



DOI 10.22363/2312-8143-2022-23-4-311-321
УДК 621.829(07)

Научная статья / Research article

Физико-химические свойства инновационных и высококачественных марок бензина

А.А. Ходяков^a, С.В. Хлопков^a, А.Р. Асоян^{a,b},
Д.В. Истомин^a, Д.Р. Алибекова^a, А.А. Нарожный^a

^aРоссийский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

^bМосковский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва, Российская Федерация

✉ khlopkov-sv@rudn.ru

История статьи

Поступила в редакцию: 15 сентября 2022 г.
Доработана: 25 ноября 2022 г.
Принята к публикации: 28 ноября 2022 г.

Ключевые слова:

инновационный бензин, высококачественный бензин, фракционный состав, кислотность, плотность, октановое число, срок хранения, регрессия, отработавшие газы







Аннотация. Изучены физико-химических свойства традиционного (Б), инновационного (БИН) и высококачественного бензина (БКВ). Цель работы – проанализировать физико-химические свойства инновационных, высококачественных сортов бензина, сопоставить показатели указанных топлив с показателями обычного горючего, не содержащего веществ, улучшающих эксплуатационные и экологические качества. Исследование свойств бензинов проведено с помощью автоматического аппарата для разгонки нефтепродуктов АРНС-1Э, индикатора (октанометра) ОКТАН-ИМ, газоанализатора ИНФРАКАР 5М3Т, одноцилиндрового, четырехтактного, верхнеклапанного двигателя (Biggs & Stratton). Установлено, что плотность бензинов, температура конца кипения, остаток в колбе и кислотность соответствуют нормам ГОСТ. Полугодичный срок хранения образцов топлива никак не сказывается на параметрах горючего, его физической и химической стабильности. Показано, что вещества, улучшающие свойства инновационных и высококачественных сортов топлива, не оказывают влияния на результат измерения октанового числа бензина. Выявлено, что химическая стабильность улучшенных сортов бензина выше, чем у традиционного топлива. Показано, что по полноте сгорания инновационный и высококачественный бензин превосходит бензины, не содержащий веществ, улучшающих горение. Подобный вывод сделан и для оксидов азота, содержание которых связано с присутствием в бензине компонентов, повышающих температуру газов, возникающих в камере сгорания силового агрегата.

Для цитирования

Ходяков А.А., Хлопков С.В., Асоян А.Р., Истомин Д.В., Алибекова Д.Р., Нарожный А.А. Физико-химические свойства инновационных и высококачественных марок бензина // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2022. Т. 23. № 4. С. 311–321. <http://doi.org/10.22363/2312-8143-2022-23-4-311-321>



Physical and chemical properties of innovative and high-quality grades of gasoline

Aleksandr A. Khodyakov^a , Sergey V. Khlopkov^a ✉, Arthur R. Asoyan^{a,b} ,
Danil V. Istomin^a , Djeqran R. Alibekova^a , Alexey A. Narozhnyi^a 

^aPeoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russian Federation

^bMoscow Automobile and Road State Technical University, Moscow, Russian Federation

✉ khlopkov-sv@rudn.ru

Article history

Received: September 15, 2022

Revised: November 25, 2022

Accepted: November 28, 2022

Keywords:

innovative gasoline, high-quality gasoline, fractional composition, acidity, density, octane number, shelf life, regression, exhaust gases

Abstract. Studies of the physicochemical properties of traditional gasoline (G), innovative gasoline (IG) and high-quality gasoline (HQG) have been carried out. The purpose of this work was to analyze the physicochemical properties of innovative, high-quality grades of gasoline, to compare the performance of these fuels with those of conventional fuel that does not contain substances that improve the operational and environmental qualities. The research of the properties of gasolines was carried out using an automatic apparatus for distillation of petroleum products ARNS-1E, indicator (octanometer) OKTAN-IM, gas analyzer INFRACAR 5M3T, single-cylinder, 4-stroke, overhead valve engine (Biggs & Stratton). It has been established that the density of gasolines, the final boiling point, the residue in the flask and the acidity correspond to the GOST standards. A six-month storage period for fuel samples does not affect the parameters of the fuel, its physical and chemical stability. It is shown that substances that improve the properties of innovative and high-quality fuels do not affect the result of measuring the octane number of gasoline. It has been established that the chemical stability of improved grades of gasoline is higher than that of traditional fuel. It is shown that innovative and high-quality gasoline is superior to gasolines that do not contain combustion-improving substances in terms of combustion efficiency. A similar conclusion was made for nitrogen oxides, the content of which is associated with the presence in gasoline of components that increase the temperature of gases that occur in the combustion chamber of the power unit.

For citation

Khodyakov AA, Khlopkov SV, Asoyan AR, Istomin DV, Alibekova DR, Narozhnyi AA. Physical and chemical properties of innovative and high-quality grades of gasoline. *RUDN Journal of Engineering Research*. 2022;23(4):311–321. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2312-8143-2022-23-4-311-321>

Введение

Известно, что качество бензина характеризуется как эксплуатационными показателями, так и экологическими свойствами топлива. При этом введение современных норм и стандартов, которые связаны не только с модифицированием компонентного состава топлива, но и с необходимостью применения разнообразных присадок ставит задачу контроля физико-химических свойств бензинов¹ [1–5].

Присадки, вводимые, как правило, в бензины, получившие названия (у российских производителей) инновационных и высококачественных моторных топлив, улучшают эксплуатационные и экологические свойства горючего² [6; 7]. При этом всегда возникают (требующие своевременного решения) вопросы, связанные с получением

для студентов учреждений среднего профессионального образования. 9-е изд., стер. М.: Академия, 2014. 208 с.

² Роснефть. Инновационный бензин «Евро 6» отмечен наградами всероссийского конкурса. Управление информационной политики ПАО «НК «Роснефть». 2019. URL: <https://www.rosneft.ru/press/news/item/198117/> (дата обращения: 01.09.2022); ЛУКОЙЛ. Инновационное топливо ЭКТО. URL: <https://lukoil.ru/Products/brands/ectofuel> (дата обращения: 01.09.2022).

¹ ГОСТ 32513–2013. Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2013. 15 с.; Магарил Е.Р., Магарил Р.З. Моторные топлива: учебное пособие. 2-е изд. М.: КДУ, 2015. 160 с.; Кириченко Н.Б. Автомобильные эксплуатационные материалы: учебник

знаний о влиянии улучшающих свойства топлива веществ на показатели бензинов.

Цель исследования – проанализировать физико-химические свойства инновационных, высококачественных сортов бензина, сопоставить показатели указанных сортов с показателями обычного горючего без веществ, улучшающих эксплуатационные и экологические качества топлива.

1. Материалы и методы

Объектами исследования были пробы бензинов (Б-1, БИН-2, БВК-3, Б-4) марки АИ-95 со сроком хранения ~6 месяцев. Из четырех проб, подвергнутых испытанию, один образец относится к так называемым инновационным топливам (БИН-2), другой – к высококачественному топливу стандарта ЕВРО-4 (БВК-3). Анализировали также показатели проб инновационного топлива БИН-95, топлив Б-92 и Б-100 с более длительным сроком хранения.

Объемы жидкостей в зависимости от выполняемых методов испытания варьировали от 1 до 100 мл. Массу объектов исследования измеряли на порционных весах ВЛТЭ-150 (II класс точности, ГОСТ 24104–2001). Наименьший предел взвешивания ВЛТЭ-150 составляет 0,02 г. Предел погрешности весов при интервале взвешивания от 0,02 до 50 г равен ±3 мг, среднеквадратическое отклонение показаний весов не более 1,5 мг.

Фракционный состав проб бензинов определяли по температурам перегонки, измеренным ртутным термометром, входящим в комплект автоматического аппарата для разгонки нефтепродуктов АРНС-1Э, кислотность – титрованием спиртовым раствором КОН смесей бензина 80%-м этанолом. Для индицирования избытка OH^- использовали кислотно-основной индикатор фенолфталеин ($\text{pH} = 8,0\text{--}9,6$). Присутствие в пробах топлива ненасыщенных углеводородов (олефины) оценивали, используя водный раствор KMnO_4 . Известно, что в результате взаимодействия реагента с ненасыщенными углеводородами образуется оксид марганца. Лиловая окраска водного раствора перманганата калия приобретает бурый цвет.

Плотность образцов топлива измеряли нефтенсиметрами (ареометрами), октановые числа – индикатором (октанометром) ОКТАН-ИМ. Диапазон измерения октановых чисел (октановое

число по исследовательскому методу – ОЧИ, октановое число по моторному методу – ОЧМ) от 67 до 98. Предел допускаемой абсолютной погрешности измерения ОЧ составлял ±2 октановые единицы (о. е.). Измерения ОЧИ проводили, используя заводскую калибровку октанометра.

Полноту сгорания взятых на испытание проб бензинов оценивали по содержанию в отработавших газах (ОГ) несгоревших углеводородов CH . Влияние особенностей компонентного состава топлива на указанный процесс проводили, измеряя и анализируя содержание в ОГ оксидов азота NO_x . Контроль содержания в отработавших газах CH и NO_x проводили газоанализатором ИНФРАКАР 5МЗТ (класс прибора 0). В табл. 1 представлен диапазон измеряемых газоанализатором значений.

Таблица 1

Диапазон измеряемых газоанализатором значений CO , CH , NO_x и пределы допускаемой погрешности

Измеряемая величина	Диапазон измерений	Пределы допускаемой погрешности	
		Абсолютной	Относительной
Объемная доля CH , млн ⁻¹	От 0 до 2000	±10	±5
Объемная доля NO_x , млн ⁻¹	От 0 до 4000	±100	±10

Table 1

Range of CO , CH , NO_x values measured by the gas analyzer and limits of permissible error

Measured value	Measuring range	Limits of error	
		Absolute	Relative
Volume fraction of CH , ppm	From 0 to 2000	±10	±5
Volume fraction of NO_x , ppm	From 0 to 4000	±100	±10

Подготовку прибора к работе и проведение контроля содержания в ОГ CH и NO_x осуществляли, руководствуясь соответствующей технической документацией. Так, устройство забора пробы (зонд) газоанализатора устанавливали в выхлопную трубу двигателя, согласно инструкции, на глубину не менее 300 мм от среза и фиксировали устройство забора пробы специальным зажимом. Кроме измерения CH и NO_x , регистри-

ровали обороты коленчатого вала (тахометром). Сопоставление объемных концентраций СН и NO_x в ОГ проводили по данным, полученным при работе двигателя в режиме холостого хода на частотах (n) 2200–2800 об·мин⁻¹.

Пробы бензина объемом не выше 150 мл заливали в топливный бак одноцилиндрового, четырехтактного, верхнеклапанного двигателя (Biggs & Stratton) мощностью 7,4 кВт (крутящий момент 3600 об·мин⁻¹). Рабочий объем двигателя 306 см³.

Испытание проб топлива проводили после предварительной процедуры прогрева двигателя. Моментом окончания опыта служила полная остановка двигателя, которая была обусловлена отсутствием подачи бензина в камеру сгорания из-за малого его содержания в топливном баке. Время, затраченное на проведение одного эксперимента, не превышало 10 минут. Рассчитанный расход топлива составил не более 0,9 л·час⁻¹.

2. Результаты и обсуждение

В результате проведенных исследований установлено, что измеренные индикатором ОКТАН-ИМ октановые числа бензинов составляют 95,1–97,0 о. е. (табл. 2). С учетом погрешности измерения (± 2 о. е.) такие значения ОЧИ вполне соответствуют заявленным производителем топлива величинам октанового числа, равного 95.

Определение индикатором ОКТАН-ИМ октанового числа основано на измерении комплексной диэлектрической проницаемости бензина ($\epsilon_{\text{комп}}$) [8–12].

Этот метод (диэлькометрия) относится к косвенному однофакторному способу определения ОЧ. Математическая модель, описывающая связь октановых чисел с $\epsilon_{\text{комп}}$, не только нелинейная, но и содержит внутренние противоречия. К ним относят большой вклад в $\epsilon_{\text{комп}}$ диэлектрических проницаемостей арен (имеющих более высокое, чем у иных углеводородов, значение ϵ) и существенную зависимость ОЧ от содержания в бензинах этих веществ [10]. Установлено, что диэлькометрия имеет максимальную чувствительность для бензинов с октановыми числами 88–93 о. е. Чувствительность метода для топлива, имеющего ОЧ выше 95, падает. Затруднения в распознавании указных марок связаны с присутствием в высокооктановых бензинах изооктана, изопентана и бутанов, которые при высоком октановом

числе компаунда имеют низкую диэлектрическую проницаемость [9].

Принимая во внимание особенности диэлькометрии, следует заключить, что вещества, улучшающие свойства инновационных и высококачественных сортов топлива не оказывают влияние на результат измерения октанового числа бензина.

Таблица 2

Октановые числа бензинов

Показатель	Бензин			
	Б-1	БИН-2	БВК-3	Б-4
Октановое число по исследовательскому методу – ОЧИ	96,8	95,4	97,0	95,1

Table 2

Octane numbers of gasolines

Index	Gasoline			
	G-1	IG-2	HQG-3	G-4
Research octane number – RON	96.8	95.4	97.0	95.1

В табл. 3 приведены показатели исследованных проб бензинов, а в табл. 4 табличный протокол перегонки пробы бензина Б-4. Плотность бензинов, температура конца кипения, остаток в колбе и кислотность соответствуют нормам ГОСТ. Аналогичный вывод следует и из сопоставления данных (табл. 3) с нормативными значениями температур и объемной доли испарившегося бензина. Следовательно, полугодовой срок хранения образцов топлива никак не сказывается на параметрах горючего, его физической и химической стабильности.

В испытаниях с использованием раствора перманганата калия установлено, что после введения реактива в пробы топлив со временем происходит изменение цвета водного раствора КМнО₄. Лиловый окрас перманганата калия исчезает, и в растворе, который приобретает коричневый цвет, появляются бурые хлопья. Через сутки в приготовленных таким образом образцах бурые хлопья не исчезают, раствор становится бесцветным. Наблюдаемые в опытах с перманганатом калия эффекты изменения цвета водного раствора и образование бурых хлопьев свидетельствуют о том, что в бензинах присутствуют углеводороды с двойной химической связью. Такими углеводородами в бензинах в первую очередь являются олефиновые углеводороды.

Таблица 3

Плотность ρ , кислотность K , температура конца кипения проб топлива $t_{\text{кк}}$ и остаток в колбе

Бензин	ρ , кг·м ⁻³ при 15 °С*	Остаток в колбе, %**	$t_{\text{кк}}$, °С***	K , мг КОН на 100 мл бензина****
Б-1	743	1,1	205	0,56
БИН-2	750	1,2	205	1,68
БВК-3	737	1,1	196	0,56
Б-4	750	1,0	194	1,68

Примечание: * плотность при 15 °С по нормам ГОСТ 32513–2013 составляет 720–780 кг·м⁻³; ** остаток в колбе, % (по объему) не более 2 (ГОСТ 32513–2013); *** конец кипения, °С не выше 2150С (ГОСТ 32513–2013); **** кислотность, мг КОН на 100 см³, не более 3 (ТУ 38.001.165–87).

Table 3

Density ρ , acidity K , end boiling point of fuel samples t_{bc} and flask residue

Gasoline	ρ , kg·m ⁻³ at 15 °С*	Residue in the flask, %**	$t_{\text{end of boiling}}$, °С***	K , mg KOH at 100 ml gasoline****
G-1	743	1.1	205	0.56
IG-2	750	1.2	205	1.68
HQG-3	737	1.1	196	0.56
G-4	750	1.0	194	1.68

Note: * density at 15 °С according to GOST 32513–2013 is 720–780 kg·m⁻³; ** residue in the flask, % (by volume) no more than 2 (GOST 32513–2013); *** end of boiling, °С not higher than 215 °С (GOST 32513–2013); **** acidity, mg KOH per 100 cm³, not more than 3 (TU 38.001.165–87).

Таблица 4

Табличный протокол перегонки пробы бензина Б-4 (V -объемная доля испарившегося бензина)

Параметр	Температура перегонки, °С											
	55	61	70	90	100	118	123	130	144	158	171	193
V , %*	10	20	30	40	45	60	65	70	75	80	85	95

Примечание: * объемная доля испарившегося бензина, %, при температуре (ГОСТ 32513–2013): 70 °С составляет 15–50; 100 °С составляет 40–70; 150 °С составляет не менее 75.

Table 4

Tabular protocol for the distillation of a sample of gasoline G-4 (V is the volume fraction of evaporated gasoline)

Parameter	Distillation temperature, °С											
	55	61	70	90	100	118	123	130	144	158	171	193
V , %*	10	20	30	40	45	60	65	70	75	80	85	95

Note: * volume fraction of evaporated gasoline, %, at temperature (GOST 32513–2013): 70 °С is 15–50; 100 °С is 40–70; 150 °С is at least 75.

Таблица 5

Кислотность различных марок бензина, сроки хранения проб топлива τ

Показатель	Бензин						
	Б-1	БИН-2	БВК-3	Б-4	БИН-95	Б-92	Б-100
K , мг КОН на 100 мл бензина	0,56	1,68	0,56	1,68	3,36	7,28	8,96
τ , год	0,5	0,5	0,5	0,5	2,42	2,66	2,75

Table 5

Acidity of various grades of gasoline, shelf-life fuel samples τ

Index	Gasoline						
	G-1	IG-2	HQG-3	G-4	IG-95	G-92	G-100
K , mg KOH per 100 ml of gasoline	0.56	1.68	0.56	1.68	3.36	7.28	8.96
τ , year	0.5	0.5	0.5	0.5	2.42	2.66	2.75

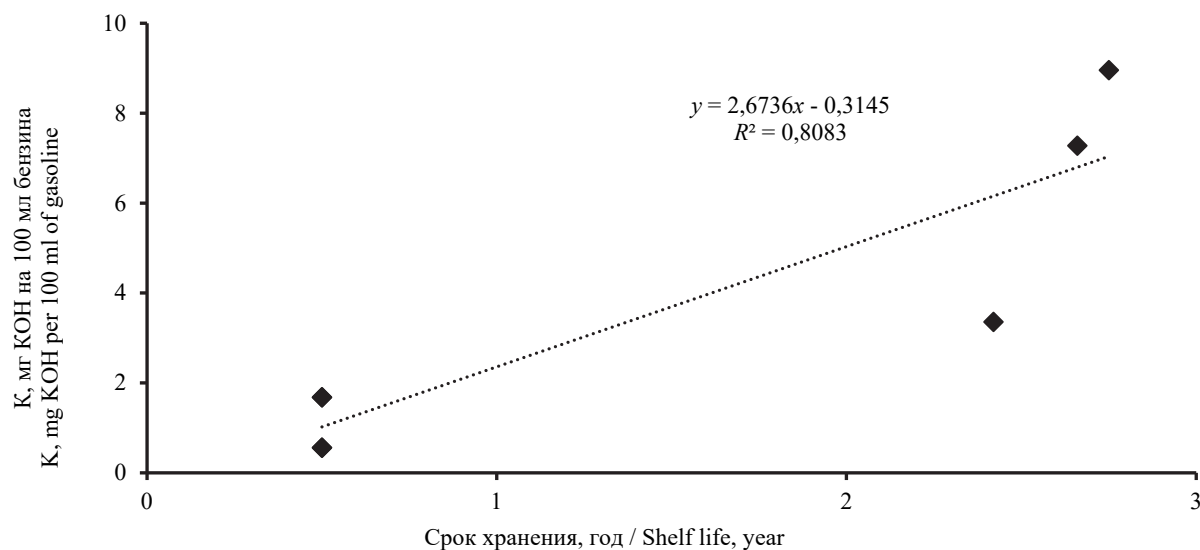


Рис. 1. Диаграмма рассеяния и линейная аппроксимация данных посредством построения линии тренда
Figure 1. Scatterplot and linear approximation of data by plotting a trend line

Таблица 6

Уравнение регрессии, величина достоверности аппроксимации R^2 характеристики линейной модели

Регрессия	$\bar{A}, \%*$	$R^2_{\text{скорр}} **$	$F_{\text{расч}} ***$	$F_{\text{крит}} ****$	R^2
$\hat{y} = 2,6736x - 0,3145$	50,7	0,7699	21,1	6,6	0,8083

Примечание: * средняя относительная ошибка аппроксимации; ** скорректированный коэффициент детерминации; *** расчетное значение критерия Фишера; **** критическое значение критерия Фишера.

Table 6

Regression equation, approximation confidence value R^2 of linear model characteristics

Regression	$\bar{A}, \%*$	$R^2_{\text{adjusted}} **$	$F_{\text{calculated}} ***$	$F_{\text{critical}} ****$	R^2
$\hat{y} = 2.6736x - 0.3145$	50.7	0.7699	21.1	6.6	0.8083

Note: * average relative approximation error; ** adjusted coefficient of determination; *** calculated value of the Fisher criterion; **** critical value of the Fisher criterion.

Замечено, что в бензине Б-4 изменение цвета водного раствора KMnO_4 и появление хлопьев происходит намного быстрее, чем в пробах Б-1, БИН-2 и БВК-3. Причем и их количество намного ниже присутствующих в других пробах хлопьевидных образований. Это отличие, так же как и разница температур конца кипения, более высоких (БВК-3, Б-1) по сравнению с Б-4, свидетельствует о том, что октановые числа являются отражением особенностей компонентного состава бензинов.

В табл. 5 приведены данные кислотности различных марок бензинов и сроки их хранения.

Из сопоставления данных (табл. 5) следует, что в значениях кислотности и сроков хранения

образцов топлива просматривается определенная тенденция. Кислотность возрастает с увеличением срока хранения проб бензинов.

Статистико-математическую обработку данных проводили с помощью статистических функций и надстроек «Пакет анализа», «Поиск решения» табличного процессора Microsoft Office Excel³ [13; 14].

³ Воскобойников Ю.Е. Эконометрика в EXCEL: в 2 ч. Ч. 1. Парный и множественный регрессионный анализ: учебное пособие. Новосибирск: Изд-во НГАСУ, 2005. 156 с.; Ляховецкий А.М., Кремянская Е.В., Климова Н.В. Статистика: учебное пособие. М.: КНОРУС, 2016. 362 с.; Кадочникова Е.И. Эконометрика: конспект лекций. Казань: Казанский федеральный университет, 2013. 106 с.

Оценку связи между кислотностью бензина и сроком его хранения проводили корреляционным методом анализа, расчетом коэффициента корреляции. Коэффициент парной корреляции $r_{расч}$ составил 0,899. Характер силы связи K с τ , проведенный с использованием шкалы Чеддока, оценивается как сильный. Статистическую значимость параметра $r_{расч}$ проводили путем сравнения абсолютной величины $r_{расч}$ с критической (табличной) величиной $r_{крит}$. Установлено, что с заданной степенью вероятности (95 %) $|r_{расч} > r_{крит}|$, $r_{крит} = 0,754$. Следовательно, можно утверждать, что между K и τ существует значимая линейная связь, или гипотеза о значимости линейной связи не отвергается.

Для проверки наличия функциональной линейной зависимости K от τ , а также прогнозирования величин кислотности бензина, зависящих от срока хранения топлива, использовали регрессионный анализ, основанный на линейной аппроксимации данных (табл. 4) посредством построения линии тренда (рис. 1).

В табл. 6 представлены уравнение регрессии, величина достоверности аппроксимации (R^2) и характеристики линейной модели.

Точность математической модели оценивают по величине ошибки аппроксимации. Высокая точность модели характеризуется значениями \bar{A} ниже 10 %. Таким значением линейная модель не обладает (табл. 6).

Среднюю относительную ошибку аппроксимации рассчитывали по формуле⁴

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| 100, \quad (1)$$

где n – число измерений; y_i – экспериментальное значение; \hat{y}_i – теоретическое (расчетное) значение.

Проверку статистической значимости уравнения регрессии проводили по критерию Фишера $F_{расч}$. Табличное значение критерия Фишера (критическое значение $F_{крит}$) определяли с помощью встроенной функции Excel «ФРАСПОБР» при уровне значимости 0,05.

Критерием статистической значимости (адекватности) уравнений регрессии является усло-

вие, при котором $F_{расч} > F_{крит}$. Для данных, приведенных в табл. 5, $F_{расч} > F_{крит}$. Следовательно, линейная модель статистически значима. Большая величина средней относительной ошибки аппроксимации, а также низкое значение скорректированного (нормированного) коэффициента детерминации не позволяют применить полученную модель для прогнозирования. Модель пригодна для принятия только некоторых решений.

Расчет характеристик линейной модели можно проводить не только используя соответствующие формулы, но и функцией «Регрессия» надстройки «Пакет анализа» (рис. 2).

Из сопоставления данных (табл. 5) следует, что для бензинов со сроком хранения 0,5 года кислотность никак не связана с маркировкой, будь то инновационный, высококачественный или обычный бензин. Однако в ряду K от τ кислотность БИН-95 (инновационный бензин) со сроком хранения 2,42 года ниже кислотности Б-92, Б-100 со сроком хранения, незначительно отличающимся от указанной величины τ (табл. 5). Это может свидетельствовать о том, что химическая стабильность улучшенных сортов бензина выше, чем у традиционного топлива.

Полноту сгорания взятых на испытание проб бензинов оценивали, как это отмечено ранее, по содержанию в отработавших газах негоревших углеводородов СН. Влияние особенностей компонентного состава топлива на указанный процесс проводили, измеряя и анализируя содержание в ОГ оксидов азота NO_x .

На рис. 3 представлен фрагмент табличного протокола с регистрируемыми газоанализатором данными СН и NO_x .

Из анализа приведенных значений содержания в ОГ оксидов азота следует, что отработавшие газы, образующиеся при сгорании топлива БИН-2, не содержат NO_x (рис. 3). В отработавших газах, возникающих при сгорании других бензинов, содержание NO_x изменяется от 0 до 68 млн⁻¹. Аналогичные флуктуации величин содержания наблюдаются и для СН. Например, в ОГ, образующихся при сгорании БИН-2, содержание СН с 173 млн⁻¹ сначала падает до 163 млн⁻¹, а потом возрастает до 191 млн⁻¹ (рис. 3). Иллюстрирует такие колебания приведенное на рис. 4 изменение содержания СН ($\Delta C(CH)$) в отработавших газах, образующихся при сгорании топлива БИН-2.

⁴ Воскобойников Ю.Е. Эконометрика в EXCEL...

Вывод итогов / RESULTS								
Регрессионная статистика / Regression statistics								
Множественный R / Multiple R	0,899065759							
R-квадрат / R-square	0,808319239							
Нормированный R-квадрат / Normalized R-square	0,769983087							
Стандартная ошибка / Standard error	1,61465281							
Наблюдения / Observations	7							
Дисперсионный анализ / Analysis of variance								
	df	SS	MS	F	Значимость F / Significance F			
Регрессия / Regression	1	54,97088152	54,97088152	21,08503839	0,005883741			
Остаток / Remainder	5	13,03551848	2,607103696					
Итого / Total	6	68,0064						
	Коэффициенты / Coefficients	Стандартная ошибка / Standard Error	t-статистика / t-Statistic	P-Значение / P-Value	Нижние 95% / Lower 95%	Верхние 95% / Upper 95%	Нижние 95% / Lower 95%	Верхние 95% / Upper 95%
Y-пересечение / Y-intersection	-0,314465956	1,02028182	-0,308214798	0,770345928	-2,937183869	2,308251958	-2,93718387	2,308251958
Переменная X 1 / Variable X 1	2,673576978	0,582244634	4,59184477	0,005883741	1,176869498	4,170284457	1,176869498	4,170284457

Рис. 2. Инструмент анализа «Регрессия» табличного процессора Microsoft Office Excel
 Figure 2. Analysis tool “Regression” spreadsheet Microsoft Office Excel

БИН-2 / IG-2	БИН-2 / IG-2	БВК-3 / HQG-3	БВК-3 / HQG-3	Б-1 / G-1	Б-1 / G-1	Б-4 / G-4	Б-4 / G-4	Время, с / Time, s
СН, ppm	NOx, ppm	СН, ppm	NOx, ppm	СН, ppm	NOx, ppm	СН, ppm	NOx, ppm	
173	0	232	17	312	0	487	0	1
173	0	230	0	301	1	487	30	2
173	0	229	0	294	1	487	23	3
173	0	228	18	292	34	487	34	4
173	0	228	0	292	0	485	42	5
173	0	226	0	291	51	485	68	6
173	0	226	10	288	40	470	31	7
173	0	226	0	283	64	470	34	8
173	0	226	21	278	15	461	38	9
173	0	226	33	274	70	454	1	10
173	0	226	0	274	20	449	0	11
173	0	226	25	271	36	449	0	12
170	0	226	0	266	0	446	0	13
170	0	226	0	258	6	444	0	14
167	0	226	0	252	0	441	0	15
165	0	226	0	252	0	438	0	16
164	0	226	0	251	1	438	0	17
163	0	226	0	251	0	434	0	18
163	0	234	0	252	33	430	0	19
163	0	243	0	255	0	427	8	20
163	0	250	7	262	52	424	0	21
163	0	250	0	262	0	419	0	22
163	0	256	0	272	49	419	0	23
163	0	261	1	284	0	410	0	24
163	0	265	0	295	7	410	0	25
166	0	268	16	300	0	406	17	26
172	0	268	0	300	0	403	14	27
177	0	268	0	304	0	403	0	28
184	0	268	0	311	6	400	21	29
191	0	260	0	320	6	394	9	30
191	0	254	0	324	0	394	23	31

Рис. 3. Фрагмент табличного протокола данных, полученных при испытании топлив
 Figure 3. Fragment of the tabular protocol of data obtained during fuel testing

Флуктуации, представленные на рис. 4, не позволяют по среднему арифметическому значению провести корректно сравнительную оценку содержания СН и NO_x в ОГ двигателя, работающего на исследуемых образцах топлива. Поэто-

му было принято решение рассчитать методом трапеций площадь под полученными при испытании бензинов кривыми:

$$S = \int_a^b f(x)dx \approx h \left[\frac{f(x_0)+f(x_n)}{2} + f(x_1) + f(x_2) + \dots + f(x_{n-1}) \right], \quad (2)$$

где h – шаг интегрирования ($h = \frac{b-a}{n} = 1 \text{ c}$); $f(x_i)$ – значения подынтегральной функции в точках $x_0, x_1, x_2, x_3, \dots, x_{n-1}, x_n$.

В табл. 7 приведены результаты проведенного с помощью формулы трапеций интегрирования.

Из сопоставления данных (табл. 7) следует, что при сгорании традиционных бензинов площадь под кривыми содержания в отработавших газах СН и NO_x выше аналогичного параметра, полученного для инновационного и высококачественного сортов топлива. Следовательно, по такому показателю, как полнота сгорания, инновационный и высококачественный бензины превосходят бензины, не содержащие веществ, улучшающих горение. Подобный вывод можно сделать и для оксидов азота, содержание которых связано с присутствием в бензине компонентов, повышающих температуру газов, возникающих в камере сгорания силового агрегата. Необходимо отметить, что площадь с такой размерностью (млн⁻¹·с) следует отнести к условно-

му показателю содержания в отработавших газах CH и NO_x . Несмотря на условность параметра S , входящие в соотношение 2 значения функции $f(x_i)$ различны. Так, максимальное значение CH в отработавших газах, образующихся

при сгорании БИН-2, составило 248 млн^{-1} , а при сгорании Б-1 – 668 млн^{-1} . Эти отличия, отражаясь в величине площади, создают однозначное соответствие параметра S содержанию в отработавших газах CH и NO_x .

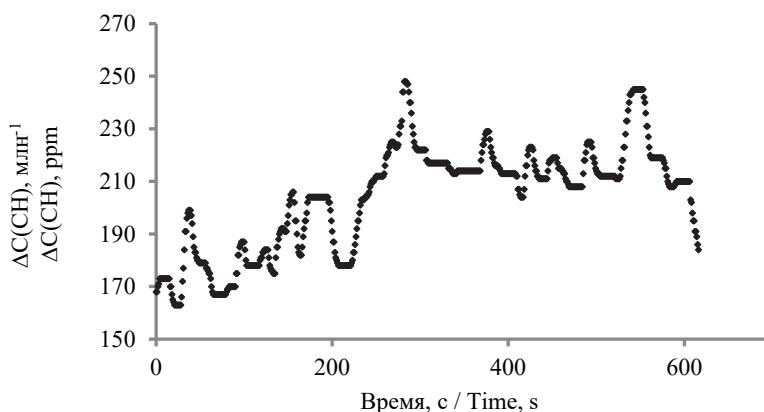


Рис. 4. Изменение содержания CH $\Delta\text{C}(\text{CH})$ от времени проведения опыта (посекундная запись показаний регистратора) в отработавших газах, образующихся при сгорании топлива БИН-2

Figure 4. Change in the content of CH $\Delta\text{C}(\text{CH})$ from the time of the experiment (second-by-second recording of the recorder readings) in the exhaust gases generated during the combustion of fuel IG-2

Таблица 7

Рассчитанные методом трапеций площади под кривыми зависимостей содержания CH и NO_x от времени проведения опыта

Газ	Бензин			
	Б-1	БИН-2	БВК-3	Б-4
$S(\text{CH}), \text{ млн}^{-1}\cdot\text{с}$	145 844	71 861	101 461	286 171
$S(\text{NO}_x), \text{ млн}^{-1}\cdot\text{с}$	9282	0	924	5638

Table 7

Calculated by the trapezoidal method, the areas under the curves of dependences of the content of CH and NO_x on the time of the experiment

Gas	Gasoline			
	G-1	IG-2	HQG-3	G-4
$S(\text{CH}), \text{ ppm}\cdot\text{s}$	145 844	71 861	101 461	286 171
$S(\text{NO}_x), \text{ ppm}\cdot\text{s}$	9282	0	924	5638

Заключение

Представленные в исследовании результаты показали, что плотность бензинов, температура конца кипения, остаток в колбе и кислотность соответствуют нормам ГОСТ. Полугодичный срок хранения образцов топлива никак не сказывается на параметрах горючего, его физической и химической стабильности. Показано, что вещества, улучшающие свойства инновационных и высококачественных сортов топлива, не оказывают влияние на результат измерения октанового числа бензина. Установлено, что химическая стабиль-

ность улучшенных сортов бензина выше, чем у традиционного топлива. Показано, что по полноте сгорания инновационный и высококачественный бензины превосходят бензины, не содержащие веществ, улучшающих горение. Подобный вывод можно сделать и для оксидов азота, содержание которых связано с присутствием в бензине компонентов, повышающих температуру газов, возникающих в камере сгорания силового агрегата. Показано, что инновационный и высококачественный бензины улучшают эксплуатационные и экологические качества топлива.

Список литературы

1. Гаврилов Н.В., Дуров О.В. Получение экологически чистых бензинов, соответствующих евростандартам // Химия и технология топлив и масел. 2008. № 6. С. 9–14.

2. Овчинников Г.В. Влияние загрязнения и износа элементов электромагнитных форсунок на характеристики автомобильного бензинового двигателя: дис. ... канд. техн. наук. Владимир, 2009. 144 с.

3. Скворцов Б.В., Силов Е.А. Исследование корреляционных зависимостей между октановым числом и электродинамическими параметрами углеводородных продуктов // Известия Самарского центра Российской академии наук. 2009. Т. 11. № 5. С. 64–71.

4. Ramadhas A.S., Singh V.P., Subramanian M., Acharya G.K., Basu B., Malhotra R.K. Impact of fuel additives on intake valve deposits, combustion chamber deposits and emissions. *SAE International Powertrains, Fuels and Lubricants Meeting*. 2011. <https://doi.org/10.4271/2011-01-1980>

5. Borzaev B.K., Karpov S.A., Kapustin V.M. Multifunctional additives for automotive gasolines // *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. 2007. Vol. 43. Pp. 108–113. <https://doi.org/10.1007/s10553-007-0021-y>

6. Котов С.В., Тыщенко В.А., Овчинников К.А., Баклан Н.С., Тимофеева Г.В., Гусева И.А., Еремин М.С. Многофункциональная присадка к высококачественным бензинам // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2017. № 10. С. 15–19.

7. Лазарев И.С., Кабанов А.Н. Переход России к производству высококачественного бензина европейского качества и логистические аспекты его перевозок // Успехи в химии и химической технологии. 2015. Т. 29. № 2 (161). С. 123–125.

8. Скворцов Б.В., Силов Е.А., Солнцева А.В. Определение взаимосвязи показателей детонационной стойкости с электродинамическими параметрами углеводородных топлив на основе статистического моделирования компонентного состава // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2010. № 1 (21). С. 166–173.

9. Руднев В.А., Бойченко А.П., Карножицкий П.В. «TOP-DOWN» подход для оценки неопределенности измерений диэлектрической проницаемости неводных растворителей и их многокомпонентных смесей // Вестник Харьковского национального университета. Химия. 2010. Т. 19. № 932. С. 160–169.

10. Николаев В.Ф. Экспресс-методы тестирования композиционных продуктов нефтепромысловой химии и моторных топлив: монография. Казань: Изд-во КНИТУ, 2012. 124 с.

11. Мачулин Л.В. Проблемы экспресс-определения октанового числа и пути его решения // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2013. № 9. С. 13–18.

12. Мачулин Л.В. Сравнительная характеристика прямых и косвенных методов определения октанового числа // Газовая промышленность. 2014. № 9. С. 100–105.

13. Бараз В.Р., Пегашкин В.Ф. Использование MS EXCEL для анализа статистических данных. 2-е изд., перераб. и доп. Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2014. 181 с.

14. Абдуллин Р.З., Абдуллин В.Р. Эконометрика в MS Excel. Практикум. Иркутск: Изд-во БГУ, 2016. 135 с.

References

1. Gavrilov NV, Durov OV. Production of ecologically clean gasolines meeting european standards. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. 2008;44(6):379–385. <https://doi.org/10.1007/s10553-009-0083-0>

2. Ovchinnikov GV. *The influence of pollution and wear of elements of electromagnetic injectors on the characteristics of an automobile gasoline engine* (dissertation of Candidate of Technical Sciences). Vladimir; 2009. (In Russ.)

3. Skvorcov BV, Silov EA. Research of correlation dependences between octan number and electrodynamic parameters of hydrocarbonic products. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2009;11(5):64–71. (In Russ.)

4. Ramadhas AS, Singh VP, Subramanian M, Acharya GK, Basu B, Malhotra RK. Impact of fuel additives on intake valve deposits, combustion chamber deposits and emissions. *SAE International Powertrains, Fuels and Lubricants Meeting*. 2011. <https://doi.org/10.4271/2011-01-1980>

5. Borzaev BK, Karpov SA, Kapustin VM. Multifunctional additives for automotive gasolines. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. 2007;43:108–113. <https://doi.org/10.1007/s10553-007-0021-y>

6. Kotov SV, Tyschenko VA, Ovchinnikov KA, Baklan SN, Timofeeva GV, Guseva IA, Eremin MS. Multifunctional additive for high-quality gasoline. *World of Petroleum Products*. 2017;(10):15–19. (In Russ.)

7. Lazarev IS, Kabanov AN. Transition of Russian petrol to European quality standards. Logistical aspects of transportation. *Advances in Chemistry and Chemical Technology*. 2015; 29(2):123–125. (In Russ.)

8. Skvortsov BV, Silov EA, Solntseva AV. Determination of the relationship of detonation resistance indicators with electrodynamic parameters of hydrocarbon fuels based on statistical modeling of component composition. *Bulletin of the Samara State Aerospace University*. 2010;(1):166–173. (In Russ.)

9. Rudnev VA, Boychenko AP, Karnozhitsky PV. A TOP-DOWN approach for estimating the uncertainty of permittivity measurements of non-aqueous solvents and their multicomponent mixtures. *Bulletin of Kharkiv National University. Chemistry*. 2010;19(932):160–169. (In Russ.)

10. Nikolaev VF. *Express methods of testing composite products of oilfield chemistry and motor fuels*. Kazan: KNITU Publ.; 2012. (In Russ.)

11. Machulin LV. The problem of quick determination of octane number and the ways of its solution. *Neftepererabotka i Neftekhimiya. Nauchno-Tekhnicheskie Dostizheniya i Peredovoj Opyt*. 2013;(9):13–18. (In Russ.)

12. Machulin LV. Direct and indirect octane methods: comparisons. *Gas Industry*. 2014;(9):100–105. (In Russ.)

13. Baraz VR, Pegashkin VF. *Using MS EXCEL to analyze statistical data*. 2nd ed., revised and add. Nizhny Tagil: NTI (branch) UrFU; 2014. (In Russ.)

14. Abdullin RZ, Abdullin VR. *Econometrics in MS Excel: practicum*. Irkutsk: BSU Publ.; 2016. (In Russ.)

Сведения об авторах

Ходяков Александр Андреевич, кандидат химических наук, доцент департамента транспорта, Инженерная академия, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; ORCID: 0000-0001-9391-2890, Scopus Author ID: 6701565417, eLIBRARY SPIN-код: 4780-1919; khodyakov-aa@rudn.ru

Хлопков Сергей Валентинович, кандидат технических наук, доцент департамента транспорта, Инженерная академия, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; ORCID: 0000-0001-9536-7558, Scopus Author ID: 57212109092, eLIBRARY SPIN-код: 8997-3305; khlopkov-sv@rudn.ru

Асоян Артур Рафикович, доктор технических наук, профессор департамента транспорта, Инженерная академия, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; профессор кафедры эксплуатации автомобильного транспорта и автосервиса, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Российская Федерация, 125319, Москва, Ленинградский пр-кт, д. 64; ORCID: 0000-0002-1976-9376, Scopus Author ID: 57207115973, eLIBRARY SPIN-код: 1020-5089; asoyan-ar@rudn.ru

Истомин Данил Владиславович, магистрант, департамент транспорта, Инженерная академия, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; ORCID: 0000-0002-0232-2025; 1032212204@rudn.ru

Алибекова Джейран Руслановна, магистрант, департамент транспорта, Инженерная академия, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; ORCID: 0000-0003-3541-9517; 1032212205@rudn.ru

Нарожный Алексей Алексеевич, магистрант, департамент транспорта, Инженерная академия, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; ORCID: 0000-0002-3395-2871; 1032212206@rudn.ru

About the authors

Alexander A. Khodyakov, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport, Academy of Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-9391-2890, Scopus Author ID: 6701565417, eLIBRARY SPIN-code: 4780-1919; khodyakov-aa@rudn.ru

Sergey V. Khlopkov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport, Academy of Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-9536-7558, Scopus Author ID: 57212109092, eLIBRARY SPIN-code: 8997-3305; khlopkov-sv@rudn.ru

Artur R. Asoyan, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Transport, Academy of Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation; Professor of the Department of Operation of Road Transport and Car Service, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, 64 Leningradskii Prospekt, Moscow, 125319, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-1976-9376, Scopus Author ID: 57207115973, eLIBRARY SPIN-code: 1020-5089; asoyan-ar@rudn.ru

Danil V. Istomin, master's student, Department of Transport, Academy of Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-0232-2025; 1032212204@rudn.ru

Djeqran R. Alibekova, master's student, Department of Transport, Academy of Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-3541-9517; 1032212205@rudn.ru

Alexey A. Narozhnyi, master's student, Department of Transport, Academy of Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-3395-2871; 1032212206@rudn.ru