

М. Н. Рахимов (д.т.н., проф.)^{1а}, И. М. Габбасова (к.х.н., доц.)²,
Ф. Ш. Вильданов (к.т.н., доц.)^{1б}, М. М. Якупов (асп.)^{1а}

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА НА ТЕПЛОТВОРНУЮ СПОСОБНОСТЬ АВТОМОБИЛЬНЫХ БЕНЗИНОВ

¹ Уфимский государственный нефтяной технический университет,
^а кафедра технологии нефти и газа; ^б кафедра нефтехимии и химической технологии
450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1; e-mail: farhad_ufa@mail.ru

² Башкирский государственный медицинский университет, кафедра общей химии
450008, г. Уфа, ул. Пушкина 96/98; e-mail: innik_r@mail.ru

M. N. Rakhimov¹, I. M. Gabbasova², F. Sh. Vil'danov¹, M. M. Yakupov¹

STUDY OF THE INFLUENCE OF COMPONENT COMPOSITION ON THE HEATING VALUE OF MOTOR GASOLINES

¹ Ufa State Petroleum Technological University
1, Kosmonavtov Str., 450064, Ufa, Russia; e-mail: farhad_ufa@mail.ru

² Bashkir State Medical University
96/98 Pushkin Str., 450008, Ufa, Russia; e-mail: innik_r@mail.ru

Представлены результаты исследования теплотворной способности основных марок товарных автомобильных бензинов в зависимости от их компонентного состава. Теплотворная способность товарных бензинов рассчитана на примере типовых проб, а также на базе практических статистических данных по индивидуальному углеводородному составу теплотворной способности основных компонентов автомобильных бензинов. Проведен количественный и качественный анализ зависимости теплотворной способности наиболее распространенных марок товарных автомобильных бензинов АИ-92 и АИ-95 от их компонентного состава. Расчетами показано, что максимальная разность значений теплотворной способности компонентов товарных бензинов при принятых рецептурах бензинов составляет 34.5%. Основные изменения теплотворной способности бензинов происходят при введении в их состав оксигенатов.

Ключевые слова: автомобильные бензины; компаундирование; компоненты бензина; теплосодержание; теплотворная способность; углеводородный состав

Теплотворная способность моторных топлив является одним из основных показателей, характеризующих их энергетическую эффективность.

The results of a study of the heating value of the main brands of motor gasoline depending on their component composition are presented. The heating value of commercial gasoline is calculated using the example of standard samples, as well as on the basis of practical statistical data on the individual hydrocarbon composition of the heating value of the main components of gasoline. A quantitative and qualitative analysis of the dependence of the heating value of the most common brands of commercial automobile gasoline with octane number 92 and octane number 95 defined by research method on their component composition has been carried out. Calculations have shown that the maximum difference in the heating value of the components of commercial gasoline with accepted gasoline formulations is 34.5%. The main changes in the heating value of gasoline occur when oxygenates are introduced into their composition.

Key words: compounding; gasoline components; heat content; heating value; hydrocarbon composition; motor gasoline

В работах^{1,2} было показано, что абсолютные значения теплотворной способности для товарных топлив существенно отличаются, что, в первую очередь, связано с различиями в их химическом составе. Согласно литературным данным, то-

Дата поступления 27.12.25

варные моторные топлива даже одинаковой марки, приготовленные по одним и тем же стандартам, сильно отличаются друг от друга по теплотворной способности. Одной из основных причин этого, на наш взгляд, является различный компонентный состав товарных топлив (в частности для бензинов – на основе бензиновых фракций каких процессов переработки нефти они приготовлены).

Товарные автомобильные бензины готовят путем компаундирования таких высокооктановых бензиновых фракций, как риформат, бензин каталитического крекинга, алкилат, изомеризат, оксигенаты (метил-*трет*-бутиловый эфир (МТБЭ), этил-*трет*-бутиловый эфир (ЭТБЭ), этанол) и др. ^{3, 4}.

С целью оценки зависимости теплотворной способности товарных автомобильных бензинов от их компонентного состава в настоящей работе предпринята попытка количественного и качественного анализа теплотворной способности наиболее распространенных товарных автомобильных бензинов АИ-92 и АИ-95.

Материалы и методы

Объектами исследования стали образцы товарной продукции нефтеперерабатывающих предприятий Республики Башкортостан: риформат производства «Башнефть-Уфанефтехим»; тяжелый бензин каталитического крекинга гидроочищенный (ТБ КК ГО), легкий бензин каталитического крекинга (ЛБ КК), МТБЭ и бутаны производства «Башнефть-УНПЗ»; алкилат и изомеризат производства «Башнефть-Новыйл»; бензин каталитического крекинга (БКК), бензин прямогонный (БПр), дистиллят газового конденсата легкий (ДГКЛ), толуол, бутанолы производства ООО «Газпром нефтехим Салават», которые являются компонентами товарных бензинов марок АИ-92 и АИ-95.

Углеводородный состав компонентов объектов исследования определяли на хроматографе Shimadzu GC 2010 Plus с капиллярной колонкой.

Теплотворную способность компонентов бензинов рассчитывали как сумму теплот их сгорания по формуле (1):

$$\Delta_c H^{\text{вн}}(C_n H_m) = [m_c \Delta_c H^{\text{вн}}(C) + m_n \Delta_c H^{\text{вн}}(H_2)], \text{ Дж/кг} \quad (1)$$

где $\Delta_c H^{\text{вн}}(C_n H_m)$ – массовая теплота сгорания;

n и m – число атомов углерода и водорода в молекулах;

m_c, m_n – массы соответствующих атомов в 1 кг (г) углеводорода, то есть $m_c + m_n = 1 \text{ кг (1 г)}$.

$\Delta_c H^{\text{вн}}(C)$ и $\Delta_c H^{\text{вн}}(H_2)$ – доли теплот сгорания, приходящиеся на соответствующие атомы.

Согласно ⁵, погрешность при расчете теплот сгорания индивидуальных углеводородов по этой методике составляет около 1%.

Результаты и их обсуждение

Анализ состава проб риформата показал, что в нем преобладают ароматические углеводороды (суммарное содержание составило 64–81 %), среди которых процентное соотношение углеводородов C_8 превосходит содержание C_7 и C_9 . Суммарное содержание углеводородов C_7 – C_9 составляет 71–86 % от общего содержания ароматики в риформате. Суммарное содержание парафинов – 17–29 %, в том числе изостроения – 14–21 %, нафтенных – до 2.8 и олефинов – до 0.9 %.

В пробах БКК крекинга обнаружено более 450 индивидуальных углеводородов со схожим соотношением парафинов, олефинов и аренов. Суммарное содержание парафинов составило 28–39 %, в том числе изостроения – 21–29 %, олефинов – 26–36 %, а аренов – 24–33 %. Состав ЛБ КК и ТБ КК ГО сильно зависит от их фракционного состава и от режима гидрирования тяжелой части бензина. Для обеспечения высокого октанового числа тяжелого бензина в большинстве случаев при условии не превышения максимально допустимых значений содержания серы и олефинов в товарных бензинах при компаундировании, содержание олефинов в ТБ КК ГО сохраняют в максимально допустимых пределах. Например, согласно ⁶, в результате гидроочистки тяжелой части бензина суммарное содержание олефинов в расчете на весь бензин снизилось всего на 4.2% мас., а содержание их в тяжелой части бензина осталось на достаточно высоком уровне – 21.4% мас. Расчеты показывают, что в результате гидроочистки теплотворная способность бензина повысилась всего на 0.22%. Кроме того, выявлено, что при полном гидрировании остаточных олефинов до соответствующих парафинов теплотворная способность бензина может повыситься на 0.54% мас.

В ЛБ КК содержание парафинов составило 46–57 % мас., массовая доля n -парафинов при этом не превышала 12%. Содержание олефинов в ЛБ КК составило 31–39 %, массовая доля нафтенных и ароматики – менее 8%. Суммарное содержание парафинов в ТБ КК ГО составило 18–27 %, в том числе n -парафинов – 11–15 %. Содержание ароматики менялось в пределах 69–78 %, нафтенных – 2–6 %, олефины практически отсутствовали.

В исследованных пробах изомеризата содержание n -парафинов составило 11–14 % мас., парафинов изостроения с преобладанием изомеров C_5 и C_6 – 78–86 %, нафтенных – 3–5 %, а содержание ароматики не превышало 1%.

Алкилат установок сернокислотного алкилирования изобутана бутиленами практически нацело состоит из изопарафинов, суммарное содержание которых превышает 94–96 % мас. Среди углеводородов с одинаковым числом атомов углерода преобладают изомеры C_8 – более 65%, затем следуют изопарфины C_5 , C_6 и C_7 . Следует отметить высокое содержание в большинстве проб алкилата, бутанов, в некоторых случаях превышающих 14% мас., что определяется, в первую очередь, «запасом» по ДНП и плотности товарных бензинов при их компаундировании.

Анализ состава проб ДГКЛ показал, что его преобладающими компонентами являются парафины, массовая доля которых варьируется от 90 до 95 %. При этом содержание *n*-парафинов составляет 50–55 % с превалированием в них *n*-пентана, за которым следуют *n*-гексан и *n*-гептан. Суммарное содержание последних трех составляющих ДГКЛ превышает 45%. Массовая доля изопарафинов составляет 40–45 % также с преобладанием изопентанов, за которыми следуют изогексаны и изогептаны. Суммарное содержание наftenов составляет 3.0–4.5 %, а содержание ароматики не превышает 1.5% мас.

В БПр также превалируют парафины, массовая доля которых составляет 91–96 %, из них 76–82 % – парафины изостроения. Анализ хроматограмм показывает, что, как среди *n*-парафинов, так и изопарафинов преобладают углеводороды C_7 .

Следует отметить, что состав прямогонных бензиновых компонентов, в отличие от компонентов товарных бензинов вторичного происхождения, сильно зависит от состава исходного углеводородного сырья (месторождения нефти или газового конденсата).

В дальнейшем с целью определения теплотворной способности товарных бензинов по формуле (1) были рассчитаны значения теплотворной способности типовых проб как сумма массовых теплот сгорания отдельных составляющих углеводородов, или как сумма теплот сгорания составляющих по среднестатистическим составам. Полученные значения теплотворной способности приведены в табл. 1 в порядке снижения их значений. Там же приведены аналогичные значения для бу-

танов, толуола, а также оксигенатов, применяемых при приготовлении товарных бензинов на данных предприятиях.

Как видно из табл. 1, разница теплотворной способности компонентов бензинов может достигать 34.5%, а среди компонентов бензинов на углеводородной основе – 10.9%.

В табл. 2 приведены результаты исследований теплотворной способности наиболее распространенных марок товарных автомобильных бензинов (АИ-92 и АИ-95), приготовленных на основе вышеуказанных компонентов.

Таблица 1

Теплотворная способность основных компонентов автомобильных бензинов

Компонент	Теплотворная способность, МДж/кг
Бутаны	45.19
Изомеризат	44.74
ДГКЛ	44.70
Алкилат	44.62
БПр	44.50
ЛБКК	44.03
БКК	43.56
ТБККГО	42.07
Риформат	42.04
Толуол	40.77
МТБЭ	35.22
Бутанолы	33.59

Анализируя данные табл. 2, можно сделать вывод о том, что максимальная разница теплотворной способности между отдельными партиями бензина марки АИ-92 составляет 2.3%, а между партиями бензина марки АИ-95 – 3.0%. При максимально допустимых значениях содержания в бензинах МТБЭ и изобутанола теплотворная способность бензина снижается на 4.0 и 4.2 %.

Таким образом, максимальная разность теплотворной способности отдельных партий товарных автомобильных бензинов АИ-92 и АИ-95 не превышает 3.0%. Существенные изменения теплотворной способности бензинов возможны при введении в их состав оксигенатов. Наиболее эффективным вариантом повышения теплотворной способности таких бензинов является введение в их состав бутанов, изомеризата и алкилата.

Теплотворная способность товарных автомобильных бензинов АИ-92 и АИ-95

Проба № (марка)	Компонент	Рифор- мат	ТБ КК ГО	ЛБ КК	Алки- лат	Изоме- ризат	МТБЭ	Толуол	Бутаны	БКК	БПр	ДГКЛ	Бутанолы	Сумма/ среднее
	Теплотворная способность, МДж/кг	42.04	42.07	44.03	44.62	44.74	35.22	40.77	45.19	43.56	44.50	44.70	33.59	
№1 (АИ-92)	Содержание, % мас.	31.23	56.58	0.00	0.00	5.18	0.00	0.00	7.01	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
	Количество тепла, МДж	13.13	28.80	-	-	2.32	-	-	3.17	-	-	-	-	42.42
№2 (АИ-92)	Содержание, % мас.	34.86	0.00	0.00	0.00	21.83	0.18	0.00	0.33	41.43	0.00	0.00	1.37	100.00
	Количество тепла, МДж	14.66	-	-	-	9.77	0.06	-	0.15	18.05	-	-	0.46	43.14
№3 (АИ-92)	Содержание, % мас.	47.84	20.24	31.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
	Количество тепла, МДж	20.11	8.52	14.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42.68
№4 (АИ-92)	Содержание, % мас.	37.80	41.15	0.00	0.00	21.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
	Количество тепла, МДж	15.89	17.31	-	-	9.42	-	-	-	-	-	-	-	42.62
№5 (АИ-92)	Содержание, % мас.	34.85	-	-	-	22.16	0.18	-	-	41.44	-	-	1.37	100.00
	Количество тепла, МДж	14.65	-	-	-	9.91	0.06	-	-	8.05	-	-	0.46	43.14
№6 (АИ-92)	Содержание, % мас.	34.08	-	-	-	18.77	-	-	7.82	34.90	-	2.54	1.90	100.00
	Количество тепла, МДж	14.33	-	-	-	8.40	-	-	3.53	15.20	-	1.13	0.64	43.23
№7 (АИ-92)	Содержание, % мас.	34.55	-	-	-	21.12	-	-	7.72	34.55	-	-	2.05	100.00
	Количество тепла, МДж	14.53	-	-	-	9.45	-	-	3.49	15.05	-	-	0.69	43.21
№8 (АИ-92)	Содержание, % мас.	34.53	-	-	-	17.36	-	-	7.89	40.22	-	-	-	100.00
	Количество тепла, МДж	14.52	0-	0-	-	7.77	0-	-	3.57	117.52	-	-	-	43.37
№9 (АИ-92)	Содержание, % мас.	30.62	-	-	-	13.89	0.97	-	11.30	43.22	-	-	-	100.00
	Количество тепла, МДж	12.87	-	-	-	6.21	0.34	-	5.11	18.82	-	-	-	43.36
№10 (АИ-92)	Содержание, % мас.	24.28	-	-	-	10.98	0.45	-	6.45	41.74	-	14.68	1.44	100.00
	Количество тепла, МДж	10.21	-	-	-	4.91	0.16	-	2.91	118.18	-	6.56	0.48	43.41
№11 (АИ-95)	Содержание, % мас.	72.49	-	-	22.41	-	5.10	-	-	-	-	-	-	100.00
	Количество тепла, МДж	30.48	-	-	10.00	-	1.80	-	-	-	-	-	-	42.27
№12 (АИ-95)	Содержание, % мас.	32.65	-	-	-	38.99	-	1.86	-	25.55	-	-	0.95	100.00
	Количество тепла, МДж	13.73	-	-	-	17.44	-	0.76	-	11.13	-	-	0.32	43.38
№13 (АИ-95)	Содержание, % мас.	40.32	7.38	38.10	14.20	-	-	-	-	-	-	-	-	100.00
	Количество тепла, МДж	16.95	3.10	116.78	6.34	-	-	-	-	-	-	-	-	43.17
№14 (АИ-95)	Содержание, % мас.	61.74	-	23.51	-	14.75	-	-	-	-	-	-	-	100.00
	Количество тепла, МДж	25.96	0-	110.35	-	6.60	-	-	-	-	-	-	-	42.91
№15 (АИ-95)	Содержание, % мас.	34.81	-	-	-	24.47	6.05	-	4.93	26.13	-	-	3.61	100.00
	Количество тепла, МДж	14.64	-	-	-	10.95	2.13	-	2.23	11.38	-	-	1.21	42.54
№16 (АИ-95)	Содержание, % мас.	28.35	-	-	-	17.66	-	-	6.36	39.64	-	7.99	-	100.00
	Количество тепла, МДж	11.92	-	-	-	7.90	-	-	2.87	117.27	-	3.57	-	43.53
№17 (АИ-95)	Содержание, % мас.	28.34	-	-	-	17.65	6.49	-	6.49	28.39	-	9.09	3.54	100.00
	Количество тепла, МДж	11.91	-	-	-	7.90	2.29	-	2.93	112.37	-	4.06	1.19	42.65
№18 (АИ-95)	Содержание, % мас.	31.42	-	-	-	17.54	5.95	-	7.31	29.75	-	4.85	3.18	100.00
	Количество тепла, МДж	13.21	-	-	-	7.85	2.10	-	3.30	12.96	-	2.17	1.07	42.65
№19 (АИ-95)	Содержание, % мас.	31.28	-	-	-	16.03	5.43	-	7.15	32.01	-	4.86	3.24	100.00
	Количество тепла, МДж	13.15	-	-	-	7.17	1.91	-	3.23	13.94	-	2.17	1.09	42.67

Литература

1. Рахимов М.Н., Вильданов Ф.Ш., Фаррахов С.В., Якупов М.М. Анализ теплотворной способности высокооктановых компонентов автомобильных бензинов // Баш. хим. ж.– 2023.– Т.30, №3.– С.91-96.
2. Якупов М.М., Ахмадияров Р.Р., Рахимов М.Н., Губайдуллин И.М. Углеводородный состав и теплотворная способность бензинов каталитического крекинга // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело.– 2024.– №6.– С.112-134.
3. Капустин В.М. Технология производства автомобильных бензинов.– М.: Химия, 2015.– 256 с.
4. Рахимов М.Н., Лунева М.Э. Компонентный состав высокооктановых автомобильных бензинов // Сетевое издание «Нефтегазовое дело».– 2022.– №4.– С.171-192.
5. Кабо Г.Я., Кабо Л.А., Карпушенкова Л.С., Блохин А.В. Энергоемкость углеводородов в жидком и твердом состояниях // Тонкие химические технологии.– 2021.– Т.16, №4.– С.273-286.
6. Ермак А.А., Бугаевич О.Г. Изменение углеводородного состава бензина каталитического крекинга МССС в результате его гидрооблагораживания по технологии Prime G+ // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки.– 2015.– №11.– С.127-132.

References

1. Rakhimov M.N., Vildanov F.Sh., Farrakhov S.V., Yakubov M.M. *Analiz teplotvornoy sposobnosti vysokooktanovykh komponentov avtomobil'nykh benzinov* [Analysis of the calorific value of high-octane components of motor gasolines]. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal* [Bashkir Chemical Journal], 2023, vol.30, no.3, pp.91-96.
2. Yakubov M.M., Akhmediyarov R.R., Rakhimov M.N., Gubaydullin I.M. *Uglevodorodnyi sostav i teplotvornaya sposobnost' benzinov kataliticheskogo krekinga* [Hydrocarbon composition and calorific value of catalytic cracking gasolines]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal Neftegazovoye delo* [Electronic scientific journal Oil and Gas Business], 2024, no.6, pp.112-134.
3. Kapustin V.M. *Tekhnologiya proizvodstva avtomobil'nykh benzinov* [Technology of production of motor gasolines]. Moscow, Khimiya Publ., 2015, 256 p.
4. Rakhimov M.N., Luneva M.E. *Komponentnyi sostav vysokooktanovykh avtomobil'nykh benzinov* [Component composition of high-octane motor gasolines]. *Setevoye izdaniye «Neftegazovoye delo»* [Online publication «Oil and Gas Business»], 2022, no.4, pp.171-192.
5. Kabo G. Ya., Kabo L. A., Karpushenkova L. S., Blokhin A. V. *Energoyemkost' uglevodorodov v zhidkom i tverdom sostoyaniyakh* [Energy capacity of hydrocarbons in liquid and solid states]. *Tonkiye khimicheskiye tekhnologii* [Fine chemical technologies], 2021, vol.16, no.4, pp.273-286.
6. Ermak A. A., Bugaevich O. G. *Izmeneniye uglevodorodnogo sostava benzina kataliticheskogo krekinga MССС v rezul'tate ego gidrooblagorazhivaniya po tekhnologii Prime G+* [Change in the hydrocarbon composition of МССС catalytic cracking gasoline as a result of its hydrotreating using Prime G+ technology]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya V. Promyshlennost'. Prikladnyye nauki* [Bulletin of Polotsk State University. Series B. Industry. Applied Sciences], 2015, no.11, pp.127-132.