

ТОКСИЧНОСТЬ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ В БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЯХ ПРИ РАБОТЕ НА СЖАТОМ ПРИРОДНОМ ГАЗЕ И БЕНЗИНЕ

Н.М. Смоленская, В.В. Смоленский

Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти, Россия

Снижение токсичности отработавших газов бензиновых двигателей с искровым зажиганием обуславливается необходимостью снизить экологическую напряженность при активном использовании автотранспорта в крупных городах. Целью проводимой работы являлось выявление возможностей снижения токсичности отработавших газов двигателей с искровым зажиганием. Исследования проводились в условиях одноцилиндровой установки УИТ-85, имитирующей рабочий процесс при максимальной нагрузке и двигателе ВАЗ-2111 на режиме холостого хода. Эти режимы оказывают наибольшее влияние на токсичность бензинового двигателя. Экспериментальные исследования на двигателе ВАЗ-2111 проводились при стандартной степени сжатия 9,8 и при пониженной степени сжатия 7,5, за счет установки специальной алюминиевой пластины толщиной 4 мм. При проведении экспериментальных исследований фиксировалось давление в цилиндре двигателя, электропроводность пламени в зонах установки датчиков ионизации, а также расход топлива и воздуха на впуске и характеристики токсичности отработавших газов. В качестве топлива использовался бензин и сжатый природный газ. Для оценки возможностей снижения токсичности за счет активизации процесса сгорания для испытаний на двигателе ВАЗ-2111 применялась добавка водорода в размере 4 % (0,02 кг/ч) и 6 % (0,03 кг/ч) от массы топлива. При исследованиях на УИТ-85 для бензина применялась добавка водорода в 5 % и для сжатого природного газа 5, 10, 15 % соответственно. Показано, что природный газ может обеспечить снижение токсичности отработавших газов как по оксидам азота, так и по углекислоте и монооксиду углерода, при сохранении мощностных показателей работы двигателя, если будут подобраны оптимальные углы опережения зажигания. Для эффективного сгорания при работе на холостом ходу необходимо применение способов интенсификации процесса сгорания, как вариант показано эффективное воздействие водорода при добавке в 4 % от массы топлива. При этом влияние водорода более эффективно при работе на природном газе.

Ключевые слова: сжатый природный газ, бензин, водород, токсичность отработавших газов, ДВС с искровым зажиганием.

Введение

Повышение экологической безопасности автомобильных двигателей является общемировой тенденцией. Это связано с попытками улучшить экологическую обстановку в крупных городах, где на долю автомобилей выпадает до 50 % всех загрязнений, выделяемых в воздух. При этом двигатель с искровым зажиганием является основным источником энергии для большинства легковых автомобилей. Поэтому постоянно ужесточаются требования к экологической безопасности выпускаемых автомобилей. В результате чего происходит постепенный переход от бензиновых двигателей к газовым, как экологически более чистым [1]. Также активно исследуются и уже находят свое применение двигатели с добавкой водорода [2–5]. В большей степени это относится к газовым двигателям [6–8]. Сжатый природный газ (СПГ) с добавками водорода требует минимальной адаптации системы питания, используемой для СПГ [9–11]. В связи с этим в работе проведен анализ влияния вида топлива (бензин, бензин с добавкой до 6 % водорода, СПГ, СПГ с добавкой до 15 % водорода) на токсичность отработавших газов в одноцилиндровой исследовательской установке и четырехцилиндровом бензиновом двигателе с искровым зажиганием на режиме холостого хода.

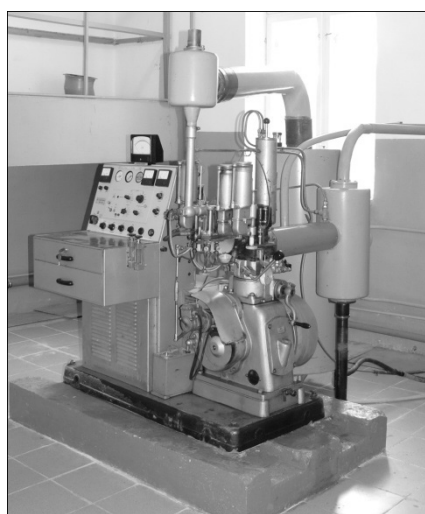
Контроль и испытания

1. Экспериментальное оборудование

Экспериментальные исследования проводились на одноцилиндровой установке УИТ-85 (рис. 1а) и на двигателе ВАЗ-2111 (рис. 1б), в том числе и с пониженной степенью сжатия за счет применения специально изготовленной для проведения экспериментов исследовательской алюминиевой пластины (рис. 1в) толщиной 4 мм. Основные характеристики применяемых двигателей с искровым зажиганием и исследуемые режимы работы приведены в таблице.

Основные характеристики применяемых двигателей и исследуемые режимы работы

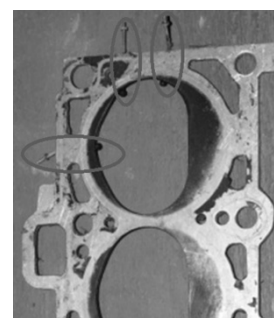
Тип	УИТ-85	ВАЗ-2111	ВАЗ-2111 с пластиной
Число цилиндров	1	4	4
Рабочий объем, л	0,652	1,499	1,499
Степень сжатия	7	9,8	7,5
Диаметр цилиндра, мм	85	82	82
Ход поршня, мм	115	71	71
Длина шатуна, мм	266	121	121
Частота вращения, мин ⁻¹	900	880	880
Подача топлива: – бензин; – сжатый природный газ; – водород	– карбюратор; – форсункой во впускной коллектор; – форсункой во впускной коллектор	– форсункой на клапан; – форсункой во впускной коллектор; – форсункой во впускной коллектор	– форсункой на клапан; – форсункой во впускной коллектор; – форсункой во впускной коллектор
Исследуемые режимы работы: – нагрузка; – угол опережения зажигания; – состав смеси по коэффициенту избытка воздуха	– максимальная, не регулируется; – 13° ПКВ для всех режимов – от 0,85 до 1,42 при работе на бензине – от 0,73 до 1,5 при работе на СПГ	– холостой ход – от 24° до 35° ПКВ для бензина – от 30° до 42° ПКВ для СПГ – от 0,7 до 1,5 при работе на бензине – от 0,82 до 1,6 при работе на СПГ	– холостой ход – от 35° до 42° ПКВ для всех исследуемых видов топлива – от 0,76 до 1,42 при работе на бензине – от 0,9 до 1,42 при работе на СПГ



а)



б)



в)

Рис. 1. Внешний вид исследуемых двигателей: а – одноцилиндровая установка УИТ-85; б – двигатель ВАЗ-2111; в – исследовательская пластина с датчиками ионизации, снижающая степень сжатия двигателя ВАЗ-2111 до 7,5

Оценку токсичности отработавших газов проводили переносными газоанализаторами фирмы «МЕТА» Автотест-01.03П и Автотест-02.03П, которые определяли концентрацию токсичных компонентов (NO_x , CH и CO) в выхлопных газах.

2. Экспериментальные исследования

Рассмотрим влияние вида топлива на токсичность отработавших газов при работе на исследовательской одноцилиндровой установке УИТ-85. Работа на УИТ-85 по температуре в процессе сгорания соответствует работе атмосферного двигателя на максимальных нагрузках. На рис. 2 представлена токсичность по продуктам неполного сгорания, где на рис. 2а представлена концентрация по углеводородам (CH) в отработавших газах, а на рис. 2б – монооксида углерода (CO). А на рис. 3 представлена токсичность по оксидам азота (NO_x). Как видим из представленных рисунков, токсичность по CO не зависит от вида топлива, а определяется, в большей мере, коэффициентом избытка воздуха (рис. 2б). В то же время токсичность по CH и NO_x зависит от характера протекания сгорания, что соответственно и отражается на рис. 2а и рис. 3. На рис. 2а мы видим большие значения токсичности по углеводородам при работе на СПГ. При добавке водорода в СПГ значения уменьшаются, но все равно больше, чем при работе на бензине с водородом. При этом на рис. 3 наблюдаются близкие значения по NO_x при работе на СПГ, бензине и СПГ и бензине при добавке 5 % водорода. При увеличении доли водорода в СПГ до 10 и 15 % токсичность по NO_x соответственно возрастает. Такие результаты по токсичности отработавших газов объясняются следующими причинами. Во-первых, масса отработавших газов при переходе на сжатый природный газ снижается примерно на 10 %. Во-вторых, приведены результаты при постоянном угле опережения зажигания, а характеристики сгорания СПГ и бензина сильно отличаются. Так, при сгорании СПГ значительно увеличивается первая фаза сгорания [12]. Это увеличивает продолжительность всего процесса сгорания. В то же время за счет большей ламинарной скорости сгорания имеется высокая скорость тепловыделения в конце основной фазы сгорания [13], что отражается в близких к максимальным значениям температуры и, следовательно, высокой концентрацией оксидов азота. На токсичность по CH в большей степени оказывают влияние параметры пристеночного слоя [14]. Пристеночный слой при работе на СПГ становится больше по площади из-за увеличения продолжительности сгорания. При этом плотность пристеночного слоя также достаточно высока в связи с высокими скоростями тепловыделения в конце процесса сгорания. Это приводит к увеличению удельной токсичности отработавших газов по углеводородам. Добавка водорода в СПГ приводит к большему увеличению скорости активации процесса сгорания. Это сказывается в значительном сокращении задержки воспламенения. Разница в продолжительности первой фазы сгорания при работе на бензине с добавкой водорода и СПГ с добавкой водорода становится не значительной. Это приводит к более заметному снижению токсичности по CH для СПГ. Также для СПГ добавка водорода более значительно увеличивает NO_x [15]. Это показывает большую зависимость токсичности отработавших газов при добавке водорода в СПГ, чем в бензин.

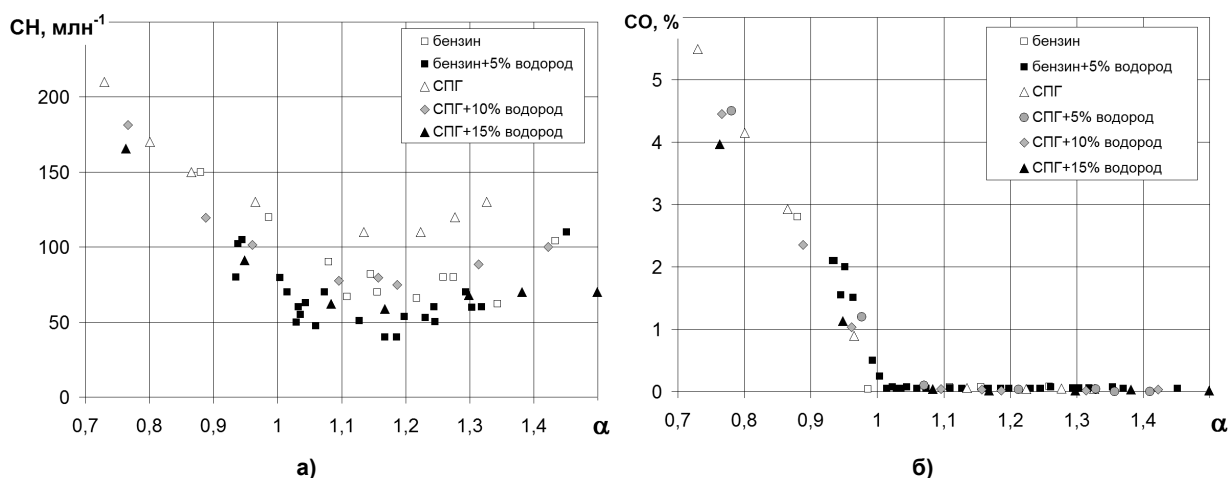


Рис. 2. Концентрация токсичных компонентов в отработавших газах для УИТ-85 при работе на бензине, бензине с 5 % водорода, СПГ и СПГ с водородом: а – несгоревшие углеводороды (CH); б – оксид углерода (CO)

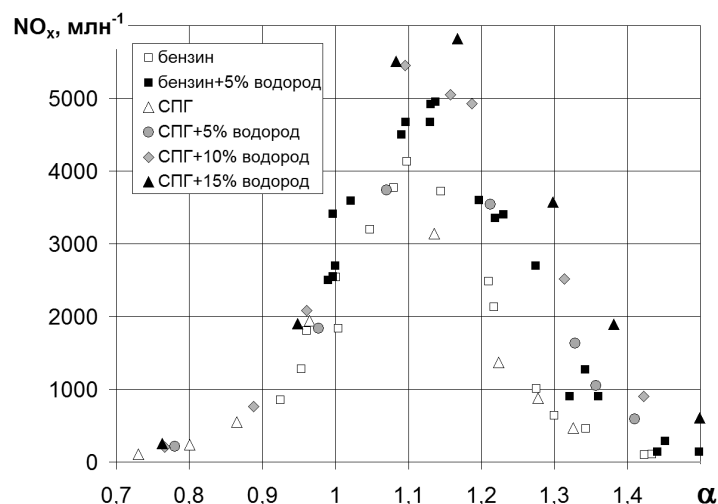


Рис. 3. Концентрация оксидов азота (NOx) в отработавших газах для УИТ-85 при работе на бензине, бензине с 5 % водорода, СПГ и СПГ с водородом

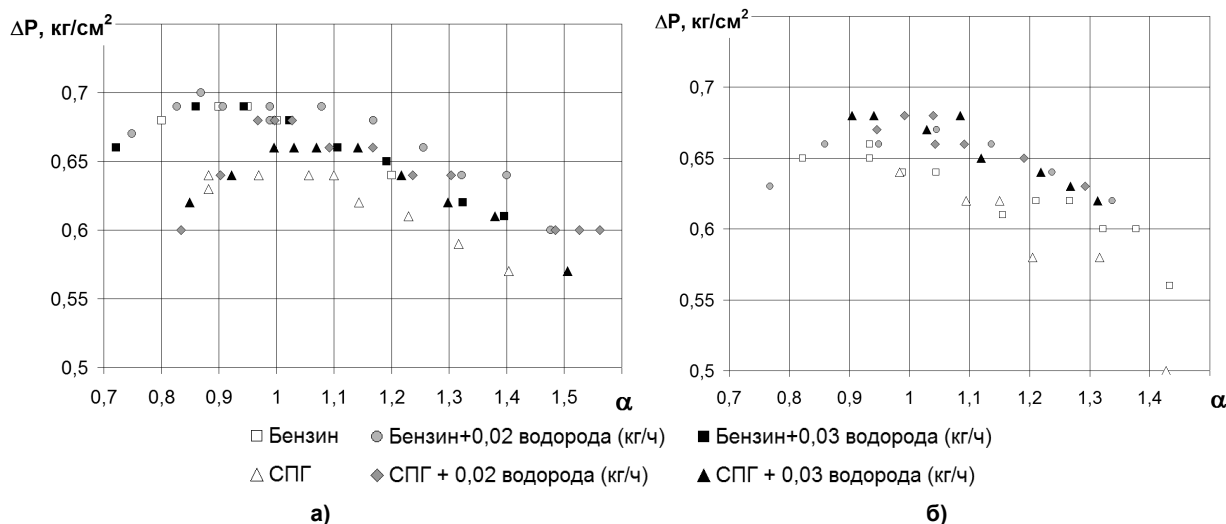


Рис. 4. Разряжение во впускном трубопроводе на режиме холостого хода в двигателе VAZ-2111 при работе на бензине, бензине с водородом, СПГ и СПГ с водородом: а – степень сжатия 9,8; б – степень сжатия 7,5

На работу двигателя на режиме холостого хода большое влияние оказывает степень разбавленности рабочей смеси остаточными газами [16]. Количество остаточных газов зависит от положения дроссельной заслонки, которая создает разряжение во впускном трубопроводе. На рис. 4 представлено разряжение во впускном трубопроводе на режиме холостого хода двигателя VAZ-2111 при работе на бензине, бензине с водородом, СПГ и СПГ с водородом, для степени сжатия 9,8 (рис. 4а) и степени сжатия 7,5 (рис. 4б). Из рис. 4а видно, что при работе на бензине и бензине с водородом разряжение во впускном трубопроводе находится в области одной кривой, а при работе на СПГ разряжение уменьшается. Это связано с большим открытием дроссельной заслонки. Добавка водорода в СПГ повышает эффективность процесса сгорания и на бедных смесях заслонка для СПГ с водородом закрывается полностью. При работе двигателя при степени сжатия 7,5 наблюдается схожая картина. При работе на СПГ с водородом и бензине с водородом разряжение находится в области одной кривой, а при работе на СПГ и бензине требуется большее открытие дроссельной заслонки для устойчивой работы двигателя, в связи с уменьшением эффективности процесса сгорания при уменьшении степени сжатия.

Характеристику разряжения во впускном трубопроводе дополняют результаты характеристики расхода воздуха, представленные на рис. 5. В целом характеристика расхода воздуха соответствует показаниям разряжения во впускном трубопроводе. При большем разряжении больше

сопротивление и меньше расход воздуха, то есть в цилиндре двигателя больше доля остаточных газов, затрудняющих нормальное протекание процесса сгорания. Из рис. 5а видно, что характеристика расхода воздуха для бензина и СПГ лежит на одной кривой, а при добавке водорода часть воздуха вытесняется, что соответствует снижению расхода воздуха. Для степени сжатия 7,5 (рис. 5б) наблюдается схожая картина, только для обеспечения устойчивой работы двигателя расход воздуха несколько выше, чтобы компенсировать потери от меньшей эффективности процесса сгорания при сниженной степени сжатия.

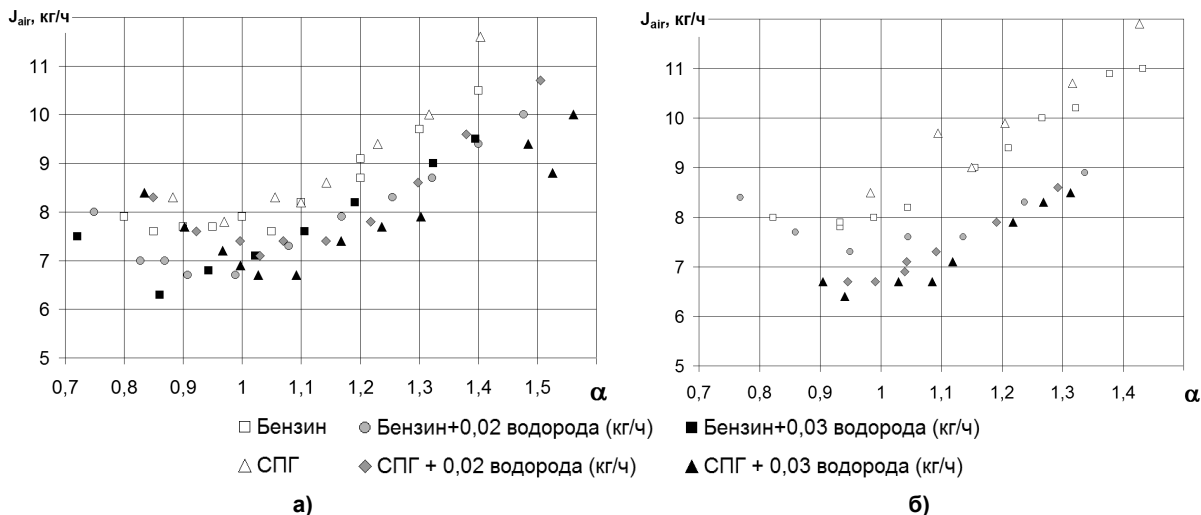


Рис. 5. Расход воздуха на режиме холостого хода в двигателе ВАЗ-2111 при работе на бензине, бензине с водородом, СПГ и СПГ с водородом: а – степень сжатия 9,8; б – степень сжатия 7,5

Рассмотрим влияние вида топлива на токсичность при работе двигателя на холостом ходу при степенях сжатия 9,8 и 7,5. На рис. 6 представлена концентрация СН в отработавших газах в зависимости от коэффициента избытка воздуха. Из рис. 6а и 6б видно, что токсичность по СН при работе на СПГ и бензине находится на одной кривой и слабо зависит от степени сжатия. Добавка водорода в бензин приводит к некоторому снижению токсичности [17]. Значительное снижение токсичности по СН наблюдается при добавке водорода в СПГ, что заметно для обеих рассматриваемых степеней сжатия. Это объясняется лучшей активацией процесса сгорания сжатого природного газа в начальной фазе сгорания. В основной фазе сгорания СПГ за счет своей более высокой диффузионной активности позволяет осуществить быстрое и полное сгорание [18].

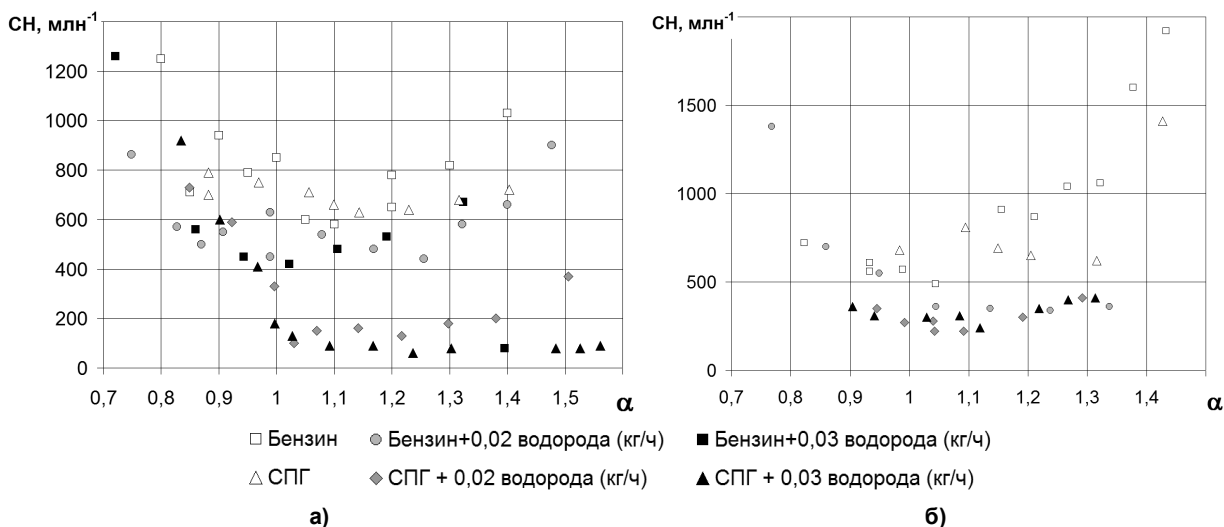


Рис. 6. Концентрация СН в отработавших газах на режиме холостого хода в двигателе ВАЗ-2111 при работе на бензине, бензине с водородом, СПГ и СПГ с водородом: а – степень сжатия 9,8; б – степень сжатия 7,5

Контроль и испытания

На рис. 7 представлена концентрация CO для степеней сжатия 9,8 и 7,5. Для бедных смесей (от 1 до 1,6) при степени сжатия 9,8 концентрация CO колеблется в интервале от 0,15 до 0,3 %, причем нижние значения соответствуют работе на СПГ, СПГ с добавкой водорода и бензине с добавкой водорода. При работе на бензине CO составляет от 0,28 до 0,4 %. В зоне богатых смесей также наблюдается более высокая токсичность у бензина, чем у других вариантов топлива. При степени сжатия 7,5 картина в целом похожа, только в зоне бедных смесей значения по CO уже лежат в одном диапазоне от 0,24 до 0,42 для всех видов топлива. Для богатой смеси картина схожа, но при снижении степени сжатия токсичность по CO возросла. Такие результаты показывают, что при снижении степени сжатия в забалластированной рабочей смеси остаточными газами снижается полнота сгорания топлива, что отражается в увеличении концентрации CO в отработавших газах.

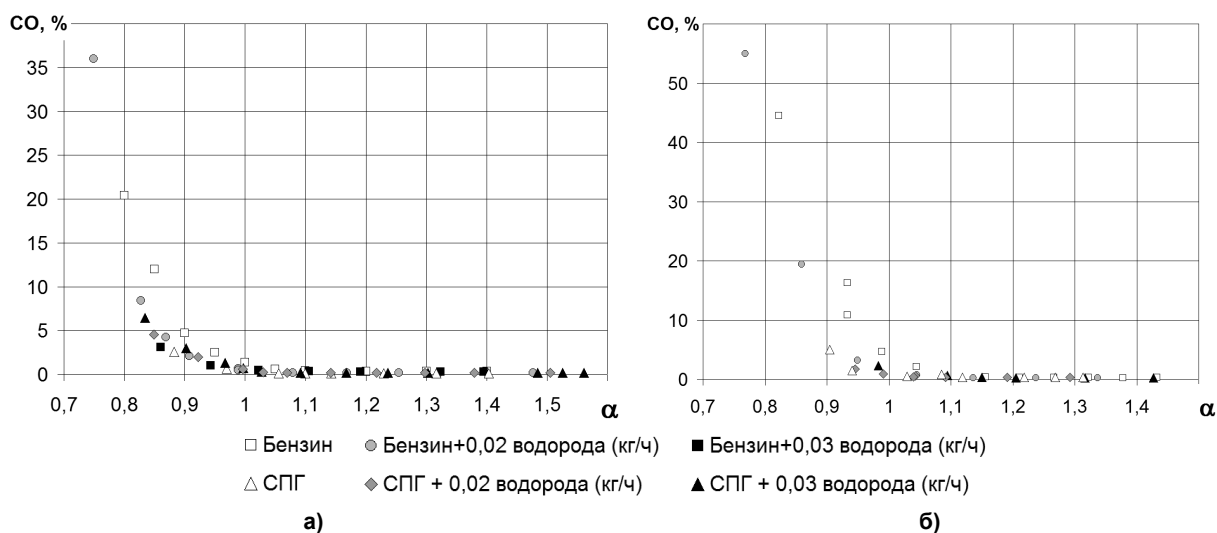


Рис. 7. Концентрация CO в отработавших газах на режиме холостого хода в двигателе VAZ-2111 при работе на бензине, бензине с водородом, СПГ и СПГ с водородом: а – степень сжатия 9,8; б – степень сжатия 7,5

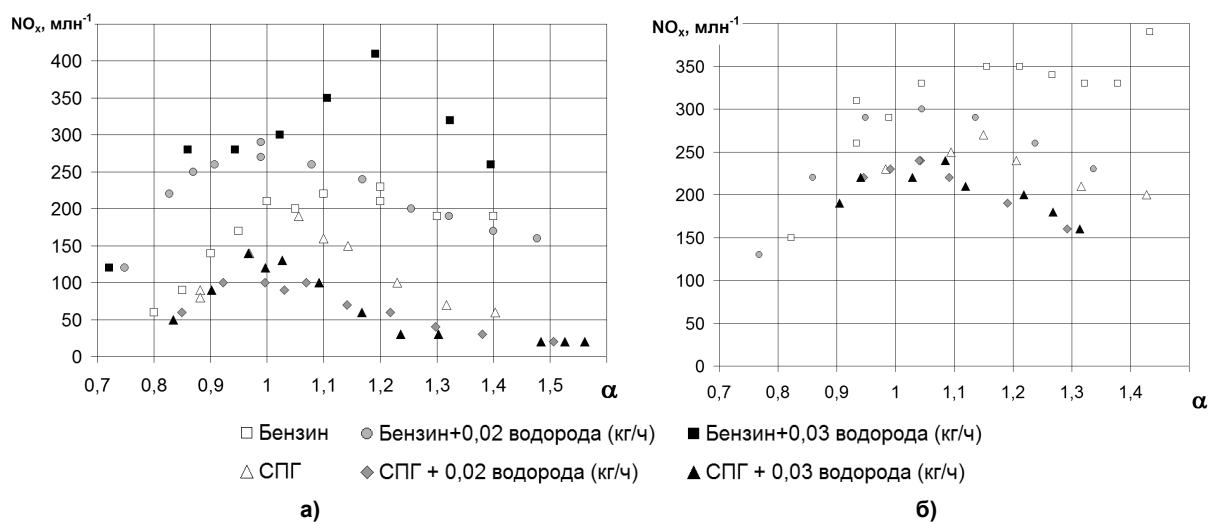


Рис. 8. Концентрация NO_x в отработавших газах на режиме холостого хода двигателя VAZ-2111 при работе на бензине, бензине с водородом, СПГ и СПГ с водородом: а – степень сжатия 9,8; б – степень сжатия 7,5

На рис. 8 представлена концентрация NO_x для степеней сжатия 9,8 и 7,5. Для степени сжатия 9,8 характерна следующая картина, при добавке водорода в бензин происходит заметное повышение токсичности по NO_x для всех коэффициентов избытка воздуха. Это показывает увеличение скорости тепловыделения при добавке водорода для одинакового положения дроссельной заслонки. В то же время при добавке водорода в СПГ наблюдается снижение NO_x, в зоне бедных смесей (от 1 до 1,5), это происходит за счет большего закрытия дроссельной заслонки и умень-

шения наполнения цилиндров. Таким образом, хотя водород и увеличивает скорость тепловыделения, но за счет уменьшения количества введенного в цилиндр двигателя тепла с топливом при увеличении концентрации остаточных газов, температура в процессе сгорания снижается, что отражается снижением NO_x . Эти результаты хорошо иллюстрируются рис. 8б, где видно, что при добавке водорода и большем закрытии дроссельной заслонки обеспечивается снижение NO_x как для СПГ, так и для бензина. Этот эффект особенно заметен на бедных смесях, где концентрация NO_x ограничивается только температурой процесса сгорания.

Выводы

1. Показано неоднозначное влияние добавки водорода к основному топливу (СПГ и бензин) на токсичность отработавших газов. Имеется некоторое снижение продуктов неполного сгорания CH и CO , но в то же время заметно увеличивается по NO_x .

2. Показано, что СПГ может обеспечить снижение токсичности отработавших газов как для NO_x , так и для CH и CO , при сохранении мощностных показателей работы двигателя, если будут подобраны оптимальные углы опережения зажигания.

3. Получено значительное снижение токсичности как для NO_x , так и для CH и CO , при переходе с бензина на СПГ на режиме холостого хода. Но для эффективного сгорания необходимо применение способов интенсификации процесса сгорания в сильно забалластированной отработавшими газами рабочей смеси. В качестве варианта предложено применение добавки водорода в топливо для снижения токсичности, тем более, что принципиальной разницы в добавке 4 % (0,02 кг/ч) или 6 % (0,03 кг/ч) водорода не было обнаружено.

4. Применение пониженной степени сжатия на режиме холостого хода позволило лучше показать влияние степени дросселирования на показатели токсичности двигателя. Показано, что не сама степень забалластированности влияет на характер протекания процесса сгорания, а условия образования устойчивого очага горения. Если инициация процесса сгорания произошла успешно, то высокое содержание остаточных газов в рабочей смеси, снижает концентрацию токсичных компонентов в продуктах сгорания.

Обсуждение и применение

Полученные результаты отражают основные вопросы, связанные с применением водорода в качестве активатора процесса сгорания основных углеводородных топлив (бензин и СПГ) для двигателей с искровым зажиганием [19–21]. Водород повышает скорость тепловыделения и полноту сгорания топлива, что приводит к увеличению токсичности по оксидам азота и снижению токсичности отработавших газов по CH , как при работе на СПГ, так и на бензине, при постоянном положении дроссельной заслонки. В случае с холостым ходом и малыми нагрузками, добавка водорода стабилизирует процесс сгорания, что позволяет больше прикрыть дроссельную заслонку, это приводит к снижению токсичности отработавших газов, как по NO_x , так и по продуктам неполного сгорания CH и CO . При этом следует отметить, что влияние водорода в таких случаях более эффективно при работе на СПГ, что в сумме с более простой компоновкой системы питания (водород можно заправлять вместе с СПГ в один баллон при заправке и использовать одну универсальную систему питания для СПГ и СПГ с водородом) делает этот вид топлива вполне реальным для массового применения уже в ближайшей перспективе. Использование водорода в качестве добавки к бензину не приносит столько положительных результатов, но при этом значительно удорожает стоимость топливной системы. Сравнивая характеристики по токсичности СПГ и бензина, можно отметить, что СПГ снижает токсичность при работе на холостом ходу при оптимальном угле опережения зажигания (угол увеличился на 5° – 8° ПКВ по сравнению с работой на бензине). Такая же картина будет наблюдаться, если использовать оптимальный угол опережения зажигания при работе на полных нагрузках. При сгорании СПГ образуются более легкие CH , которые легче доокисляются в системах нейтрализации отработавших газов. Единственным недостатком применения сжатого природного газа является снижение около 10 % наполнения цилиндров, что сказывается на уменьшении максимальной мощности двигателя. Это решается установкой компрессора, что является эффективным решением в связи с высокими детонационными свойствами природного газа.

Литература / References

1. Wallington T. J., Kaiser E. W., Farrell J. T. Automotive Fuels and Internal Combustion Engines: A Chemical Perspective. *The Royal Society of Chemistry*, 2006, vol. 35, pp. 335–347. DOI: 10.1039/B410469M

2. Das L., Gulati R., Gupta P. Comparative Evaluation of the Performance Characteristics of a Spark Ignition Engine Using Hydrogen and Compressed Natural Gas as Alternative Fuels. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2000, vol. 25 (8), pp. 783–93. DOI: 10.1016/S0360-3199(99)00103-2
3. Ranjan R., Tyagi R.K. Emission Characteristic of Hydrogen and Gasoline Blend in Spark-Ignited Engine. *International Journal of Ambient Energy*, 2015. DOI: 10.1080/01430750.2015.1023840
4. Das L.M. Hydrogen Engine: Research and Development Programmes in Indian Institute of Technology, Delhi. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2002, vol. 27 (9), pp. 953–65. DOI: 10.1016/S0360-3199(01)00178-1
5. Unich A., Morrone B., Mariani A. The Impact of Natural Gas – Hydrogen Blends on Internal Combustion Engines Performances and Emissions. *SAE Paper*, 2009, 2009-24-0102. DOI: 10.4271/2009-24-0102
6. Sierens R., Rosseel E. Variable Composition Hydrogen/Natural Gas Mixtures for Increased Engine Efficiency and Decreased Emissions. *Eng. Gas Turbines Power*, vol. 122, iss. 1, pp. 135–140. DOI: 10.1115/1.483191
7. Mohammed S.E., Baharom M.B., Aziz A.R. Analysis of Engine Characteristics and Emissions Fueled by In-Situ Mixing of Small Amount of Hydrogen in CNG. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2011, vol. 36 (6), pp. 4029–4037. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2010.12.065
8. Ma F. Wang Y., Liu H.Q., Li Y. Experimental Study on Thermal Efficiency and Emission Characteristics of a Lean Burn Hydrogen Enriched Natural Gas. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2007, vol. 32, pp. 5067–5075. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2007.07.048
9. Wallace J.S., Cattelan A.I. Hythane and CNG Fuelled Engine Exhaust Emission Comparison. *Proceedings 10th World Hydrogen Energy Conference*, 1994, pp.1761–1770.
10. Al-Janabi H., Al-Baghdadi S. A Prediction Study of the Effect of Hydrogen Blending on the Performance and Pollutants Emission of a Four Stroke Spark Ignition Engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 1999, vol. 24, pp. 363–375.
11. Chatterjee A., Dutta S., Mandal B.K. Combustion Performance and Emission Characteristics of Hydrogen as an Internal Combustion Engine Fuel. *Journal of Aeronautical and Automotive Engineering (JAAE)*, 2014, vol. 1, no. 1, September, pp. 1–6.
12. Tinaut F.V., Melgar A., Gimenez B., Reyes M. Prediction of Performance and Emissions of an Engine Fuelled with Natural Gas/Hydrogen Blends. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2011, vol. 36, pp. 947–956. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.10.025>.
13. Andrea T.D., Henshaw P.F., Ting D.S.K. Formation and Restraint of Toxic Emissions in Hydrogen-Gasoline Mixture Fuelled Engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 1998, vol. 23, pp. 971–975. DOI: 10.1016/S0360-3199(97)00141-9
14. Ji C., Wang S. Effect of Hydrogen Addition on Combustion and Emissions Performance of a Spark Ignition Gasoline Engine at Lean Conditions. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2009, vol. 34, pp. 7823–7834. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2009.06.082
15. Zervas E., Montagne X., Lahaye J. Influence of Fuel and Air/Fuel Equivalence Ratio on the Emission of Hydrocarbons from a SI Engine. *Fuel*, 2004, vol. 83 (17–18), pp. 2301–2311. DOI: 10.1016/j.fuel.2004.06.029
16. Smolenskaya N.M., Smolenskii V.V., Bobrovskij I. Research of Polytropic Exponent Changing for Influence Evaluation of Actual Mixture Composition on Hydrocarbons Concentration Decreasing on Deep Throttling Operation. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2017, vol. 50, 012016. DOI: 10.1088/1755-1315/50/1/012016
17. Smolenskaya N.M., Smolenskii V.V., Korneev N.V. Increase in the Thermodynamic Efficiency of the Working Process of Spark-Ignited Engines on Natural Gas with the Addition of Hydrogen. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2018, vol. 121, 052009. DOI: 10.1088/1755-1315/121/5/052009
18. Li H., Karim G.A. Knock in Spark Ignition Hydrogen Engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2004, vol. 29 (8), pp. 859–65. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2003.09.013>.
19. Sharma S.K., Goyal P. and Tyagi R.K. Hydrogen-Fueled Internal Combustion Engine: A Review of Technical Feasibility. *International Journal of Performability Engineering*, 2015, vol. 11, no. 5, September, pp. 491–501.
20. Xu J., Zhang X., Liu J., Fan L. Experimental Study of a Single Cylinder Engine Fueled with Natural Gas – Hydrogen Mixtures. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2010, vol. 35 (7), pp. 2909–2914. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2009.05.039

21. Kahraman E., Ozcanlı S.C., Ozerdem B. An Experimental Study on Performance and Emission Characteristics of a Hydrogen Fuelled Spark Ignition Engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2007, vol. 32, pp. 2066–2072. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2012.09.037

Смоленская Наталья Михайловна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Общая и теоретическая физика», Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти, nata_smolenskaya@mail.ru.

Смоленский Виктор Владимирович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Энергетические машины и системы управления», Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти, biktorm@mail.ru.

Поступила в редакцию 27 ноября 2018 г.

DOI: 10.14529/engin180406

TOXICITY OF EXHAUST GASES IN GASOLINE ENGINES POWERED WITH COMPRESSED NATURAL GAS AND GASOLINE

N.M. Smolenskaya, nata_smolenskaya@mail.ru,

V. V. Smolenskii, biktorm@mail.ru

Togliatti State University, Togliatti, Russian Federation

The need to reduce environmental stress caused by active use of vehicles in large cities calls for reducing the toxicity of exhaust gases emitted by gasoline engines with spark ignition. The research aimed to find ways to reduce the toxicity of exhaust gases emitted by spark-ignition engines. The studies were carried out on a single-cylinder UIT-85 simulating the working process under maximum load and on a VAZ-2111 engine in idle mode. These modes have the greatest impact on the toxicity of a gasoline engine. Experimental studies on the VAZ-2111 engine were conducted at a standard compression ratio of 9.8 and at a reduced compression ratio of 7.5 using a special four-millimeter-thick aluminum plate. During the experimental studies, we recorded the pressure in the engine cylinder, the electrical conductivity of the flame in the zones of ionization sensors, as well as the consumption of fuel and air at the inlet and the toxicity characteristics of the exhaust gases. Gasoline and compressed natural gas were used as fuel. To assess the potential for reducing toxicity by intensifying the combustion process in VAZ-2111 engine, we used a hydrogen additive in the amount of 4 % (0.02 kg / h) and 6 % (0.03 kg / h) of the fuel mass. When studying UIT-85, we used a 5 % hydrogen additive for gasoline and a 5, 10, 15 % hydrogen additive for compressed natural gas. It was shown that natural gas can reduce the toxicity of exhaust gases, reducing the content of nitrogen oxides, hydrocarbons, and carbon monoxide. The engine performance indicators remain the same, if the optimal ignition dwell angles are selected. For efficient combustion at idle mode, methods for intensifying the combustion process have to be applied. We showed an example of effective impact of hydrogen additive in amount of 4 % of the fuel mass. At the same time, the effect of hydrogen is more effective when engines are powered with natural gas.

Keywords: compressed natural gas, gasoline, hydrogen, exhaust gas toxicity, spark-ignition engine.

Received 27 November 2018

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Смоленская, Н.М. Токсичность отработавших газов в бензиновых двигателях при работе на сжатом природном газе и бензине / Н.М. Смоленская, В.В. Смоленский // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2018. – Т. 18, № 4. – С. 57–65. DOI: 10.14529/engin180406

FOR CITATION

Smolenskaya N.M., Smolenskii V.V. Toxicity of Exhaust Gases in Gasoline Engines Powered with Compressed Natural Gas and Gasoline. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2018, vol. 18, no. 4, pp. 57–65. (in Russ.) DOI: 10.14529/engin180406