

# Некоторые закономерности износа деталей клапанного механизма и особенности их учета при переоборудовании бензинового двигателя внутреннего сгорания на газомоторное топливо



Александр Хрулев, к.т.н., с.н.с.

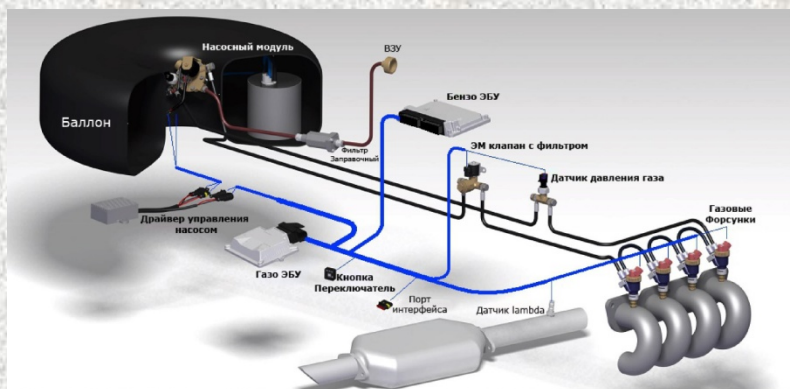
Международная научно-практическая конференция «Сучасні тенденції  
розвитку автомобільного транспорту та галузевого машинобудування»  
16-18 септября 2019 года



# Газификация бензиновых ДВС - преимущества

## Преимущества газа по сравнению с бензином:

- Вдвое ниже цена.
- Отсутствие нагара в камерах сгорания.
- Экология – полное сгорание.
- Моторное масло стареет медленнее.
- Износ цилиндро-поршневой группы меньше.



## Ожидаемый эффект от перевода двигателя на газ:

- ❑ Значительная экономия расходов на топливе.
- ❑ Увеличенный ресурс двигателя.
- ❑ Значительная экономия за весь период эксплуатации на ремонтах.



# Газификация бензиновых ДВС – общая картина

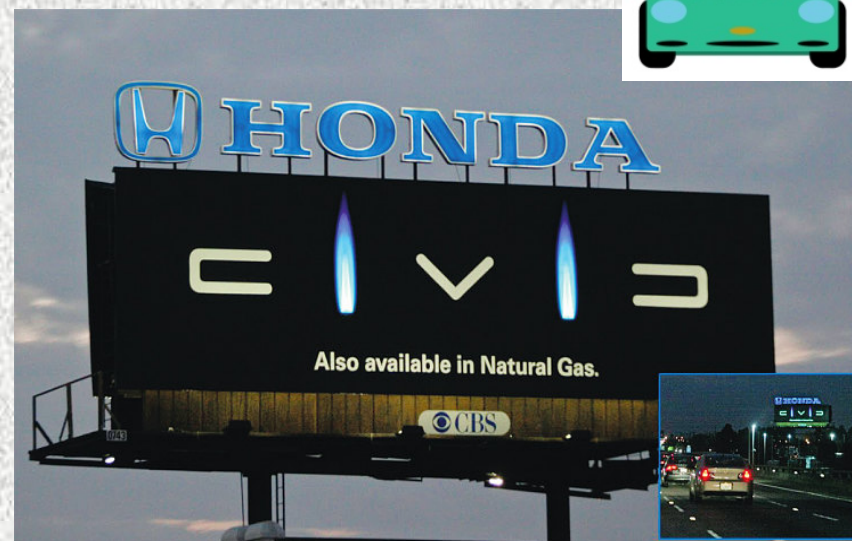
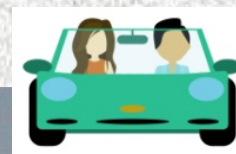


## Идея газификации легкового транспорта :

- ❖ Многочисленные взлеты и падения.
- ❖ Только ограниченная реализация в серийной продукции.
- ❖ Тенденция к сворачиванию газовых программ приблизительно с 2010 года (совпало с началом массового производства электромобилей).
- ❖ Окончательное закрытие исследований, разработок и производства газовых двигателей для легкового автотранспорта (Honda и VW).

## Причины:

- ❖ Технические сложности создания 2-топливного двигателя.
- ❖ Значительная разница в некоторых элементах конструкции газового и бензинового ДВС.
- ❖ Необходимость создания специальной сети заправочных станций.
- ❖ Меры безопасности, отсутствующие на бензине.
- ❖ Проблемы с запуском при низких температурах (для сжиженного газа).
- ❖ Экология - CO<sub>2</sub> неэкологичен, т.к. является парниковым газом.



# Газификация бензиновых ДВС – параллельный мир



**События в мире массового производства автомобилей не слишком сильно отразились на области их эксплуатации:**

- ❑ **Независимый рынок** газобаллонного оборудования (ГБО) со всей своей инфраструктурой, включая производителей, установщиков, потребителей и контролирующие органы.
- ❑ **Развитие ГБО** - своим собственным путем (7-е поколение, способность полностью встраиваться в серийную электронную систему топливоподачи любой сложности).

## **Побочные трудности и особенности газификации легкового транспорта:**

- ❖ Производители больше не производят серийных систем.
- ❖ Установка ГБО на неавторизованных СТО.
- ❖ Перевод двигателя на **нештатное топливо** = изменение конструкции ТС.
- ❖ Превращение владельца в инженера-испытателя-исследователя (риск для некоторых моделей, особенно, новых).
- ❖ Нарушение условий гарантии производителя ТС.



**Психологическая проблема** - для многих потребителей именно и только цена за 1 л имеет значение, чтобы побудить их переоборудовать свой собственный автомобиль для работы на нештатном газовом топливе, все остальное для большинства вторично или даже неважно.

# Газификация бензиновых ДВС – последствия

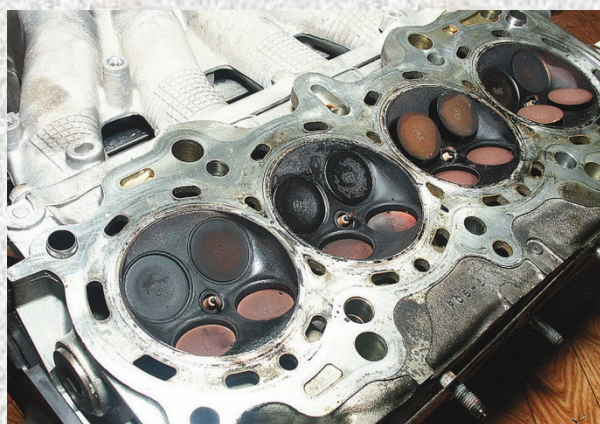
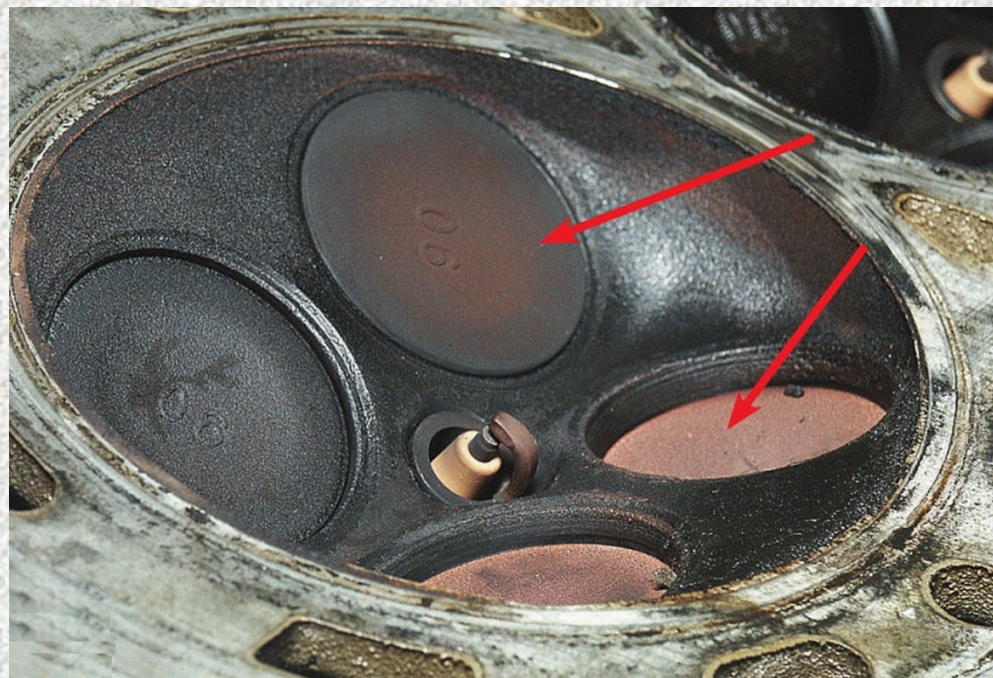
Неожиданно - неустойчивая работа двигателя, потеря мощности, расход топлива, масла, плохой запуск:

1. Ускоренный износ седел и рабочих фасок клапанов ("проседание" клапанов).
2. Износ направляющих втулок и стержней клапанов.

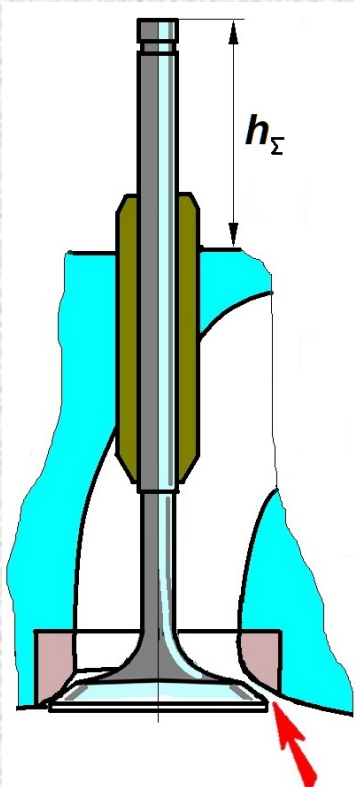


**Объяснения установщиков:**

- Плохо отрегулировали двигатель.
- Неисправна система подачи бензина.
- Высокая температура, не тот газ.
- ...



# Некоторые закономерности работы клапана с седлом



## Износ сопряжения клапана с седлом:

Согласно классическим представлениям, износ пары определяется силами, возникающими в момент посадки клапана в седло, и зависит от давления, свойств материала, шероховатости и других параметров:

Интенсивность изнашивания (линейная)  $I_h = \frac{h_w + h_v}{L_\Sigma}$

$$I_h = K F_a^r F_y^n F_s^m F_{cm}^q$$

Классическая трибологическая модель:

**Безразмерные факторы влияния на износ:**

$$F_a = f \frac{p}{HB}$$

➤ напряженного состояния и площади фактического контакта,

$$F_y = \xi \frac{p}{\sigma_0}$$

➤ усталостной прочности,

$$F_s = \frac{R_{\max}}{br^{1/V}}$$

➤ шероховатости поверхности,

$$F_{cm} = \frac{h_{cm}}{\sqrt{R_{a1}^2 + R_{a2}^2}}$$

➤ толщины смазочного слоя.



Классические модели не вполне могут учесть все изменения, возникающие в сопряжении деталей при переходе с жидкого на газообразное топливо.

$$I_h = K_1 \frac{p^{r+n}}{HB^m \sigma_0^n h_{cm}^q}$$



# Некоторые закономерности работы клапана с седлом

## Современные варианты классической модели износа (В.Кубич и др.) :

- ❑ В процессе работы клапан совершает сложное нагруженное перемещение по поверхности неподвижного седла, а именно удар с проскальзыванием, вызванными динамикой работы механизма газораспределения ДВС.
- ❑ Процесс сопровождается изнашиванием материалов на пути трения с учетом коррозионной и эрозионной составляющей.
- ❑ **Интенсивность изнашивания** зависит от скорости линейного и углового нагружения, величины давления, свойств материалов и шероховатости поверхностей:

$$I_h = K_2 \left( \frac{L_v}{k_v vt} \right)^{n_1} \left( \frac{L_\omega}{k_\omega \omega t} \right)^{n_2} \left( \frac{p}{HB} \right)^{n_3} \left( \frac{R_{a2}}{R_{a1}} \right)^{n_4}$$



$L_v$  – путь трения за один цикл работы клапана при его линейном перемещении со скоростью  $v$ ,  
 $L_\omega$  – путь трения за один цикл работы клапана при его вращении с угловой скоростью  $\omega$ , мкм;



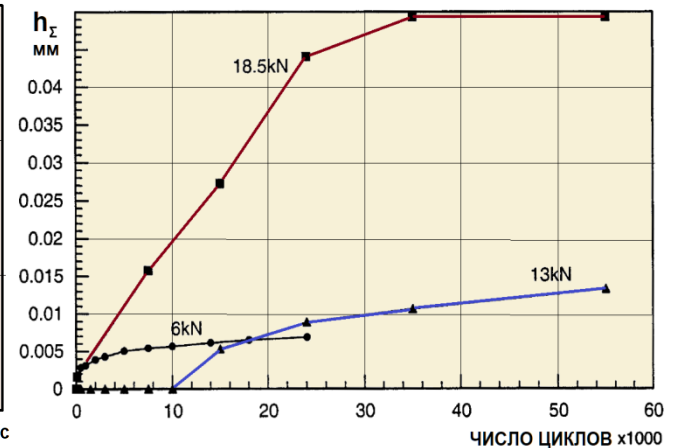
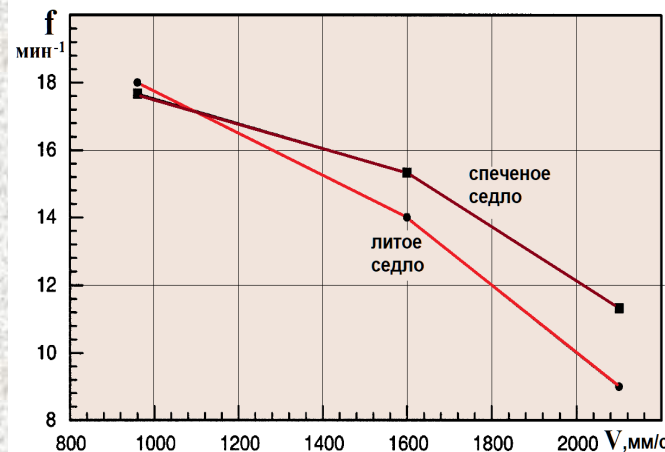
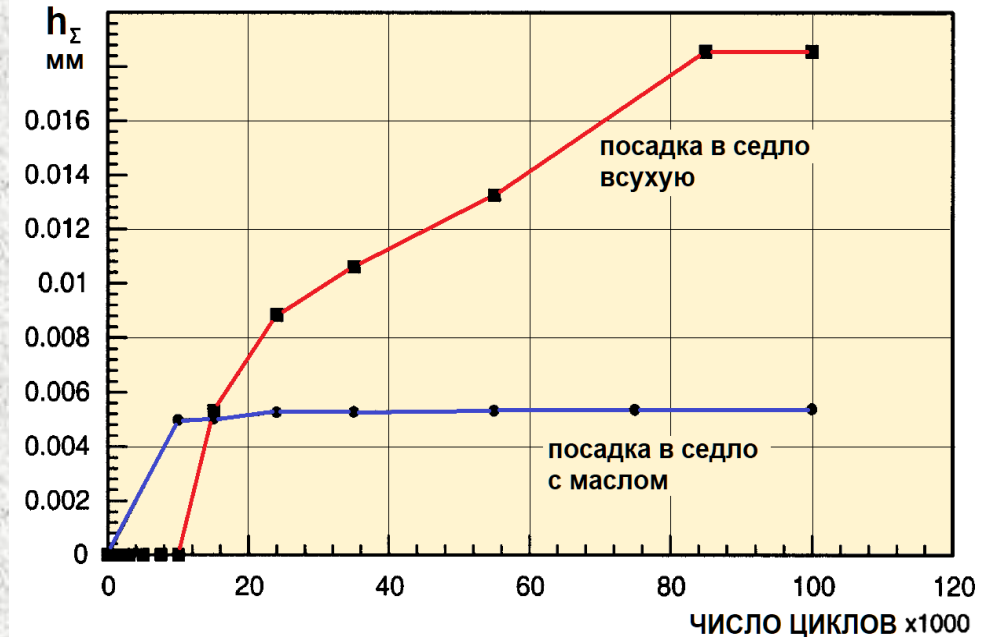
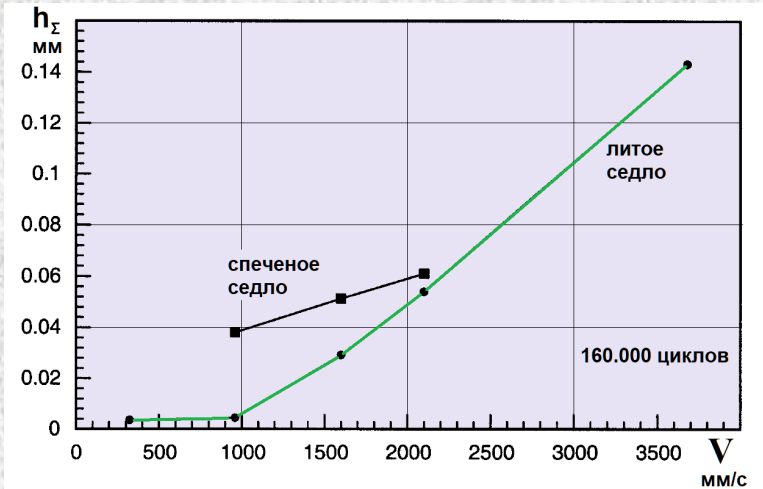
$$I_h = K_3 v^{m_1} \omega^{m_2} n^{m_3} \left( \frac{p}{HB} \right)^{m_4}$$

$$h_\Sigma = I_h L_\Sigma$$



# Влияние различных факторов на проседание клапанов

R. Lewis and R. S. Dwyer-Joyce.  
Automotive Engine Valve Recession. Prof.  
Eng. Publishing Ltd, London, 2002. – 138 p.

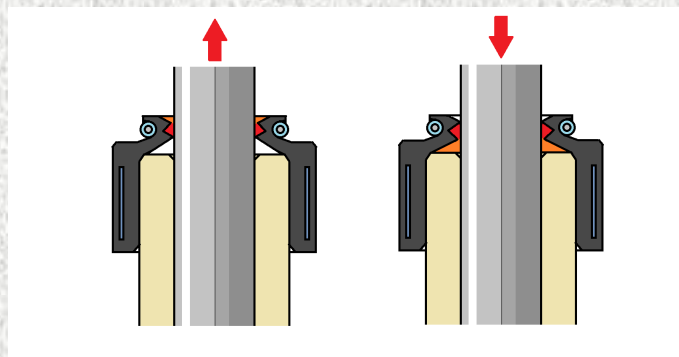
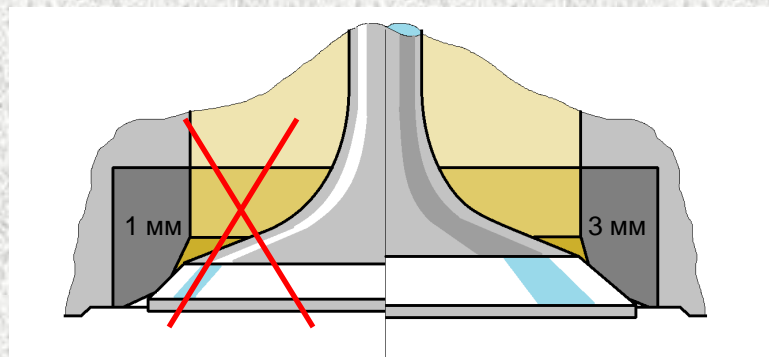
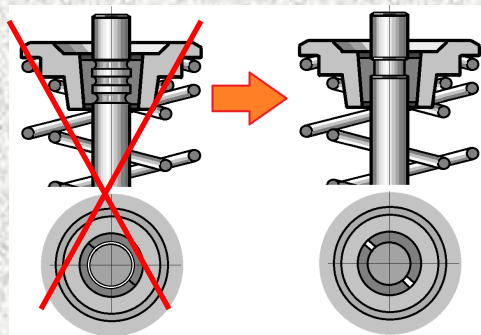
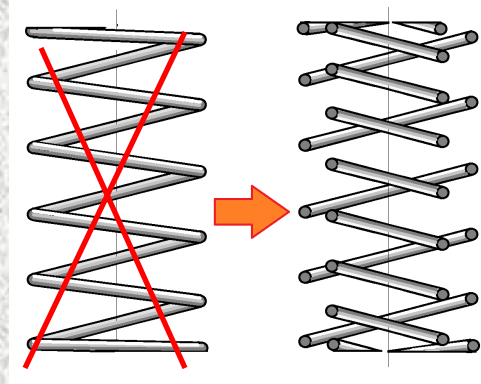




# Конструктивные мероприятия для уменьшения износа при переводе двигателя с бензина на газ

Способы уменьшения износа деталей пары «седло-клапан»:

- 1) сокращение пути трения уменьшением вращения и скольжения – установка 2-х concentрических пружин клапана с противоположным направлением навивки,
- 2) сокращение пути трения препятствованием вращению клапана – конструкция с неподвижной посадкой сухарей и стержня клапана в тарелке пружины,
- 3) уменьшение скорости удара клапана при посадке – другие профили кулачка распределительного вала с плавной посадкой,
- 4) уменьшение удельного давления клапана на седло – значительным увеличением ширины рабочей фаски,
- 5) увеличение износостойкости материала клапана – путем нанесения традиционного износостойкого покрытия стеллитом,
- 6) увеличение твердости седла – требует специальных материалов.



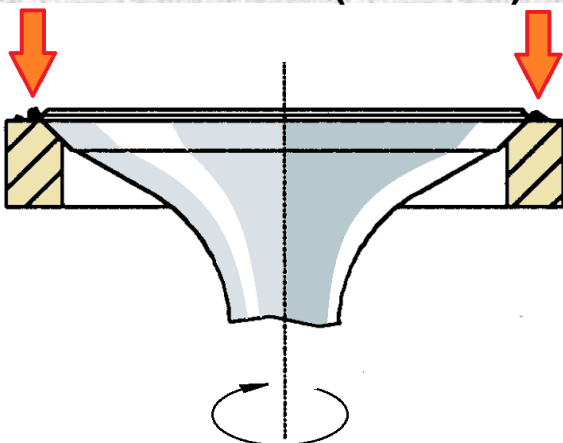
# Конструктивные мероприятия для уменьшения износа при переводе двигателя с бензина на газ

Главный парадокс самодеятельной газификации:

Если конструктивные мероприятия по уменьшению износа деталей пары «седло-клапан» успешно проведены:  
Двигатель теряет способность работать на бензине



Отложения (смазка)



Данные компании HONDA:

Износ сопряжения «седло-клапан» при работе на газе при прочих равных условиях увеличивается в... 30 раз!

Для обеспечения ресурса двигателя при работе на газе нужно проводить модернизацию (адаптацию) двигателя для работы на нестандартном топливе



Если мероприятия по уменьшению износа деталей пары «седло-клапан» не проведены, в т.ч. потому что невозможны:  
При работе на газе уменьшение ресурса неизбежно

# Экономические аспекты перехода с бензина на газ

$k_g = \frac{G_g}{G_b}$  ➤ – коэффициент массового расхода газа по сравнению с бензином,

$k_c = \frac{C_g}{C_b}$  ➤ – коэффициент цены 1 литра газа по сравнению с бензином

$k_{rep} = \frac{C_{rep}}{G_{gbo}}$  ➤ – относительная стоимость ремонта двигателя, показывает, во сколько раз ремонт дороже установки ГБО,

$k_R = \frac{R_g}{R_b}$  ➤ – относительный ресурс на газе, показывает, во сколько раз ресурс двигателя до ремонта на газе меньше, чем на бензине,

$C_{gbo}$  ➤ – стоимость ГБО, ее установки и сертификации (грн),

$R_b$  ➤ – ресурс двигателя на бензине (км),

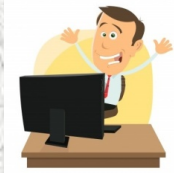
$G_b$  ➤ – расход бензина (л/100 км),

$C_b$  ➤ – стоимость 1 литра бензина (грн),



Объем топлива (л), израсходованного за ресурс

$$V_b = \frac{R_b}{100} G_b \quad V_g = \frac{R_g}{100} G_g$$



Стоимость бензина за весь ресурс

$$C_{R_b} = V_b C_b \quad C_{R_b} = \frac{R_b G_b C_b}{100}$$

Стоимость газа за весь ресурс

$$C_{R_g} = \frac{R_g G_g C_g}{100} + C_{gbo} + \frac{C_{rep}}{k_R}$$

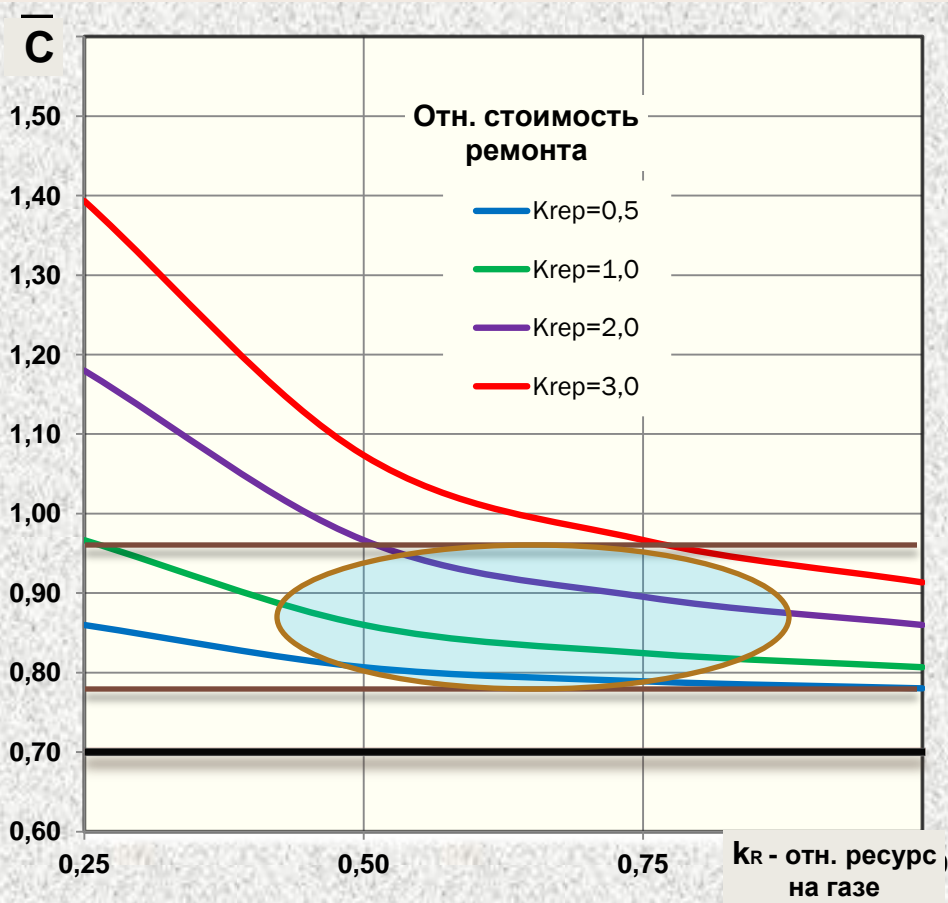
Относительная (по отношению к бензину) стоимость газа за ресурс

$$\bar{C} = \frac{C_{R_g}}{C_{R_b}} = \frac{G_g C_g}{G_b C_b} + 100 \frac{C_{gbo} + \frac{C_{rep}}{k_R}}{R_b G_b C_b}$$

# Области эффективности перехода с бензина на газ



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



## Исходные данные расчета:

$R_b = 150.000$  км     $C_{gbo} = 20.000$  грн  
 $G_b = 10$  л/100 км     $C_b = 25$  грн за 1 л  
 $k_c = 0,5$      $k_g = 1,4$



## Цена на головки блока цилиндров автомобилей 2010-2012 гг выпуска

[www.exist.ua](http://www.exist.ua)

Hyundai Elantra = 21.000 грн  
 Kia Rio = 27.000 грн  
 Renault Kangoo = 36.000 грн  
 Mazda CX7 = 40.000 грн  
 Honda Civic = 42.000 грн  
 Mitsubishi Lancer = 52.000 грн  
 Toyota Highlander V6 = 68.000 грн (за 2)



## Перевод бензиновых двигателей на газ экономически неэффективен:

- 1) при стоимости ремонта в 2 и более раз превышающей стоимость установки ГБО,
- 2) при снижении ресурса двигателя в 2 и более раз.



# Выводы



1. Несмотря на большую разницу в цене между газом и бензином, перевод бензинового двигателя на штатное газовое топливо в общем случае имеет целый ряд серьезных ограничений, накладываемых не столько техническими особенностями, сколько чисто экономическими факторами.
2. Любые варианты неавторизованного переоборудования автомобильных двигателей на штатное топливо должны рассматриваться, прежде всего, именно с точки зрения экономической выгоды за весь срок службы транспортного средства, а не как частные преимущества, получаемые в отдельные периоды его эксплуатации.
3. Для целого ряда легковых автомобилей, особенно, старших классов, кажущаяся выгода от эксплуатации на газе оборачивается серьезными убытками, которые определяются чрезмерно большими затратами на ремонт, вызванный заметным уменьшением ресурса двигателя при работе на штатном топливе.
4. В результате совместного действия всех факторов область допустимого, из условий экономической эффективности, применения газобаллонного оборудования значительно сужается до недорогих автомобилей малого класса, а также распространенных моделей автомобилей, на которые существуют и поставляются неоригинальные головки блока цилиндров.



# Спасибо за внимание!

Александр Хрулев, к.т.н., с.н.с.

МЕЖДУНАРОДНОЕ МОТОРНОЕ БЮРО  
Немешаево, Киевская обл., Украина

[www.engine-expert.com](http://www.engine-expert.com)  
[alo.engine@gmail.com](mailto:alo.engine@gmail.com)

