

## Особенности работы моющих присадок применительно к бензинам различного группового состава

© А.Ю. Шабанов<sup>1</sup>, Ю.В. Галышев<sup>1</sup>, А.Б. Зайцев<sup>1</sup>, С.В. Буторов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> СПбПУ, Санкт-Петербург, 195251, Россия

<sup>2</sup> ООО «Газпромнефть-Развитие», Санкт-Петербург, 197198, Россия

*Для решения задачи повышения качества применяемых топлив в двигателях внутреннего сгорания предложен комплексный подход, предусматривающий использование присадок к бензину, одновременно повышающих моющие свойства и полноту сгорания топлива. Представлены результаты лабораторных исследований современных бензинов и моторно-стендовых испытаний бензинового впрыскового двигателя при его работе на бензинах разного группового и оксигенатного состава, в том числе с содержанием моющей присадки и активатора горения. Рассмотрены связи между групповым и оксигенатным составами бензина, концентрацией введенной присадки и технико-экономическими и экологическими показателями работы бензинового двигателя. Определена оптимальная концентрация ввода многофункциональной присадки в бензины разного группового состава. Показано, что эффективность работы присадки ухудшается при повышении содержания оксигенатов.*

**Ключевые слова:** бензин, групповой состав, оксигенаты, моющие присадки, активаторы горения, моторно-стендовые испытания, нагарообразование, токсичность отработавших газов

Современные брендовые автомобильные бензины практически всегда содержат моющие присадки, предназначенные для снижения уровня отложений в системе топливоподачи, впускных каналах и на впускных клапанах, в камере сгорания двигателя [1–6].

Часто моющая присадка комбинируется с активатором горения топлива, с помощью которой достигается повышение скорости и полноты сгорания топлива в двигателе. В результате его работы усиливается действие моющей присадки путем активации «горячей» очистки камеры сгорания — температурного разрушения твердых сажистых отложений на огневых поверхностях головки цилиндров и поршней. В результате улучшаются условия сгорания топливовоздушной смеси, отдалается порог детонации в двигателе, снижается вероятность возникновения калильного воспламенения. Одним из преимуществ использования бензинов, содержащих комплексный пакет присадок, является уменьшение скорости загрязнения активной зоны катализаторов системы подавления токсичности отработавших газов, следовательно, продление их срока службы [5, 6]. Кроме того, увеличение скорости и полноты сгорания топлива способствует повышению мощности и снижению расхода топлива двигателя [5, 6].

Комплексный пакет присадок автомобильного бензина предназначен для достижения двух целей. Во-первых, улучшение качества сгорания топлива способствует уменьшению склонности топлива к образованию отложений. Сгорание происходит с образованием меньшего количества сажистых отложений, негативно влияющих на рабочий процесс двигателя. Во-вторых, моющий компонент пакета способствует удалению органических отложений в «холодной» части топливной системы (топливном баке, топливопроводах, дозирующих элементах системы топливоподдачи), накопленных за время предыдущей эксплуатации двигателя и нарушающих процесс смесеобразования. Кроме того, он должен инициировать «горячую» очистку огневых поверхностей камеры сгорания двигателя.

Опыт многочисленных экспериментальных исследований, проведенных авторами статей [7, 8], показал, что эффективность работы пакета присадок существенно зависит от группового состава базового топлива. При этом данный вопрос практически полностью игнорируется производителями присадок, рекомендации которых по дозировке пакета являются общими для любых видов базовых бензинов.

Цель статьи — экспериментальное исследование влияния группового состава бензина на работу комплексной многофункциональной моющей присадки отечественного производства, входящей в его состав, для доказательства необходимости последующей оптимизации концентрации ввода присадки в соответствии с составом каждого базового бензина.

Испытаниям подлежали четыре вида базовых бензинов АИ-92 с разным содержанием ароматических углеводородов и кислородосодержащих компонентов. Физико-химические показатели базовых бензинов приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Физико-химические показатели базовых бензинов**

Параметр	Образец бензина			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Октановое число по исследовательскому методу, ед.	92,6	92,1	92,7	93,1
Октановое число по моторному методу, ед.	83,1	83,0	83,5	88,4
Фракционный состав:				
– объемная доля испарившегося бензина при температуре 70° С, %	32,2	35,0	42,3	52,4
– объемная доля испарившегося бензина при температуре 100° С, %	53,3	54,0	61,3	59,1
– объемная доля испарившегося бензина при температуре 150° С, %	86,3	81,2	87,4	82,3
– конец кипения, °С	195	209	186	212
– остаток в колбе, % (об.)	1,3	1,0	1,0	1,0
Объемная доля бензола, %	0,5	0,4	0,2	0,1
Концентрация серы, мг/кг	3,0	8,7	7,7	61,0
Давление насыщенных паров, кПа	80,0	74,0	63,0	76,0

Параметр	Образец бензина			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Массовая доля кислорода, %	0	0	2,14	11,3
Содержание фактических смол, мг/100 см <sup>3</sup>	0	1,0	0	5,0
Объемная доля углеводородов, %:				
– олефиновых	2,6	0,4	4,2	2,1
– ароматических	34,9	33,0	25,9	16,3
Объемная доля оксигенатов, %				
– метанола	–	–	–	16,9
– третбутилового спирта	–	–	–	1,2
– эфиров (C5 и выше)	–	0,7	11,7	–

Как следует из результатов определения физико-химических показателей базовых бензинов, образцы № 1–3 относятся к экологическому классу К5 и полностью соответствуют требованиям Технического регламента Таможенного союза (ТР ТС 013/2011) [9]. Образец № 4, не соответствующий этим требованиям по составу (наличию метанола), массовой доле кислорода и содержанию серы, относится к газоконденсатным базовым бензинам, часто используемым некоторыми топливными фирмами с малым оборотом топлива. Несмотря на несоответствие состава этого образца бензина требованиям ТР ТС 013/2011, было принято решение оставить его в исследовании для расширения диапазона изменения параметров группового состава топлива. Результаты анализа расширенного углеводородного состава образцов базовых топлив представлен в табл. 2.

Таблица 2

**Содержание углеводородов определенных групп  
в исследованных образцах базовых бензинов, % (об.)**

Группа углеводородов	Образец бензина			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
н-парафиновые	11,43	12,04	12,55	18,47
Изопарафиновые	47,23	48,54	40,54	31,43
Ароматические	34,87	33,04	25,88	16,34
Нафтеновые	3,92	5,26	5,14	10,14
Олефиновые	2,55	0,42	4,18	2,08
Оксигенаты	0	0,70	11,71	21,54

Испытания проводились последовательно для каждого образца бензина, затем — для этого же бензина с многофункциональной присадкой, вводимой в топливо в концентрации, рекомендованной ее производителем (1000 ppm). Для испытаний был выбран моторный стенд с бензиновым 16-клапанным впрысковым двигателем ВАЗ-2112 (4Ч 8,2/7,1) мощностью 68 кВт при частоте вращения  $n = 5600$  об/мин.

Методика испытаний каждого образца бензина включала в себя следующие этапы [9, 10]:

- частичная разборка двигателя, взвешивание контрольных весовых элементов (клапанов, свечей зажигания, инжекторов), сборка, установка на стенд;

- эталонное загрязнение, т. е. выработка на фиксированном режиме 20 л специальной загрязняющей смеси, формирующей на поверхностях камеры сгорания, топливной и впускной систем двигателя начального слоя отложений;

- повторная частичная разборка, определение начальной массы отложений, сборка;

- начальное снятие показателей работы двигателя по заданной программе с измерением мгновенного расхода топлива и показателей токсичности отработавших газов на режимах нагрузочных характеристик в эксплуатационном диапазоне работы двигателя, причем работа двигателя на режимах высоких нагрузок не допускается для исключения фактора температурной самоочистки двигателя;

- проведение 20-часового цикла испытаний на переменных режимах на испытуемом бензине;

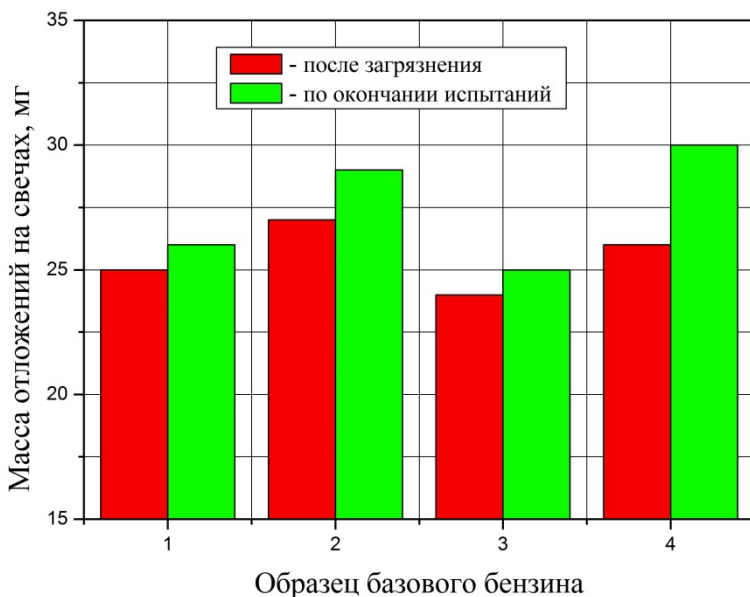
- итоговое снятие показателей работы двигателя по заданной программе, разборка двигателя, определение итоговой массы отложений на контрольных деталях.

Для определения массы отложений проводилось взвешивание контрольных деталей на аналитических весах с точностью до 0,001 г. Следы масла и прочих загрязнений, оставшихся на поверхностях деталей в процессе разборки двигателя, были удалены в ходе специально разработанной процедуры промывки контрольных деталей в органических растворителях с последующей сушкой.

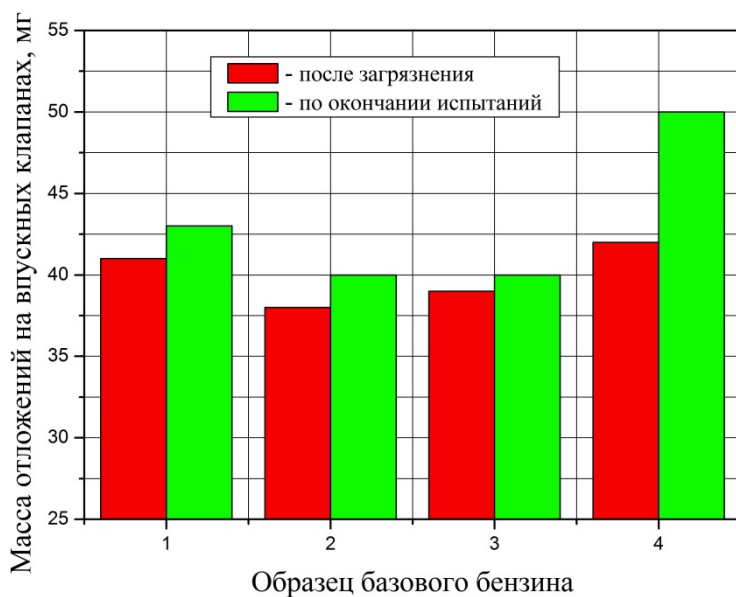
По результатам анализа данных, полученных на первом этапе испытаний, можно сделать следующие выводы.

1. При испытаниях базовых бензинов начальная масса отложений, сформированная в результате эталонного загрязнения, после длительной 20-часовой наработки двигателя, для всех бензинов несколько увеличилась, что свидетельствует о низкой склонности к отложениям у базовых бензинов и отсутствию в их составе моющих компонентов. Наибольшее увеличение массы отложений было выявлено у образца № 4, что, очевидно, связано со значительным по сравнению с другими образцами содержанием фактических смол (рис. 1).

2. В ходе испытаний образцов бензинов, содержащих многофункциональную присадку, выявлена тенденция к уменьшению массы отложений на всех контрольных весовых элементах двигателя (свечах зажигания, впускных и выпускных клапанах, инжекторах) (рис. 2).

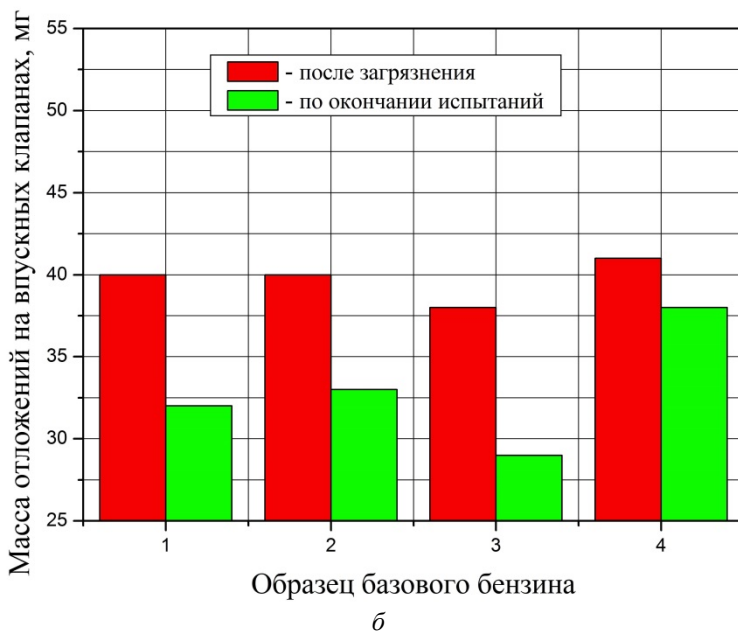
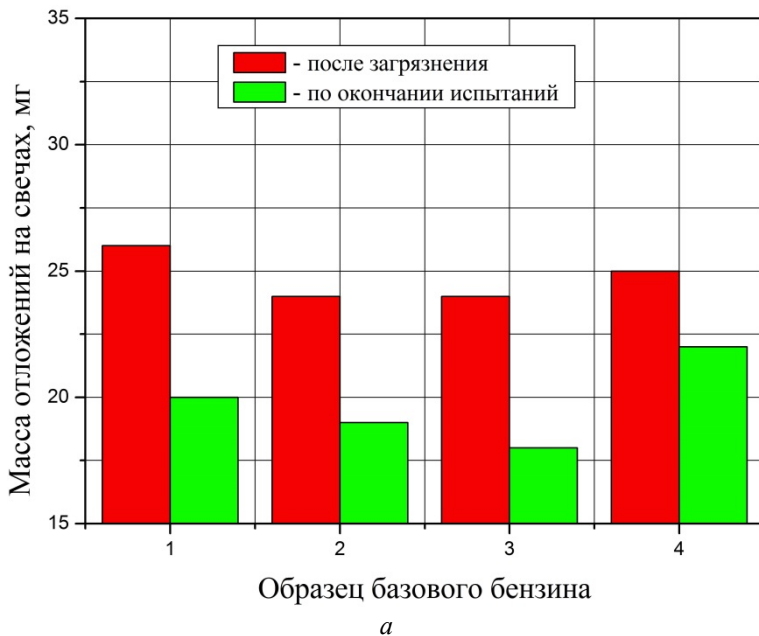


а



б

**Рис. 1.** Масса отложений на свечах зажигания (а) и впускных клапанах (б), сформированных в результате испытаний базовых бензинов



**Рис. 2.** Масса отложений на свечах зажигания (а) и впускных клапанах (б), сформированных в результате испытаний образцов бензинов, содержащих многофункциональную присадку

3. На образце бензина № 1 со сравнительно высоким содержанием в базовом бензине ароматических углеводородов и полным отсутствием кислородосодержащих компонентов (рис. 3) моющий компонент присадки проявил наибольшую эффективность. Наименьшая эффективность присадки была зафиксирована на образце бензина № 4 с аномально высоким содержанием оксигенатов. Однако и при работе на нем масса отложений на поверхностях контрольных деталей начала уменьшаться.

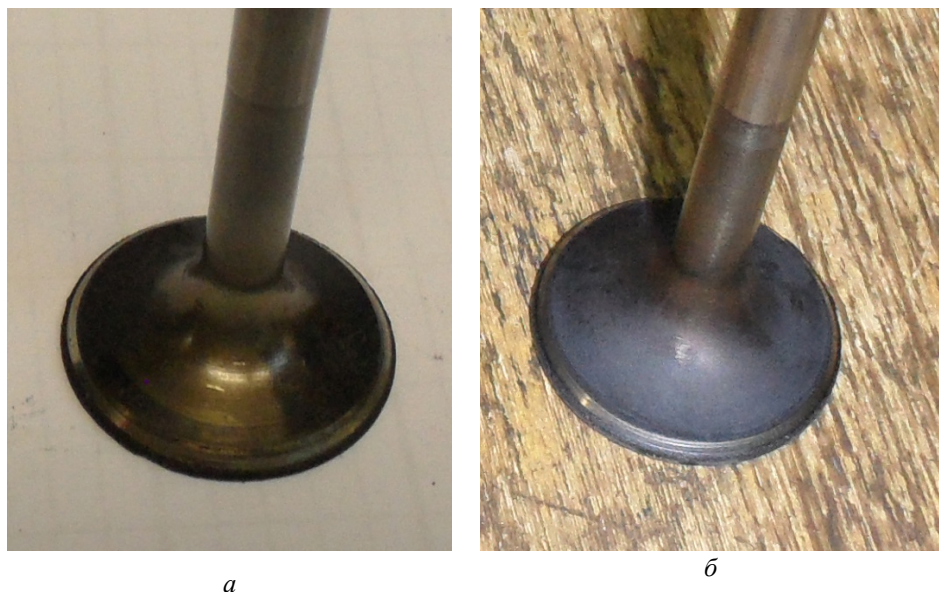


Рис. 3. Отложения, сформировавшиеся на поверхности впускного клапана в результате испытаний бензина № 1 с моющей присадкой (а) и без нее (б)

4. Наибольшую эффективность в относительном снижении массы отложений бензины, содержащие присадку, показали в плане очистки впускных клапанов. Очевидно, что в данном случае суммируется эффективность «горячей» очистки, при которой удаляются твердые сажистые отложения с огневой, наружной поверхности тарелок клапанов, и «холодной» очистки, при которой удаляются органические отложения со стержней и внутренних поверхностей тарелок клапанов, омываемых струей топлива из форсунок. Минимальная относительная эффективность выявляется в плане очистки инжекторов системы впрыска топлива.

На втором этапе экспериментального исследования велся поиск ответа на вопрос о влиянии концентрации ввода многофункциональной присадки на величину мгновенной эффективности по снижению расхода топлива и изменению токсичности отработавших газов, а также зависимости от состава базового бензина. На основании полу-

ченной информации были определены величины оптимальных концентраций ввода многофункциональной присадки в бензины разных групповых составов. Были проведены моторные стендовые испытания двигателя на образцах всех четырех видов базовых бензинов с добавлением многофункциональной присадки в концентрациях 0, 500, 1000, 1500 и 2000 ppm. Для того чтобы исключить фактор работы моющего компонента присадки, не допускалась длительная работа двигателя на каждом образце топлива. При этом испытания проводились на двигателе, подвергнутом специальной процедуре очистки, в ходе которой были удалены отложения и загрязнения на поверхностях камеры сгорания, впускной и выпускной систем, накопленные в процессе предыдущей эксплуатации. В результате испытаний была получена информация о влиянии активатора горения топлива, входящего в состав многофункциональной присадки, на моторные показатели бензинов разных групповых составов.

Каждый цикл испытаний включал в себя следующие этапы:

- пуск — прогрев двигателя, наработка на фиксированном режиме 20 мин;

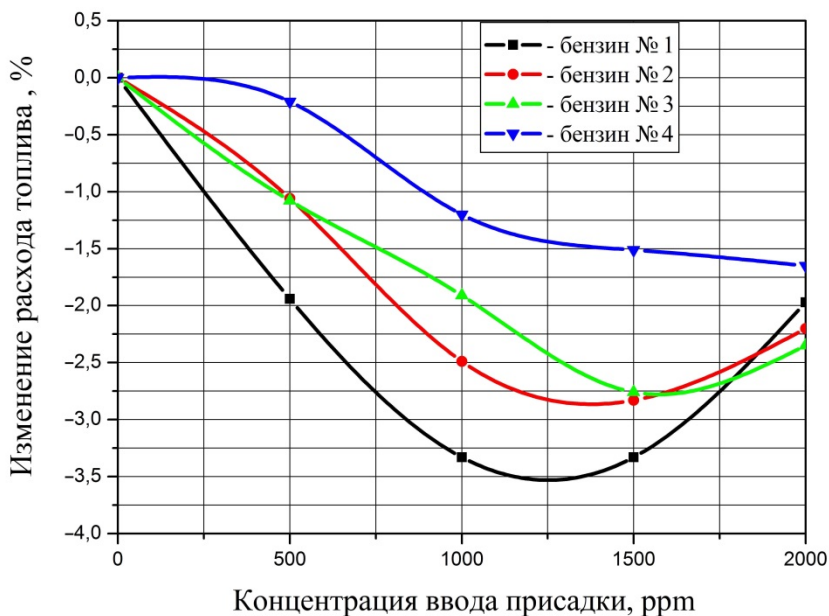
- снятие показателей двигателя, в том числе частоты вращения коленчатого вала, крутящего момента, мгновенного расхода топлива, содержания в отработавших газах токсических компонентов (оксида углерода CO, остаточных углеводородов CH, оксидов азота NO<sub>x</sub>, двуокиси углерода CO<sub>2</sub>), состава смеси, температуры отработавших газов, на 10 режимах двух нагрузочных характеристик в эксплуатационном диапазоне работы двигателя;

- обработка результатов испытаний с приведением к стандартным атмосферным условиям, расчет усредненных показателей по экономичности двигателя и токсичности отработавших газов.

Некоторые результаты выполненных испытаний приведены ниже. На рис. 4 показана зависимость относительного изменения усредненного удельного расхода топлива двигателя при работе на бензине, содержащем присадку, от концентрации ее ввода в топливо.

На графиках (см. рис. 4) показана ярко выраженная зависимость оптимальной концентрации присадки, при которой достигается максимальное энергосбережение, от группового состава бензина, явно прослеживается зависимость этого параметра от содержания в бензине кислородосодержащих компонентов. Так, для образцов № 1 и № 2 бензинов, не содержащих в составе оксигенатов, величина оптимальной концентрации близка к 1300 ppm, что несколько превышает заявленную производителем присадки — 1000 ppm. Для бензинов, содержащих связанный кислород, оптимум концентрации сдвигается в большую сторону. Например, для образца № 3 наилучшие результаты получены при концентрации присадки 1600 ppm. Более того, для бензина № 4 в исследованном диапазоне концентраций оптимум определен



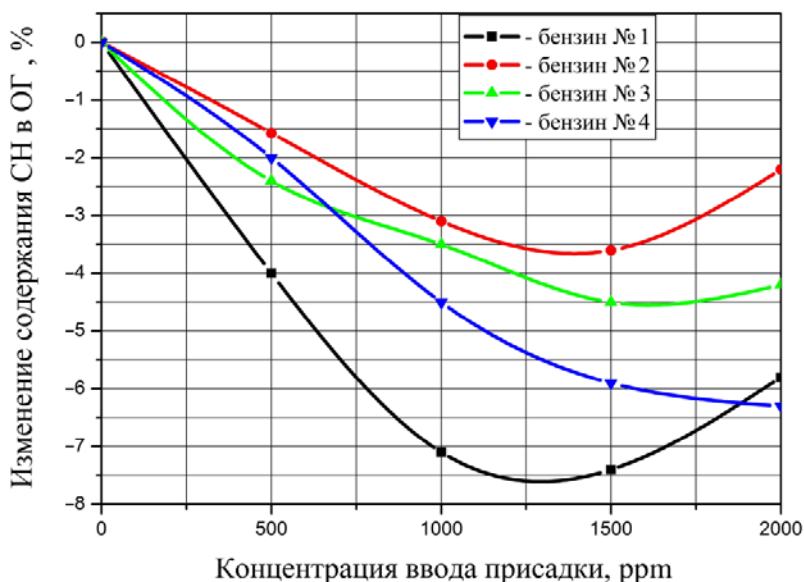


**Рис. 4.** Зависимость относительного изменения удельного расхода топлива от концентрации ввода многофункциональной присадки

не был, т. е. он достигается при концентрации присадки, существенно превышающей 2000 ppm.

Кривые на рис. 4 также отражают влияние состава топлива на эффективность работы активатора горения. Наибольшая эффективность (порядка 3,5 % снижения расхода топлива относительно работы двигателя на базовом бензине) получена на топливах, в основе которых базовый бензин № 1, содержащий максимальное количество ароматических углеводородов при полном отсутствии оксигенатов. Минимальная эффективность получена при использовании образцов топлива на базовом бензине № 4 с минимальным содержанием ароматических углеводородов и чрезмерно высоким содержанием оксигенатов. Он составил порядка 1,6 % снижения расхода топлива. Однако, как было сказано выше, при увеличении концентрации ввода присадки свыше 2000 ppm, возможно, эффективность была бы выше. В то же время такое увеличение концентрации многофункциональной присадки приводит к недопустимому увеличению себестоимости топлива.

Полученный результат также коррелирует с данными по содержанию токсических компонентов углеводородов СН в отработавших газов (рис. 5).



**Рис. 5.** Зависимость относительного содержания остаточных углеводородов СН в отработавших газах (ОГ) от концентрации ввода присадки

Очевидно, что повышение скорости и качества сгорания топлива, обеспечиваемое вводом активатора горения, приводящее к снижению расхода топлива, способствует более полному выгоранию бензина в цилиндре, что проявляется в уменьшении остаточных углеводородов СН. При этом максимальная эффективность достигается на определенных выше концентрациях ввода присадок в соответствии с составом базовых бензинов. При этом относительная эффективность коррелирует также с данными, полученными при анализе топливной экономичности двигателя, работавшего на разных образцах топлива. Так, максимальная эффективность снижения СН достигается на образцах композиционного топлива, содержащего мощную присадку, на основе бензина № 1 (до 7,5 %), минимальная — на основе базового бензина № 4 (до 3,6 %).

Очевидно, что описанные выше результаты относятся к «мгновенной» эффективности, исключаяющей результат функционирования мощного компонента присадки, проявляющийся только при длительной работе двигателя. По этой причине в реальной эксплуатации двигателя относительное улучшение его показателей может быть существенно выше. В этом случае оно будет зависеть от длительности наработки двигателя на топливе с присадкой, исходного состояния двигателя, а также от режимов его эксплуатации.

Таким образом, в ходе проведенного исследования доказано, что оптимальная концентрация ввода многофункциональной присадки, обеспечивающая максимальную эффективность работы как моющего компонента, так и активатора горения, входящих в ее состав, зависит от группового состава бензина, в первую очередь — от наличия и состава кислородосодержащих компонентов в топливе. Увеличение оксигенатов ухудшает эффективность работы присадки, поэтому требуется повышение концентрации присадки. Следовательно, при формировании состава брендовых топлив необходима индивидуальная подборка концентрации многофункциональных присадок с учетом состава базового бензина и заданного соотношения цена — качество.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Технический регламент Таможенного союза «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту»* TP TC 013-2011 от 18.01.2011 г., № 826, 22 с.
- [2] Борзаев Б.Х., Карпов С.А., Капустин В.М. Многофункциональные добавки к автомобильным бензинам. *Химия и технология топлив и масел*, 2007, № 2, с. 18–20.
- [3] Сафонов А.С., Ушаков А.И., Чечкенов И.В. *Автомобильные топлива. Химмотология. Эксплуатационные свойства. Ассортимент*. Санкт-Петербург, НПИКЦ, 2002, 264 с.
- [4] Данилов А.М., Емельянов В.Е. Метанол в бензине. *Газохимия*, 2009, № 5, с. 20–23.
- [5] Rockstroh T., Floweday G., Wilken C. Options for Use of GTL Naphtha as a Blending Component in Oxygenated Gasoline. *SAE International Journal of Fuels Lubricants*, 2016, vol. 9 (1), pp. 191–202. DOI 10.4271/2016-01-0879
- [6] Емельянов В.Е. Влияние качества бензинов на токсичность отработавших газов автомобиля (по материалам зарубежных публикаций). *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*, 2006, № 1, с. 20–22.
- [7] Шабанов А.Ю., Зайцев А.Б., Мохнаткин Э.М. Связь группового состава топлива и моторных и экологических показателей бензинового двигателя. *Труды V Международной научно-практической конференции «Новые топлива с присадками»*. Санкт-Петербург, 2008, с. 60–63.
- [8] Мохнаткин Э.М., Смеречук В.Р., Шабанов А.Ю. Стендовые моторные испытания автомобильных топлив как важнейшая часть системы добровольной сертификации горюче-смазочных материалов. *Труды V Международной научно-практической конференции «Новые топлива с присадками»*. Санкт-Петербург, 2008, с. 31–36.
- [9] Томин А.В. Методика комплексной оценки эффективности современных автомобильных бензинов. *Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний*, 2013, № 11, с. 35–42.
- [10] Kak A., Kumar N., Singh B., Singh S., Gupta D. Comparative study of emissions and performance of hydrogen boosted SI engine powered by gasoline methanol blend and gasoline ethanol blend. *SAE Technical Paper*, 2015, 2015-01-1677. DOI 10.4271/2015-01-1677

Статья поступила в редакцию 11.10.2017

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Шабанов А.Ю., Галышев Ю.В., Зайцев А.Б., Буторов С.В. Особенности работы моющих присадок в составе бензинов различного группового состава. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2017, вып. 11.

<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2017-11-1706>



**Шабанов Александр Юрьевич** — канд. техн. наук, доцент кафедры «Инжиниринг силовых установок и транспортных средств» СПбПУ. Область научных интересов: рабочие процессы, проблемы прочности, трения и износа в двигателях внутреннего сгорания, химмотология.  
e-mail: aush2003@mail.ru



**Галышев Юрий Виталиевич** — д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Инжиниринг силовых установок и транспортных средств» СПбПУ. Область научных интересов: рабочие процессы в двигателях внутреннего сгорания, химмотология, альтернативные виды топлива.  
e-mail: galyshev57@yandex.ru



**Зайцев Алексей Борисович** — канд. техн. наук, доцент кафедры «Инжиниринг силовых установок и транспортных средств» СПбПУ. Область научных интересов: рабочие процессы и проблемы теплообмена в двигателях внутреннего сгорания, химмотология. e-mail: abzaytsev@mail.ru



**Буторов Сергей Владимирович** — начальник управления организации ПИР ООО «Газпромнефть-Развитие», соискатель СПбПУ. Область научных интересов: рабочие процессы в двигателях внутреннего сгорания, химмотология.  
e-mail: butorov.sv@gazprom-neft.ru