



## **ENVIRONMENTAL INDICATORS OF THE ENGINE WHEN WORKING ON HYDROGEN**

**V.R.Ashirov**

*Assistants to the Termez branch of the Tashkent State Technical University named after Islam Karimov*

**F.J. Kucharov**

*Assistants to the Termez branch of the Tashkent State Technical University named after Islam Karimov*

**A.A. Abdirashidov**

*Assistants to the Termez branch of the Tashkent State Technical University named after Islam Karimov*

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДВИГАТЕЛЯ ПРИ РАБОТЕ НА ВОДОРОДЕ**

**В.Р.Аширов, Ф.Ж. Кучаров, А.А.Абдирашидов**  
ассистенты Термезского филиала Ташкентского государственного  
технического университета имени Ислама Каримова

Аннотация: В данной статье освещены экологические показатели двигателя при работе на водороде.

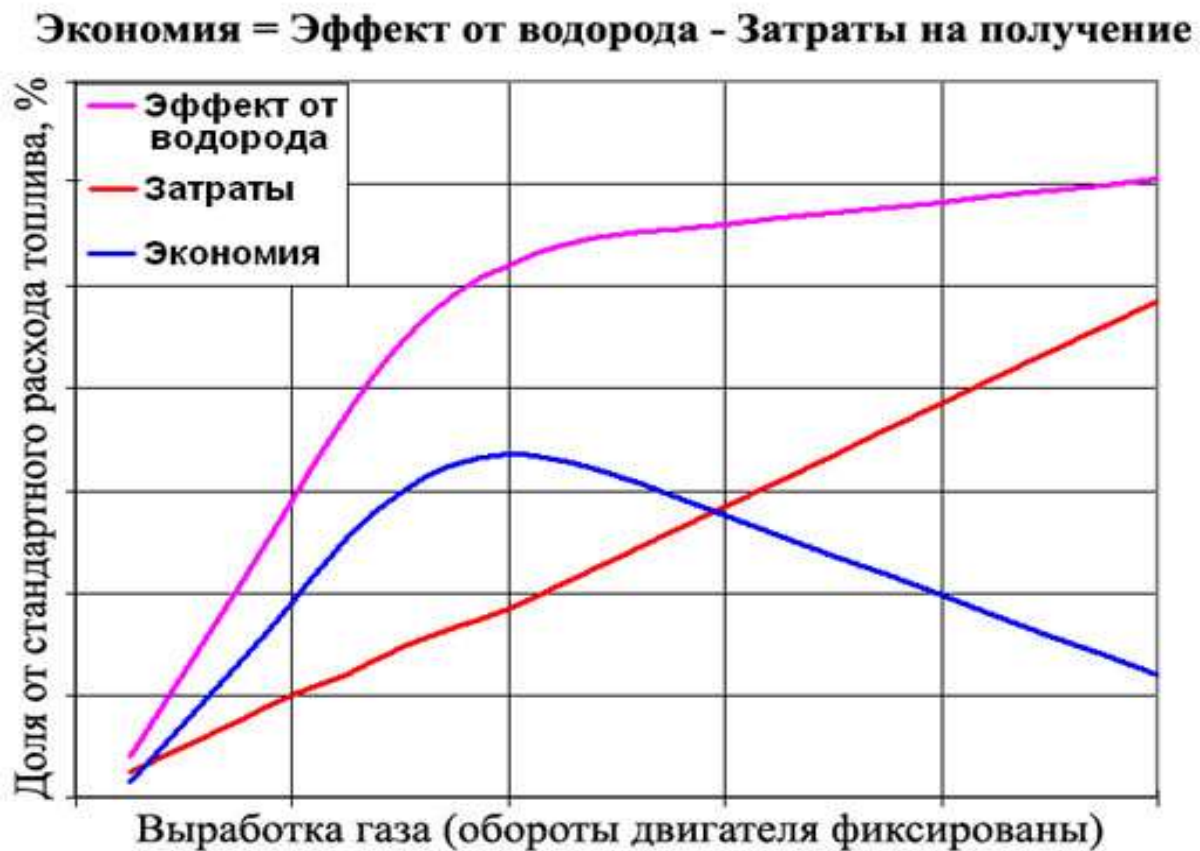
Ключевые слова: экология, двигатель, водород.

Abstract: this article highlights the environmental performance of the engine when running on hydrogen.

Keywords: ecology, engine, hydrogen.

Согласно результатам, полученным при индицировании одноцилиндрового двигателя, работающего на водороде, при обеднении топливной смеси динамика нарастания давления резко падает, а при значениях  $\phi > 3,5$  остается практически постоянной. Напротив, величина задержки воспламенения растет, главным образом, за счет увеличения времени саморазгона реакций сгорания при уменьшении концентрации водорода в топливной смеси. В связи с этим при  $\phi > 1,8$  появляются колебания максимального

давления в цикле, которые при  $\phi > 4,5$  приводят к неустойчивой работе водородного двигателя. Неустойчивость также имеет место при обогащении топливо-воздушной смеси, однако обуславливается в этом случае чрезмерно высокими скоростями нарастания давления при сгорании. Подобное неустойчивое сгорание обычно связано со слышимыми «стуками» и мгновенными колебаниями скорости вращения вала двигателя.



Особо следует остановиться на явлениях преждевременного воспламенения и обратных вспышек во впускном трубопроводе водородного двигателя. Причинами преждевременного воспламенения могут быть перегрев источника зажигания, масляный нагар, а также индуктивные наводки в проводах и других элементах системы зажигания. Обратные вспышки - характерный недостаток большинства систем дозирования водорода во впускной трубопровод. Они происходят на такте впуска вследствие воспламенения водородо-воздушной смеси от отдельных перегретых точек свечи зажигания, а также от горячих остаточных газов. Снижение частоты появления обратных вспышек может быть достигнуто посредством увеличения степени сжатия (с целью уменьшения количества остаточных газов) или установкой специальной свечи зажигания. При использовании обычной свечи зажигания водородный двигатель

устойчиво работает в очень узком диапазоне изменения  $\beta$ , тогда как модифицированная свеча зажигания обеспечивает его нормальную работу, начиная с  $\beta=1,55$ . Что касается показателей работы двигателя на соответствующих режимах, то они практически идентичны на обоих типах свечей.

При дозировании водорода во впускной трубопровод сгорание топливных смесей вблизи стехиометрического состава происходит с очень высокими скоростями и практически без задержки воспламенения. Кроме того, в этой области имеется тенденция к преждевременному воспламенению. В результате указанные факторы приводят к остановке водородного двигателя при обогащении топливной смеси. Характерно, что на оборотах ниже примерно 0,7 от номинальных двигатель останавливается без появления обратных вспышек. Причиной остановки двигателя в этом случае является раннее завершение



процесса сгорания, вследствие чего работа газа на ходе сжатия получается больше, чем на ходе расширения. С другой стороны, при оборотах двигателя, близких к номинальным, возможно обогащение топливной смеси вплоть до  $\phi=1$ . Однако дальнейшее обогащение топливного заряда в этих условиях приводит к появлению обратных вспышек и остановке двигателя, что связано с перегревом элементов камеры сгорания, ведущим к преждевременному воспламенению водородо-воздушной смеси.

Для получения удовлетворительных мощностных показателей водородного двигателя, а следовательно, обеспечения его устойчивой работы в области  $\phi \leq 1$ , в первую очередь необходимо снизить температурную напряженность рабочего цикла. С этой целью целесообразно увеличивать рабочий объем цилиндров двигателя, что, в частности, позволяет предотвратить самовоспламенение благодаря снижению температуры стенок цилиндров. Хорошие результаты дают охлаждение зоны выпускного клапана, а также использование «холодной» свечи зажигания, снижающие тенденции водородных двигателей к детонации при работе на стехиометрических смесях. Однако наилучшие показатели двигателя обеспечиваются при использовании управляемой подачи (впрыска) водорода непосредственно в камеру сгорания. Помимо полного устранения обратных вспышек и преждевременного воспламенения смеси, при этом обеспечиваются более приемлемые скорости нарастания давления в цикле даже в области стехиометрических соотношений.

В случае обеднения смеси при подаче водорода во впускной трубопровод на режимах малых нагрузок и холостого хода также имеют место обратные вспышки, однако они не приводят к остановке

двигателя и проявляются только в колебаниях его оборотов. Частота обратных вспышек на этих режимах не зависит от типа свечи зажигания, так как основной причиной появления неустойчивости данного типа является относительно большое количество кислорода в остаточных газах, с которым активно реагирует водород в момент подачи в камеру сгорания.

Максимум индикаторного КПД водородного двигателя имеет место при  $\phi=2,5$  и  $2,7$  и при дальнейшем обеднении смеси несколько снижается. При этом оптимальный угол опережения зажигания изменяется в довольно широких пределах, например, при увеличении  $\phi$  от 1,0 до 3,1 соответственно от 1,5 до 25° при 1500 об/мин. Вследствие высокой скорости сгорания водорода оптимальный угол опережения зажигания даже для ультравысоких водородо-воздушных смесей ( $\phi=3,0$  и  $3,5$ ) не превышает оптимум угла опережения зажигания бензо-воздушных смесей с  $\phi=1,1$ .

Состав отработавших газов водородного двигателя существенно отличается от состава отработавших газов бензинового ДВС в основном за счет отсутствия углерода в топливе. Тем не менее в выхлопных газах водородного ДВС присутствует незначительное количество СО и СН (см. рис 2), наличие которых обусловлено выгоранием углеводородных смазок, попадающих в камеру сгорания. Максимальная величина эмиссии  $\text{NO}_x$  вследствие более высоких температур сгорания водорода примерно вдвое выше, чем у бензинового двигателя.

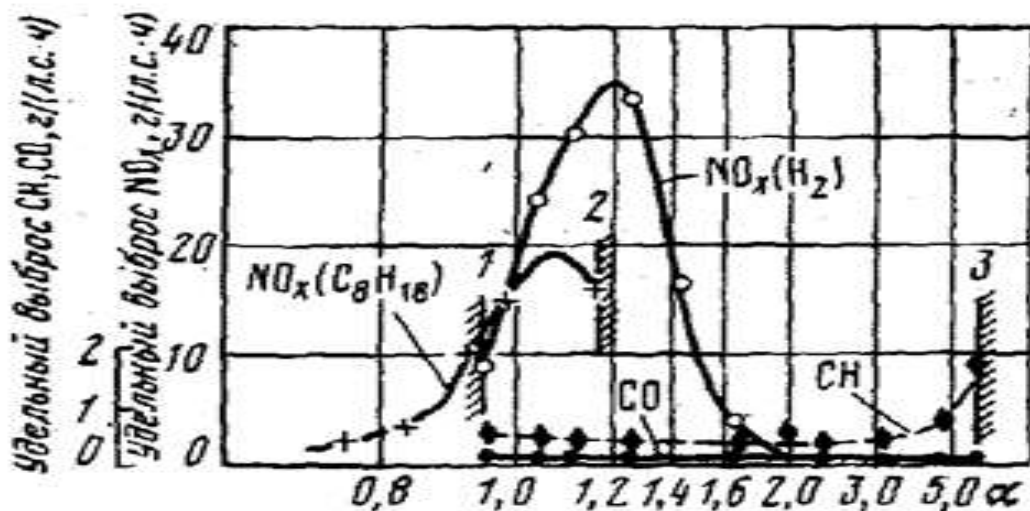


Рис 2. Состав отработавших газов водородного двигателя:

1-богатая граница устойчивой работы на водороде;

2-бедная граница устойчивой работы на изооктане;

3-бедная граница работы на водороде.

Добавка к водородному топливу воды позволяет резко снизить содержание окислов азота в ОГ без существенных потерь мощности двигателя или ухудшения его КПД.

В этом случае благодаря повышению реакционной способности топливо-воздушной смеси появляется возможность работы двигателя, как и в случае чистого водорода, на переобедненных смесях, главным образом в области частичных нагрузок и режиме холостого хода. Согласно экспериментальным данным, зависимость эффективного предела обеднения бензо –

водородных смесей от количества добавок водорода носит нелинейный характер:

Содержание H<sub>2</sub>% по массе

Нижняя граница устойчивой работы 0 10 20 40 100

ДВС, б 1,12 1,67 2,5 3,34 5,0

Поэтому наиболее целесообразно использование топливных смесей с добавкой водорода до 20% по массе, соответствующих пределу обеднения порядка б=2,5. Этот предел эффективного обеднения определен при условии устойчивой работы двигателя без пропусков сгорания. Пропуски сгорания достаточно точно могут быть определены по моменту резкого возрастания концентрации СН в ОГ ДВС, а также значительным колебаниям давления с понижением температуры в выпускном коллекторе.

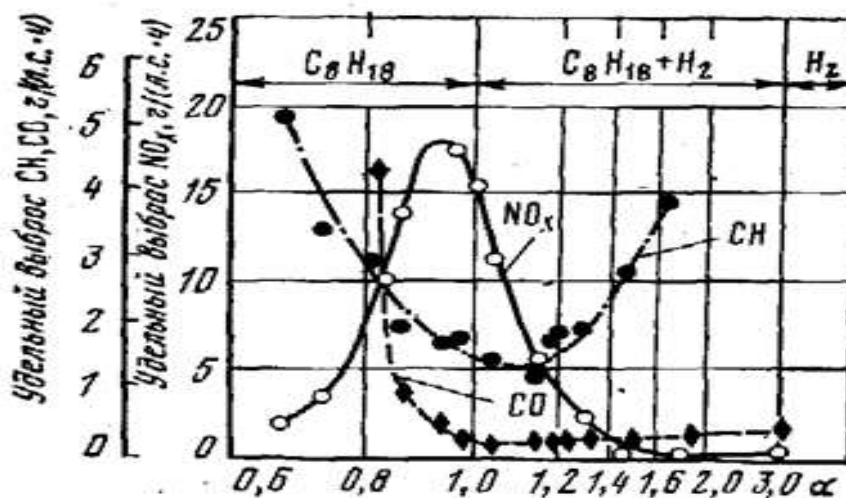


Рис.3. Изменение состава ОГ при работе двигателя на водородо - изооктановых смесях в области предельного обеднения.

На рис. 3 показано изменение состава ОГ по б при работе двигателя на добавках водорода, соответствующих рассмотренным нижним пределам обеднения топливной смеси. До  $\phi=1,1$  двигатель работает на чистом изооктане, затем постепенно наращивается процент водорода в смеси вплоть до перехода на чистый водород.

Изменение количества окислов азота при этом практически соответствует количеству  $\text{NO}_x$  в ОГ при работе ДВС на чистом водороде: при  $\phi > 1,8$  концентрация  $\text{NO}_x$  незначительна. Что касается эмиссии углеводородов, то после достижения минимума при  $\phi=1,25$  по мере дальнейшего обеднения смеси их количество в ОГ снова возрастает, отражая тем самым увеличение недогорания углеводородного топлива. В то же время работа двигателя в ультраобедной области лишь незначительно сказывается на эмиссии CO. Значение индикаторного КПД двигателя при переходе к переобедненным смесям возрастает от 33% для  $\phi=1$  до 37% при  $\phi=1,8$ , а индикаторная мощность уменьшается в том же диапазоне на 30% за счет снижения количества подведенного тепла.

При организации работы автомобиля на бензо - водородных смесях могут быть использованы следующие способы

дозирования водорода: 1) постоянная подача неизменного количества водорода независимо от режима работы двигателя; 2) регулируемая подача водорода, поддерживающая его определенную долю в топливной смеси (например, 10% от количества бензина на всех режимах работы двигателя).

Первый вариант дозирования отличается простотой, так как в этом случае требуется лишь дозирующая шайба, обеспечивающая определенный расход водорода на номинальном режиме работы двигателя. Для поддержания исходной теплопроизводительности топливной смеси количество подаваемого бензина следует уменьшать, в частности посредством отключения системы холостого хода карбюратора.

Необходимая работоспособность двигателя на холостом ходу и режимах малых нагрузок успешно обеспечивается водородо - воздушными смесями. На рис.6 представлено изменение параметров топливной смеси в эмиссии  $\text{NO}_x$  при различных скоростях движения с постоянным расходом добавки водорода, равным 18 г/мин. На основании этих данных можно заключить, что выброс  $\text{NO}_x$  при движении автомобиля со скоростью 30 км/ч примерно в 5 раз больше, чем при движении со скоростью 60-100 км/ч. Эта





закономерность обусловлена обогащением топливной смеси при низких скоростях движения автомобиля из-за постоянного расхода водорода.

Для поддержания постоянного соотношения «водород/топливо» и состава смеси на всех режимах работы требуется система дозирования водорода и бензина в соответствии с изменением расхода воздуха. Для этой цели может быть использован газовый редуктор в комбинации с бензиновым карбюратором. Результаты испытаний автомобиля с комбинированной системой подачи водорода и бензина представлены на рис.7.б. Добавка водорода на всех режимах поддерживалась практически постоянной – 10%, тогда как состав смеси изменялся от  $\phi=1,8$  на холостом ходу до  $\phi=1,5$  на скорости автомобиля 100 км/ч. Это сравнительно небольшое обогащение смеси на высоких скоростях

движения ведет к существенному увеличению выбросов  $\text{NO}_x$ . Тем не менее в условиях городского движения с низкими и средними скоростями этот способ дозирования, несомненно, обеспечивает более приемлемые уровни эмиссии  $\text{NO}_x$  с ОГ автомобиля. Это подтверждается результатами испытания автомобилей с рассмотренной системой дозирования топлива по стандартному ездовому циклу:

Компонент ОГ.....	$\text{NO}_x$	CO
Удельный выброс, г/км.....	0,24	2,1
	1,9	

Снижение добавок водорода до 5% позволяет сохранить максимальную мощность двигателя при определенном улучшении его экономических и токсических характеристик.

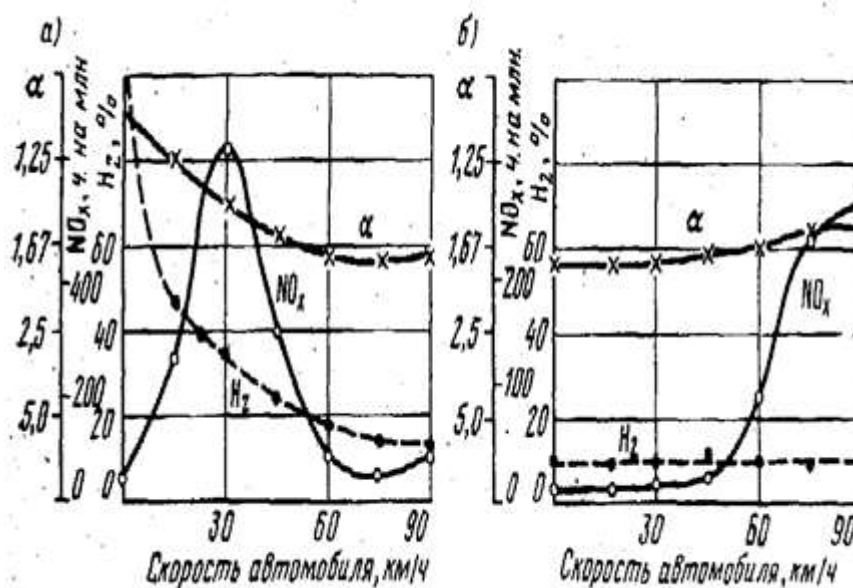


Рис.4. Характеристики топливной смеси и выбросы окислов азота при работе двигателя с различными способами добавки водорода:

а-постоянная добавка; б-регулируемая добавка.

В случае же применения бензоводородно-воздушных смесей с постепенным повышением доли водорода, по мере уменьшения нагрузки, преимущества применения водорода удастся реализовать

без заметных нежелательных последствий при достаточно высоких степенях сжатия. При такой организации управления на режиме холостого хода двигатель работает на водороде с  $\alpha = 5-6$ .

Преимущества применения водорода сводятся к следующему:



сырье, необходимое для получения водорода, имеется практически в неограниченных количествах;

повышение экономичности двигателя, прежде всего, благодаря применению качественного регулирования и обеспечению более полного и своевременного горения. При использовании низкооктановых топлив с оптимальной добавкой водорода повышение экономичности возможно вследствие увеличения степени сжатия;

полное исключение выбросов основного парникового газа — диоксида углерода и существенное снижение токсичности за счет уменьшения выбросов продуктов неполного окисления. При работе на бедных смесях малыми оказываются и выбросы оксидов азота.

#### Литература

1. *Лютикова Е.К., Кирюхин Ю.И., Антонова Л.Л., Федышина К.В., Самойлов Д.И., Мотлох Ч.Г., Фатеев В.Н. «Разработка стойких к СО электрокатализаторов для твердополимерных топливных элементов»//Международная конференция «Электрокатализ в электрохимической энергетике»: Тез.докл. –М., 2003, с. 21 .*
2. *Варшавский М.Л., Малое Р.В. Как обезвредить отработавшие газы автомобиля.- М.: Транспорт, 1968.-127 с:*
3. *Kojima Y. et al. Hydrogen generation using sodium borohydride solution and metal catalyst coated on metal oxide// Int. J. of Hydrogen Energy, 2002, 1029-1034.*
4. *МИ-2377-98. Разработка и аттестация методик выполнения измерений. – М.: ВНИИМС, 1998. – 31 с.*
5. *ГОСТ 20306-90. Топливная экономичность автотранспортных средств.*
6. *<http://www.truckportal.ru/publication/3283>*
7. *<http://greenvolt.ru/energiya-vody/vodorodnyj-dvigatel/>*