





## Снижение затрат энергоресурсов на установке деасфальтизации гудрона





Николай В. Котляр	<sup>1</sup>	<a href="mailto:chemicaluniversity@mail.ru">chemicaluniversity@mail.ru</a>	
Сергей В. Попов	<sup>1</sup>	<a href="mailto:svpopov2018@ya.ru">svpopov2018@ya.ru</a>	 0000-0003-0533-9049
Жанна В. Николаева	<sup>1</sup>	<a href="mailto:chemicaluniversity@mail.ru">chemicaluniversity@mail.ru</a>	
Оксана В. Хабибрахманова	<sup>1</sup>	<a href="mailto:chemicaluniversity@mail.ru">chemicaluniversity@mail.ru</a>	 0000-0002-1523-9861

<sup>1</sup> Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия

**Аннотация.** Установки пропановой деасфальтизации используются для «очистки» гудрона от асфальтосмолистых и полициклических ароматических компонентов. Используемые при этом энергоресурсы достаточно большие. Для снижения энергоёмкости рассматривается возможность рекуперации теплоты технологических потоков установки и уменьшения расхода пара и воды при регенерации пропана из раствора деасфальтизата. Исследования проведены с использованием программной системы Honeywell UniSim Design, в которой разработали модель установки пропановой деасфальтизации гудрона. Для расчета термодинамических свойств компонентов фракций использован метод Peng-Robinson. Выполненный анализ энергетических потоков технологической схемы показал, что для повышения температуры раствора деасфальтизата от 79,9°C до 120°C для трубчатого испарителя требуется подвести энергетический поток  $2,709 \times 10^5$  кДж/ч. При этом величина теплового потока целевого продукта (деасфальтизата) составляет  $5,746 \times 10^6$  кДж/ч, следовательно, имеется возможность рекуперации теплоты между рассмотренными потоками. Предложена энергосберегающая технология регенерации пропана из раствора деасфальтизата, в которой в трубчатом испарителе вместо острого пара используется теплота потока выделенного деасфальтизата. Проведенный вычислительный эксперимент показал, что рассчитанное уменьшение расхода острого пара в отпарной колонне К-2 снижает энергопотребление установки с сохранением четкости разделения пропана и целевого продукта. Отсутствие в потоке регенерированного пропана углеводородной фракции делает возможным его рециркуляцию на питание экстракционной колонны. Показано, что в конденсаторе смешения К-5 возможно уменьшение расхода воды. За счет снижения расхода пара, используемого в отпарной колонне К-2, и понижения расхода воды в конденсаторе К-5 уменьшается количество воды, сбрасываемой в канализацию. Предложенная технологическая схема регенерации пропана из раствора деасфальтизата и модель установки могут использоваться в процессах одно- и двухступенчатой деасфальтизации гудрона для их расчета и проектирования.

**Ключевые слова:** гудрон, пропан, установка деасфальтизации гудрона, раствор деасфальтизата, раствор асфальта, эвапоратор, сепаратор, отпарная колонна, энергосбережение, Honeywell UniSim Design

## Reducing energy costs at the tar deasphalting unit

Nikolay V. Kotlayr	<sup>1</sup>	<a href="mailto:chemicaluniversity@mail.ru">chemicaluniversity@mail.ru</a>	
Sergey V. Popov	<sup>1</sup>	<a href="mailto:svpopov2018@ya.ru">svpopov2018@ya.ru</a>	 0000-0003-0533-9049
Zhanna V. Nikolaeva	<sup>1</sup>	<a href="mailto:chemicaluniversity@mail.ru">chemicaluniversity@mail.ru</a>	
Oksana V. Khabibrakhmanova	<sup>1</sup>	<a href="mailto:chemicaluniversity@mail.ru">chemicaluniversity@mail.ru</a>	 0000-0002-1523-9861

<sup>1</sup> Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia

**Abstract.** Propane de-asphalting units are used to "clean" tar from asphalt-resin and polycyclic aromatic components. The energy resources used in this case are quite large. To reduce energy consumption, the possibility of heat recovery of the technological flows of the installation and reduction of steam and water consumption during the regeneration of propane from a deasphaltisate solution is being considered. The research was carried out using the Honeywell UniSim Design software system, in which a model of a propane de-asphalting tar installation was developed. The Peng-Robinson method was used to calculate the thermodynamic properties of the fraction components. The analysis of the energy flows of the technological scheme showed that to increase the temperature of the deasphaltisate solution from 79.9 °C to 120 °C for a tubular evaporator, it is required to bring an energy flow of  $2.709 \times 10^5$  kJ/h. At the same time, the value of the heat flux of the target product (deasphaltisate) is  $5.746 \times 10^6$  kJ/h, therefore, there is a possibility of heat recovery between the considered flows. An energy-saving technology for the regeneration of propane from a solution of deasphaltisate is proposed, in which the heat of the flow of the extracted deasphaltisate is used in a tubular evaporator instead of hot steam. The conducted computational experiment showed that the calculated reduction in the consumption of hot steam in the K-2 steam column reduces the energy consumption of the installation while maintaining the clarity of the separation of propane and the target product. The absence of a hydrocarbon fraction in the flow of regenerated propane makes it possible to recycle it to feed the extraction column. It is shown that it is possible to reduce water consumption in the K-5 mixing condenser. By reducing the steam consumption used in the K-2 steam column and lowering the water consumption in the K-5 condenser, the amount of water discharged into the sewer is reduced. The proposed technological scheme for the regeneration of propane from a deasphaltisate solution and the installation model can be used in the processes of one- and two-stage deasphaltization of tar for their calculation and design.

**Keywords:** tar, propane, tar deasphalting unit, deasphalting oil solution, asphalt solution, evaporator, separator, stripping column, energy saving, Honeywell UniSim Design

Для цитирования

Котляр Н.В., Попов С.В., Николаева Ж.В., Хабибрахманова О.В. Снижение затрат энергоресурсов на установке деасфальтизации гудрона // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 187–193. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-187-193

For citation

Kotlayr N.V., Popov S.V., Nikolaeva Zh.V., Khabibrakhmanova O.V. Reducing energy costs at the tar deasphalting unit. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 187–193. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-187-193

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

## Введение

Процессы деасфальтизации используются как способ углубления переработки нефти «очисткой» гудрона от асфальтосмолистых и полициклических ароматических компонентов. В качестве растворителя, определяющего получаемые характеристики продуктов, в этих процессах применяют пропан, бутан, гептан и другие углеводороды. Процесс пропановой деасфальтизации наиболее распространен в промышленных условиях [1–7], при этом пропан выполняет функции коагулятора асфальто-смолистых веществ и, одновременно, избирательного растворителя для извлекаемых компонентов нефтяных фракций [4].

Отметим, что в процессе пропановой деасфальтизации используемые энергоресурсы достаточно большие [8–11]. Для их снижения в работах [10–12] предлагается изменение аппаратного оформления процесса, в исследованиях [13–16] описано проведение процесса при сверхкритических условиях по отношению к растворителю. В работе [17] для расчета характеристик получаемого асфальта используется программный пакет SimSci-Esscor Pro II. В патенте [18] предлагается использовать тепло регенерированного растворителя для нагревания растворов, выходящих из экстракционной колонны. В исследовании [19] показана возможность снижения расхода пара при регенерации пропана из асфальтового раствора установки.

**Цель работы** – для промышленной установки пропановой деасфальтизации гудрона разработка варианта энергосберегающей технологии регенерации пропана из раствора деасфальтизата, обеспечивающей снижение расхода пара и воды с использованием рекуперации тепловых потоков технологической схемы.

## Методы

Исследования проводили с использованием моделирующей системы Honeywell UniSim

Design [20], для расчета термодинамических свойств компонентов фракций использован метод Peng-Robinson.

На рисунке 1 приведена разработанная модель технологической схемы регенерации пропана и выделения фракции деасфальтизата из раствора деасфальтизата, поступающего из экстракционной колонны промышленной установки [8].

Раствор деасфальтизата (поток **см\_ДеАСФ**), содержащий пропан (96,99% мас.) и углеводородные фракции (температуры кипения от 405° С до 537° С), выводится из экстрактора с температурой 75° С и давлением 3530 кПа. Регенерация пропана проводится с использованием трех последовательно работающих трубчатых испарителей {Э-1 V-I}, {Э-1А V-1А} и {Э-1Б V-1Б}, отпарной колонны К-2 и конденсатора смешения К-5. Переток раствора деасфальтизата из одного испарителя в другой осуществляется за счет перепада давления. В технологических потоках снижение давления проводится с помощью клапанов VLV-106 (до 1690кПа), VLV-107 (до 1660кПа), VLV-108 (до 1500кПа) и VLV-109 (до 245кПа).

Раствор деасфальтизата (поток **деасф 9**) с остаточным содержанием пропана (до 3% мас.) из испарителя {Э-1Б V-1Б} перетекает в отпарную колонну К-2, где происходит окончательная отпарка пропана из деасфальтизата острым паром. Поток **пропан 13** (смесь водяного пара и пропана) поступает на конденсатор смешения К-5 для конденсации паров воды с использованием воды. Полученная фракция деасфальтизата (поток **деасф 12**) с низа колонны К-2 откачивается в товарный парк.

Графики ИТК разгонки гудрона и полученного деасфальтизата показаны на рисунке 2.

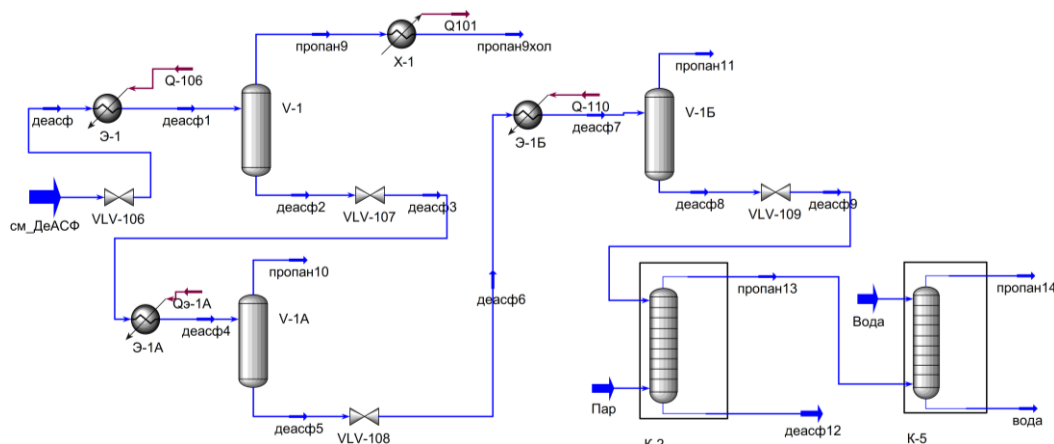


Рисунок 1. Фрагмент «типовой» технологической схемы регенерации пропана и получения фракции деасфальтизата установки пропановой деасфальтизации гудрона (распечатка в среде Honeywell UniSim Design)

Figure 1. Fragment of a "typical" technological scheme for the regeneration of propane and the production of a fraction of deasphaltisate of a propane tar deasphaltization plant (printout in the Honeywell UniSim Design environment)

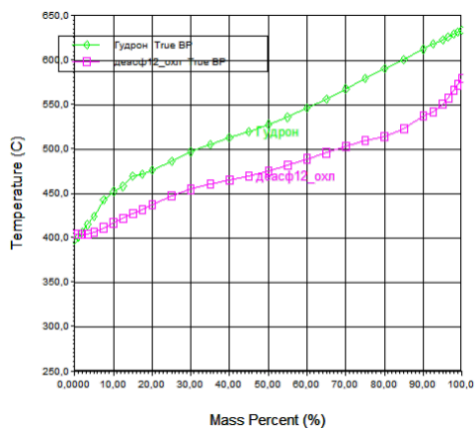


Рисунок 2. График ИТК разгонки гудрона и полученной фракции деасфальтизата

Figure 2. Graph of the ITC of the tar dispersal and the resulting deasphaltate fraction

### Результаты и обсуждение

Анализ энергетических потоков технологической схемы (рисунок 1) показывает, что для повышения температуры от 79,9 °С (поток **деасф 3**) до 120° С (поток **деасф 4**) для трубчатого испарителя {Э-1А V-1А} требуется подвести энергетический поток  $Q_{Э-1А} = 2,709 \text{ е}^5 \text{ кДж/ч}$ . При этом величина теплового потока деасфальтизата (поток **деасф 12**) составляет  $5,746 \text{ е}^6 \text{ кДж/ч}$ , следовательно имеется возможность передачи части теплоты от потока **деасф 12** потоку **деасф 3**.

Измененная технологическая схема с организацией рекуперативного теплообмена приведена на рисунке 3. Технологический поток **деасф 12** отдаёт

тепло в испарителе {Э-1А V-1А} и охлаждается от температуры 142,8 °С до 95,3 °С (поток **деасф 12\_охл**), а поток раствора деасфальтизата нагревается с 79,9 °С до 120° С. В результате обеспечивается снижение энергоёмкости установки за счёт уменьшения расхода острого пара, который использовался для рассмотренного испарителя.

Проведенный вычислительный эксперимент также позволил рассмотреть используемые на промышленной установке режимные параметры и получаемые показатели работы отпарной колонны К-2 и конденсатора смешения К-5 и выполнить оценку их оптимальных значений.

Значения используемых на установке технологических режимов и компонентный состав потоков колонны К-2 показаны в таблице 1. Видно, что при расходе острого пара 150кг/ч (таблица 1а) в деасфальтизате (поток **деасф 12**) пропан отсутствует, а содержание воды в потоке **пропан 13** 82,83% мол. (66,34% мас.). Результаты расчетов, полученные для варианта снижения расхода острого пара с 150 кг/ч до 12кг/ч, показали, что в потоке **деасф 12** остаточное содержание пропана составляет величину 0.0012% мол. (0.0001% мас.), а содержание воды в потоке пропана (**пропан 13**), поступающего в аппарат К-5, составляет 25,6% мол. (12,33% мас.), следовательно на установке имеется возможность существенного уменьшения энергозатрат за счёт снижения потребления острого пара.

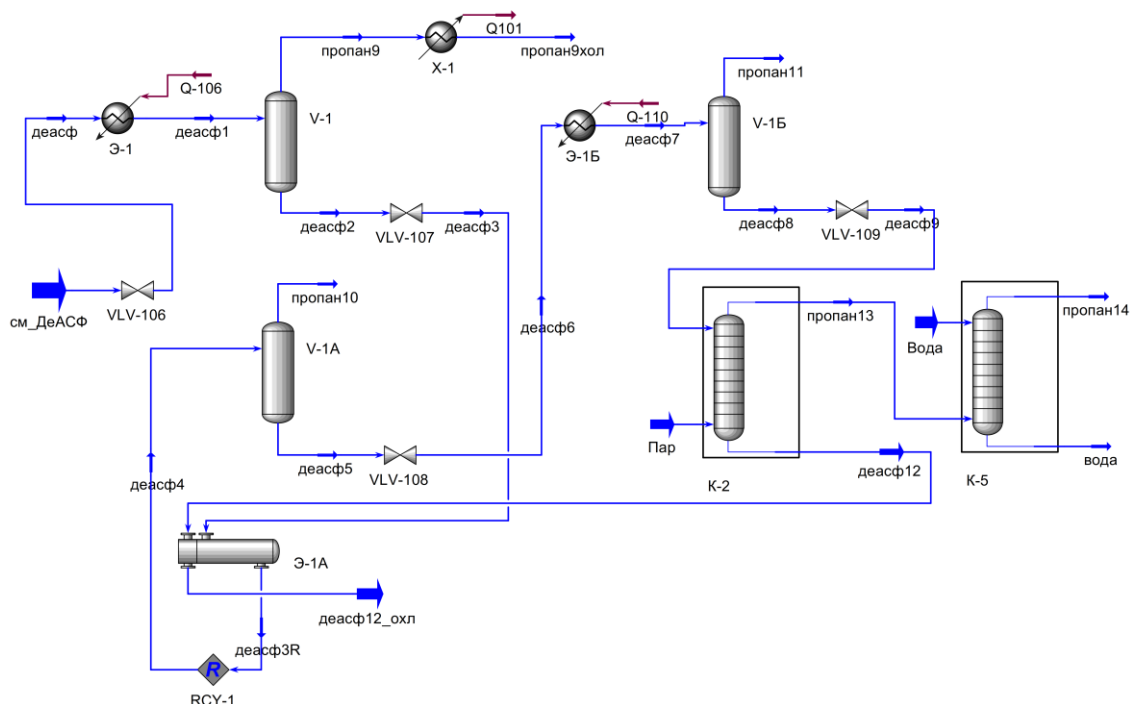


Рисунок 3. Фрагмент измененной технологической схемы регенерации пропана и получения фракции деасфальтизата установки пропановой деасфальтизации гудрона (распечатка в среде Honeywell UniSim Design)

Figure 3. Fragment of the modified technological scheme of propane regeneration and obtaining the deasphaltate fraction of the propane tar deasphaltisation unit (printout in the Honeywell UniSim Design environment)

В конденсаторе смешения К-5 через орошение водой из потока **пропан 13** удаляется вода. В таблице 2 приведены используемые на практике режимы и составы технологических потоков (входной поток **пропан 13** имеет технологические параметры из таблицы 1, то есть до оптимизации расхода пара в колонне К-2).

Из таблицы 2b видно, что в потоке **пропан 14**, выходящего из аппарата К-5 остаточное содержание воды 1,33% мол. (0,55% мас.). Расчёты показали возможность уменьшения расхода воды с 20000кг/ч до 6000 кг/ч. При этом в потоке

**пропан 14** наблюдается остаточное содержание воды порядка 0,57% мол. (0,24% мас.) и практически отсутствует тяжелая углеводородная фракция, что делает возможным в промышленных условиях его рециркулирование на питание экстракционной колонны.

Отметим, что в предложенной схеме (рисунок 3) за счет уменьшения расхода пара в колонне К-2 уменьшается требуемый расход воды в колонне-конденсаторе К-5 и, как следствие, снижается её количественный сброс в канализацию.

Таблица 1.  
Значения технологических режимов (а) и компонентный состав потоков (б) колонны К-2  
(распечатка в Honeywell UniSim Design)

Table 1.  
Values of technological modes (a) and component composition of flows (b) of the K-2 column  
(printout in Honeywell UniSim Design)

Name	деасф9	Пар	деасф12	пропан13
Vapour	0,1517	1,0000	0,0000	1,0000
Temperature [C]	142,6	280,0	148,7	142,2
Pressure [kPa]	245,2	588,4	200,0	196,0
Molar Flow [kgmole/h]	9,664	8,326	8,029	9,961
Mass Flow [kg/h]	3016	150,0	2942	224,1
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	2,996	0,1503	2,849	0,2978
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-6,134e+005	-2,332e+005	-7,156e+005	-2,132e+005
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	490,5	180,1	564,7	184,0
Heat Flow [kJ/h]	-5,928e+006	-1,942e+006	-5,746e+006	-2,124e+006

(a)

	деасф9	Пар	деасф12	пропан13
Propane	0,176930	0,000000	0,000000	0,171648
H2O	0,000000	1,000000	0,009374	0,828343
NBP[0]405*	0,078635	0,000000	0,094639	0,000005
NBP[0]420*	0,074455	0,000000	0,089610	0,000002
NBP[0]448*	0,175101	0,000000	0,210748	0,000001
NBP[0]473*	0,210197	0,000000	0,252990	0,000000
NBP[0]504*	0,149273	0,000000	0,179663	0,000000
NBP[0]528*	0,092987	0,000000	0,111918	0,000000
NBP[0]556*	0,032996	0,000000	0,039713	0,000000
NBP[0]583*	0,007917	0,000000	0,009529	0,000000
NBP[0]616*	0,001510	0,000000	0,001817	0,000000

(b)

Таблица 2.  
Значения технологических режимов (а) и компонентный состав потоков (б) конденсатора смешения К-5  
(распечатка в Honeywell UniSim Design)

Table 2.  
Values of technological modes (a) and component composition of flows (b) of the K-5 mixing capacitor  
(printout in Honeywell UniSim Design)

Name	Вода	пропан13	вода	пропан14
Vapour	0,0000	1,0000	0,0000	0,9935
Temperature [C]	15,00	142,2	19,85	18,93
Pressure [kPa]	315,0	196,0	350,0	310,0
Molar Flow [kgmole/h]	1110	9,961	1118	1,733
Mass Flow [kg/h]	2,000e+004	224,1	2,015e+004	75,83
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	20,04	0,2978	20,19	0,1492
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2,870e+005	-2,132e+005	-2,866e+005	-1,068e+005
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	51,05	184,0	52,35	150,1
Heat Flow [kJ/h]	-3,186e+008	-2,124e+006	-3,206e+008	-1,851e+005

(a)

	Вода	пропан13	вода	пропан14
Propane	0,000000	0,171649	0,000000	0,986702
H2O	1,000000	0,828343	1,000000	0,013252
NBP[0]405*	0,000000	0,000005	0,000000	0,000026
NBP[0]420*	0,000000	0,000002	0,000000	0,000012
NBP[0]448*	0,000000	0,000001	0,000000	0,000006
NBP[0]473*	0,000000	0,000000	0,000000	0,000002
NBP[0]504*	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
NBP[0]528*	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
NBP[0]556*	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
NBP[0]583*	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
NBP[0]616*	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000

(b)

### Заключение

На промышленных установках пропановой деасфальтизации гудрона в качестве основного теплоносителя применяется острый водяной пар, использование которого имеет ряд известных недостатков. В качестве альтернативы его использованию для рассматриваемой установки проведено исследование возможности рекуперации теплоты технологических потоков.

С использованием программной среды Honeywell UniSim Design разработана модель установки.

Проведенный вычислительный эксперимент позволил получить следующие результаты.

Предложена энергосберегающая технология регенерации пропана из раствора деасфальтизата, в которой в трубчатом испарителе вместо острого пара используется теплота потока выделенного деасфальтизата.

Рассчитанное уменьшение расхода острого пара в отпарной колонне К-2 снижает энергопотребление установки с сохранением четкости разделения регенерированного пропана и целевого продукта (фракции деасфальтизата). Отсутствие в потоке регенерированного пропана углеводородной фракции делает возможным его рециркуляцию на питание экстракционной колонны.

Показано, что в конденсаторе смешения К-5 возможно уменьшение расхода воды.

В целом, за счет снижения расхода пара, используемого в отпарной колонне К-2, и понижения расхода воды в конденсаторе К-5 уменьшается количество воды, сбрасываемой в канализацию.

Предложенная технологическая схема регенерации пропана и модель установки могут использоваться в процессах одно- и двухступенчатой деасфальтизации гудрона для их расчета и проектирования.

### Литература

- 1 Халикова Д.А., Петров С.М., Башкирцева Н.Ю. Обзор перспективных технологий переработки тяжелых высоковязких нефтей и природных битумов // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 3. С. 217-221.
- 2 Гольдберг Д.О., Соболев Б.А. Деасфальтизация пропаном. М.: Химия, 1965. 104 с.
- 3 Глазов Г.И., Фукс И.Г. Производство нефтяных масел. М.: Химия, 1976. 192 с.
- 4 Золотарев П.А., Ольков П.Л., Горелов Ю.С. Проектирование установок деасфальтизации. Уфа: Изд. Уфимск. нефт. ин-та, 1982. 85 с.
- 5 Хайрудинов И.Р., Мингараев С.С., Хамитов Г.Г. и др. Перспективы развития и повышения эффективности процессов деасфальтизации нефтяных остатков // Тематический обзор. Серия Переработка нефти. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1994. Вып. 5. 72 с.
- 6 Нигматуллин Р.Г., Золотарев П.А., Сайфуллин Н.Р. и др. Деасфальтизация нефтяного сырья пропаном. М.: Техинформ, 2003. 200 с.
- 7 Пат. № 2174532, RU, C10G 21/14. Способ деасфальтизации высоковязкой нефти и природного битума / Старшов М.И., Каюмова Н.Р., Половняк В.К., Ахунов Р.М., Абдулхайров Р.М. № 2000115642/04; Заявл. 15.06.2000; Оpubл. 10.10.2001, Бюл. № 28.
- 8 Kupareva A., Mäki-Arvela P., Murzin D.Y. Technology for rerefining used lube oils applied in Europe: a review // Journal of Chemical Technology & Biotechnology. 2013. V. 88. № 10. P. 1780-1793. doi: 10.1002/jctb.4137
- 9 Pham D.V., Nguyen N.T., Kang K.H., Seo P.W. et al. Effect of slurry phase catalyst and H<sub>2</sub> pressure on hydrocracking of SDA (solvent de-asphalting) pitch // Korean Journal of Chemical Engineering. 2022. V. 39. № 5. P. 1215-1226. doi: 10.1007/s11814-021-1026-7
- 10 Дегтярёв П.А., Замковой Н.П., Шамаков Н.В. Модернизация установки деасфальтизации гудрона пропаном 36/2 м цеха 101 завода масел ОАО «АНХК» // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2013. № 2 (5). С. 66-71.
- 11 Пат. № 2326154, RU, C10G 21/14. Способ деасфальтизации гудрона / Зоткин В.А., Никитин А.А., Войдашевич В.В., Фролов А.И. и др. № 2006109606/04; Заявл. 28.03.2006; Оpubл. 10.10.2007, Бюл. № 28.
- 12 Пат. № 2552419, RU, C10G 21/14. Способ двухколонной пропановой деасфальтизации нефтяных остатков / Биктимиров Ф.С. № 2013130089/04; Заявл. 01.07.2013; Оpubл. 10.06.2015, Бюл. № 16.
- 13 Пат. № 2232792, RU, C10G 21/14. Способ деасфальтизации нефтяных остатков / Султанов Ф.М., Хайрудинов И.Р., Кузнецов В.Ю., Теляшев Э.Г. № 2002125778/04; Заявл. 27.09.2002; Оpubл. 20.07.2004, Бюл. № 20.
- 14 Пат. № 2522155, RU, C10G 21/28. Сверхкритический сепаратор / Курочкин А.В. № 2013130774/04; Заявл. 04.07.2013; Оpubл. 10.07.2014, Бюл. № 19.
- 15 Пат. № 2436836, RU, C10G 21/14, 21/28. Способ "сухой" пропановой деасфальтизации нефтяных остатков / Биктимиров Ф.С. № 2009146367/04; Заявл. 14.12.2009; Оpubл. 20.06.2011, Бюл. № 17.
- 16 Пат. № 2051951, RU, C10G 21/28. Способ регенерации пропана из деасфальтизатного раствора / Султанов Ф.М., Бикбулатов М.С., Сайфуллин Н.А., Хайрудинов И.Р. и др. №92 92003568; Заявл. 02.11.1992.
- 17 Заббаров Р.Р., Ахмитшин А.А., Валеева Н.Г. Моделирование процесса деасфальтизации природных битумов и тяжелых нефтяных остатков // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 18. С. 270-271.
- 18 Пат. № 2136720, RU, C10G 21/14, 21/28. Способ деасфальтизации нефтяных остатков / Хайрудинов И.Р., Султанов Ф.М., Сайфуллин Н.Р., Нигматуллин Р.Г. и др. № 98102991/04; Заявл. 19.02.1998; Оpubл. 10.09.1999.
- 19 Мясоєдов А.В., Попов С.В., Хабибрахманова О.В. Снижение затрат энергоресурсов при регенерации растворителя на установке деасфальтизации гудрона // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 2. С. 202-207.





20 Sadi M., Kananpanah S., Bayat M. Adaptive neuro fuzzy inference system to predict average asphaltene particle diameter case study: in thermal de-asphalting process // Petroleum Science and Technology. 2020. V. 38. №. 6. P. 542-549. doi: 10.1080/10916466.2020.1769653


### References


- 1 Khalikova D.A., Petrov S.M., Bashkirtseva N.Yu. Review of promising technologies for processing heavy high-viscosity oils and natural bitumen. Bulletin of Kazan Technological University. 2013. vol. 16. no. 3. pp. 217-221. (in Russian).
- 2 Goldberg D.O., Sobolev B.A. Deasphaltation with propane. M.: Chemistry, 1965. 104 p. (in Russian).
- 3 Glazov G.I., Fuchs I.G. Production of petroleum oils. M.: Chemistry, 1976. 192 p. (in Russian).
- 4 Zolotarev P.A., Olkov P.L., Gorelov Yu.S. Design of de-asphalting installations. Ufa, Ed. Ufa. oil. in-ta, 1982. 85 p. (in Russian).
- 5 Khairudinov I.R., Mingaraev S.S., Khamitov G.G. et al. Prospects for the development and improvement of the efficiency of the processes of de-asphalting of oil residues. Thematic review. Oil Refining series. Moscow, Tsniitneftkhim, 1994. no. 5. 72 p (in Russian).
- 6 Nigmatullin R.G., Zolotarev P.A., Saifullin N.R. et al. De-asphalting of petroleum raw materials with propane. Moscow, Techninform, 2003. 200 p. (in Russian).
- 7 Starshov M.I., Kayumova N.R., Polovnyak V.K., Akhunov R.M., Abdulkhairov R.M. Method of de-asphalting of high-viscosity oil and natural bitumen. Patent RF, no. 2174532, 2001.
- 8 Kupareva A., Mäki-Arvela P., Murzin D.Y. Technology for rerefining used lube oils applied in Europe: a review. Journal of Chemical Technology & Biotechnology. 2013. vol. 88. no. 10. pp. 1780-1793. doi: 10.1002/jctb.4137
- 9 Pham D.V., Nguyen N.T., Kang K.H., Seo P.W. et al. Effect of slurry phase catalyst and H<sub>2</sub> pressure on hydrocracking of SDA (solvent de-asphalting) pitch. Korean Journal of Chemical Engineering. 2022. vol. 39. no. 5. pp. 1215-1226. doi: 10.1007/s11814-021-1026-7
- 10 Degtyarev P.A., Zamkovoy N.P., Shmakov N.V. Modernization of the installation of de-asphalting of tar with propane 36/2 m of shop 101 of the oil plant of JSC "ANKHK". Izvestiya vuzov. Applied chemistry and biotechnology. 2013. no. 2 (5). pp. 66-71. (in Russian).
- 11 Zotkin V.A., Nikitin A.A., Voidashevich V.V., Frolov A.I. et al. Method of de-asphalting of tar. Patent RF, no. 2326154, 2007.
- 12 Biktimirov F.S. Method of two-column propane de-asphalting of oil residues. Patent RF, no. 2552419, 2015.
- 13 Sultanov F.M., Khairudinov I.R., Kuznetsov V.Yu., Telyashev E.G. Method of de-asphalting of oil residues. Patent RF, no. 2232792, 2004.
- 14 Kurochkin A.V. Supercritical separator. Patent RF, no. 2522155, 2014.
- 15 Biktimirov F.S. Method of "dry" propane de-asphalting of oil residues. Patent RF, no. 2436836, 2011.
- 16 Sultanov F.M., Bikbulatov M.S., Sayfullin N.A., Khairudinov I.R. et al. Method of propane regeneration from deasphaltic solution. Patent RF, no. 2051951, 1992.
- 17 Zabbarov R.R., Akhmetshin A.A., Valeeva N.G. Modeling of the process of de-asphalting of natural bitumen and heavy oil residues. Bulletin of Kazan Technological University. 2013. vol. 16. no. 18. pp. 270-271. (in Russian).
- 18 Khairudinov I.R., Sultanov F.M., Sayfullin N.R., Nigmatullin R.G. et al. Method of de-asphalting of oil residues. Patent RF, no. 2136720, 1999.
- 19 Myasoedov A.V., Popov S.V., Khabibrakhmanova O.V. Reduction of energy costs during solvent regeneration at the tar de-asphalting plant. Proceedings of VSUIT. 2021. vol. 83. no. 2. pp. 202-207. (in Russian).
- 20 Sadi M., Kananpanah S., Bayat M. Adaptive neuro fuzzy inference system to predict average asphaltene particle diameter case study: in thermal de-asphalting process. Petroleum Science and Technology. 2020. vol. 38. no. 6. pp. 542-549. doi: 10.1080/10916466.2020.1769653

### Сведения об авторах


**Николай В. Котляр** магистрант, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, chemicaluniversity@mail.ru  
 <https://orcid.org/>


**Сергей В. Попов** к.т.н., доцент, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, svpopov2018@ya.ru  
 <https://orcid.org/0000-0003-0533-9049>


**Жанна В. Николаева** к.х.н., доцент, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, chemicaluniversity@mail.ru  
 <https://orcid.org/>


**Оксана В. Хабибрахманова** к.х.н., доцент, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, chemicaluniversity@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-1523-9861>

### Information about authors

**Nikolay V. Kotlayr** master student, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, chemicaluniversity@mail.ru  
 <https://orcid.org/>

**Sergey V. Popov** Cand. Sci. (Engin.), associate professor., chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, svpopov2018@ya.ru  
 <https://orcid.org/0000-0003-0533-9049>

**Zhanna V. Nikolaeva** Cand. Sci. (Chem.), associate professor, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, chemicaluniversity@mail.ru  
 <https://orcid.org/>

**Oksana V. Khabibrakhmanova** Cand. Sci. (Chem.), associate professor, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, chemicaluniversity@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0002-1523-9861>

**Вклад авторов**

**Николай В. Котляр** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, разработал модели и провел вычислительный эксперимент

**Сергей В. Попов** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, разработал модели и провел вычислительный эксперимент

**Жанна В. Николаева** обзор литературных источников по исследуемой проблеме

**Оксана В. Хабибрахманова** написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution**

**Nikolay V. Kotlyar** review of the literature on an investigated problem, developed models and conducted a computational experiment

**Sergey V. Popov** review of the literature on an investigated problem, developed models and conducted a computational experiment

**Zhanna V. Nikolaeva** review of the literature on an investigated problem

**Oksana V. Khabibrakhmanova** wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

**Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

<b>Поступила</b> 16/01/2023	<b>После редакции</b> 07/02/2023	<b>Принята в печать</b> 02/03/2023
<b>Received</b> 16/01/2023	<b>Accepted in revised</b> 07/02/2023	<b>Accepted</b> 02/03/2023