

**УДК 665.73**

**ПРОИЗВОДСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ БЕНЗИНОВ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАБИЛЬНОГО ГАЗОВОГО  
КОНДЕНСАТА И ПРОДУКТОВ ПРОЦЕССА «ЦЕОФОРМИНГ»  
В КАЧЕСТВЕ СМЕСЕВЫХ КОМПОНЕНТОВ**

**PRODUCTION OF AUTOMOBILE GASOLINES  
WITH STABLE GAS CONDENSATE AND OF ZEOFORMING  
PROCESS PRODUCTS AS MIXTURE COMPONENTS**

**А.А. Алтынов, И.А. Богданов, Н.С. Белинская, Е.В. Попок,  
М.В. Киргина**

**Национальный исследовательский Томский политехнический  
университет, г. Томск, Российская Федерация**

**Andrey A. Altynov, Ilya A. Bogdanov, Natalia S. Belinskaya,  
Evgeniy V. Popok, Maria V. Kirgina**

**National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk,  
Russian Federation**

**e-mail: andrey\_altun@mail.ru**

**Аннотация.** Целью работы является исследование возможности и целесообразности производства автомобильных бензинов с использованием стабильного газового конденсата и продуктов процесса «Цеоформинг» в качестве смесевых компонентов. С помощью комплекса экспериментальных методов определены основные физико-химические свойства, эксплуатационные характеристики и углеводородный состав (метод капиллярной газовой хроматографии) образцов стабильного газового конденсата одного из месторождений Западной Сибири, исходя из которых показана возможность использования стабильного газового

конденсата в качестве смесового компонента автомобильных бензинов, а также в качестве сырья процесса «Цеоформинг». На лабораторной каталитической установке реализован процесс «Цеоформинг» с использованием в качестве сырья стабильного газового конденсата, катализатор – цеолитный, марки КН-30. Показано, что реализация процесса «Цеоформинг» позволяет повысить октановое число стабильного газового конденсата по исследовательскому методу максимально на 16,7 пунктов при температуре реализации процесса 400 °С. С применением программного комплекса «Compounding» разработаны рецептуры смешения автомобильных бензинов, соответствующих всем требованиям нормативных документов. Показана возможность снижения себестоимости автомобильных бензинов при вовлечении в смешение продуктов процесса «Цеоформинг».

**Abstract.** The aim of the work is to study the feasibility of the motor gasolines production using stable gas condensate and the Zeoforming process products as mixed components. Using experimental methods, the main physicochemical properties, performance characteristics and hydrocarbon composition (capillary gas chromatography method) of stable gas condensate samples from one of the fields in Western Siberia were determined, based on which the possibility of using stable gas condensate as a gasoline mixed component was shown, and also as a raw material of the Zeoforming process. The Zeoforming process is implemented on a laboratory catalytic installation using stable gas condensate as a feedstock, a zeolite catalyst, the KN-30 grade. It is shown that the implementation of the Zeoforming process makes it possible to increase the stable gas condensate octane number using the research method to a maximum of 16.7 points at a process realization temperature of 400 ° C. With the use of the «Compounding» software complex, formulations of mixing gasoline that meet all the requirements of regulatory documents have been developed. The possibility of motor gasoline cost reducing with the involvement of the Zeoforming products in mixing is shown.

**Ключевые слова:** стабильный газовый конденсат, бензин, компаундирование, цеоформинг, октановое число, топливо, цеолитный катализатор

**Key words:** stable gas condensate, motor gasoline, compounding, zeoforming, octane number, fuel, zeolite catalyst

Ежегодное увеличение объемов потребления автомобильных топлив вынуждает искать новые пути их получения, немаловажным также является то, что систематически ужесточаются требования по утилизации продуктов, получаемых в процессе добычи нефти (попутного нефтяного газа, газового конденсата).

Одним из способов решения описанных выше проблем является использование стабильного газового конденсата (СГК) в качестве смесового компонента товарных бензинов.

Стабильный газовый конденсат – смесь жидких углеводородов ( $C_{5+}$ ), получаемая в качестве продукта на газоконденсатных, газовых и нефтяных месторождениях из которого в процессе подготовки удалены растворённые газы. Как правило, стабильный газовый конденсат состоит из бензиновых, керосиновых и, в меньшей степени, более высококипящих компонентов. Углеводородный состав газовых конденсатов варьируется в широких пределах в зависимости от места и условий добычи [1]. Стабильный газовый конденсат является ценным сырьевым продуктом. Наиболее перспективным на данный момент является использование стабильного газового конденсата в качестве сырья для нефтехимии [2–4], а также в качестве смесового компонента моторных топлив [5–10].

Основные физико-химические и эксплуатационные свойства производимых в России автомобильных бензинов регламентируются государственными стандартами: ГОСТ 32513-2013 «Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия» [11] и Техническим

регламентом таможенного союза ТР ТС-013/2011 «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту» [12].

Показателями качества автомобильного бензина, к которым предъявляются строгие требования, являются: октановое число, плотность, давление насыщенных паров, фракционный состав, а также содержание серы, бензола, ароматических и олефиновых углеводородов.

В ходе работы были исследованы три образца стабильного газового конденсата, полученные с одного из месторождений Западной Сибири. Для исследуемых образцов были определены: содержание серы, плотность, фракционный состав. Также был определен индивидуальный углеводородный состав образцов методом газожидкостной хроматографии на хроматографе «Хроматэк-Кристалл 5000». Определение серы проводилось в соответствии с методикой, представленной в ГОСТ Р 51947-2002 «Нефть и нефтепродукты. Определение серы методом энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектроскопии» [13].

Полученные значения по содержанию серы в образцах стабильного газового конденсата, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Содержание серы в образцах стабильного газового конденсата

Номер образца СГК	1	2	3
Содержание серы, мг/кг	33	28	30

Из анализа результатов, представленных в таблице 1, видно, что содержание серы в образцах стабильного газового конденсата в среднем составляет 30 мг/кг. Результаты определения содержания серы в образцах стабильного газового конденсата свидетельствуют о возможности применения данного продукта в качестве компонента для производства бензинов 4-го экологического класса, а при включении в рецептуру производства бензинов других компонентов с минимальным содержанием

серы (рифформат, ароматические углеводороды, изомеризат) возможно производство бензина 5-го экологического класса (предельное содержание серы согласно [12] для 4-го класса – 50 мг/кг, для 5-го класса – 10 мг/кг соответственно).

Плотность образцов стабильного газового конденсата была определена с помощью пикнометра в соответствии с методикой, представленной в ГОСТ 3900-85 «Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности» [14]. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2. Плотность образцов стабильного газового конденсата

Номер образца СГК	1	2	3
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,666	0,657	0,719

Из результатов, представленных в таблице 2, видно, что плотность исследуемых образцов стабильного газового конденсата близка к плотности таких распространенных бензиновых компонентов, как алкилат и газовый бензин и в среднем составляет 0,681 г/см<sup>3</sup>.

Для определения фракционного состава был использован автоматический аппарат для определения фракционного состава нефтепродуктов OptiDist™. Определение фракционного состава было проведено в соответствии с методикой, представленной в ГОСТ 2177-99 «Нефтепродукты. Методы определения фракционного состава» [15].

Данные по фракционному составу исследуемых образцов стабильного газового конденсата приведены в таблице 3.

Согласно данным, представленным в таблице 3, фракционный состав образцов исследуемого газового конденсата имеет значения, близкие к фракционному составу прямогонных бензинов, широко вовлекаемых в производство товарного автомобильного бензина.

Таблица 3. Фракционный состав образцов стабильного газового конденсата

Объем, %	Образец 1	Образец 2	Образец 3
	T, °C		
н.к.	28,4	30,1	27,6
5	36,5	37,5	33,5
10	39,3	40,4	35,9
15	41,4	42,8	38,0
20	44,0	45,5	40,5
30	49,0	51,0	45,6
40	54,6	56,8	51,2
50	60,9	63,2	57,1
60	68,0	70,6	64,4
70	76,7	79,4	73,1
80	87,1	90,9	84,5
85	94,4	99,1	92,1
90	105,2	112,9	103,4
95	131,9	141,2	133,3
к.к.	138,5	149,6	139,9

Хроматографический анализ образцов проводился в соответствии с методикой, представленной в ГОСТ Р 52714-2007 «Бензины автомобильные. Определение индивидуального и группового углеводородного состава методом капиллярной газовой хроматографии» [16].

Данные по групповому углеводородному составу образцов стабильного газового конденсата приведены в таблице 4.

Таблица 4. Групповой углеводородный состав образцов стабильного газового конденсата

Группа углеводородов	Содержание в образце, % об.		
	1	2	3
н-парафины	46,14	47,70	45,05
и-парафины	37,60	38,42	38,03
нафтены	15,44	10,62	14,51
олефины	0,24	3,08	1,84
ароматические углеводороды	0,58	0,18	0,57

Данные по компонентам, содержание которых в образцах стабильного газового конденсата значительно, представлены в таблице 5.

Таблица 5. Компоненты, содержание которых в образцах стабильного газового конденсата значительно

Компонент	Содержание в образце, % об.		
	1	2	3
пентан	19,47	23,67	21,01
изопентан	15,61	18,61	17,14
бутан	12,63	8,10	10,27
гексан	10,02	12,06	10,23
2-метилпентан	7,60	9,18	7,76
метилциклопентан	4,91	5,95	5,02

Результаты хроматографического анализа образцов стабильного газового конденсата, представленные в таблице 4, показывают, что в стабильном газовом конденсате преобладают такие группы углеводородов, как парафины, изопарафины и нафтены.

Содержание олефинов в образцах находится в пределах 0,26-3,07 % об., что не превышает допустимых значений в автомобильных бензинах, согласно [11] (не более 18,0 % об.). Содержание ароматических углеводородов минимально – находится в пределах 0,17–0,58 % об., в то время как нормативное содержание ароматических углеводородов, согласно [11], не более 35,0 % об. для всех марок автомобильного бензина. Также стоит отметить, что содержание бензола во всех образцах не превышает 0,2 % об. (таблица 6), что удовлетворяет требования, предъявляемым, согласно [12], к бензинам 5-го экологического класса (не более 1 % об.).

С помощью разработки Томского политехнического университета – программного комплекса «Compounding» [17] – были рассчитаны следующие характеристики образцов стабильного газового конденсата: октановое число по исследовательскому методу (ОЧИ), октановое число по

моторному методу (ОЧМ), давление насыщенных паров (ДНП), плотность при 15 °С, содержание различных углеводородов. Результаты расчета представлены в таблице 6.

Таблица 6. Характеристики образцов стабильного газового конденсата, рассчитанные с использованием «Compounding»

Характеристика	Образец СГК		
	1	2	3
ОЧИ	69,4	69,8	70,6
ОЧМ	66,6	67,6	67,8
ДНП, кПа	104,3	93,7	97,4
Плотность при 15 °С, кг/м <sup>3</sup>	661,7	659,4	666,1
Содержание веществ, % об.			
бензол	0,14	0,17	0,15
ароматические углеводороды	0,59	0,17	0,57
олефины	0,14	3,07	1,86

Из результатов, представленных в таблице 6, следует, что среднее октановое число по исследовательскому методу образцов стабильного газового конденсата составляет 69,9 пунктов, что на 10 пунктов превышает среднестатистические октановые числа прямогонных бензинов (50–60 пунктов).

Давление насыщенных паров для образцов стабильного газового конденсата в среднем составляет 98,5 кПа, из чего следует, что использование стабильного газового в качестве смесового компонента бензина наиболее целесообразно при производстве зимнего топлива. Это связано с тем, что, согласно [11], регламентируемое значение давления насыщенных паров бензина в летний период составляет 35–80 кПа, в зимний и межсезонный период – 35–100 кПа.

Исходя из полученных результатов, можно заключить, что использование стабильного газового конденсата в качестве смесового компонента автомобильных бензинов является возможным. Кроме того, у



данного сырья имеется большой запас по содержанию олефиновых, ароматических углеводородов и бензола, что делает стабильный газовый конденсат перспективным компонентом при производстве автомобильных бензинов.

На следующем этапе работы с использованием программного комплекса «Compounding» были разработаны рецептуры смешения автомобильного бензина марок АИ-92 и АИ-95. В качестве дополнительных смесевых компонентов были использованы толуол и метил-трет-бутиловый-эфир (МТБЭ). Выбор данных компонентов обусловлен их высокими октановыми числами, доступностью и относительной дешевизной.

Результаты расчета характеристик МТБЭ и толуола с использованием программного комплекса «Compounding» представлены в таблице 7.

Разработанные рецептуры смешения автомобильных бензинов представлены в таблице 8.

Характеристики бензинов, полученных по разработанным рецептурам, были так же рассчитаны с использованием программного комплекса «Compounding», результаты представлены в таблице 9.

Таблица 7. Характеристики дополнительных смесевых компонентов

Характеристика	Толуол	МТБЭ
ОЧИ	120,0	124,4
ОЧМ	103,3	109,5
ДНП, кПа	7,6	40,3
Плотность при 15 °С, кг/м <sup>3</sup>	867,3	735,0
Содержание веществ, % об.		
бензол	0,47	0,00
ароматические углеводороды	97,26	0,01
олефины	0,58	0,44

Таблица 8. Рецептуры смешения бензинов марок АИ-92 и АИ-95 при использовании СГК в качестве смесового компонента

Содержание, % мас.	Марка					
	АИ-92			АИ-95		
№ образца СГК	1	2	3	1	2	3
Стабильный газовый конденсат	59,5	61,5	61,0	53,5	55,5	55,5
МТБЭ	9,0	9,0	9,0	12,5	12,0	12,0
Толуол	31,5	29,5	30,0	34,0	32,5	32,5

Из таблицы 8 видно, что для производства автомобильного бензина марки АИ-92 основным компонентом является стабильный газовый конденсат (доля в рецептуре 59,5–61,5 % мас.). МТБЭ как компонент, отвечающий за содержание эфиров  $C_5$  и выше и имеющий высокое октановое число, добавляется в количестве 9 % мас. Нормативное содержание МТБЭ в составе автомобильного бензина – не более 15 % мас., согласно [11]. Содержание толуола в бензинах варьируется в пределах 29,5–31,5 % мас.

В рецептуре смешения автомобильного бензина марки АИ-95 наблюдается незначительное снижение доли стабильного газового конденсата в смесовом объеме. В сравнении с маркой бензина АИ-92 вовлечение стабильного газового конденсата снизилось на 6 % мас. для всех образцов стабильного газового конденсата, одновременно с этим, на 3 % мас. повысилось содержание МТБЭ. Это связано с более высокими требованиями по октановому числу, предъявляемыми к данной марке автомобильного бензина.

Как можно видеть из данных, представленных в таблице 9, автомобильные бензины, полученные по разработанным рецептурам, соответствуют всем требованиям [11] и [12], что подтверждает возможность использования стабильного газового конденсата в качестве смесового компонента автомобильных бензинов.

Таблица 9. Характеристики автомобильных бензинов, полученных по разработанным рецептурам смешения

Марка	АИ-92			АИ-95			Норма АИ- 92/95	
	№ образца СГК	1	2	3	1	2		3
ОЧИ		92,0	92,0	92,2	95,2	95,2	95,1	92,0/95,0
ОЧМ		83,8	84,4	84,2	86,1	86,7	86,3	83,0/85,0
ДНП, кПа		68,1	63,5	65,3	63,4	59,3	61,4	35-80* 35-100**
Плотность, при 15 °С, кг/м <sup>3</sup>		733,1	727,5	732,7	740,8	736,0	739,8	725,0- 780,0
Сера, мг/кг		19,64	17,22	18,30	17,66	15,54	16,65	10,00*** 50,00****
Содержание веществ, % об.								
бензол		0,19	0,20	0,19	0,20	0,21	0,19	1,00
ароматические углеводороды		25,88	23,74	24,52	28,16	26,44	26,77	35,00
олефины		0,28	2,24	1,42	0,29	2,08	1,34	18,00
Примечания: * – в летний период; ** – в зимний и межсезонный период; *** – для 5-го экологического класса; **** – для 4-го экологического класса								

По содержанию серы полученные бензины можно отнести к 4-му экологическому классу [12]. Среднее содержание серы в автомобильном бензине марки АИ-92 составляет 18,39 мг/кг, в марке АИ-95 – 16,62 мг/кг соответственно. Поскольку полученный автомобильный бензин будет использоваться, в первую очередь, для обеспечения собственных нужд месторождения, то использование автомобильного бензина 4-го экологического класса является допустимым (требования [12] не распространяются на потребление топлива для собственных нужд на буровых платформах и нефтяных промыслах).

На третьем этапе работ была исследована возможность использования стабильного газового конденсата в качестве сырья процесса «Цеоформинг». Процесс «Цеоформинг» – позволяет вести производство

высокооктановых неэтилированных бензинов от АИ-80 до АИ-95 каталитической переработкой низкооктановых бензиновых фракций различного происхождения на цеолитных катализаторах [18, 19].

В ходе работы, с использованием лабораторной каталитической установки, был реализован процесс «Цеоформинг» с использованием цеолитного катализатора марки КН-30 (производство ПАО «Новосибирский завод химконцентратов») и образца стабильного газового конденсата № 1 в качестве сырья. Были проведены три испытания при различных температурах: 375 °С, 400 °С, 425 °С и постоянном давлении 1 МПа.

Методом газожидкостной хроматографии был определен индивидуальный углеводородный состав продуктов процесса «Цеоформинг», данные по групповому углеводородному составу полученных продуктов представлены в таблице 10.

Таблица 10. Групповой углеводородный состав продуктов процесса «Цеоформинг»

Группа углеводородов	Содержание, % об.		
	375 °С	400 °С	425 °С
н-парафины	27,51	23,02	27,61
и-парафины	41,33	17,24	11,63
нафтены	11,69	3,27	7,90
олефины	6,14	1,22	1,05
ароматические углеводороды	13,30	55,24	51,80

В таблице 11 представлены компоненты, содержание которых в продуктах процесса «Цеоформинг» значительно.

Таблица 11. Компоненты, содержание которых в продуктах процесса «Цеоформинг» значительно

Компонент	Содержание, % об.		
	375 °С	400 °С	425 °С
изопентан	12,81	4,77	<4,00
бутан	9,12	<4,00	<4,00
пентан	7,46	<4,00	<4,00
метилпентаны	7,19	<4,00	<4,00
толуол	5,04	22,25	18,34
изобутан	4,98	<4,00	<4,00
диметилбензол	4,50	23,09	23,96
пропан	4,47	<4,00	<4,00
бензол	1,25	5,28	2,67
нонан	<4,00	5,07	5,45
декан	<4,00	4,92	6,24

Результаты расчета характеристик полученных продуктов процесса «Цеоформинг» с использованием программного комплекса «Compounding» представлены в таблице 12.

Таблица 12. Характеристики продуктов процесса «Цеоформинг»

Характеристика	Температура проведения процесса		
	375 °С	400 °С	425 °С
ОЧИ	85,2	86,1	76,8
ОЧМ	79,2	74,8	66,6
ДНП, кПа	130,1	54,8	26,2
Плотность при 15 °С, кг/м <sup>3</sup>	708,0	799,9	804,3
Содержание веществ, % об.			
бензол	1,25	5,28	2,67
ароматические углеводороды	13,30	55,24	51,80
олефины	6,14	1,22	1,05

Как можно видеть из результатов, представленных в таблице 10, в зависимости от температуры проведения процесса меняется

преобладающая группа углеводородов в полученных продуктах. Общим для всех продуктов является минимальное содержание олефиновых углеводородов. Так для продукта, полученного в ходе испытания при температуре 375 °С преобладают изопарафиновые углеводороды. С ростом температуры проведения процесса содержание изопарафиновых углеводородов падает. Для продуктов, полученных в ходе испытаний при температурах 400 °С и 425 °С, максимальным является содержание ароматических углеводородов.

Если говорить о давлении насыщенных паров (таблица 12), то можно видеть резкое уменьшение данного параметра (с 130 до 26 кПа) при увеличении температуры проведения процесса «Цеоформинг». Обратную тенденцию можно заметить для плотности продуктов процесса «Цеоформинг» (таблица 12), которая повышается с увеличением температуры. Данные тенденции связаны с увеличением в продуктах содержания тяжелых, в первую очередь, ароматических углеводородов.

Также из таблицы 12, следует, что реализация процесса «Цеоформинг» позволяет повысить октановое число стабильного газового конденсата. Так октановое число по исследовательскому методу повышается на 15,8 пунктов при температуре проведения процесса 375 °С; на 16,7 пунктов при температуре проведения процесса 400 °С и на 7,4 пункта при температуре проведения процесса 425 °С, что делает продукт процесса «Цеоформинг» перспективным смесевым компонентом для производства автомобильных бензинов.

Из таблицы 12 следует, что наиболее целесообразным является вовлечение в производство автомобильных бензинов продукта процесса «Цеоформинг», полученного при температуре 375 °С (характеризуются сравнительно высоким октановым числом и низким содержанием ароматических углеводородов). С увеличением температуры проведения процесса содержание ароматических углеводородов в продуктах процесса «Цеоформинг» растет и превышает значения, допустимые для

автомобильных бензинов (не более 35 % об.), что делает затруднительным их использование в качестве смесового компонента бензинов.

Далее с помощью программного комплекса «Compounding» были разработаны рецептуры смешения автомобильных бензинов марок АИ-92 и АИ-95. В качестве смесовых компонентов использованы стабильный газовый конденсат (образец №1), толуол и продукт процесса «Цеоформинг» (при температуре проведения процесса – 375 °С). Разработанные рецептуры представлены в таблице 13.

Таблица 13. Рецептуры смешения автомобильных бензинов марок АИ-92 и АИ-95 при использовании стабильного газового конденсата и продукта процесса «Цеоформинг» в качестве смесовых компонентов

Содержание, % мас.	Марка	
	АИ-92	АИ-95
Стабильный газовый конденсат №1	18	13
Толуол	20	26
Продукт процесса «Цеоформинг» (375 °С)	62	61

Свойства бензинов, полученных по разработанным рецептурам смешения, представлены в таблице 14.

Как можно видеть из данных, представленных в таблице 14, для бензина марки АИ-92 основным компонентом являются продукт процесса «Цеоформинг», его содержание составляет 62 % масс. Толуол и стабильный газовый конденсат в рецептуре находятся почти в равных долях (20 % мас. и 18 % мас. соответственно). Для бензина марки АИ-95 вовлечение продукта процесса «Цеоформинг» составляет 61 % масс., что не значительно отличается от марки АИ-92. Вместе с тем, содержание толуола превышает содержание стабильного газового конденсата в рецептуре в два раза (26 % масс. и 13 % масс. соответственно). Такое соотношение связано с более высокими требованиями по октановому числу, предъявляемыми к данной марке автомобильного бензина.

Таблица 14. Характеристики автомобильных бензинов, полученных по разработанным рецептурам смешения

Характеристика	АИ-92	АИ-95	Норма АИ-92/95
ОЧИ	92,3	95,1	92,0/95,0
ОЧМ	84,5	86,6	83,0/85,0
ДНП, кПа	95,7	91,1	35-80* 35-100**
Плотность, при 15 °С, кг/м <sup>3</sup>	738,5	748,5	725,0- 780,0
Сера, мг/кг	5,94	4,29	10,00*** 50,00****
Содержание веществ, % об.			
бензол	0,90	0,91	1,00
ароматические углеводороды	26,30	31,03	35,00
олефины	4,81	4,64	18,00
Примечания: * – в летний период; ** – в зимний и межсезонный период; *** – для 5 экологического класса; **** – для 4 экологического класса			

Как можно видеть из данных, представленных в таблице 14, автомобильные бензины, полученные по разработанным рецептурам смешения, соответствуют всем требованиям [11] и [12].

Содержание серы в автомобильном бензине марки АИ-92 составило 5,94 мг/кг, марки АИ-95 – 4,29 мг/кг. Таким образом, бензин, полученный по разработанным рецептурам смешения, может быть отнесен к 5-му экологическому классу согласно [12]. Данный экологический класс позволяет использовать полученный бензин не только на месторождении, но и на всей территории Российской Федерации, а также поставлять топливо на экспорт.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности использования продуктов процесса «Цеоформинг» (сырье – стабильный газовый конденсат) в качестве смесового компонента автомобильных бензинов.



Важно отметить, что использование продукта процесса «Цеоформинг» при смешении автомобильных бензинов позволяет полностью исключить использование МТБЭ и существенно снизить использование толуола (на 11,5 % мас. для бензина марки АИ-92 и на 8 % мас. для бензина марки АИ-95), что, в свою очередь, позволит значительно снизить себестоимость производимого бензина.

## **Выводы**

1. Экспериментально определены основные физико-химические свойства, эксплуатационные характеристики и углеводородный состав образцов стабильного газового конденсата, полученного с одного из месторождений Западной Сибири. Полученные результаты свидетельствуют о возможности применения стабильного газового конденсата в качестве смесового компонента автомобильных бензинов, тем самым позволяя утилизировать попутные продукты добычи газа в производстве продуктов с высокой добавленной стоимостью (моторных топлив).

2. С помощью программного комплекса «Comrounding» разработаны рецептуры смешения автомобильных бензинов марок АИ-92, АИ-95 с использованием в качестве основного смесового компонента стабильного газового конденсата, а в качестве дополнительных компонентов – метил-трет-бутилового эфира и толуола. Автомобильные бензины, полученные по разработанным рецептурам, соответствуют всем требованиям [11, 12], относятся к 4-му экологическому классу и могут быть использованы для обеспечения собственных нужд газодобывающих предприятий.

3. На лабораторной каталитической установке с использованием цеолитного катализатора КН-30 и стабильного газового конденсата в качестве сырья реализован процесс «Цеоформинг». Показано, что реализация процесса «Цеоформинг» позволяет повысить октановое число стабильного газового конденсата по исследовательскому методу (максимально на 16,7 пунктов). Полученные результаты свидетельствуют о

возможности использования продуктов процесса «Цеоформинг» (сырье – стабильный газовый конденсат) в качестве смесового компонента автомобильных бензинов.

4. Установлено, что наиболее предпочтительным смесовым компонентом автомобильных бензинов являются продукты процесса «Цеоформинг» при использовании стабильного газового конденсата в качестве сырья, полученные при температуре реализации процесса 375 °С.

5. Разработаны рецептуры смешения автомобильных бензинов марок АИ-92, АИ-95 с использованием в качестве основных смесовых компонентов стабильного газового конденсата и продуктов процесса «Цеоформинг». Автомобильные бензины, полученные по разработанным рецептурам, соответствуют всем требованиям нормативных документов [11, 12], относятся к 5-му экологическому классу, пригодны для реализации на всей территории Российской Федерации и отправки на экспорт.

6. Показано, что использование продуктов процесса «Цеоформинг» при смешении автомобильных бензинов позволяет полностью исключить использование метил-трет-бутилового эфира и существенно снизить использование толуола (на 11,5 % мас. для бензина марки АИ-92 и на 8 % мас. для бензина марки АИ-95), что, в свою очередь, позволит значительно снизить себестоимость производимого бензина.

*Работа выполнена в рамках государственного задания № 10.13268.2018/8.9.*

### **Список используемых источников**

1. Пименов Г.Г. Стабильный газовый конденсат – надежный поставщик доходов в бюджет РФ // Национальные экономики в условиях глобальных и локальных трансформаций: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. Армения, Грузия, 2017. С. 115-119.

2. Парфёнова Н.М., Григорьев Е.Б., Косякова Л.С., Шафиев И.М. Углеводородное сырьё Южно-Киринского месторождения: газ, конденсат, нефть // Научно-технический сборник вести газовой науки. 2016. № 4. С. 133-144.

3. Коржубаев А.Г., Филимонова И.В., Эдер Л.В. Стратегические ориентиры формирования нефтегазового комплекса восточной Сибири и Дальнего Востока // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. 2010. № 11. С. 4-9.

4. Голубева И.А., Настин А.Н., Родина Е.В. ПАО «Новатэк», предприятия по переработке газового конденсата // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2017. № 11. С. 22-30.

5. Сагитуллин И.Х. Анализ установки производства моторных топлив на крайнем севере // Современные исследования. 2017. № 4. С. 69-71.

6. Шиняев С.Д., Сулейманов Р.Х., Балюк И.В., Зиазов Р.Н., Ерохин В.М., Воронин В.И. Конденсат, поступающий на УКПГ-1 с Заполярного ГНКМ // Газовая промышленность. 2003. № 1. С. 66-68.

7. Глазунов А.М., Мозырев А.Г., Гуров Ю.П., Запорожан Д.В. Газовый конденсат как источник получения дизельного топлива // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2018. № 1. С. 106-112.

8. Ерохов В.И., Ревонченков А.М. Применение газового конденсата в качестве моторного топлива // Транспорт на альтернативном топливе. 2010. № 5. С. 56-58.

9. Овчарова А.С., Пикалов И.С., Овчаров С.Н., Колесников И.М. Обоснование выбора прямогонных бензиновых фракций для компаундирования // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2012. № 2. С. 7-10.

10. Белинская Н.С., Силко Г.Ю., Иванчина Э.Д., Ивашкина Е.Н., Францина Е.В., Фалеев С.А. Исследование закономерностей превращения углеводородов в реакторах риформинга и гидродепарафинизации с целью увеличения ресурса перерабатываемого сырья методом математического моделирования // Фундаментальные исследования. 2013. № 8-3. С. 534-538.

11. ГОСТ 32513-2013. Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия. URL: <http://docs.cntd.ru./document/1200108179> (дата обращения 25.05.2018).

12. Технический регламент Таможенного союза «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту» ТР ТС-013/2011. URL: <http://docs.cntd.ru./document/902307833> (дата обращения 25.05.2018).

13. ГОСТ 32139-2013. Нефть и нефтепродукты. Определение содержания серы методом энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектрометрии. URL: <http://docs.cntd.ru./document/1200108321> (дата обращения 25.05.2018).

14. ГОСТ 3900-85. Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности. URL: <http://docs.cntd.ru./document/1200003577> (дата обращения 25.05.2018).

15. ГОСТ 2177-99. Нефтепродукты. Методы определения фракционного состава. URL: <http://docs.cntd.ru./document/1200005690> (дата обращения 25.05.2018).

16. ГОСТ Р 52714-2007. Бензины автомобильные. Определение индивидуального и группового углеводородного состава методом капиллярной газовой хроматографии. URL: <http://docs.cntd.ru./document/1200050070> (дата обращения 25.05.2018).

17. Киргина М.В., Иванчина Э.Д., Долганов И.М., Чеканцев Н.В., Кравцов А.В., Фан Фу. Компьютерная программа для оптимизации процесса компаундирования высокооктановых бензинов // Химия и технология топлив и масел. 2014. № 1. С. 12-18.

18. Ерофеев В.И., Хомяков И.С., Егорова Л.А. Получение высокооктановых бензинов из прямогонных бензинов на модифицированных цеолитах ZSM-5 // Теоретические основы химической технологии. 2014. Т. 48. № 1. С. 77-82.

19. Степанов В.Г., Ионе К.Г. Производство моторных топлив из прямогонных фракций нефтей и газовых конденсатов с применением процесса «Цеоформинг» // Химия в интересах устойчивого развития. 2005. Т. 13. № 6. С. 809-822.

### References

1. Pimenov G.G. Stabil'nyj gazovyj kondensat – nadezhnyj postavshchik dohodov v byudzhete RF [Stable Gas Condensate Is A Reliable Supplier Of Revenues To The Budget Of The Russian Federation]. *Sbornik statej mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Nacional'nye ekonomiki v usloviyah global'nyh i lokal'nyh transformacij»* [Collection of Articles of the International Scientific and Practical Conference «National Economies in Conditions of Global and Local Transformations»]. 2017, pp. 115-119. [in Russian].

2. Parfyonova N.M., Grigor'ev E.B., Kosyakova L.S., Shafiev I.M. Uglevodorodnoe syr'e Yuzhno-Kirinskogo mestorozhdeniya: gaz, kondensat, neft' [Hydrocarbon Feedstock Of The Yuzhno-Kirinskoye Field: Gas, Condensate, Oil]. *Nauchno-tekhnicheskij sbornik vesti gazovoy nauki – Scientific and Technical Collection of Conducting Gas Science*, 2016, No. 4, pp. 133-144. [in Russian].

3. Korzhubaev A.G., Filimonova I.V., Eder L.V. Strategicheskie orientiry formirovaniya neftegazovogo kompleksa vostochnoj Sibiri i Dal'nego Vostoka [Strategic Guidelines for the Formation of the Oil and Gas Complex of Eastern Siberia and the Far East] *Problemy ekonomiki i upravleniya neftegazovym kompleksom – Problems of Economics and Management of Oil and Gas Complex*, 2010, No. 11, pp. 4-9. [in Russian].

4. Golubeva I.A., Nastin A.N., Rodina E.V. PAO «Novatek», predpriyatiya po pererabotke gazovogo kondensata [PJSC «Novatek», Enterprises for Processing Gas Condensate]. *Neftepererabotka i neftekhimiya. Nauchno-tekhnicheskie dostizheniya i peredovoj opyt – Oil Refining and Petrochemistry. Scientific and Technical Achievements and Innovate Experience*, 2017, No. 11, pp. 22-30. [in Russian].

5. Sagitullin I.H. Analiz ustanovki proizvodstva motornyh topliv na krajnem severe [Analysis of the Motor Fuels Production Unit in the Far North]. *Sovremennye issledovaniya – Modern Research*, 2017, No. 4, pp. 69-71. [in Russian].

6. Shinyaev S.D., Sulejmanov R.H., Balyuk I.V., Ziazov R.N., Erohin V.M., Voronin V.I. Kondensat, postupayushchij na UKPG-1 s Zapolyarnogo GNKM [Condensate Coming to Complex Gas Treatment Unit-1 from Zapolyarnoye Field]. *Gazovaya promyshlennost' – Gas Industry*, 2003, No. 1, pp. 66-68. [in Russian].

7. Glazunov A.M., Mozyrev A.G., Gurov Yu.P., Zaporozhan D.V. Gazovyj kondensat kak istochnik polucheniya dizel'nogo topliva [Gas Condensate as a Source of Diesel Fuel Production]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Neft' i gaz. – News of Higher Educational Institutions. Oil and Gas*, 2018, No. 1, pp. 106-112. [in Russian].

8. Erohov V.I., Revonchenkov A.M. Primenenie gazovogo kondensata v kachestve motornogo topliva [The Use of Gas Condensate as a Motor Fuel]. *Transport na al'ternativnom toplive – Transport on Alternative Fuel*, 2010, No. 5, pp. 56-58. [in Russian].

9. Ovcharova A.S., Pikalov I.S., Ovcharov S.N., Kolesnikov I.M. Obosnovanie vybora pryamogonnyh benzinovyh frakcij dlya kompaundirovaniya [Justification of the Choice Of Straight-Run Gasoline Fractions for Compounding]. *Neftepererabotka i neftekhimiya. Nauchno-tekhnicheskie dostizheniya i peredovoj opyt – Oil Refining and Petrochemistry. Scientific and Technical Achievements and Innovate Experience*, 2012, No. 2, pp. 7-10. [in Russian].

10. Belinskaya N.S., Silko G.Yu., Ivanchina E.D., Ivashkina E.N., Francina E.V., Faleev S.A. Issledovanie zakonomernostej prevrashcheniya uglevodorodov v reaktorah riforminga i gidrodeparafinizacii s cel'yu uvelicheniya resursa pererabatyvaemogo syr'ya metodom matematicheskogo modelirovaniya [Investigation of the Regularities of the Transformation of Hydrocarbons in Reforming and Hydrodewaxing Reactors to Increase the Resource of Processed Feedstock by Mathematical Modeling]. *Fundamental'nye issledovaniya – Fundamental Research*, 2013, No. 8–3, pp. 534–538. [in Russian].

11. *GOST 32513-2013. Topliva motornye. Benzin neetilirovannyj. Tekhnicheskie usloviya* [State Standard 32513-2013. Automotive Fuels. Unleaded Petrol. Specifications]. Available at: <http://docs.cntd.ru./document/1200108179> (accessed 25.05.2018). [in Russian].

12. *Tekhnicheskij reglament Tamozhennogo soyuza «O trebovaniyah k avtomobil'nomu i aviacionnomu benzinu, dizel'nomu i sudovomu toplivu, toplivu dlya reaktivnyh dvigatelej i mazutu» TR TS-013/2011* [TR TS-013/2011 Customs Union Technical Regulation «Requirements to Automobile and Aviation Gasoline, Diesel and Ship Fuel, Jet Engine Fuel and Furnace Boiler Oil»]. Available at: <http://docs.cntd.ru./document/902307833> (accessed 25.05.2018). [in Russian].

13. *GOST 32139-2013. Neft' i nefteprodukty. Opredelenie sodержaniya sery metodom energodispersionnoj rentgenofluorescentnoj spektrometrii* [State Standard 32139-2013. Petroleum and Petroleum Products. Determination of Sulfur Content by Method of Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry]. Available at: <http://docs.cntd.ru./document/1200108321> (accessed 25.05.2018). [in Russian].

14. *GOST 3900-85. Neft' i nefteprodukty. Metody opredeleniya plotnosti* [State Standard 3900-85. Petroleum and Petroleum Products. Methods for Determination of Density]. Available at: <http://docs.cntd.ru./document/1200003577> (accessed 25.05.2018). [in Russian].



15. *GOST 2177-99. Nefteprodukty. Metody opredeleniya frakcionnogo sostava* [State Standard 2177-99. Petroleum Products. Methods for Determination of Distillation Characteristics]. Available at: <http://docs.cntd.ru./document/1200005690> (accessed 25.05.2018). [in Russian].

16. *GOST R 52714-2007. Benziny avtomobil'nye. Opredelenie individual'nogo i gruppovogo uglevodorodnogo sostava metodom kapillyarnoj gazovoj hromatografii* [State Standard 52714-2007. Motor Gasolines. Determination of Individual and Group Hydrocarbon Composition by Method of Capillary Gas Chromatography]. Available at: <http://docs.cntd.ru./document/1200050070> (accessed 25.05.2018). [in Russian].

17. Kirgina M.V., Ivanchina E.D., Dolganov I.M., Chekancev N.V., Kravcov A.V., Fan Fu. Komp'yuternaya programma dlya optimizacii processa kompaundirovaniya vysokooktanovyh benzinov [Computer Program to Optimize the Process of Compounding High-Octane Gasolines]. *Khimiya i tekhnologiya topliv i masel – Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 2014, No. 1, pp. 12-18. [in Russian].

18. Erofeev V.I., Homyakov I.S., Egorova L.A. Poluchenie vysokooktanovyh benzinov iz pryamogonnyh benzinov na modificirovannyh ceolithah ZSM-5 [Production of High-Octane Gasolines from Straight-Run Gasolines on Modified Zsm-5 Zeolites]. *Teoreticheskie osnovy himicheskoy tekhnologii – Theoretical Foundations of Chemical Technology*, 2014, Vol. 48, No. 1. pp. 77-82. [in Russian].

19. Stepanov V.G., Ione K.G. Proizvodstvo motornyh topliv iz pryamogonnyh frakcij neftej i gazovyh kondensatov s primeneniem processa «Ceoforming» [Production of Motor Fuels from Straight-Run Fractions of Oils and Gas Condensates using the «Zeoforming» Process]. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya – Chemistry for Sustainable Development*, 2005, Vol. 13, No. 6, pp. 809-822. [in Russian].



## Сведения об авторах

### About the authors

Алтынов Андрей Андреевич, аспирант Отделения химической инженерии, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Инженерная школа природных ресурсов, г. Томск, Российская Федерация

Andrey A. Altynov, Postgraduate Student of Chemical Engineering Department, National Research Tomsk Polytechnic University, Engineering School of Natural Resources, Tomsk, Russian Federation

e-mail: andrey\_altun@mail.ru

Богданов Илья Александрович, аспирант Отделения химической инженерии, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Инженерная школа природных ресурсов, г. Томск, Российская Федерация

Ilya A. Bogdanov, Postgraduate Student of Chemical Engineering Department, National Research Tomsk Polytechnic University, Engineering School of Natural Resources, Tomsk, Russian Federation

e-mail: bogdanov\_ilya@mail.ru

Белинская Наталия Сергеевна, канд. техн. наук, научный сотрудник Отделения химической инженерии, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Инженерная школа природных ресурсов, г. Томск, Российская Федерация

Natalia S. Belinskaya, Candidate of Engineering Sciences, Researcher of Chemical Engineering Department, National Research Tomsk Polytechnic University, Engineering School of Natural Resources, Tomsk, Russian Federation

e-mail: belinskaya@tpu.ru

Попок Евгений Владимирович, канд. техн. наук, доцент Отделения химической инженерии, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Инженерная школа природных ресурсов, г. Томск, Российская Федерация

Evgeniy V. Popok, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Chemical Engineering Department, National Research Tomsk Polytechnic University, Engineering School of Natural Resources, Tomsk, Russian Federation

e-mail: [evgensan@tpu.ru](mailto:evgensan@tpu.ru)

Киргина Мария Владимировна, канд. техн. наук, доцент Отделения химической инженерии, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Инженерная школа природных ресурсов, г. Томск, Российская Федерация

Maria V. Kirgina, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Chemical Engineering Department, National Research Tomsk Polytechnic University, Engineering School of Natural Resources, Tomsk, Russian Federation

e-mail: [mkirgina@tpu.ru](mailto:mkirgina@tpu.ru)