

Хрулев Александр Эдуардович, к.т.н., с.н.с., Международное моторное бюро, Киев, Украина, alo.engine@gmail.com

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗНОСА ДЕТАЛЕЙ КЛАПАННОГО МЕХАНИЗМА И ОСОБЕННОСТИ ИХ УЧЕТА ПРИ ПЕРЕОБОРУДОВАНИИ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ НА ГАЗОМОТОРНОЕ ТОПЛИВО

Перевод серийных бензиновых двигателей на газомоторное топливо рассматривался в качестве перспективного для различных видов транспорта не одно десятилетие. Обычно главными преимуществами такого перевода было принято считать полное сгорание газозвоздушной смеси, заметно меньшую стоимость газа и даже более высокий ресурс цилиндро-поршневой группы.

За многие десятилетия идея газификации легкового транспорта испытывала многочисленные взлеты и падения, но среди мировых автопроизводителей большого числа приверженцев так и не получила [1]. Причин этого достаточно много, и технических, и экономических, но точку в споре между газом и бензином для легкового транспорта недавно поставила экология. Причем, с неожиданной стороны.

Действительно, еще несколько лет назад сжиженный и природный газ в сравнении с бензином считался экологичным видом топливом. Однако с того момента, как углекислый газ, как продукт сгорания, попал в категорию вредных парниковых газов, сжиженный и природный газ были фактически спущены с "экологического пьедестала", чему во многом способствовала и развернувшаяся "электрическая" революция в автомобилестроении. Результатом такого сдвига в массовом секторе рынка стал полный и окончательный отказ мировых производителей от производства легковых автомобилей с газовыми двигателями в пользу электрических. Первой "ласточкой" явилась Honda – ее "экологически чистая" модель Civic с газовым двигателем [2] всего через несколько лет после начала производства была снята с конвейера. За Honda недавно последовал VW, имевший в производственной программе несколько газовых двигателей [3], но также объявивший о полном прекращении их исследований, разработок и производства.

Тем не менее, драматические события, развернувшиеся в мире массового производства автомобилей, не слишком сильно отразились на области их эксплуатации. За многие десятилетия там сформировался достаточно устойчивый рынок газобалонного оборудования (ГБО) со всей своей инфраструктурой, включая производителей, установщиков, потребителей и контролирующие органы. Внутри этого мира газобалонное оборудование развивалось своим собственным путем, не только дойдя в этом развитии до 7-го поколения, но и получив способность полностью встраиваться в серийную электронную систему топливоподачи любой сложности [1, 4].

Причины, по которым шло обособленное развитие рынка ГБО, далеки от экологии, они скорее сугубо экономические и даже психологические – розничная цена 1 литра сжиженного газа вдвое ниже чем у бензина. Оказалось,

что для многих потребителей именно и только этот фактор имеет значение, чтобы побудить их переоборудовать свой собственный автомобиль для работы на нештатном газовом топливе, все остальное для большинства потребителей вторично и даже неважно [5].

Однако в дальнейшей эксплуатации переоборудованного на нештатное топливо двигателя возникают серьезные проблемы. Несмотря на преимущества для цилиндра-поршневой группы, в которой при работе на газе больше не происходит ухудшения смазывания деталей из-за смывания масла топливом со стенок, и нет нагарообразования, а моторное масло служит дольше, выявляется ускоренный износ клапанного механизма в виде так называемого "проседания" клапанов (рис.1). Причем быстрому износу подвержено не только сопряжение клапана с седлом [6], но и стержня клапана с направляющей втулкой [1].

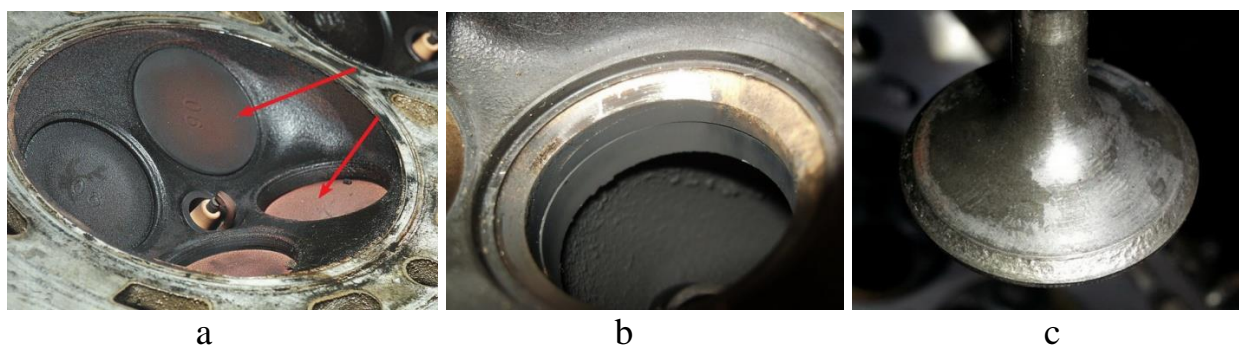


Рисунок 1. "Проседание" клапанов при работе на газе (а) возникает вследствие интенсивного изнашивания седла (b) и фаски клапана (с).

Еще не так давно было принято объяснять такой аномальный износ некоей "более высокой" температурой сгорания газозвушной смеси [4, 6]. Однако детальные исследования процесса изнашивания пары "клапан-седло" фактически опровергли "температурную" теорию и показали, что реальные причины, по которым при изменении вида топлива с бензина на газ может происходить резкое возрастание интенсивности изнашивания, связаны с отсутствием в зоне трения смазки в виде смол и нагара [7, 8, 9].

Как показано в [1], удовлетворение всем требованиям, обеспечивающим работоспособность и ресурс клапанного механизма на газе, делает двигатель неработоспособным на бензине, поскольку сопряжение клапана с седлом теряет герметичность из-за нарушения самоочистки рабочей поверхности контакта от смол и нагара [8]. В то же время очевидная невозможность удовлетворить этим требованиям при переводе серийного бензинового двигателя на нештатное газовое топливо оказывается ключевым фактором эксплуатации, поскольку означает неизбежное уменьшение ресурса. Отсюда следует важный для практики эксплуатации вывод о том, что установка ГБО может быть выполнена только на те модели двигателей, для которых заранее известны данные по реальному влиянию газового топлива на ресурс клапанного механизма [7].

Если такие данные известны (а в случае неизвестности риск владельца автомобиля вместо экономии получить серьезные убытки неприемлемо высок), для расчета экономической эффективности эксплуатации на газе по сравнению

с бензином можно вывести формулу для расчета относительной стоимости эксплуатации на газе:

$$\bar{C} = k_c k_g + 100 \frac{C_{gbo}}{R_b G_b C_b} \left(1 + \frac{k_{rep}}{k_R} \right), \quad (1)$$

где k_c – коэффициент массового расхода газа по сравнению с бензином ($k_c = 1,25-1,45$), k_g – коэффициент цены 1 литра газа по сравнению с бензином ($k_g = 0,5$), C_{gbo} – стоимость ГБО, ее установки и сертификации (в расчетах принято $C_{gbo} = 20.000$ грн), R_b – ресурс двигателя на бензине ($R_b = 150.000$ км), G_b – расход бензина ($G_b = 10$ л/100 км), C_b – стоимость 1 литра бензина ($C_b = 25$ грн), k_{rep} – относительная стоимость ремонта двигателя (показывает, во сколько раз ремонт дороже установки ГБО), k_R – относительный ресурс (показывает, во сколько раз ресурс двигателя до ремонта на газе меньше, чем на бензине).

Результате расчетов по формуле (1) показаны на диаграмме (рис.2). Нетрудно заметить, что даже не очень дорогой вариант ГБО делает максимально возможную эффективность заведомо выше 0,75 (т.е. экономия составит только 25% и в лучшем случае будет вдвое меньше, чем это следует из простого сравнения цен газа и бензина на АЗС). С ростом же стоимости ремонта перевод двигателя на нештатное топливо становится все менее выгодным, и при стоимости ремонта вдвое больше стоимости установленной ГБО уже заведомо экономически неэффективен при любом ресурсе.

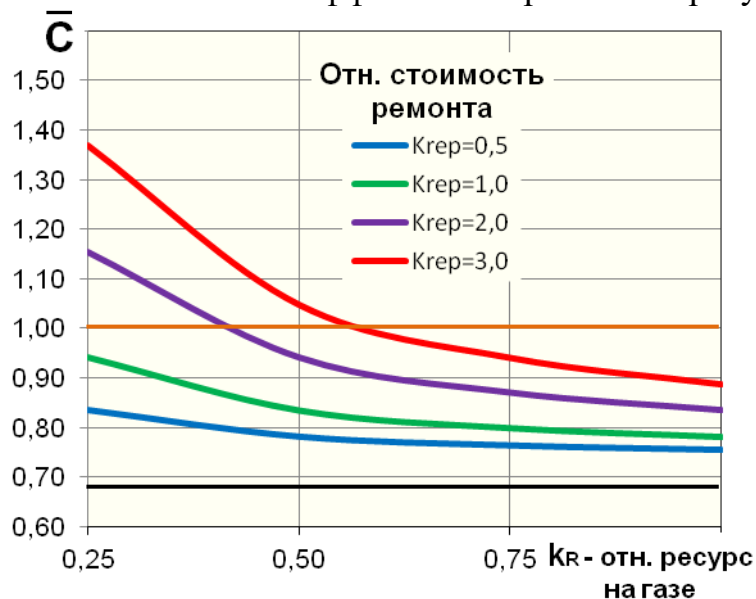


Рисунок 2. Экономическая эффективность перевода двигателя на газовое топливо при различном ресурсе и стоимости промежуточных ремонтов.

Анализ рынка запчастей по легковым автомобилям 2010-2012 года выпуска показал [10], что у подавляющего большинства моделей среднего класса цена новой головки блока превышает 40.000 грн (на некоторые японские модели, например, Mazda 6, CX7, Honda Civic, Accord, это более 60.000 грн), что делает установку на них ГБО экономически неэффективной. И только самые недорогие модели, преимущественно малого класса и/или же наиболее

популярные и распространенные, на которые существуют головки блока цилиндров по цене менее 15.000-20.000 грн, позволяют получить экономическую выгоду от перехода на нештатное топливо. Но и то при условии, что ресурс клапанного механизма на газе не упадет более чем вдвое.

Таким образом, проведенное исследование показывает, что несмотря на большую разницу в цене между газом и бензином, перевод бензинового двигателя на нештатное газовое топливо в общем случае имеет целый ряд серьезных ограничений, накладываемых не только техническими, но и чисто экономическими факторами. В результате для целого ряда автомобилей, особенно, старших классов, кажущаяся выгода оборачивается серьезными убытками, что должно в обязательном порядке учитываться при планировании установки на них газобаллонного оборудования.

Литература

1. Хрулев А. Сакральная тайна голубого топлива. Ч.3 / А.Хрулев, Е.Тимофеев, Ю.Буцкий. АБС-авто, №11, 2016, с. 12-17.
2. Руководство по двигателям HONDA широкого применения. Пояснения к устройству двигателя внутреннего сгорания на примере двигателей HONDA. Часть 1. Редакция 2.0 (06.04.2000). Пер. с англ. HONDA Motor, Japan, 2000. - 273 с.
3. VW Service Training. Программа самообучения 427. Газобаллонная установка на сжиженном газе BiFuel. Устройство и принцип действия. Перевод и верстка ООО "ФОЛЬКСВАГЕН Груп Рус". VOLKSWAGEN AG, Вольфсбург, 2009. - 60 с.
4. Петров А. Газовое топливо и надежность клапанов / А.Петров, А.Ширяев. АБС-авто, №04, 2004, с. 42-45.
5. Новицкий О. На какие авто устанавливали ГБО в июле. AUTO.RIA, [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://auto.ria.com/news/topnews/251322/dali-gazu-na-kakie-avto-ustanavlivali-gbo-v-iyule.html>.
6. Хрулев А. Коль на газе ездит Хонда... / А.Хрулев, С.Самохин. АБС-авто, №10, 2003, с. 40-43.
7. Тихомирова О.Б. Новые вопросы перевода на газ автомобильных двигателей / О.Б.Тихомирова, А.Н.Тихомиров. Транспортные системы, №22 (5), 2017, с. 44-50.
8. Lewis R. and Dwyer-Joyce R.S. Automotive Engine Valve Recession. London, Professional Engineering Publishing Limited, 2002. - 138 p.
9. Поддубный И.Н. Износостойкость упрочненной фаски клапана и параметры контактного взаимодействия элементов трибосопряжения "фаска клапана-седло" / И.Н.Поддубный, В.И.Кубич, А.Н.Коробочка. Проблемы трибологии (Problems of Tribology) 2013, № 1, с. 127-134.
10. Популярные модели авто. Головки блока цилиндров и их части (ГБЦ). Интернет-магазин Exist.ua [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://exist.ua/golovki-bloka-cilindrov-chasti-gbc/>. - 05.09.2020.