

# ПРИМЕНЕНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ МЕТОДОВ ПРИ ЭКСПЕРТНОМ ИССЛЕДОВАНИИ И ОПРЕДЕЛЕНИИ ПРИЧИНЫ ПЕРЕГРЕВА ДВС



XX Международный Конгресс Двигателестроителей

## Особенности перегрева двигателей с системами охлаждения традиционного типа

### Основные группы причин перегрева ДВС:

- неисправности, вызывающие нарушение циркуляции ОЖ в системе (в том числе, неисправности термостата, насоса, загрязнение радиатора изнутри),
- неисправности агрегатов, нарушающие отвод теплоты из системы (в том числе, неисправности датчиков, вентилятора, загрязнение радиатора снаружи),
- утечки ОЖ из системы (в том числе, вследствие негерметичности от повреждения хомутов, шлангов, радиатора и т.д.) - **аварийный случай**, когда из системы уходит рабочая жидкость.

# Постановка задачи исследования

**Место экспертных исследований** в общем комплексе научно-исследовательских и конструкторских работ.

- Научно-исследовательские работы – исследования процессов.
- Проектно-конструкторские работы.
- Экспертные работы – определение причины неисправности в эксплуатации.

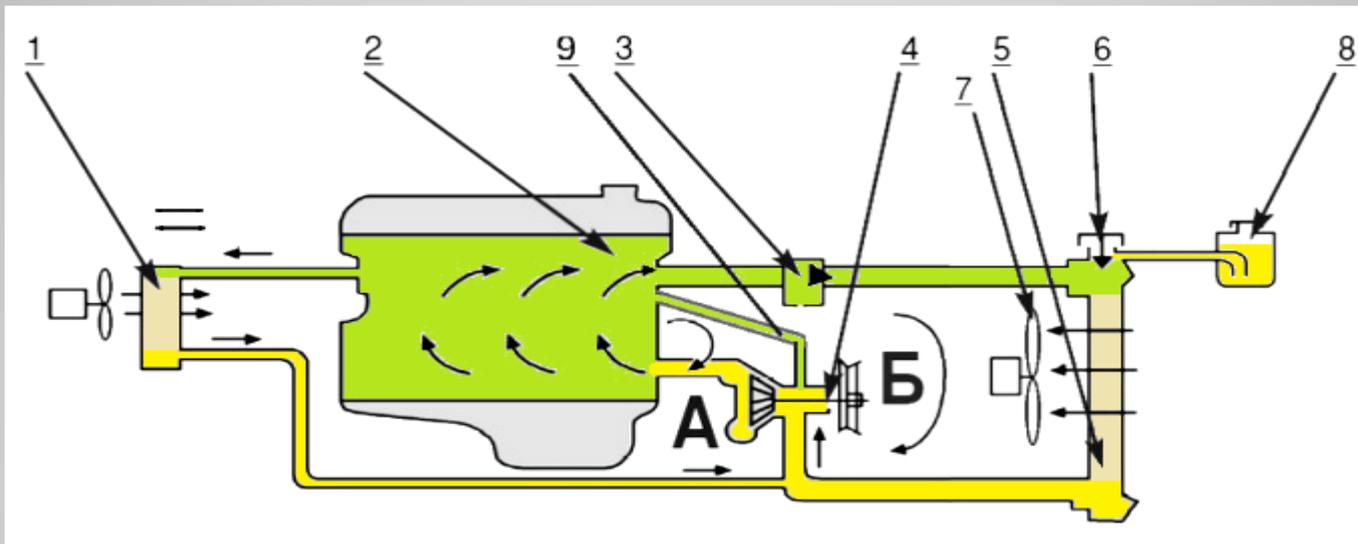
**Особенности экспертных исследований:**

- малое время, отводимое для исследования,
- незначительность выделяемых средств,
- нецелесообразность и/или невозможность использования сложных методик исследования, в том числе, испытаний, компьютерного моделирования и т.д.,
- необходимость получения, как минимум, надежных качественных результатов для определения закономерностей,
- целесообразность использования сравнительно простых «инженерных» расчетных методик,
- необходимость экспериментального подтверждения результатов.



## Особенности конструкции систем охлаждения двигателей исследуемого типа

- ❑ - система охлаждения герметичная, с принудительной циркуляцией и расширительным бачком открытого типа,
- ❑ - включает в себя термостат с перепускным клапаном, который поддерживает установленную рабочую температуру ОЖ,
- ❑ - наличие малого (снаружи или внутри двигателя, с помощью байпасного канала от выхода из головки до входа в насос) и большого (через радиатор) кругов циркуляции ОЖ, управляемых с помощью термостата,
- ❑ - насос ОЖ с приводом от коленчатого вала двигателя,
- ❑ - вентилятор (один или несколько) для принудительного обдува радиатора в случае превышения температурой максимального заданного значения, управление включением вентилятора от электронного блока управления двигателем по сигналу датчика температуры радиатора.



**Система охлаждения традиционного типа с одноходовым термостатом:**

1-отопитель, 2- двигатель, 3- термостат, 4- насос, 5- радиатор, 6- пробка, 7- вентилятор, 8- расширительный бачок, 9- байпасный канал малого круга циркуляции.

# Основные признаки сильного и/или длительного перегрев двигателя в эксплуатации

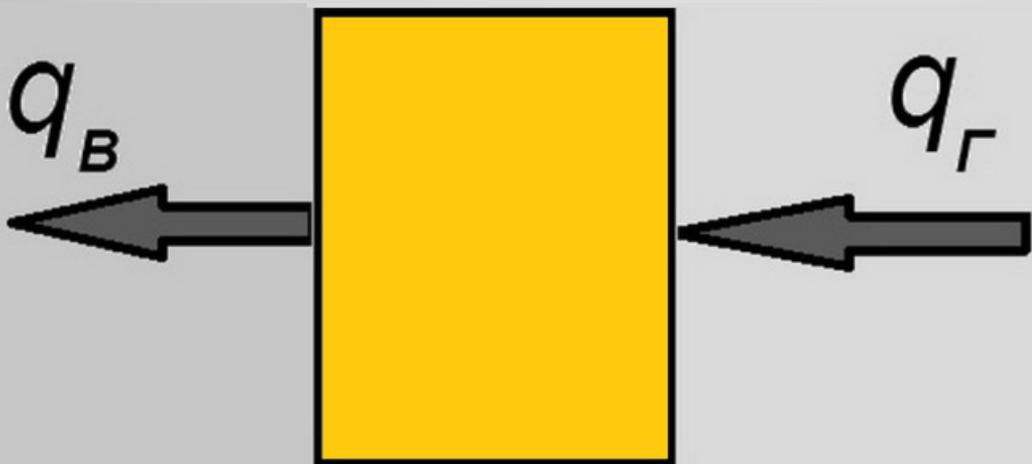
(в порядке увеличения интенсивности и длительности):

- Ослабление болтов ГБЦ.
- Деформация плоскости ГБЦ.
- Пластическая деформация прокладки ГБЦ, потеря герметичности, прорыв газов через нее.
- Загрязнение расширительного бачка маслом и нагаром, запах отработавших газов, разбрызгивание ОЖ в подкапотном пространстве.
- Деформация цилиндров.
- Задиры на поршнях в верхней части огневого пояса вследствие термического расширения днища и заклинивания поршня в цилиндре.
- Блокирование колец в канавках поршней вследствие задиров на поршне и цилиндрах от перегрева поршней.
- Задиры на краях юбок поршней от чрезмерного теплового расширения поршня, следы перегрева на внутренней поверхности поршней.
- Задиры в средней части цилиндров от переноса материала с юбки поршней.
- Плавление стенок ГБЦ у седел выпускных клапанов.
- Плавление верхней части поршня из-за нарушения охлаждения.
- Задиры на поршнях в верхней части огневого пояса вследствие попадания расплавленных частиц материала ГБЦ в зазор между поршнями и цилиндрами.
- Прочие признаки, в том числе, оплавление наконечников свечей зажигания, датчиков, впускного коллектора и других элементов, закрепленных на ГБЦ.

## Нестационарный нагрев стенки камеры сгорания при нарушении охлаждения.

### Упрощающие допущения:

- температура газов  $T_g$  постоянна и равна средней температуре в камере сгорания – 1400K (1137°C),
- температура жидкости  $T_c$  постоянна и равна 373K (100°C),
- толщина стенки  $\delta$  камеры сгорания – 10 мм,
- теплообмена вдоль стенки камеры нет, тепловой поток идет строго перпендикулярно стенке,
- частота вращения коленчатого вала  $n = 3000$  об/мин,
- вытекание жидкости мгновенно, при этом тепловой поток от газов идет только на разогрев стенки, теплоотдача в пар не учитывается.



Расчетная схема элемента камеры сгорания.

## Нестационарный нагрев стенки камеры сгорания при нарушении охлаждения

$$q = \alpha_2 (T_2 - T_{ст1}) = \frac{\lambda(T_{ст1} - T_{ст2})}{\delta} = \alpha_6 (T_{ст2} - T_6),$$

$$q F d\tau = C M dT$$

$$dT = \frac{\alpha_6 F}{C M} (T_6 - T_{ст1}) d\tau$$

Табл. 1. Данные расчета температуры стенки (масса элемента стенки размером 10x10 мм при толщине 10 мм **M = 0,0027 кг**, площадь поверхности стенки **F = 0,0001 м<sup>2</sup>**).

Время с момента прекращения охлаждения, сек	Температура стенки, К	Температура стенки, °С
0	535	262
1	576	303
2	606	333
3	644	371
...	...	...
11	895	622
12	Плавление	Плавление



# Нестационарный нагрев поршня в цилиндре при нарушении охлаждения

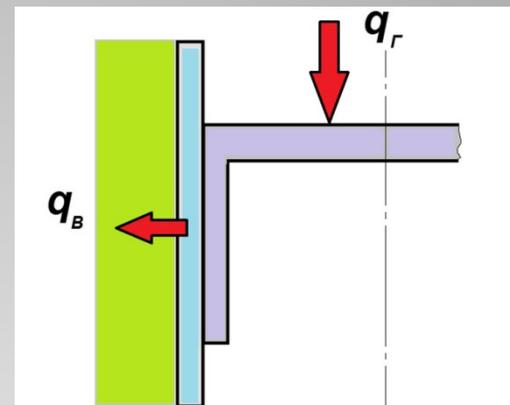
$$dT = \frac{\alpha_z F_n}{C M} (T_z - T_n) d\tau$$

$$T_1 = T_0 + \frac{\delta_0}{D_0 \alpha_z - D_{0z} \alpha_q}$$

При  $D_0 = 0,09$  м, начальный зазор  $\delta_0 = 0,5$  мм и начальной температуре  $T_0 = 293$  К максимальная температура поршня в цилиндре, при которой начинаются задиры,  $T_1 = 848$  К или  $t_1 = 575^\circ\text{C}$

Табл. 2. Данные расчета температуры поршня

Время с момента прекращения охлаждения цилиндра, сек	Температура поршня, К	Температура поршня, $^\circ\text{C}$
0	573	300
1	579	306
2	585	312
...	...	...
24	717	444
25	Задир	Задир



## Особенности работы системы охлаждения с низким уровнем ОЖ

- значительная потеря жидкости приводит к сильному понижению ее уровня во всей системе охлаждения – по закону сообщающихся сосудов (двигатель и радиатор могут быть представлены, как 2 сосуда, соединенные нижним патрубком системы),
- падение уровня жидкости приводит к нарушению ее циркуляции в верхней части системы,
- циркуляция жидкости в байпасном канале между ГБЦ и блоком продолжается, поскольку этот канал расположен ниже выходных патрубков ГБЦ, на режимах с небольшой подачей насоса (на малых и средних оборотах) основная часть жидкости будет циркулировать только по малому кругу циркуляции,
- выключение радиатора из работы, полное нарушение охлаждения верхней части ДВС (ГБЦ) при наличии частичного охлаждения нижней части (блок цилиндров).

## Работа датчика температуры при быстрой потере ОЖ

$$dT_{\partial} = \frac{\alpha f}{C M} (T - T_{\partial}) dt \quad \text{Для жидкости: } dT_{\partial} = 23 \cdot d\tau \quad \text{для пара: } dT_{\partial} = 0,09 \cdot d\tau$$

- датчик, находясь в жидкости, будет отслеживать ее температуру с задержкой не более 1-2 секунд (повышение температуры датчика в жидкости на 23° через 1 сек),
- задержка в показаниях датчика температуры для пара будет чрезвычайно большой – приблизительно 0,1° в секунду или только 6° в минуту,
- при аварийно быстром снижении уровня ОЖ в системе и оголении датчика его инерция возрастает приблизительно в 230 раз,
- датчик становится неспособным отследить повышение температуры, когда все время процесса перегрева при потере жидкости измеряется секундами.

## Сопоставление результатов расчета с опытными данными

Повреждения в системе охлаждения, вызвавшее вытекание охлаждающей жидкости

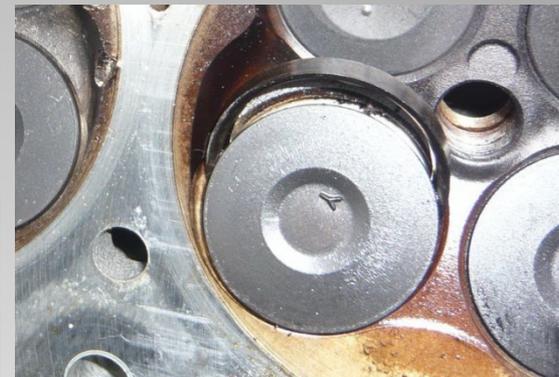


Повреждения прокладок ГБЦ вследствие вытекания охлаждающей жидкости



## Сопоставление результатов расчета с опытными данными (продолжение)

Повреждения ГБЦ вследствие вытекания охлаждающей жидкости



Повреждения поршней при перегреве от вытекания ОЖ



## Сопоставление результатов расчета с опытными данными (продолжение)

Повреждения цилиндров при перегреве от вытекания ОЖ



### Анализ действий водителя при возникновении неисправности двигателя

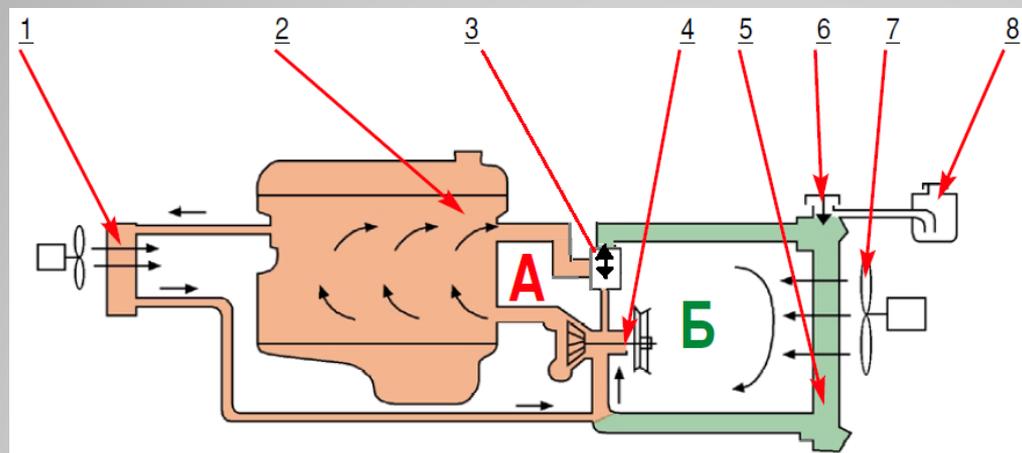
- ❖ при аварийно быстрой потере охлаждающей жидкости инерционность датчика температуры чрезвычайно большая,
- ❖ температура на указателе может заметно для водителя вырасти только через минуту после полного нарушения работоспособности системы охлаждения,
- ❖ остановка двигателя вследствие перегрева, деформации ГБЦ и потери компрессии произойдет раньше, чем водитель сможет увидеть повышение температуры.

**В системах с одноходовым термостатом и датчиком температуры на выходном патрубке ГБЦ водитель не имеет технической возможности предотвратить последствия аварийного вытекания ОЖ из системы охлаждения.**



## Конструктивные способы предупреждения аварийных ситуаций при быстрой потере охлаждающей жидкости в системах охлаждения традиционного типа

- **Изменение места расположения датчика температуры** (наилучшим с точки зрения объективности контроля температуры при перегреве является расположение датчика на стенке головки блока цилиндров, а не на выходном патрубке).
- **Переход к двухходовому термостату** (в прошлом многие модели двигателей имели такие термостаты, при таком типе термостата падение уровня жидкости не приводит к прекращению ее циркуляции по большому кругу, поскольку малый круг перекрыт вторым клапаном термостата):



1-отопитель, 2- двигатель, 3- термостат, 4- насос, 5- радиатор, 6- пробка, 7- вентилятор, 8- расширительный бачок.

- **Установка датчика уровня ОЖ в радиаторе** (такой датчик имеют некоторые ТС в связи с трудностью визуального контроля количества ОЖ в системе охлаждения двигателя, в этом случае падение уровня сразу будет заметно по сигналу соответствующей контрольной лампы).

# Выводы

- У ДВС легковых автомобилей с системами охлаждения традиционного типа и одноходовым термостатом быстрое аварийное падение уровня жидкости вызывает прекращение ее циркуляции по большому кругу.
- При аварийном нарушении охлаждения в результате быстрой потери охлаждающей жидкости стенки камеры сгорания получают чрезвычайно серьезные повреждения в виде плавления стенок и/или выпадения седел, тогда как поршни получают незначительные термические повреждения и только приблизительно через вдвое большее время от начала разрушения камеры сгорания.
- Датчик температуры, установленный на выходном патрубке головки блока цилиндров, при быстрой потере жидкости не показывает по причине инерционности не только перегрева двигателя, но даже простого повышения температуры, вследствие чего водитель не имеет технической возможности видеть повышение температуры в системе вплоть до поломки двигателя в результате перегрева.
- Для исключения повреждения двигателя в результате аварийной потери охлаждающей жидкости традиционные системы охлаждения ДВС легковых автомобилей могут быть модернизированы путем переноса датчика температуры на головку блока цилиндров, а также путем применения двухходового термостата и/или установки датчика уровня жидкости в радиаторе.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**

**Александр Хрулев**

**кандидат технических наук**

**Специализированный моторный центр**

**«АБ-ИНЖИНИРИНГ»**

**БЮРО МОТОРНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ**

**Москва, 2-я Магистральная, 16**

**Тел. +7-495-5448195**

**E-mail: [ab@ab-engine.ru](mailto:ab@ab-engine.ru)**

**[www.ab-engine.ru](http://www.ab-engine.ru)**