пузырьков. Сложность процесса теплоотдачи при кипении, статистический характер основных параметров, определяющих процесс кипения, позволяют описать системой дифференциальных уравнений только наиболее вероятное протекание этого процесса при определенной его схематизации. Анализ уравнений позволяет сделать вывод о том, что интенсивность теплоотдачи при пузырьковом кипении обратно пропорциональна поверхностному натяжению.

Введение в воду присадок в количестве 0,1 % по массе не способно изменить такие свойства жидкости как плотность, теплоемкость или теплопроводность, именно поэтому поверхностное натяжение, относящееся к важнейшим факторам, определяющим процессы пузырькового кипения, было выбрано в качестве параметра, характеризующего теплофизические свойства жидкости.

Результаты обработки экспериментальных данных представлены на рис. 2 – 4. в виде графических

зависимостей водородного показателя pH, кинематической вязкости и коэффициента поверхностного натяжения от времени теплового и механического воздействия на охлаждающую жидкость, содержащую присадки, в режиме устойчивого пузырькового кипения.

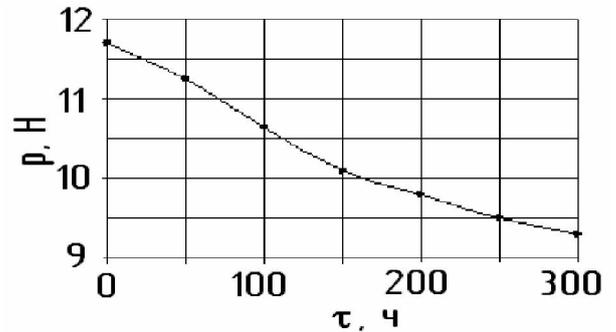


Рис. 2. Изменение водородного показателя охлаждающей жидкости

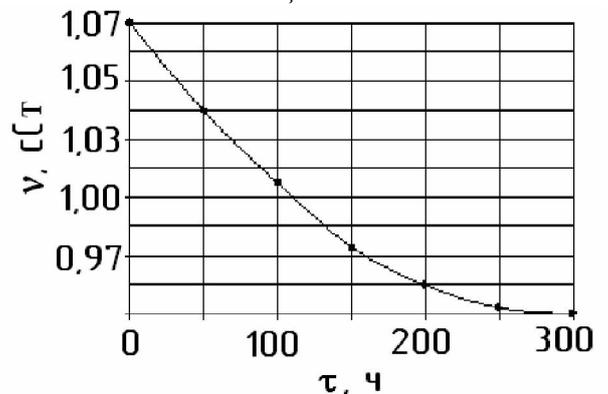


Рис. 3. Изменение вязкости охлаждающей жидкости

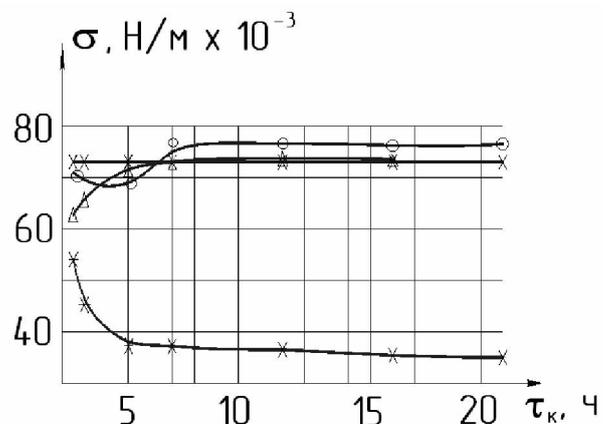


Рис. 4. Зависимость поверхностного натяжения σ от времени теплового воздействия τ<sub>к</sub>

Введение 0,1 % по массе силиката ( $\Delta$ ) натрия приводит к снижению поверхностного натяжения по сравнению с дистиллированной водой ( $\times$ ) на 20 %, однако через три часа пузырькового кипения поверхностное натяжение возрастает до значений характерных для воды и далее остается стабильным;

Введение 0,1 % по массе ПАА ( $\circ$ ) приводит к снижению коэффициента поверхностного натяжения примерно на 15 % в течение пяти часов теплового воздействия поверхностное натяжение возрастает и стабилизируется на значении незначительно превышающем показатель для воды;

Введение 0,1 % ПАВ (\*) обеспечивает снижение поверхностного натяжения исходного раствора на 25 % по сравнению с водой. Воздействие пузырьковым кипением приводит к тому, что коэффициент поверхностного натяжения уменьшается и через 10 часов стабилизируется на значении равном 0,5 значения для дистиллированной воды. Это косвенно подтверждает многочисленные имеющиеся экспериментальные данные о способности ПАВ существенно интенсифицировать теплообмен в присутствии фазовых переходов и позволяет сделать предположение о длительном влиянии ПАВ на процессы теплообмена.

### Заключение

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. В процессе эксплуатации ДВС происходят изменения эксплуатационных свойств охлаждающих жидкостей, вызываемый старением присадок. Уменьшение водородного показателя протекает практически линейно, что свидетельствует о равномерном снижении антикоррозионных свойств присадки. Снижение вязкости носит гиперболический характер, что объясняется, видимо, тем, что в начальный период испытаний разрушаются наиболее длинные цепи полимеров и наиболее крупные мицеллярные образования поверхностно-активных ве-

ществ. Впоследствии этот процесс замедляется и вязкость жидкости стабилизируется.

2. Результаты проведенных экспериментальных исследований необходимо использовать при разработке рекомендаций по использованию присадок и поддержанию в эксплуатации установленных свойств теплоносителей.

3. Для поддержания требуемых свойств охлаждающих жидкостей в процессе эксплуатации рекомендуется контролировать их водородный показатель, кинематическую вязкость и поверхностное натяжение, т.к. именно эти параметры наиболее полно характеризуют эксплуатационные свойства жидкостей. Периодичность контроля зависит от условий эксплуатации и может быть совмещена для автомобильных двигателей с проведением ТО-2, для судовых и тепловозных – с проведением плановых теплотехнических контролей.

### Список литературы:

1. Безюков О.К. Основы комплексного совершенствования охлаждения судовых дизелей. Дисс. докт. техн. наук. - СПб.- 1996.- 457 с.
2. Жуков В.А. Повышение ресурса и экономичности судовых дизелей совершенствованием свойств охлаждающей жидкости. Дисс. канд. техн. наук. СПб.- 1992. -262 с.
3. Громогласов А.А., Копылов С.А., Пильщиков А.П. Водоподготовка: Процессы и аппараты. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 272 с.
4. Безюков О.К., Жуков В.А., Жукова О.В. Повышение надежности и эффективности систем охлаждения судовых ДВС путем воздействия на химико-физические свойства жидкости // Двигатели внутреннего сгорания. 2007, № 2, с. 122-126.
5. Тузов Л.В., Безюков О.К., Жуков В.А. Разработка и опытная эксплуатация многофункциональной присадки к охлаждающей воде судовых дизелей // Моделирование и оптимизация сложных систем. Сборник научных трудов/ ВГАВТ, Н.Новгород, 1997, – с. 121-124.
6. Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей / С.И. Ефимов, Н.А. Иващенко, В.И. Ивин и др. Под общ. ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1985. – 456 с.
7. Петриченко Р.М. Системы жидкостного охлаждения быстроходных двигателей внутреннего сгорания. - Л.: Машиностроение, 1975.-224 с.
8. Мухачев Г.А., Шукин В.К. Термодинамика и теплопередача. М.: Высш. шк., 1991. – 480 с.