

В. Е. Ермаков (магистрант), А. В. Третьякова (магистрант), Е. В. Комарова (ст. преп.),
А. П. Никитина (к.х.н., доц.), Е. Ф. Трапезникова (к.т.н., доц.)

ПОЛУЧЕНИЕ НАФТАЛИНОВОГО КОНЦЕНТРАТА ИЗ ТЯЖЕЛОЙ СМОЛЫ ПИРОЛИЗА

Уфимский государственный нефтяной технический университет,
кафедра нефтехимии и химической технологии
450064, Уфа, ул. Космонавтов, 1; тел. (347)2429579; e-mail: vaceslavermakov80@gmail.com

V. E. Ermakov, A. V. Tretiakova, E. V. Komarova, A. P. Nikitina, E. F. Trapeznikova

OBTAINING NAPHTHALINE CONCENTRATE FROM HEAVY STEAM CRACKING TAR

Ufa State Petroleum Technological University
1, Kosmonavtov Str, 450064, Ufa, Russia; ph. (347)2429579; e-mail: vaceslavermakov80@gmail.com

Рассмотрена возможность выделения из тяжелой смолы пиролиза продукта с высоким содержанием нафталина. Проведен расчет узла фракционирования тяжелой смолы пиролиза. Разработана принципиальная технологическая схема узла фракционирования. Определены основные параметры работы ректификационных колонн. Предложенный способ разделения тяжелой смолы пиролиза позволит решить проблему рационального использования значительных объемов тяжелой смолы пиролиза при постоянно увеличивающихся мощностях установок пиролиза.

Ключевые слова: ароматические углеводороды; жидкие продукты пиролиза; моделирование; нафталин; нафталиновый концентрат; пиролиз; ректификационная колонна; ректификация; тяжелая смола; фракционирование.

В связи с увеличением мощностей установок пиролиза, а также ввиду утяжеления сырья, проблема рационального использования тяжелой смолы пиролиза (ТСП) становится все более актуальной ¹.

Тяжелая смола — побочный жидкий продукт процесса пиролиза. В ее состав входят ароматические углеводороды C_{8+} , а также смолы и асфальтены, полученные в результате протекания реакций уплотнения и конденсации ароматических колец ². Содержание нафталина и метилнафталинов составляет не менее 25% мас. ^{3,4}.

На современных промышленных установках пиролиза тяжелая смола пиролиза не явля-

In this work, the possibility of isolating a product with a high naphthalene content from a heavy steam cracking tar is considered. The calculation of the unit for fractionation of heavy steam cracking tar has been carried out. The process flow diagram of the fractionation unit has been developed. The main parameters of the operation of the rectification columns have been determined. The proposed method for the separation of heavy steam cracking tar will solve the problem of rational use of significant volumes of heavy steam cracking tar with constantly increasing capacities of steam cracking units.

Key words: aromatic hydrocarbons; distillation column; fractionation, heavy tar; liquid steam cracking products; modeling; naphthalene; naphthalene concentrate; steam cracking; rectification.

ется целевым продуктом, она не имеет стабильного состава и физико-химических характеристик, меняющихся в зависимости от состава исходного сырья и технологического режима. Применение более тяжелого сырья способствует увеличению количества нафталина и его производных (более 25% мас.) в ТСП ⁵.

Современные направления использования смолы пиролиза довольно обширны, но не решают полностью проблему ее реализации (табл. 1).

Известно, что тяжелая смола пиролиза имеет сложный химический состав, который в большинстве случаев невозможно идентифицировать доступными на производстве средствами. Смола пиролиза является побочным продуктом производства, а методы ее анализа

Дата поступления 30.07.21

Варианты применения и переработки тяжелой смолы пиролиза

№ п/п	Направление использования тяжелой смолы пиролиза	Фракционный состав	Лит-ра
1	Производство битумов	Не регламентируется	[6]
2	Производство пеков	- Не регламентируется; - НК-350 °С (для процессов при повышенном давлении)	[7]
3	Производство нефтеполимерных смол	- Не регламентируется	[8]
		Фракция C ₈ -C ₉ (120–200 °С)	[9]
4	Производство пластификаторов и ПАВ	Фракции с температурой кипения выше 170 °С	[10]
5	Производство кокса	Не регламентируется	[11]
		Фракции с температурой кипения выше 250 °С	[12]
		Фракции, содержащие углеводороды C ₁₀ –C ₁₆	[13]
		Фракция 200(210)–230 °С	[14]
		Фракция 200–250 °С (200–230 °С) для выделения нафталина, 230–250 °С – для деалкилирования с получением дополнительного количества нафталина)	[15]
6	Производство нафталина	Фракция 216–218.5 °С (после проведения полимеризации)	[16]
		Не регламентируется	[17]
		Не регламентируется	[18]
		Фракция до 330 °С	[19]
7	Каталитический крекинг	Не регламентируется	[17]
8	Каталитическая перегонка	Не регламентируется	[18]
9	Получение реактивного топлива	Фракция до 330 °С	[19]
10	Комплексная переработка (получение смазочных масел, компонента реактивных топлив, антикоррозионных покрытий)	Раздельное использование фракций с температурой кипения 200–245 °С и выше 245 °С	[20]
11	Пиролиз	Фракция до 300 °С	[21]
12	Получение легких фракций	Не регламентируется	[22]
13	Получение компонента топлива	Фракция 180–230 °С	[23]
14	Комплексная переработка (получение нафталина и сырья для битума)	Раздельное использование фракций 200–235 °С, 235–270 °С и выше 270 °С	[24]

высокозатратны и не всегда целесообразны, поэтому она в основном находит применение как компонент сырья различных процессов (табл. 1). Кроме того, разнообразная сырьевая база процесса пиролиза существенно влияет на компонентный состав основных и побочных его продуктов, а отсутствие данных о составе ТСП не позволяет с высокой достоверностью определить целесообразное направление ее использования. При этом известно, что состав сырья процесса пиролиза не оказывает существенного влияния на содержание нафталина и его производных, преобладающих в составе ТСП. Таким образом, возможность получения из ТСП нафталинового концентрата, который можно использовать в качестве индивидуального компонента, является наиболее перспективным направлением ее переработки.

Материалы и методы

Для разделения ТСП с целью получения нафталинового концентрата с высоким содержанием нафталина предложено использовать процесс ректификации. Расчет блока ректификации производился в среде моделирования

UniSim Design на основании следующих допущений:

- состав смолы пиролиза взят на основе данных из ²⁵;
- ввиду отсутствия в расчетной программе UniSim Design данных по ряду соединений, вместо них используются другие, близкие по структуре соединения с тем же количеством атомов углерода.

Результаты и их обсуждение

Известно несколько подходов к повышению эффективности разделения многокомпонентных смесей методом ректификации – оптимизация режимов работы ректификационной колонны, повышение разделяющей и пропускной способности колонн, а также выбор схемы разделения ²⁶.

На основании потенциального содержания нафталина в ТСП, предложена схема разделения, состоящая из четырех последовательных ректификационных колонн. В качестве обоснования выбранной схемы разделения авторы руководствовались следующими принципами. В первую очередь, осуществлялось вы-

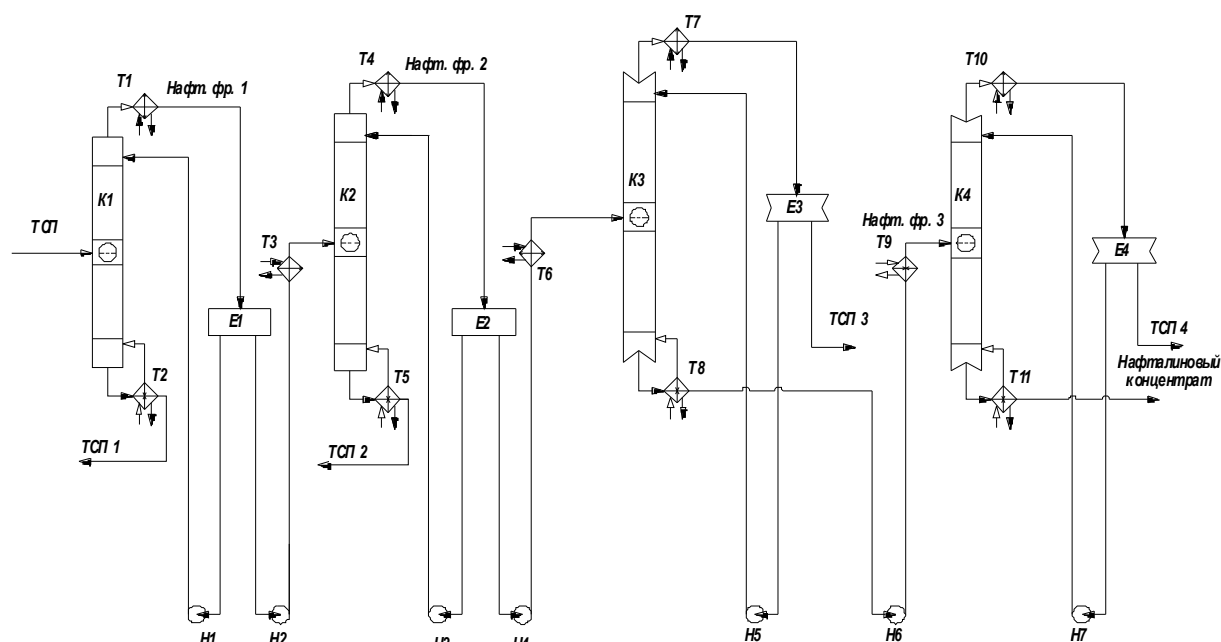


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема узла разделения тяжелой смолы пиролиза: K1–K4 – ректификационные колонны; T1–T11 – теплообменники; E1–E4 – емкости; Н1–Н7 – насосы; ТСП1–ТСП4 – тяжелая смола пиролиза с низким содержанием нафталина; Нафт. фр. 1–Нафт. фр. 3 – промежуточные продукты с высоким содержанием нафталина

деление высококипящей части ТСП, состоящей преимущественно из компонентов с температурами кипения выше 300 °С, затем отделение фракции с температурой кипения выше 240 °С, на третьей ступени разделения происходило отделение нафталинового концентрата от компонентов с меньшими температурами кипения, на заключительном этапе осуществлялось выделение нафталина с содержанием основного компонента более 90% мас.

Тяжелая смола пиролиза, полученная в результате химических превращений в печах пиролиза и отделенная от пирогаза в колонне первичного фракционирования, направлялась на дальнейшее выделение нафталинового концентрата. Разработанная принципиальная технологическая схема процесса разделения ТСП представлена на рис. 1. Тяжелая смола пиролиза последовательно проходит колонны K1–K4, где в процессе разделения образуются фракции с низким содержанием нафталина различного состава (ТСП1–ТСП4). С куба колонны K4 отводится нафталиновый концентрат, являющийся целевым продуктом. Содержание нафталина в нафталиновом концентрате, согласно расчетным данным, составляет 94.4% мас. (табл. 2).

Выбор давления в ректификационных колоннах обуславливался составом разделяемых смесей при соблюдении принципов энергосбережения. Расчет общего числа тарелок проводился, исходя из минимизации критерия оптимальности эксплуатационных и капитальных затрат.

Результаты расчета ректификационных колонн: технологические параметры, качество и количество получаемых продуктов представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Результаты расчета
ректификационных колонн**

№ п/п	Параметр	K1	K2	K3	K4
1	Температура, °С	270	212	195	205.5
2	Давление, бар	1	0.9	0.8	0.8
3	Расход сырья, кг/ч	3300	995	675	551
4	Число тарелок	12	20	25	26
5	Температура дистиллята, °С	223	204.7	162.2	190.6
6	Расход дистиллята, кг/ч	995	675	124	59
7	Содержание нафталина в дистилляте, % мас.	47.61	69.50	0.01	7.89
8	Температура остатка, °С	332.5	238.3	205	207.6
9	Расход остатка, кг/ч	2305	320	551	492
10	Содержание нафталина в остатке, % мас.	0.02	1.37	85.14	94.40

На каждой ступени разделения происходит последовательное увеличение концентрации нафталина в продуктах колонн K1–K4 (рис. 2).

Таким образом, анализ способов переработки тяжелой смолы пиролиза показал, что перспективным направлением является выделение нафталина. Это обусловлено не только потребностью в нафталине как сырье и продукте нефтехимии, но и целесообразностью выбранного способа с точки зрения состава

тяжелой смолы пиролиза. Выбор схемы разделения определяется требуемой концентрацией нафталина в нафталиновом концентрате.

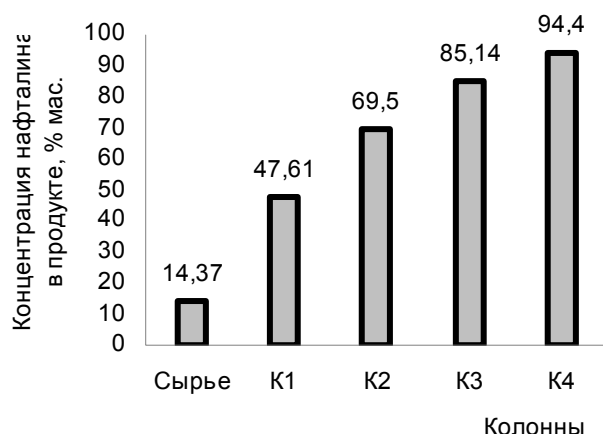


Рис. 2. Изменение концентрации нафталина в продуктах разделения по колоннам

В результате расчета установлено, что наибольшее концентрирование осуществляется в первых двух колоннах. На третьей ступени достигается концентрация нафталина выше 85% мас., что в некоторых случаях является допустимым. В этом случае целесообразно использовать схему разделения, состоящую из трех последовательно соединенных колонн.

Выделение нафталинового концентрата с высоким содержанием нафталина (более 90% мас.) может быть реализовано в системе, состоящей из четырех последовательно соединенных ректификационных колонн. При этом, потери нафталина в ходе процесса разделения при принятом расходе ТСП 3300 кг/ч и содержании нафталина в исходном сырье 474.21 кг/ч составят 9.513 кг/ч предложенная схема разделения позволит обеспечить отбор 97.99% мас. нафталина из ТСП.

Литература

1. Лебедева И.П., Лубинский М.И. Инновационные перспективы использования тяжелой смолы пиролиза // Успехи современного естествознания.— 2008.— №6.— С.79-80.
2. Просочкина Т.Р., Никитина А.П., Трапезникова Е.Ф. и др. Процесс пиролиза углеводородов.— Уфа: Изд-во УГНТУ, 2020.— 93 с.
3. Майер Э.А. Эффективная практика глубокой переработки газового сырья в химическую продукцию на предприятиях ОАО «СИБУР Холдинг» и используемые технологические процессы.— Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2014.— 476 с.
4. Китонов Г.А., Дошлов О.И. Экологические проблемы с использованием тяжелой смолы пиролиза на ОАО «Ангарский завод полимеров» // Новая наука: современное состояние и пути развития.— 2015.— №6-3.— С.172-174.
5. Садыгов Ф.М., Магеррамова З.Ю., Гаджиев Г.Н., Гейдарлы Н.И., Гасан-заде Г.Г., Мамедова И.Г., Садыгова Н.С. Сочетание технологического режима пиролиза и качественного состава тяжелой смолы // Азербайджанский химический журнал.— 2016.— № 4.— С.60-63.
6. Фрыдер И.В., Гринишин О.Б., Хлибишин Ю.Я. Использование тяжелой смолы пиролиза в производстве нефтяных битумов // Вестник Национального авиационного университета.— 2013.— №57.— С.135-138.
7. Мухамедзянова А.А., Мухамедзянов А.Т., Ги-маев Р.Н., Хайбуллин А.А. Получение анизотропных пеков из продуктов термообработки тяжелой смолы пиролиза углеводородного сырья // Журнал прикладной химии.— 2015.— Т.88, №8.— С.1203-1207.
8. Юсевич А.И., Трусков К.И., Осипенко Е.М., Куземкин Д.В. Оптимизация условий получения нефтеполимерной смолы из тяжелой смолы пиролиза завода «Полимир» ОАО «Нафтан» / Матер. конф. «Нефтехимия-2019».— Минск:

References

1. Lebedeva I.P., Lubinskiy M.I. *Innovatsionnye perspektivy ispol'zovaniya tyazheloy smoly piroliza* [An innovative perspective on the use of heavy steam cracking tar]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in modern natural science], 2008, no.6, pp.79-80.
2. Prosochkina T.R., Nikitina A.P., Trapeznikova E.F. et al. *Protsess piroliza uglevodorodov* [Hydrocarbon pyrolysis process]. Ufa, USPTU Publ., 2020, 93 p.
3. Majer Je.A. *Effektivnaya praktika glubokoy pererabotki gazovogo syr'ya v khimicheskuyu produktsiyu na predpriyatiyakh ОАО «SIBUR Holding» i ispol'zuemye tekhnologicheskie protsessy* [Effective practice of deep processing of gas raw materials into chemical products at the enterprises of JSC SIBUR Holding and the technological processes used]. Tomsk, Tomsk State University Publ., 2014, 476 p.
4. Kitonov G.A., Doshlov O.I. *Ekologicheskie problemy s ispol'zovaniem tyazheloy smoly piroliza na ОАО «Angarskiy zavod polimerov»* [Environmental problems with the use of heavy steam cracking tar at JSC «Angarsk Polymer Plant»] *Novaya nauka: sovremennoe sostoyanie i puti razvitiya* [New science: current state and ways of development], 2015, no.6-3, pp.172-174.
5. Sadygov F.M., Magerramova Z.Ju., Gadzhiev G.N., Gejdarly N.I., Gasan-zade G.G., Mamedova I.G., Sadygova N.S. *Sochetanie tekhnologicheskogo rezhima piroliza i kachestvennogo sostava tyazheloy smoly* [Combination of technological mode of steam cracking and high-quality composition of heavy tar] *Azerbaydzhanskiy khimicheskiy zhurnal* [Azerbaijan Chemical Journal], 2016, no.4, pp.60-63.
6. Fryder I.V., Grinishin O.B., Hlibishin Yu.Ya. *Ispol'zovanie tyazheloy smoly piroliza v proizvodstve neftyanykh bitumov* [The use of heavy steam cracking tar in the production of petroleum bitumen]. *Vestnik Natsional'nogo*

Издательство Белорусского государственного технологического университета, 2019.— С.32-36.

9. Лебедева М.А., Машуков В.И., Головки А.К. Анализ и переработка тяжелой смолы пиролиза // Химия в интересах устойчивого развития.— 2012.— Т.20, №5.— С.633-638.
10. Шведов А.П., Якубовский С.Ф., Шведов А. Состав углеводородного сырья и особенности технологического процесса получения пластифицирующих добавок в бетонные смеси // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки.— 2014.— №8.— С.72-79.
11. Дадаева Г.Ч. Проблема коксования тяжелой смолы пиролиза бензина в коксовом реакторе замедленного коксования // Science and world.— 2017.— №7.— С.38-39.
12. Патент РФ № 2639904. Способ получения изотропного кокса / Запорин В.П., Сухов С.В., Шайбаков Р.А., Ситдикова А.В. // Б.И.— 2017.— №36.
13. Патент РФ № 2557000. Способ получения нафталина / Нестеров О.Н., Гильманов Х.Х., Сахабутдинов А.Г., Шепелин В.А., Якупов А.А., Силитрина Н.А., Шарифуллин И.Г., Шатилов В.М., Пономарев С.И., Амирханов А.Т., Сабиров А.Р., Чураков Ю.Н. // Б.И.— 2015.— №20.
14. Булавка Ю.А., Якубовский С.Ф., Хохотов С.С., Ляхович В.А. Инновационный подход к переработке тяжелой смолы пиролиза углеводородного сырья / Матер. конф. «Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России».— М.: Издательство РГУНГ им. И.М. Губкина, 2018.— С.23-26.
15. Ibragimov K.D., Ibragimova Z.M., Kasumova G.F., Kasumova K.M., Rustamov M.I., Dzhaifarova R.A., Aliyev B.M., Aliyeva N.M. Heavy pyrolysis resin — base raw material for preparation of naphthalene // Processes of petrochemistry and oil-refining.— 2016.— V.17, №1.— Pp.28-38.
16. Патент РФ № 2282609. Способ получения нафталина / Папиан Т.Г., Кушев Н.Ф. // Б.И.— 2006.— №24.
17. Стратиев Д.С., Шишкова В.К. Каталитический крекинг высокоароматических газойлей и пиролизной смолы // Нефтепереработка и нефтехимия.— 2010.— №1.— С.9-12.
18. Хромых П.Б., Бельков А.И. Повышение глубины переработки тяжелой смолы пиролиза в производстве этилена // Экология ЦЧО РФ.— 2012.— №2.— С.145-147.
19. Патент РФ № 2670449. Способ получения высокоплотного реактивного топлива (варианты) / Максимов А.Л., Самойлов В.О., Иванов С.В., Онищенко М.И., Петрухина Н.Н. // Б.И.— 2018.— №30.
20. Ахмедова Н.Ф., Мамедов С.Э. Комплексная переработка тяжелой смолы пиролиза // Advanced in current natural sciences.— 2011.— №7.— С.74-75.
21. Patent US №7815791. Process and apparatus for using steam cracked tar as steam cracker feed / Keusenkothen P.F. // 2009.
7. Mukhamedzyanova A.A., Mukhamedzyanov A.T., Gimaev R.N., Khaibullin A.A. [Preparation of plastic anisotropic pitches from products of heat treatment of heavy tar from pyrolysis of hydrocarbon raw materials]. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2015, vol.88, no.8, pp.1321-1325.
8. Yusevich A.I., Trusov K.I., Osipenok E.M., Kuzemkin D.V. *Optimizatsiya usloviy polucheniya neftepolimernoy smoly iz tyazheloy smoly piroliza zavoda «Polimir» OAO «Naftan»* [Optimization of the conditions for the production of petroleum resin from heavy steam cracking tar of the «Polymir» plant, «Naftan» OJSC]. Proc. conf. «Neftekhimiya-2019», 2019, Minsk, Belarusian State Technological University Publ., 2019, pp.32-36.
9. Lebedeva M.A., Mashukov V.I., Golovko A.K. *Analiz i pererabotka tyazheloy smoly piroliza* [Analysis and processing of heavy steam cracking tar]. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya* [Chemistry for Sustainable Development], 2012, vol.20, no.5, pp.633-638.
10. Shvedov A.P., Yakubovskiy S.F., Shvedov A. *Sostav uglevodorodnogo syr'ya i osobennosti tehnologicheskogo protsessa polucheniya plastifitsiruyuschikh dobavok v betonnye smesi* [Composition of hydrocarbon raw materials and features of the technological process of obtaining plasticizing additives in concrete mixtures]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki* [Bulletin of Polotsk State University. Series F. Construction. Applied Sciences], 2014, no.8, pp.72-79.
11. Dadaeva G.Ch. *Problema koksovaniya tyazheloy smoly piroliza benzina v koksovom reaktore zamedlennogo koksovaniya* [The problem of coking steam cracking heavy tar of gasoline in a coke oven delayed coking]. *Science and world*, 2017, no.7, pp.38-39.
12. Zaporin V.P., Suhov S.V., Shaybakov R.A., Sitydikova A.V. *Sposob polucheniya izotropnogo koka* [Method for producing isotropic coke]. Patent RF, no.2639904, 2017.
13. Nesterov O.N., Gil'manov H.H., Sakhabutdinov A.G., Shepelin V.A., Yakupov A.A., Silitrina N.A., Sharifullin I.G., Shatilov V.M., Ponomarev S.I., Amirkhanov A.T., Sabirov A.R., Churakov Yu.N. *Sposob polucheniya naftalina* [Method of obtaining naphthalene]. Patent RF, no. 2557000, 2015.
14. Bulavka Yu.A., Yakubovskiy S.F., Khohotov S.S., Lyahovich V.A. *Innovatsionnyi podkhod k pererabotke tyazheloy smoly piroliza uglevodorodnogo syr'ya* [An innovative approach to the processing of heavy tar steam cracking of hydrocarbon raw materials]. Proc. conf. «Actual problems of the development of the oil and gas complex of Russia», Moscow, Russian State University of Oil and Gas named after I.M. Gubkin Publ., 2018, pp.23-26.
15. Ibragimov K.D., Ibragimova Z.M., Kasumova G.F., Kasumova K.M., Rustamov M.I., Dzhaifarova R.A., Aliyev B.M., Aliyeva N.M. [Heavy pyrolysis tar — base raw material for preparation of naphthalene]. *Processes of petrochemistry and oil-refining*, 2016, vol.17, no.1, pp.28-38.

22. Patent US №10570342. Deasphalting and hydroprocessing of steam cracker tar / Hanks P.I., Kovvali A.S., Ferrughelli D.T., Pyl S., Raman S. // 2017.
23. Ахметов А.Ф., Ахметов А.В., Шайжанов Н.С., Загидуллин Ш.Г. Гидропереработка остаточных фракций процесса пиролиза // Баш. хим. ж.— 2017.— Т.24, №2.— С.29-32.
24. Ибрагимов Х.Д., Исмаилов Э.Г., Мартынова Г.С., Бекташи Н.Р., Ибрагимова З.М., Рустамов М.И. Получение компонента реактивного топлива и ускорителя окисления гудрона каталитической переработкой тяжелой смолы пиролиза // Журнал прикладной химии.— 2010.— Т.83, №7.— С.1159-1163.
25. Лебедева М.А., Колесник В.Д., Машуков В.И., Егоров А.В. Хроматографическое определение химического состава тяжелых смол пиролиза // Известия Томского политехнического университета.— 2010.— Т.316, №3.— С.102-105.
26. Чуракова С.К. Варианты интенсификации работы действующего массообменного оборудования в процессах нефтегазопереработки и нефтехимии // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт.— 2013.— №5.— С.48-53.
16. Papijan T.G., Kushhev N.F. *Sposob polucheniya naftalina* [Method of obtaining naphthalene]. Patent RF, no.2282609, 2006.
17. Stratiev D.S., Shishkova V.K. *Kataliticheskiy kreking vysokoaromaticeskikh gazoyley i piroliznoy smoly* [Catalytic cracking of highly aromatic gas oils and steam cracking tar]. *Neftepererabotka i neftehimiya* [Oil refining and petrochemistry], 2010, no.1, pp.9-12.
18. Hromykh P.B., Bel'kov A.I. *Povyshenie glubiny pererabotki tyazheloy smoly piroliza v proizvodstve etilena* [Increasing the depth of processing of heavy steam cracking tar in the production of ethylene]. *Ekologiya CChO RF* [Ecology of the Central Black Earth Region of the Russian Federation], 2012, no.2, pp.145-147.
19. Maksimov A.L., Samojlov V.O., Ivanov S.V., Onischenko M.I., Petruhina N.N. *Sposob polucheniya vysokoplotnogo reaktivnogo topliva (varianty)* [High-density jet fuel production method (options)]. Patent RF, no.2670449, 2018.
20. Akhmedova N.F., Mamedov S.E. *Kompleksnaya pererabotka tyazheloy smoly piroliza* [Complex processing of heavy steam cracking tar]. *Advanced in current natural sciences*, 2011, no.7, pp.74-75.
21. Keusenkothen P.F. [Process and apparatus for using steam cracked tar as steam cracker feed]. Patent US, no.7815791, 2009.
22. Hanks P.I., Kovvali A.S., Ferrughelli D.T., Pyl S., Raman S. [Deasphalting and hydroprocessing of steam cracker tar]. Patent US, no.10570342, 2017.
23. Akhmetov A.F., Akhmetov A.V., Shayzhanov N.S., Zagidullin Sh.G. *Gidropererabotka ostatocnykh fraktsiy protsessa piroliza* [Hydroprocessing of residual fractions of the steam cracking process]. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal* [Bashkir Chemical Journal], 2017, vol.24, no.2, pp.29-32.
24. Ibragimov K.D., Ismailov E.G., Martynova G.S., Bektashi N.R., Ibragimova Z.M., Rustamov M.I. [Synthesis of a component of the jet engine fuel and an accelerator of oil tar oxidation by catalytic processing of heavy pyrolysis tar]. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2010, vol.83, no.7, pp.1265-1269.
25. Lebedeva M.A., Kolesnik V.D., Mashukov V.I., Egorov A.V. *Khromatograficheskoe opredelenie khimicheskogo sostava tyazhelykh smol piroliza* [Chromatographic determination of the chemical composition of heavy steam cracking tars]. *Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University], 2010, vol.316, no.3, pp.102-105.
26. Churakova S.K. *Varianty intensifikatsii raboty deistvuyushchego massoobmennogo oborudovaniya v processakh neftegazopererabotki i neftekhimii* [Variants of intensifying the operation of the existing mass transfer equipment in the processes of oil and gas processing and petrochemistry]. *Neftepererabotka i neftekhimiya. Nauchno-tehnicheskie dostizheniya i peredovoy opyt* [Oil refining and petrochemistry. Scientific and technical achievements and best practices], 2013, no.5, pp.48-53.