

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 9, №2 (2017) <http://naukovedenie.ru/vol9-2.php>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/65TVN217.pdf>

Статья опубликована 13.04.2017

Ссылка для цитирования этой статьи:

Денисенко И.П., Устинов Н.А., Вандышева А.А., Губатенко М.С. О возможности применения высокотемпературного охлаждения в современных поршневых двигателях внутреннего сгорания // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №2 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/65TVN217.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 621.432

Денисенко Ирина Петровна

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Балаковский инженерно-технологический институт (филиал), Россия, Балаково
Кандидат технических наук
E-mail: irishka.den@mail.ru

Устинов Николай Андреевич

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Балаковский инженерно-технологический институт (филиал), Россия, Балаково
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: nikandrust@gmail.com

Вандышева Анна Александровна

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Балаковский инженерно-технологический институт (филиал), Россия, Балаково
Ассистент
E-mail: AAVandyшева@mephi.ru

Губатенко Марк Сергеевич

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Балаковский инженерно-технологический институт (филиал), Россия, Балаково
Кандидат технических наук
E-mail: msgubatenko@mephi.ru

**О возможности применения высокотемпературного
охлаждения в современных поршневых двигателях
внутреннего сгорания**

Аннотация. В системе охлаждения двигателей внутреннего сгорания большое значение имеет температура охлаждающей жидкости. Она влияет на количество теплоты, передаваемой газами к стенке, на габариты и массу охладителей. Чем выше температура охлаждающей жидкости, тем меньше теплоты передается стенке. Следовательно, высокотемпературное охлаждение двигателей внутреннего сгорания является эффективным средством улучшения параметров их работы, уменьшения габаритов силовой установки и устройств утилизации теплоты охлаждающей жидкости двигателя.

Из литературных источников рассмотрены плюсы и минусы перевода двигателей внутреннего сгорания на высокотемпературное охлаждение. Мировой и отечественный опыт показывает, что при использовании высокотемпературного охлаждения у двигателей

возрастает моторесурс, благодаря уменьшению износов деталей цилиндропоршневой группы и снижается расход топлива.

Но применение высокотемпературного охлаждения двигателей внутреннего сгорания ограничено температурным уровнем деталей, обеспечивающих его работоспособность.

Приведены результаты измерения температуры зеркала цилиндра разных дизелей, с разным уровнем форсирования и разной температурой охлаждающей жидкости.

Рассмотрены мнения относительно величины температуры зеркала цилиндра двигателя, превышение которой снижает надежность работы двигателя. Выяснено, что для современных высокофорсированных дизелей внедрение высокотемпературного охлаждения не всегда возможно.

Уточнены условия и целесообразность применения высокотемпературного охлаждения.

Ключевые слова: дизель; высокотемпературное охлаждение; температура зеркала цилиндра; лакообразование; нагар; прочность масляной пленки; двигатель внутреннего сгорания

В первой половине 80-х годов прошлого века на Балаковском дизелестроительном заводе (тогда ПО «Волгодизельмаш») приступили к разработке двенадцатицилиндрового тепловозного дизеля с размерностью 21/21 (диаметр и ход поршня в сантиметрах) мощностью 2400 л.с. (12ЧН21/21).

Аналогичные дизели выпускались в то время на Ленинградском заводе «Звезда» и Уральском турбомоторном заводе. Особенностью Балаковского дизеля должна была стать система высокотемпературного охлаждения (ВТО).

Дизель предназначался для стран Африки и Латинской Америки. С узкой колеей и жарким и влажным климатом. Из условия размещения радиаторов в габаритах тепловоза стало ясно, что рабочая температура охлаждающей жидкости не может быть меньше 105°C.

Руководил работой по переводу дизеля на ВТО д.т.н., проф., заведующий кафедрой «Тепловые двигатели» Ленинградского высшего военного командного училища им. Генерала армии Комаровского Кривов В.Г. До этого в нашей стране не проектировались гражданские двигатели под высокотемпературную систему охлаждения, а делались попытки перевода уже существующих двигателей.

Мировой и отечественный опыт показывал, что при этом у двигателей возрастал моторесурс, благодаря уменьшению износов деталей ЦПГ и снижался расход топлива [1, 2, 3, 4].

Недостатком было снижение ресурса, существующих на том момент резиновых уплотнений. Эту проблему предполагалось устранить, внедрением фтористой резины.

Но, это все оказалось справедливым, для тех двигателей, с которыми работали исследователи. Т.е. дизели, не форсированные по среднему эффективному давлению, и, соответственно, имеющие относительно низкие температуры деталей камеры сгорания.

Балаковский дизель изначально проектировался под среднее эффективное давление 1,6 МПа. Такое среднее эффективное давление не найдешь у большинства современных ДВС российского производства, разработанных спустя четверть века.

Причины задержки развития отечественного дизелестроения на долгие четверть века понятны.

Но, тем не менее, такие высокофорсированные двигатели появляются. Многие исследователи готовы улучшить их показатели известными им методами, в том числе и введением на них ВТО.

Возрождение публикаций о пользе высокотемпературного охлаждения при переводе на него существующих ныне ДВС с «обещанием всех преимуществ ВТО» настораживает.

Это увеличение моторесурса и снижение расхода топлива [5, 6, 7].

Трудно поверить, что дизелестроение «замерло» во всем мире. Современные двигатели существенно превосходят по всем показателям своих «прошловекowych предков». В том числе и потому, что условия работы всех элементов стали оптимальными или почти оптимальными, и конструкторы видят направления, как убрать слово «почти».

Это означает, что перевод дизеля на работу с температурой охлаждающей воды больше на 20-30°C, изменит температуру деталей, которую конструкторы уже сделали оптимальной.

То, что ВТО необходимо внедрять следует из широкого распространения автономных источников энергии на базе ДВС. Дизель электростанции обеспечивают электроэнергией небольшие объекты. Теплота выхлопных газов используется для обеспечения тепловой энергией. Высокая температура охлаждающей воды, так же позволяет ее утилизировать для целей отопления и горячего водоснабжения [8].

В статье авторы рассматривают в действительности - ли ВТО есть благо, которое еще больше улучшает работу уже хорошо работающего двигателя и не применимо - ли здесь выражение «лучшее - враг хорошего».

Рассмотрим «плюсы и минусы» ВТО без применения к конкретному двигателю, которые можно увидеть в литературе.

Однозначно можно утверждать, что теплотери в систему охлаждения снизятся, т.к. снизится разность температур между газом в цилиндре и охлаждающей водой в системе охлаждения.

Снизятся и температурные напряжения в стенках деталей камеры сгорания, благодаря уменьшению температурного градиента по толщине стенок, опять - же из-за уменьшения плотности теплового потока через стенки.

Возрастет температура стенок со стороны газов, а это уменьшит вероятность серноокислотной коррозии.

Это гарантированные «плюсы» ВТО.

Есть и обязательные «минусы». В первую очередь возрастает механическая нагрузка на элементы системы охлаждения «изнутри», т.к. давление в системе охлаждения должно быть выше давления насыщения водяного пара при температуре охлаждающей воды более 100°C.

Осталось рассмотреть обещанные минусы:

- уменьшение потерь на трение поршня о стенки цилиндра, что вызвано уменьшением вязкости масла, находящегося на более горячей поверхности зеркала цилиндра;
- снижение расхода топлива.

Снижение расхода топлива может быть вызвано рядом причин:

- уменьшением потерь на трение, соответственно увеличением механического КПД;
- улучшением процесса сгорания, благодаря более горячим стенкам камеры сгорания;
- увеличением доли теплоты, преобразованной в работу, благодаря уменьшению потерь тепла в систему охлаждения.

В рамках одной статьи все это рассмотреть может быть и можно, но авторы ограничатся рассмотрением однозначности «пользы» ВТО от повышения температуры стенок цилиндра с «обязательным снижением потерь на трение».

Рассмотрим результаты измерения температуры зеркала цилиндра разных дизелей, с разным уровнем форсирования и разной температурой охлаждающей жидкости.

Интерес представляет зона зеркала цилиндра в точке остановки верхнего компрессионного кольца при положении поршня в ВМТ [9]. При этом температура в районе первого поршневого кольца, когда поршень находится в ВМТ, должна составлять 140-160°C. Эта точка является характерной для цилиндра.

Верхняя точка характеризует разрыв масляной пленки, при превышении некоторой температуры, определяемой как прочностью масляной пленки, так и давлением на нее компрессионного кольца.

Температура в этой точке характеризует работу верхнего компрессионного кольца, которая может быть нарушена рядом причин:

- коксование масла с образованием нагара;
- превращением масла в лак;
- разрывом масляной пленки.

Все три причины определяются свойствами масла и температурой зеркала цилиндра, последняя - еще и величиной давления кольца на зеркало цилиндра. Величина давления кольца определяется компромиссом. Чем больше давление, тем меньше возможности прорыва газов в картер двигателя, но тем больше механические потери и величина износа кромки кольца и поверхности втулки цилиндра.

Следовательно, у авторов, исследовавших работу разных ДВС должны быть различные температуры, обеспечивающие оптимальный режим работы цилиндра. Наибольшее значение допускаемой температуры в характерной точке 200°C допускает автор работы [10]. При этом указывает, что для современных высокофорсированных ДВС вводится датчик контроля температуры в этой точке, чтобы не эксплуатировать двигатель при ее превышении.

Для цилиндрических втулок дизелей тепловозов температура втулок со стороны поршня не должна превышать 150°C - 180°C [11].

Для судовых дизелей автором¹ указывается максимальная температура в характерной точке 175°C.

Что произойдет с температурой зеркала цилиндра в характерной точке, если повысить температуру охлаждающей воды?

Эксперименты на дизеле Д50, показали, что увеличение температуры охлаждающей воды на 10°C приводит к увеличению температуры цилиндра в характерной точке на 8-9°C в диапазоне повышения температуры охлаждающей воды 85-125°C [12].

Рассмотрим, что произойдет с температурой зеркала цилиндра двухтактного дизеля фирмы «Зульцер», для которого известно значение изотерм по сечению втулки цилиндра².

Температура в характерной точке составляет 160°C при температуре охлаждающей воды 80°C. Повышение температуры охлаждающей воды до 105°C, что является нижним пределом

¹ Режимы двигателя. Морская библиотека. <http://sea-library.ru/sudovye-dvigateli.html>.

² Судовые двигатели внутреннего сгорания. Температура внутренней поверхности цилиндра / <http://vdvzhke.ru/sudovye-dvigateli-vnutrennego-sgoraniya/mownost-i-jekonomichnost-dvigatelja/temperatura-vnutrennej-poverhnosti-cilindra.html>.

работы системы ВТО по большинству публикаций, приведет к росту температуры до 180°C. А это уже верхний допустимый предел по результатам работ большинства авторов. Возможно, это только на сегодняшний день, и со временем появятся моторные масла, допускающую более высокую температуру.

С одной стороны, эта температура является оптимальной для ДВС. С другой стороны, как обеспечить ее стабильность. Нагар является обязательным атрибутом работы любого ДВС, хотя и нежелательным. Удалять его можно хоть каждый день. Но это экономически неоправданно. Есть плановые осмотры, сопровождающиеся обслуживанием и ремонтом. Но до этого времени температура в характерной точке будет расти, т.к. образование нагара сопровождается ростом температуры [12].

Этот прирост температуры может привести к превышению температуры выше допустимого предела. Поэтому можно рекомендовать рабочую температуру несколько ниже, чем вышеприведенные значения.

Но и без применения ВТО температура может быть превышена. Так в работе [12] указывается, что температура втулки цилиндра на форсированных дизелях КАМАЗ уже достигает и даже превышает предельные значения температуры по условиям поддержания масляной пленки на зеркале цилиндра.

На этом дизеле даже не может вестись речь о внедрении ВТО.

Выводы

1. Применение ВТО целесообразно, когда необходимо утилизировать теплоту системы охлаждения или необходимо снизить габариты теплорассеивающих устройств.
2. Применение ВТО нецелесообразно, если единственной задачей внедрения является повышение температуры деталей камеры сгорания до оптимальных значений, и снижение теплоотвода в систему охлаждения, которые можно добиться изменением режима охлаждения.
3. На ВТО можно переводить ДВС, у которых температура зеркала цилиндра имеет низкое значение, и после перевода не превысит максимальные значения с учетом прироста в процессе эксплуатации. Это касается и остальных деталей двигателя.
4. Перед принятием решения о внедрении системы ВТО на конкретный двигатель необходимо иметь полное представление о температурном состоянии его деталей.
5. Имеющихся в научной литературе сведений достаточно для прогнозирования теплового режима двигателя после перевода на ВТО, в том числе и с оценкой, до какой максимальной температуры можно поднимать значение температуры охлаждающей жидкости. Но эти значения необходимо уточнять в результате объемных исследований.
6. Положительный результат внедрения ВТО не может быть оценен только на основании сведений о снижении доли теплоты в систему охлаждения и снижения удельного расхода топлива. Последнее может быть объяснено повышением эффективного КПД двигателя. А это может быть результатом преувеличения роста термического КПД, за счет увеличения температуры стенок камеры сгорания, над уменьшением механического КПД, вызванного этим же ростом температуры, но стенок цилиндра.
7. Как альтернатива, метода стабилизации температуры втулки цилиндра высокофорсированного дизеля, работающего преимущественно на частичных

нагрузках, может быть охлаждение с обычной температурой воды на номинальном режиме и ВТО на режиме частичных нагрузок. Причем с понижением мощности работы ДВС температуру охлаждающей жидкости необходимо увеличивать.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ливенцев Ф.Л. Высокотемпературное охлаждение поршневых двигателей внутреннего сгорания. М. - Л.: Машиностроение, 1964. - 204 с.
2. Петриченко Р.М. Системы жидкостного охлаждения быстроходных двигателей внутреннего сгорания. - Л.: машиностроение, 1975. - 224.
3. Павличенко А.М. Исследование работы дизеля при высокотемпературном охлаждении / А.М. Павличенко // Тр. НИВТ. Вып. 12. М.: Речной транспорт, 1962. С. 22-97.
4. Исследование замкнутых систем жидкостного высокотемпературного охлаждения дизелей / В.Г. Кривов, С.А. Синатов, В.К. Аверьянов, В.В. Кабыш // Двигателестроение. 1983. №5. С. 10-13.
5. Разуваев А.В. Повышение эффективности энергетических установок / А.В. Разуваев, Е.А. Соколова, Е.А. Разуваева // Вестник СГТУ. - 2010. - №1 (46). Т3. С. 150-159.
6. Жуков В.А. Расчетная оценка эффективности высокотемпературного охлаждения комбинированных ДВС / В.А. Жуков // Авиационно-космическая техника и технология. 2011. №10 (87). С. 153-158.
7. Жуков В.А. Перспективы совершенствования систем охлаждения судовых дизелей / В.А. Жуков // Вестник ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова. 2015. - №4 (32), С. 131-137.
8. Богданов В.Н. Повышение эффективности систем утилизации теплоты двигателей внутреннего сгорания. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук / Центральный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ». Москва. 2013.
9. Тузов Л.В., Брежнев В.И. Анализ теплонапряженности судовых дизелей / Л.В. Тузов, В.И. Брежнев // Вестник ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова. 2012. №4 С. 30-36.
10. Кузьмин Н.А. Процессы и закономерности изменения технического состояния автомобилей в эксплуатации: учеб. Пособие / Нижегород. гос. ун-т., Нижний Новгород, 2002. - 142 с.
11. Дробинский В.А., Егунов П.М. Как устроен и работает тепловоз: учеб. / В.А. Дробинский, П.М. Егунов. - 3-е изд. перераб. и доп. - М.: Транспорт, 1980. - 367с.
12. Кузьмич В.Д. Тепловозы: Основы теории и конструкция: учеб. для техникумов / В.Д. Кузьмич, И.П. Бородулин, Э.А. Пахомов и др.; под ред. В.Д. Кузьмича. -2-е изд., перераб. и доп.-М.: Транспорт, 1991.-352 с.
13. Проскурин А.И., Москвин Р.Н., Карташов А.А, Куимова К.А. Влияние нагара на тепловые характеристики головки и зеркала цилиндров // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. - 2014. - №2 (10). - С. 189-193.

Denisenko Irina Petrovna

National research nuclear university «MEPhI»
Balakovo institute of engineering and technology (branch), Russia, Balakovo
E-mail: irishka.den@mail.ru

Ustinov Nikolai Andreevich

National research nuclear university «MEPhI»
Balakovo institute of engineering and technology (branch), Russia, Balakovo
E-mail: nikandrust@gmail.com

Vandysheva Anna Aleksandrovna

National research nuclear university «MEPhI»
Balakovo institute of engineering and technology (branch), Russia, Balakovo
E-mail: AAVandysheva@mephi.ru

Gubatenko Mark Sergeevich

National research nuclear university «MEPhI»
Balakovo institute of engineering and technology (branch), Russia, Balakovo
E-mail: msgubatenko@mephi.ru

The possibility of using of the high-temperature cooling in the modern reciprocating internal combustion engines

Abstract. In the cooling system of the internal combustion engines, the coolant temperature is of the great importance. It affects on the amount of the heat transferred by gases to the wall, on the dimensions and on the mass of the coolants. The higher the temperature of the coolant, the less heat is transferred to the wall. Therefore, high-temperature cooling of the internal combustion engines is an effective means of the parameters operation improving, of the power plant size reducing and of the heat utilizing devices of the engine coolant.

From the literature sources are considered the pros and cons of the internal combustion engines transfer to the high-temperature cooling. World and domestic experience shows that using the HTC, the service life of the engines increases due to the reduction of the cylinder-piston group parts wear, and the fuel consumption is reduced.

But the application of the HTC of the internal combustion engines is limited by the temperature level of the parts that ensure its efficiency.

The results of the different diesel engines cylinder mirror temperature measurements with different forcing levels and different temperatures of the cooling liquid are presented.

The opinions are considered relatively to the magnitude of the engine cylinder mirror temperature, which excess reduces the reliability of the engine. It is found out that for the modern high-powered diesel engines, the introduction of the HTC is not always possible. The conditions and the expediency of HTC application are specified.

Keywords: diesel; high-temperature cooling; cylinder mirror temperature; varnishing; carbon deposits; oil film strength; internal combustion engine