

Нефтегазовое дело. 2023. № 2. С. 185–203. ISSN 1813-503X (online)
Oil and Gas Business. 2023. No. 2, P. 185–203. ISSN 1813-503X (online)

Научная статья

УДК 665.6

doi <https://dx.doi.org/10.17122/ogbus-2023-2-185-203>

**КАЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ТЯЖЕЛЫХ НЕФТЯНЫХ ОСТАТКОВ
КАК ПОТЕНЦИАЛЬНОГО СЫРЬЯ УСТАНОВОК
ЗАМЕДЛЕННОГО КОКСОВАНИЯ**

**Радмир Ришатович Азнабаев, Тимур Ринатович Тангатаров,
Вадим Ильдарович Миниахметов, Марат Наврузович Рахимов,
Виктор Павлович Запорин, Артур Рафисович Галиакбиров,
Тимур Ильдарович Калимуллин**

**Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Уфа, Россия**

Автор, ответственный за переписку:

Радмир Ришатович Азнабаев, radmiraznabaeff@yandex.ru

Аннотация. Необходимость увеличения глубины переработки нефтяного и углеводородсодержащего сырья влечет за собой необходимость квалифицированной переработки остаточных продуктов с целью их более эффективного использования. В данной работе показана роль установки замедленного коксования в переработке тяжёлых нефтяных остатков (ТНО) и углублении переработки нефти, а также состояние мирового и российского рынка производства и потребления кокса. Проведен анализ различных ТНО по исходным физико-химическим характеристикам. Составлены материальные балансы коксования на лабораторной установке как отдельных ТНО, так

и сырьевых смесей. Установлены и построены графические зависимости выхода продуктов коксования от соотношения исходных компонентов сырья. Обозначен ряд перспективных направлений исследований для дальнейшего совершенствования процесса. Полученные данные можно использовать при производственном планировании с целью подбора оптимального состава сырьевого пула, сырья НПЗ в целом и требований по качеству получаемой продукции.

Ключевые слова: замедленное коксование, тяжелый нефтяной остаток, кокс, гудрон, асфальт, остаток висбрекинга

Для цитирования: Азнабаев Р. Р., Тангатаров Т. Р., Минахметов В. И., Рахимов М. Н., Запорин В. П., Галиакбиров А. Р., Калимуллин Т. И. Качественная оценка тяжелых нефтяных остатков как потенциального сырья установок замедленного коксования // Сетевое издание «Нефтегазовое дело». 2023. № 2. С. 185–203. <https://dx.doi.org/10.17122/ogbus-2023-2-185-203>.

Original article

QUALITATIVE ASSESSMENT OF HEAVY OIL RESIDUES AS POTENTIAL RAW MATERIALS OF DELAYED COKING PLANTS

**Radmir R. Aznabaev, Timur R. Tangatarov, Vadim I. Miniakhmetov,
Marat N. Rakhimov, Viktor P. Zaporin, Artur R. Galiakbиров,
Timur I. Kalimullin**

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

Corresponding author:

Radmir R. Aznabaev, radmiraznabaeff@yandex.ru

Abstract. The need to increase the depth of processing of petroleum and hydrocarbon-containing raw materials entails the need for qualified processing of residual products in order to use them more efficiently. This paper shows the role of the delayed coking unit in the processing of heavy oil residues and the deepening of oil refining, as well as the state of the global and Russian market for coke production and consumption. The analysis of various heavy oil residues according to the initial physico-chemical characteristics is carried out. The material balances of coking at the laboratory installation of both individual heavy oil residues and raw mixtures have been compiled. Graphical dependences of the output of coking products on the ratio of the initial components of raw materials are established and constructed. A number of promising areas of research for further improvement of the process are identified. The obtained data can be used in production planning in order to select the optimal composition of the raw material pool, the raw materials of the refinery as a whole, and the quality requirements of the products obtained.

Keywords: delayed coking, heavy oil residue, coke, tar, asphalt, visbreaking residue

For citation: Aznabaev R. R., Tangatarov T. R., Miniakhmetov V. I., Rakhimov M. N., Zaporin V. P., Galiakbirov A. R., Kalimullin T. I. Kachestvennaya otsenka tyazhelykh neftyanykh ostatkov kak potentsial'nogo syr'ya ustanovok zamedlennogo koksovaniya [Qualitative Assessment of Heavy Oil Residues as Potential Raw Materials of Delayed Coking Plants]. *Setevoe izdanie «Neftegazovoe delo» – Network Journal «Oil and Gas Business»*, 2023, No. 2, pp. 185–203 [in Russian]. <https://dx.doi.org/10.17122/ogbus-2023-2-185-203>.

Одной из целей Стратегии развития химического и нефтехимического комплекса Российской Федерации на период до 2030 года является переход от экспортно-сырьевой модели развития к инновационной-инвестиционной за счет увеличения глубины переработки нефти. Повышения глубины переработки нефти можно достичь наращиванием мощностей вторичных процессов переработки, в частности процессов переработки тяжелых нефтяных остатков (ТНО). Одним из самых распространенных процессов переработки ТНО является замедленное коксование. Установки замедленного коксования (УЗК) позволяют достичь глубины переработки

нефти на нефтеперерабатывающем заводе (НПЗ), вплоть до 98 %. После облагораживания продукты процесса могут быть рассмотрены в качестве компонентов товарного бензина, дизельного, судового и котельного топлив. В связи с этим основным назначением процесса замедленного коксования как в нашей стране, так и за рубежом является топливный вариант – получение максимального количества дистиллятов для дальнейших процессов гидрооблагораживания и повышения эксплуатационных свойств. При работе УЗК по топливному варианту кокс является нецелевым продуктом, и многие производители прилагают все усилия, чтобы получать его в минимальных количествах.

В последние годы предложены новые технологии, направленные на производство нефтяного кокса специального применения. Так можно выделить добавку коксующую. Благодаря разработанной технологии получения нефтяного кокса с содержанием летучих в интервале 15–25 % (коксующей добавки) становится возможным существенно улучшить качество металлургического кокса путем введения данной добавки в шихту коксования углей. Необходимо также сказать о развитии направления технологии производства высокоструктурированного кокса улучшенного качества, который используется для получения крупногабаритных графитовых электродов. Стоит отметить, что рынок нефтяного кокса постоянно растет, если в 2000 г. было произведено 48 млн т кокса, в 2010 г. – 80 млн т кокса, то в 2020г. – 137 млн т [1].

Таким образом, оптимизация выхода продуктов процесса коксования, а также расширение ассортимента и областей применения нефтяного кокса позволяют существенно улучшить технико-экономические показатели УЗК и НПЗ в целом.

В России на данный момент работают 13 установок замедленного коксования общей производительность 14,7 млн т/год по сырью. Одним из последних реализованных проектов УЗК в России – это вторая УЗК на НПЗ

АО «ТАНЕКО», которая введена в эксплуатацию в декабре 2021 г. В результате реализации проекта НПЗ может обеспечить глубину переработки вплоть до 99 % и увеличить производство нефтяного кокса до 1,2 млн т в год [2]. В настоящее время Омский НПЗ является единственным заводом, где получен в промышленных масштабах высококачественный игольчатый кокс. После завершения реконструкции УЗК (запланированной на 2024 г.) компания планирует выпускать около 40 тыс. т/год [1]. Данный вид кокса очень востребован в таких областях, как атомная, химическая, космическая. Несмотря на это основным потребителем (75–80 % всех поставок игольчатого кокса) остается производство графитовых электродов [3]. Основные направления использования коксов в России представлены на рисунке 1.



Рисунок 1. Структура потребления нефтяного кокса

Figure 1. Structure of petroleum coke consumption

Основополагающие факторы процесса замедленного коксования, которые влияют на материальный баланс и качество получаемых продуктов, – это технологический режим и качество используемого сырья [4]. На

данный момент имеется большое количество работ, в которых рассматривается взаимосвязь качества и количества продуктов замедленного коксования от исходного сырья, и, соответственно, от нефти, поступающей на НПЗ [5].

Выбор сырья для УЗК конкретного предприятия осуществляется в зависимости от минерально-сырьевой базы предприятия и качества получаемых продуктов. Например, для производства высококачественного кокса игольчатой структуры используют высокоароматизированные и малосернистые остатки, такие как декантойли, тяжелая смола пиролиза или дистиллятные крекинг-остатки [6].

Основными показателями, характеризующими качество сырья коксования, являются плотность, коксуемость, групповой углеводородный состав, содержание серы и металлоорганических соединений, зольность, вязкость. В первую очередь, от этих показателей зависят качество и количество получаемых продуктов. Плотность и вязкость нефтепродуктов возрастают в ряду следующих групп углеводородов: парафино-нафthenовые, ароматические (легкие, средние, тяжелые), смолы, асфальтены.

В данной работе проведено лабораторное коксование на установке периодического действия образцов ТНО с нефтеперерабатывающего завода топливного профиля:

- гудрон с установки АВТ, полученный из смеси Западно-Сибирской и Арланской нефтей;
- тяжелый газойль каталитического крекинга;
- вакуумный остаток печного висбрекинга.

Основные физико-химические свойства исследованных видов сырья представлены в таблице 1.

Все исследуемые ТНО характеризуются высокой плотностью, коксуемостью, вязкостью и высоким содержанием серы. Единственным, принципиально отличающимся от остальных остатков, является тяжелый

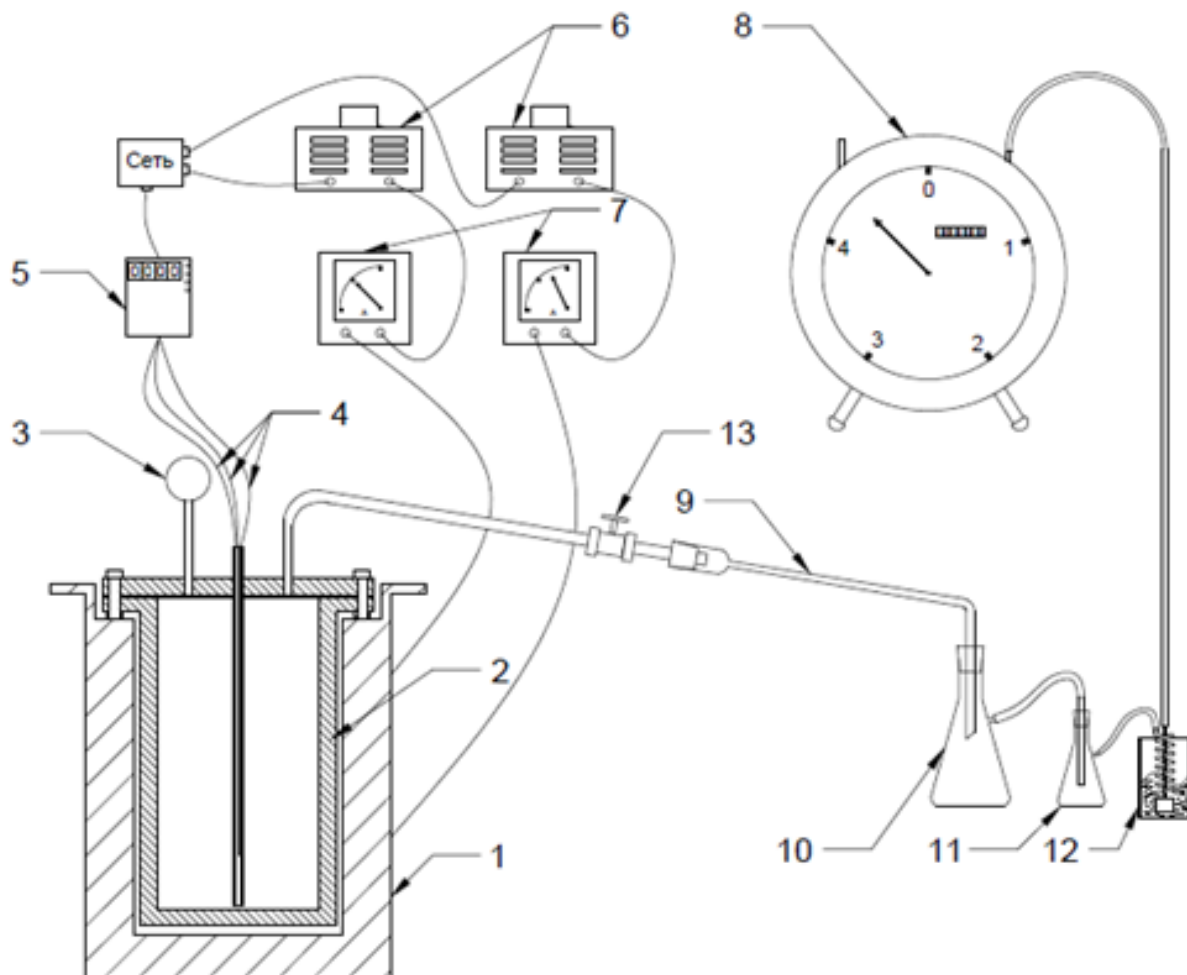
газойль каталитического крекинга с установки Г-43-107/М, который при высокой плотности имеет низкую коксуемость и достаточно облегченный фракционный состав. По существу он представляет собой концентрат ароматических углеводородов, учитывая незначительное содержание в нем парафино-нафтеновых углеводородов и отсутствие асфальтенов. Утяжеленный компонентный состав ТНО предопределяет при их коксовании высокий выход кокса с высоким содержанием серы. В связи с этим особенно важным выглядит вопрос оптимизации имеющихся сырьевых потоков, для их переработки в максимально возможном объеме.

Таблица 1. Основные физико-химические свойства ТНО

Table 1. Basic physico-chemical properties of heavy oil residue

Наименование показателей	Тяжелый нефтяной остаток		
	Гудрон	ТГКК	Остаток висбрекинга
Плотность при 20 °С, кг/м ³	1,0172	1,0681	1,0328
Коксуемость, % масс.	19,08	3,5	30,4
Зольность, % масс.	0,27	0,09	0,31
Содержание серы, % масс.	3,07	1,3	2,67
Фракционный состав:			
температура начала кипения, °С	408	191,5	224,5
10 % об. выкипает при температуре, °С	464	275	317,5
20% об. выкипает при температуре, °С	495	295	420,5
40% об. выкипает при температуре, °С	–	325	497
Групповой у/в состав, % масс.:			
– парафино-нафтеновые углеводороды;	10,2	6,4	14,4
– ароматические углеводороды;	57,1	85,6	55,9
– смолы	29,0	7,3	23,5
– асфальтены	3,7	–	6,2

С целью дальнейшего выбора оптимального состава сырья замедленного коксования для исследуемых образцов ТНО процесс проведен на лабораторной установке схема, которой представлена на рисунке 2.



1- электрическая печь; 2 – емкость для сырья; 3 – манометр; 4 – термопары;
5 – регистратор температуры; 6 – лабораторный автотрансформатор; 7 – амперметр;
8 – газовый счетчик; 9 – холодильник; 10 – приемная колба; 11 – промежуточная колба;
12 – улавливатель жидкости; 13 – краник

1- electric furnace; 2 – container for raw materials; 3 – pressure gauge; 4 – thermocouples;
5 – temperature recorder; 6 – laboratory autotransformer; 7 – ammeter; 8 – gas meter;
9 – refrigerator; 10 – receiving flask; 11 – intermediate flask; 12 – liquid catcher; 13 – tap

Рисунок 2. Схема лабораторной установки

Figure 2. Diagram of the laboratory installation

Технологический режим коксования обеспечивал сопоставимость материального баланса и качества получаемых продуктов с таковыми для промышленных установок, эксплуатируемых при давлении $\approx 0,2$ МПа, температурой процесса ≈ 490 °С с получением нефтяного кокса с содержанием летучих веществ не более 10,0 % масс.

Дистиллят коксования, собираемый в приемных колбах, подвергался фракционированию с получением фракций бензина (фр. Н.К.–180 °С), легкого (фр. 180–350 °С) и тяжелого (фр. > 350 °С) газойлей.

По результатам коксования составлялся материальный баланс коксования и определялись основные показатели качества полученных продуктов (таблица 2).

Таблица 2. Материальные балансы коксования остатков

Table 2. Material balances of coking residues

Наименование продукта	Сырье		
	Гудрон	ТГКК	Остаток висбрекинга
Углеводородный газ	9,0	6,7	9,2
Бензин (фр. начало кипения –180 °С)	7,3	1,5	8,2
Легкий газойль (фр. 180–350 °С)	33,0	49,6	20,9
Тяжелый газойль (фр. > 350 °С)	19,4	23	19,6
Кокс	31,3	19,2	42,1

Ряд публикаций с экспериментальным материалом свидетельствует о наличии достаточно четких корреляционных зависимостей между составом исходного сырья и показателями качества получаемых в процессе замедленного коксования продуктов, в первую очередь кокса [7–9].

На рисунке 3 приведены кривые газовыделения в процессе коксования всех изучаемых тяжелых нефтяных остатков.

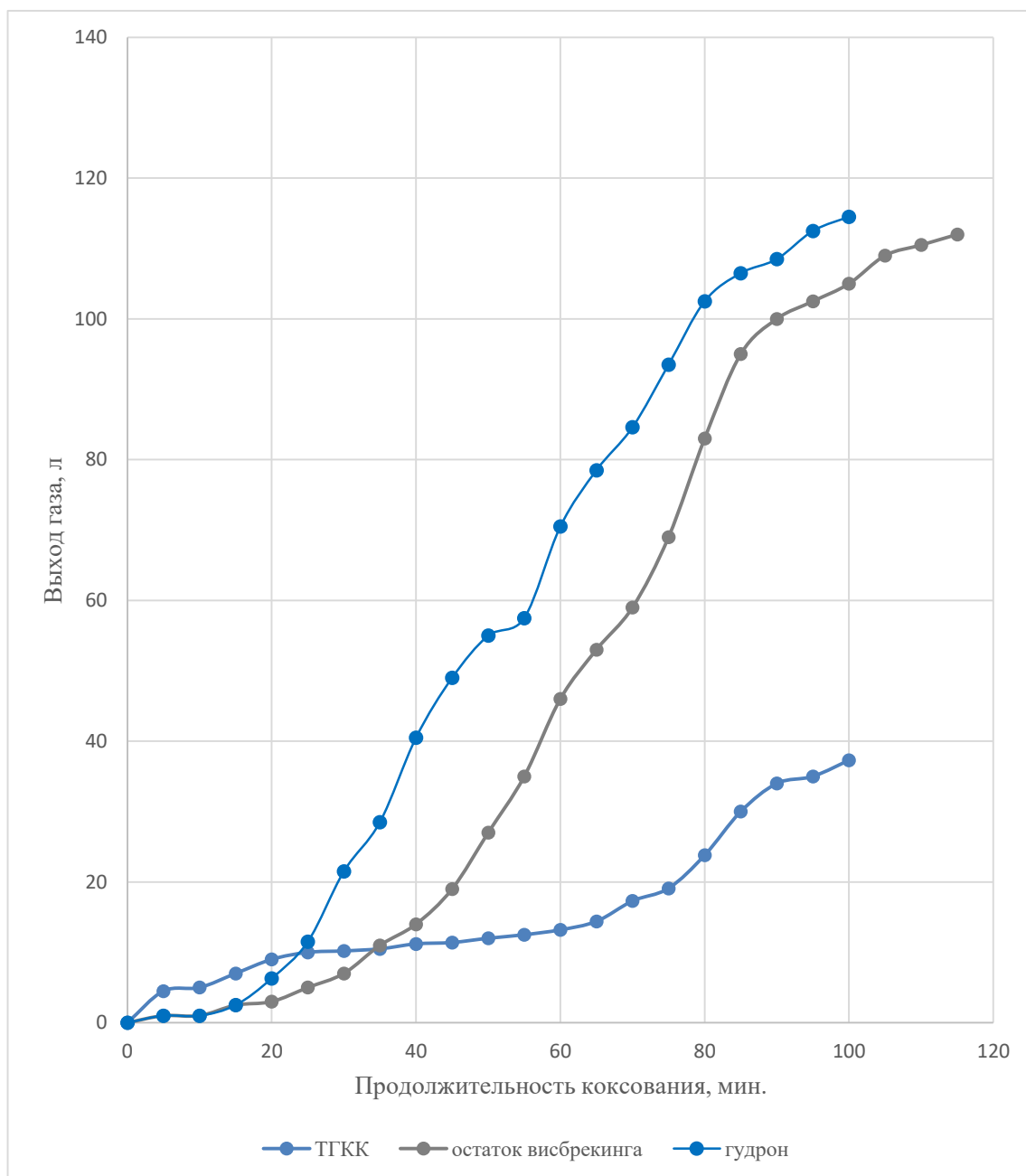


Рисунок 3. Кривые газовыделения от времени коксования тяжелых нефтяных остатков

Figure 3. Gas emission curves from the coking time of heavy oil residues

С целью оптимизации потоков ТНО были проведены опыты по коксованию сырьевых смесей. Рассматривался вариант полного перехода на безмазутный вариант переработки. Этим обуславливает вовлечение тяжелого газойля каталитического крекинга не более 10 %, так как обычно доля ТГКК не превышает этих значений. Полученные данные отражены в таблице 3.

Таблица 3. Материальные балансы коксования сырьевых смесей

Table 3. Material balances of coking of raw mixtures

Продукты коксования	90 % гудрон + + 10% ТКГ	70 % гудрон + + 20 % ост. ВБ + + 10 %ТКГ	50% гудрон + + 40 % ост. ВБ + + 10 % ТКГ	20 % гудрон + + 70 % ост. ВБ + 10 % ТКГ	90 % ост. ВБ + + 10 % ТКГ
Газ	10,2	9,9	9,7	9,2	9,0
Бензин	8,1	8,0	7,8	7,6	7,5
Легкий газойль	31,8	30,0	28,2	25,6	23,8
Тяжелый газойль	20,3	20,2	20,1	20,0	19,9
Кокс	29,6	30,8	34,2	37,6	39,8

На рисунках 4–8 представлены зависимости выхода основных продуктов от соотношения сырьевых смесей. Из представленных данных можно сделать вывод, что выход жидких продуктов при неизменных условиях проведения процесса практически линейно снижается с увеличением доли остатка висбрекинга, а выход кокса наоборот увеличивается. Это объясняется тем, что остаток висбрекинга изначально обладает высокой коксуемостью и плотностью по сравнению с другими остатками.

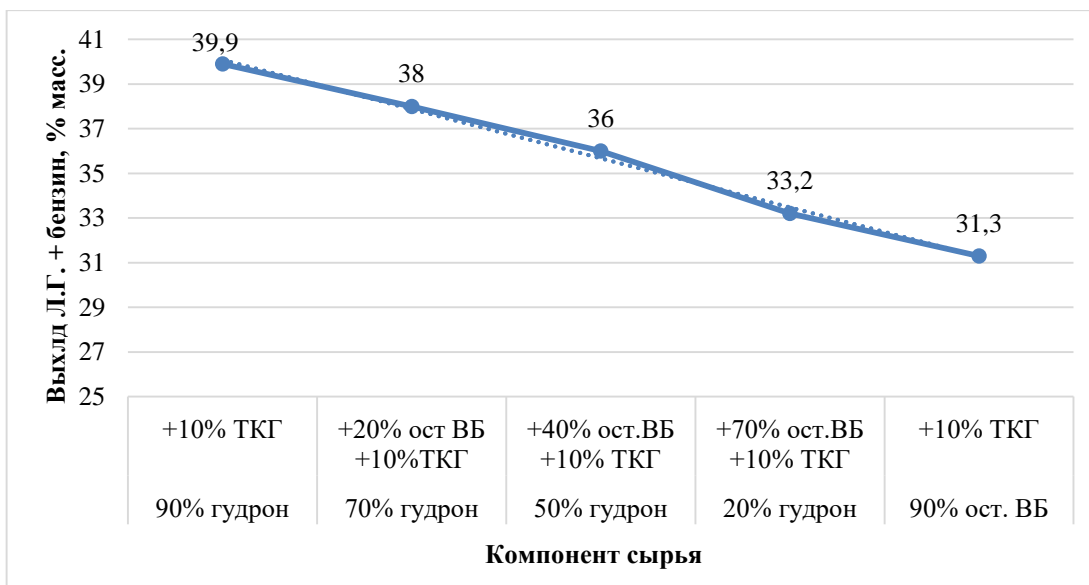


Рисунок 4. Выход светлых фракций (бензин + легкий газойль) от состава сырьевых смесей

Figure 4. The yield of light fractions (gasoline + light gas oil) depends on the composition of raw mixtures

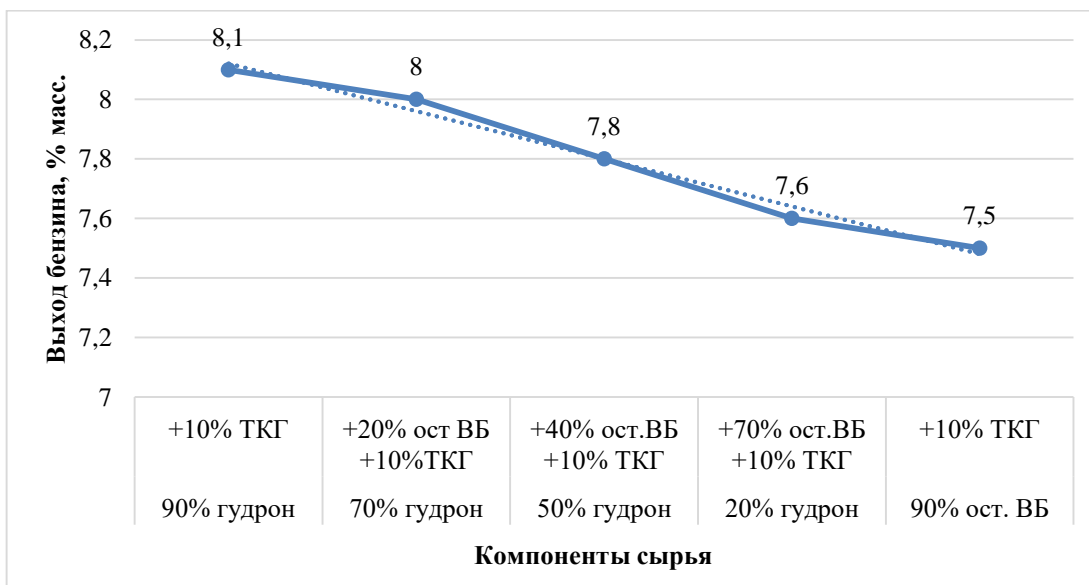


Рисунок 5. Выход бензина от состава сырьевых смесей

Figure 5. The yield of gasoline depends on the composition of raw mixtures

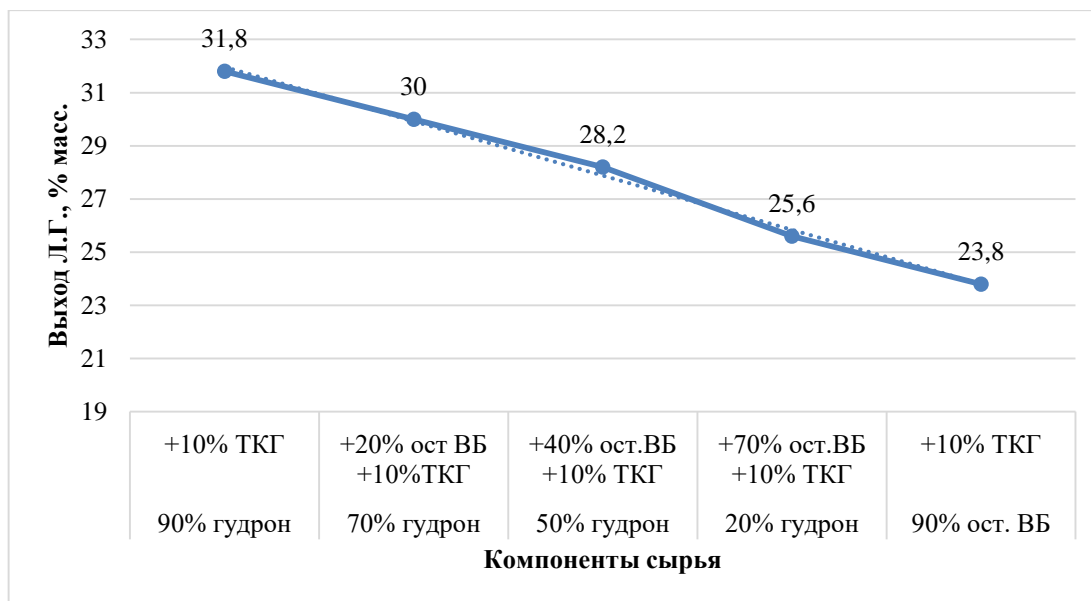


Рисунок 6. Выход легкого газойля от состава сырьевых смесей

Figure 6. The yield of light gas oil depends on the composition of raw mixtures

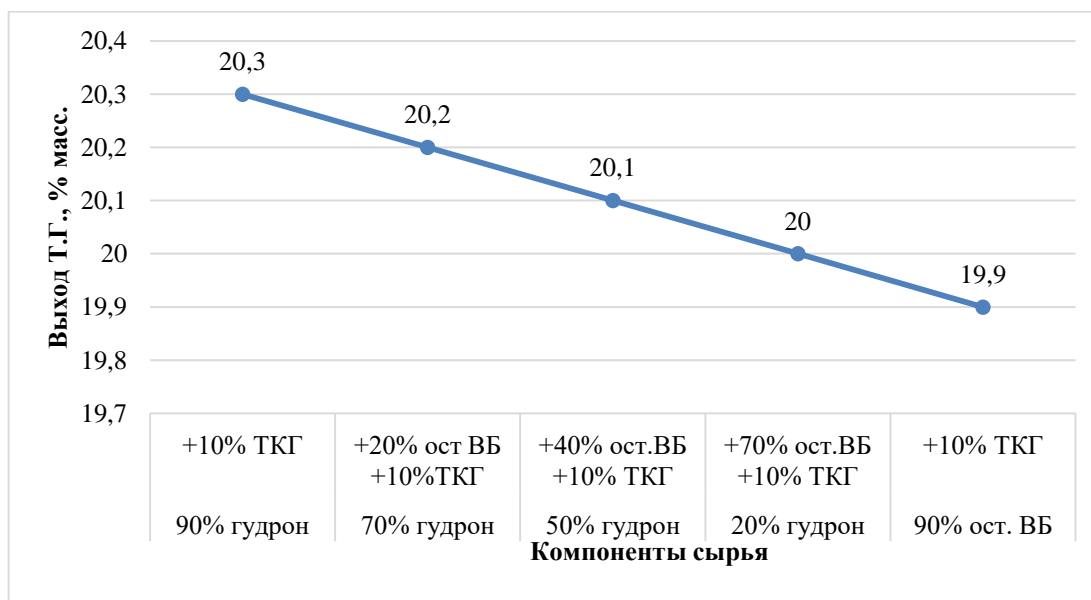


Рисунок 7. Выход тяжелого газойля от состава сырьевых смесей

Figure 7. The output of heavy gas oil from the composition of raw mixtures

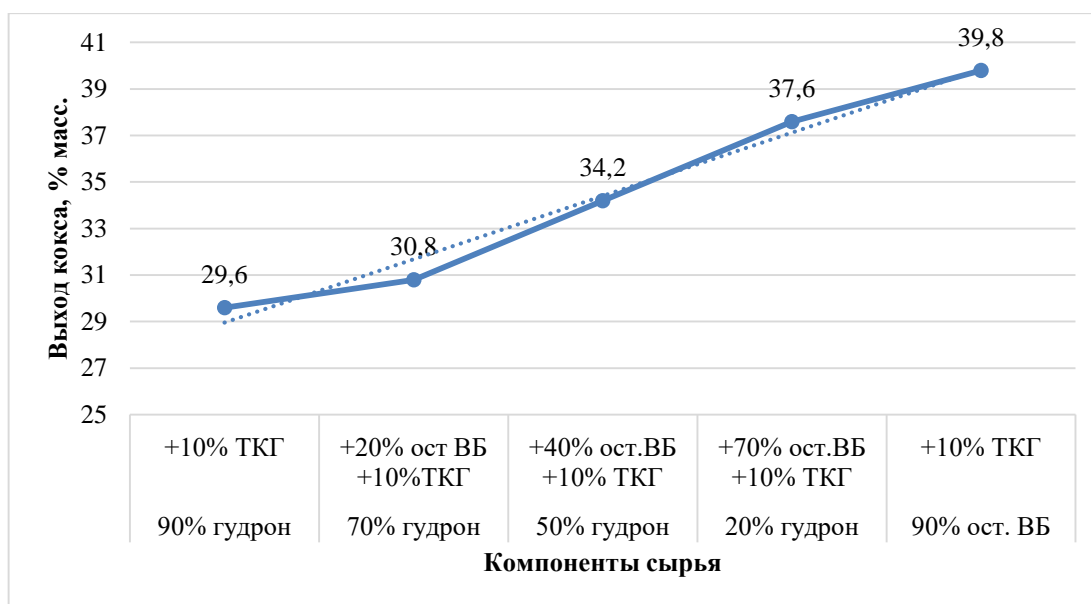


Рисунок 8. Выход кокса от состава сырьевых смесей

Figure 8. Coke yield depends on the composition of raw mixtures

Таким образом, проведенные исследования показали, что при коксовании исследованных ТНО максимальный выход светлых (68,7 %) и минимальный выход кокса (31,3 %) наблюдался для гудрона вакуумной перегонки. И, наоборот, коксование остатка висбрекинга показало минимальный выход светлых (60,2 %) и максимальный выход кокса (39,8 %).

Вывод

Полученные результаты позволяют подобрать оптимальный состав сырья УЗК с целью максимальной выработки на НПЗ светлых нефтепродуктов и минимизации выработки остаточных товарных продуктов, а также разработать универсальную технологическую модель для ряда перспективных направлений применения:

- производственное планирование с целью подбора оптимального состава сырьевого пула, сырья НПЗ в целом и требований по качеству получаемой продукции;
- разработка базовых проектов, исходных данных на проектирование строительства новых и реконструкции действующих объектов.

Список источников

1. Анализ рынка нефтяного кокса в России в 2016-2020 гг, оценка влияния коронавируса и прогноз на 2021-2025 гг. Перспективы рынка в условиях санкций // РБК. Магазин исследований. URL: <https://marketing.rbc.ru/research/27646/> (дата обращения: 23.02.2023).
2. Вторая УЗК на ТАНЕКО заработала на полную мощность // Информационное агентство Девон. URL: https://iadevon.ru/news/neftemash/vtoraya_uzk_na_taneko_zarabolata_na_polnuyu_moshchnost-12523/ (дата обращения: 23.02.2023).
3. Игольчатый кокс в РФ: мощный старт и большие перспективы // Neftegaz.Ru. URL: <https://neftgaz.ru/science/booty/451877-igolchatyy-koks-v-rf-moshchnyy-start-i-bolshie-perspektivy/> (дата обращения: 23.02.2023).
4. Кондрашева Н.К., Рудко В.А., Назаренко М.Ю., Габдулхаков Р.Р. Влияние параметров процесса замедленного коксования асфальта на выход и качество жидких и твердофазных продуктов // Записки Горного института. 2020. Т. 241. С. 97-104. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.97. EDN: JPDVTH.
5. Камешков А.В., Кондрашева Н.К., Габдулхаков Р.Р., Рудко В.А. Влияние вида сырья и температуры коксования на получение нефтяной коксующей добавки // Известия СПбГИ(ТУ). 2020. № 52 (78). С. 11-17. DOI: 10.36807/1998-9849-2020-52-78-11-17. EDN: RUHDJU.
6. Лапшин И.Г. Разработка технологии коксования низкосернистого и высокоароматического сырья для получения кокса анизотропной структуры // Universum: Технические науки : электрон. научн. журн. 2019. № 12 (69). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/8354> (дата обращения: 23.02.2023).
7. Хайрудинов И.Р., Тихонов А.А., Айнуллов Т.С., Ремпель Р.Д., Теляшев Э.Г. К вопросу расширения объемов переработки гудрона на АО «ТАНЕКО» // Башкирский химический журнал. 2016. Т. 23, № 1. С. 39-45. EDN: VSPLYF.

8. Косицына С.С. Коксование гудронов с различным составом и свойствами // *Фундаментальные исследования*. 2016. № 6-2. С. 288-293. EDN: WCMCCJ.

9. Ваганов Р.А. Влияние технологических параметров на производство малосернистого нефтяного кокс // *Экологические проблемы нефтедобычи: сб. доклад. науч.-практ. конф.* Уфа, 2014. С. 103-105.

References

1. Analiz rynka neftyanogo koksa v Rossii v 2016-2020 gg, otsenka vliyaniya koronavirusa i prognoz na 2021-2025 gg. Perspektivy rynka v usloviyakh sanktsii [Analysis of the Petroleum Coke Market in Russia in 2016-2020, Assessment of the Impact of Coronavirus and Forecast for 2021-2025 Market Prospects Under Sanctions]. *RBK. Magazin issledovaniy*. Available at: <https://marketing.rbc.ru/research/27646/> (accessed 23.02.2023). [in Russian].

2. Vtoraya UZK na TANECO zarabolala na polnuyu moshchnost' [The Second Ultrasonic Testing Unit at TANECO Started Working at Full Capacity]. *Informatsionnoe agentstvo Devon*. Available at: https://iadevon.ru/news/neftemash/vtoraya_uzk_na_taneco_zarabolala_na_polnuyu_moshchnost-12523/ (accessed 23.02.2023). [in Russian].

3. Igol'chatyi koks v RF: moshchnyi start i bol'shie perspektivy [Needle Coke in the Russian Federation: a Strong Start and Great Prospects]. *Neftegaz.Ru*. Available at: <https://neftgaz.ru/science/booty/451877-igolchatyy-koks-v-rf-moshchnyy-start-i-bolshie-perspektivy/> (accessed 23.02.2023). [in Russian].

4. Kondrasheva N.K., Rudko V.A., Nazarenko M.Yu., Gabdulkhakov R.R. Vliyanie parametrov protsessa zamedlennogo koksovaniya asfal'ta na vykhod i kachestvo zhidkikh i tverdogaznykh produktov [Influence of Parameters of Delayed Asphalt Coking Process on Yield and Quality of Liquid and Solid-Phase Products]. *Zapiski Gornogo instituta – Journal of Mining Institute*, 2020, Vol. 241, pp. 97-104. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.97. EDN: JPDVTX. [in Russian].

5. Kameshkov A.V., Kondrasheva N.K., Gabdulkhakov R.R., Rudko V.A. Vliyanie vida syr'ya i temperatury koksovaniya na poluchenie neftyanoi koksuyushchei dobavki [Influence of Carbonization Temperature and Raw Material Type on Petroleum Coking Additive Production]. *Izvestiya SPbGTI(TU) – Bulletin of the Saint Petersburg State Institute of Technology (Technical University)*, 2020, No. 52 (78), pp. 11-17. DOI: 10.36807/1998-9849-2020-52-78-11-17. EDN: RUHDJU. [in Russian].

6. Lapshin I.G. Razrabotka tekhnologii koksovaniya nizkosernistogo i vysokoaromaticeskogo syr'ya dlya polucheniya koksa anizotropnoi struktury [Development of Coking Technology for Low-Sulphur and Highly Aromatic Raw Materials to Obtain Anisotropic Coke]. *Universum: Tekhnicheskie nauki: elektron. nauchn. zhurn.* – *Universum: Engineering Sciences*, 2019, No. 12 (69). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/8354> (accessed 23.02.2023). [in Russian].

7. Khairudinov I.R., Tikhonov A.A., Ainullov T.S., Rempel R.D., Telyashev E.G. K voprosu rasshireniya ob'emov pererabotki gudrona na AO «TANEKO» [To the Issue of Enhancement of Processing Volume of Tar Oil at JSC Taneco]. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal – Bashkir Chemical Journal*, 2016, Vol. 23, No. 1, pp. 39-45. EDN: VSPLYF. [in Russian].

8. Kositsyna S.S. Koksovaniye gudronov s razlichnym sostavom i svoistvami [Delayed Coking of Vacuum Residue with a Different Composition and Properties]. *Fundamental'nye issledovaniya – Fundamental Research*, 2016, No. 6-2, pp. 288-293. EDN: WCMCCJ. [in Russian].

9. Vaganov R.A. Vliyanie tekhnologicheskikh parametrov na proizvodstvo malosernistogo neftyanogo koks [Influence of Technological Parameters on the Production of Low-Sulfur Petroleum Coke]. *Sbornik dokladov nauchno-prakticheskoi konferentsii «Ekologicheskie problemy neftedobychi»* [Collection of Reports of the Scientific-Practical Conference «Environmental Problems of Oil Production»]. Ufa, 2014, pp. 103-105. [in Russian].

Информация об авторах

Information about the authors

Азнабаев Радмир Ришатович, магистрант кафедры технологии нефти и газа, Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

Radmir R. Aznabaev, Undergraduate Student of Oil and Gas Processing Department, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

radmirchic99@yandex.ru

Тангатаров Тимур Ринатович, аспирант кафедры технологии нефти и газа, Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

Timur R. Tangatarov, Postgraduate Student of Oil and Gas Processing Department, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia
timurtangat97@gmail.com

Миниахметов Вадим Ильдарович, аспирант кафедры технологии нефти и газа, Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

Vadim I. Miniakhmetov, Postgraduate Student of Oil and Gas Processing Department, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia
vadi-mm@yandex.ru

Рахимов Марат Наврузович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии нефти и газа, Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

Marat N. Rakhimov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of Oil and Gas Processing Department, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia
rmni@mail.ru.

Запорин Виктор Павлович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии нефти и газа, Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

Viktor P. Zaporin, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Oil and Gas Processing Department, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia
tngrosoil@mail.ru

Галиакбиров Артур Рафисович, кандидат технических наук, председатель Государственной аттестационной комиссии кафедры «Технологии нефти и газа», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

Artur R. Galiakbиров, Candidate of Engineering Sciences, Chairman of the State Attestation Commission of Oil and Gas Technology Department, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

gal_art@inbox.ru

Калимуллин Тимур Ильдарович, аспирант кафедры технологии нефти и газа, Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

Timur I. Kalimullin, Postgraduate Student of Oil and Gas Processing Department, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

kalimullinti@gmail.com

Статья поступила в редакцию 21.03.2023; одобрена после рецензирования 03.04.2023; принята к публикации 15.03.2023.

The article was submitted 21.03.2023; approved after reviewing 03.04.2023; accepted for publication 15.03.2023.