

УДК 665.637.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГИДРООБЛАГОРАЖИВАНИЯ ПЕТРОЛАТУМОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА УЛУЧШЕННЫХ НЕФТЯНЫХ ЦЕРЕЗИНОВ

© 2025 г. Д. Ю. Махин¹, В. А. Лаврентьев¹, И. А. Пронченков²,
В. М. Капустин², А. А. С. Ахмед²

¹Институт нефтехимического синтеза им. А. В. Топчева РАН,
Москва, 119991 Россия

²Российский государственный университет нефти и газа
(Национальный исследовательский университет) им. И. М. Губкина,
Москва, 119991 Россия
E-mail: d.makhin@mail.ru

Поступила в редакцию 14 декабря 2024 г.

После доработки 16 апреля 2025 г.

Принята к публикации 7 мая 2025 г.

В статье рассмотрены результаты квалифицированной переработки промышленно вырабатываемых петролатумов с целью получения гидроочищенных церезинов с улучшенными показателями качества. Установлено, что предварительное многостадийное обесмасливание петролатума позволяет снизить содержание серы в 2–3 раза. Показано, что повышение давления водорода до 4,5 МПа в процессе гидроочистки при температуре 260°C позволяет получать церезины, по своим свойствам не уступающие коммерческим образцам. Минимально достигнутое содержание серы в гидроочищенном образце церезина составило 95 мг/кг, а содержание ароматических углеводородов 2,6 мас.%, что создает предпосылки для разработки церезинов пищевого назначения.

Ключевые слова: депарафинизация, обезмасливание, петролатум, церезин, гидрооблагораживание

DOI: 10.31857/S0028242125020082, **EDN:** КМЕМВТ

Петролатум является побочным продуктом процесса депарафинизации остаточных масляных фракций и, как правило, не находит квалифицированного применения, вследствие чего обладает низкой добавленной стоимостью. Одним из перспективных направлений переработки петролатума является получение нефтяного церезина, который, в отличие от петролатума, может применяться для пропитки упаковочных материалов, в качестве изоляционного материала в радио- и электротехнике, а также в составе пластичных смазок и свечных композиций; кроме того, специально очищенные марки могут использоваться в косметической и пищевой промышленности [1, 2, 3].

На сегодняшний день в России петролатум производится на крупных нефтеперера-

батывающих заводах предприятий ПАО «НК «Роснефть», ПАО «ЛУКОЙЛ» и ПАО «Газпромнефть». Общий объем производства петролатума на предприятиях данных Компаний составляет около 60 тыс. т/год; при этом производство церезина не превышает 2 тыс. т/год¹ и осуществляется лишь на ПАО «Славнефть-ЯНОС». Стоит отметить, что на предприятии ПАО «Славнефть-ЯНОС» церезин не подвергается гидрооблагораживанию, вследствие чего не удовлетворяет по основным показателям качества пищевым маркам. Для этого необходимо проведение гидроочистки с целью удаления нежелательных веществ (ароматических, азото- и серосодержащих соединений) [4].

¹ Федеральная таможенная служба. URL: <https://customs.gov.ru> (дата обращения: 12.08.2024).

Дорогостоящим аналогом гидроочищенного церезина является синтетический парафин, полученный в процессе Фишера–Тропша [5]. Варьирование технологических параметров и каталитических систем способно обеспечить получение парафинов с заданным молекулярно-массовым распределением (ММР) и необходимой степенью разветвленности [6]. Синтетический церезин процесса Фишера–Тропша в Российской Федерации относится к дефицитным продуктам: ранее его производство осуществляли на Новочеркасском заводе синтетических продуктов (НЗСП) и на сегодняшний день оно утрачено. В свою очередь организация производства гидрооблагорожденных церезинов из нефтяного сырья возможна на некоторых из действующих маслоблоков без их дополнительной модернизации.

Несмотря на обширную сырьевую базу для производства гидроочищенного церезина возможность реализации данного процесса затруднена в силу различного группового составов петролатумов [7]. В частности, из-за наличия повышенного содержания изопарафиновых углеводородов, не образующих комплекс с карбамидом, производство церезина, удовлетворяющего по основным показателям качества — температуре каплепадения и пенетрации, становится практически невозможным, даже при условии снижения содержания остаточного масла ниже 0,5 мас.% [8]. Помимо этого, церезин должен иметь определенный «запас качества», ввиду протекания незначительных реакций крекинга и изомеризации в ходе гидроочистки [9]. Немаловажным аспектом является выбор каталитической системы, позволяющей вести процесс гидроочистки при сравнительно низких температурах, обеспечивая при этом необходимую глубину обессеривания [10].

Данные о влиянии показателей качества сырьевых петролатумов для получения улучшенных церезинов, а также об изменении физико-химических свойств и группового состава церезинов в процессе гидроочистки на современных высокоактивных катализаторах практически отсутствуют. В связи с чем целью данной работы стало исследование процесса гидрооблагораживания петролатумов для производства улучшенных нефтяных церезинов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве сырьевых образцов для получения улучшенных (глубокообезмасленных) церезинов были выбраны петролатумы, промышленно выпускаемые на российских нефтеперерабатывающих заводах. Для сырья и полученных продуктов (петролатумов и церезинов) определяли их основные свойства, в частности содержание масла, температуру каплепадения, вязкость кинематическую при 100°C, содержание серы, пенетрацию иглой и конусом по стандартным методикам (табл. 1).

Все образцы петролатумов перед гидроочисткой подвергали обезмасливанию на лабораторной установке в условиях, идентичных промышленным: кратность растворителя к сырью — 6 : 1; температура конечного охлаждения и фильтрации — 10 и 5°C; количество стадий фильтрации — 3; состав растворителя метилэтилкетон: толуол — 60 : 40. Полученное остаточное содержание масла в церезине соответствует аналогичным зарубежным аналогам [11, 12].

Гидроочистку образцов церезинов проводили на лабораторной установке (рис. 1) в реакторе с неподвижным слоем катализатора в непрерывном режиме при повышенном давлении с контролем равномерности подачи сырья и водорода и температурного профиля реактора (отклонение не более 1°C) и давления (отклонение не более 0,1 МПа). Для работы с церезином установку дополнительно модернизировали прокладкой электронагревателей вдоль линий, по которым движется сырье и жидкий продукт. Аналогичным

Таблица 1. Физико-химические свойства используемых сырьевых петролатумов

Наименование показателя	Методы исследования	Образец № 1	Образец № 2
Температура каплепадения, °C	ГОСТ 6793	73	68
Пенетрация конусом при 25°C, мм	ГОСТ 2137	38	53
Содержание масла, мас.%	ГОСТ 9090	12,32	15,27
Кинематическая вязкость при 100°C, мм ² /с	ГОСТ 33	13,11	14,86
Содержание серы, мас.%	ГОСТ Р 51947	0,172	0,663
Температура вспышки в открытом тигле, °C	ГОСТ 4333	288	275

образом был организован обогрев сепаратора С-1 и цилиндра поршневого насоса Н-1.

Катализатор среднего гранулометрического состава 1,0–1,6 мм загружали в реактор в количестве 50 см³ в виде неподвижного слоя, разбавляя его инертным материалом SiC (средний гранулометрический состав 0,10–0,15 мм) в соотношении 1 : 1. Смесь загружали равными долями, составляющими по 1/10 от общего количества смеси, при постоянном вибрационном воздействии на реактор. В нижнюю часть реактора загружали фарфоровые шары, служащие опорной подушкой для слоя катализатора, затем карбид кремния и гранулы катализатора, далее вновь карбид кремния и фарфоровые шары, формирующие верхнюю (распределительную) подушку.

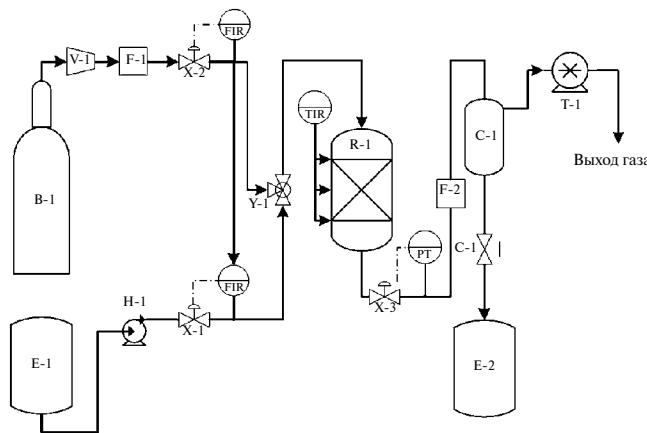


Рис. 1. Лабораторная установка гидроочистки церезина: В-1 — водородный буфер; Е-1 — сырьевая емкость; Н-1 — насос высокого давления; В-1 — редуктор понижающий газовый; F-1 и F-2 — микронные фильтры; Y-1 — смеситель; R-1 — реактор; С-1 — газожидкостной сепаратор; Е-2 — продуктовая емкость; Т-1 — газовый счетчик; X-1, X-2, X-3 — электрические задвижки, С-1 — ручная задвижка.

Таблица 2. Технологические параметры процесса гидроочистки

Режим №	Технологические параметры			
	давление, МПа	объемная скорость подачи сырья, ч ⁻¹	соотношение Н ₂ /сырье, нл/л	температура в реакторе, °C
1	3,0	0,2	2000	260
2	3,0	0,2	2000	280
3	3,0	0,2	2000	300
4	4,5	0,2	2000	260
5	6,0	0,2	2000	260

Реактор с загруженным катализатором монтировали на установку и проводили контрольную опрессовку системы азотом под давлением 10 МПа. Сбрасывали давление азота до 0,5 МПа и заполняли систему водородом до 1 МПа. Запускали систему обогрева установки. Цилиндр сырьевого насоса Н-1 заполняли нагретым жидким сырьем.

Первую стадию нагрева реактора проводили при подаче водорода с расходом 40 нл/ч до средней температуры реактора 120 ± 5°C; скорость подъема температуры составляла 20°C/ч. Затем приступали к подаче осерняющей смеси при 1 ч⁻¹ ОСПС и повышали расход водорода до 50 нл/ч. В качестве осерняющей смеси использовали дизельную фракцию гидроизомеризации с содержанием серы менее 10 мг/кг с введением в нее диметилдисульфида в количестве 1 мас.%, эквивалентном содержанию серы. При подаче осерняющей смеси увеличивали скорость подъема температуры с 20 до 30°C/ч с двухчасовой выдержкой при 180°C и шестичасовой — при 320°C. Наработку пробы при одних и тех же параметрах осуществляли в течение 48 ч, после чего переходили к следующему режиму без остановки реактора.

Процесс гидроочистки проводили с использованием промышленной катализитической системы РК-113 NiMo + KF757-1.3Q, используемой для получения пищевого парафина марки П-2. Технологические параметры исследованных режимов гидроочистки представлены в табл. 2.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Существенное различие в показателях температуры каплепадения и пенетрации петролатумов, использованных в работе, свидетельствует о различном содержании соединений с длинны-

Таблица 3. Физико-химические свойства церезинов, полученных в результате обезмасливания

Наименование показателя	Методы исследования	Церезин № 1	Церезин № 2	Норма для марки по ГОСТ 2488-79		
				65	70	75
Температура каплепадения, °C	ГОСТ 6793	78	71	65–70	70–75	75–80
Пенетрация иглой при 25°C, 0,1 мм	ГОСТ 25771 по 4.2 ГОСТ 2488	14	25	не более 30	не более 25	не более 18
Содержание масла, мас.%	ГОСТ 9090	0,69	1,51	–	–	–
Содержание серы, мас.%	ГОСТ Р 51947	0,070	0,222	–	–	–
Кинематическая вязкость при 100°C, мм ² /с	ГОСТ 33	11,84	12,23	–	–	–

ми алкильными цепями в образце № 1 (табл. 1). Стоит отметить, что содержание серы в образце петролатума № 2 в три раза выше в сравнении с образцом петролатума № 1, при том, что серосодержащие соединения в основном концентрируются в остаточном масле. Данный выбор петролатумов позволяет оценить возможность получения церезина с улучшенными показателями из сырья различного качества, как наиболее (образец № 1), так и наименее (образец № 2) благоприятного. С промышленной же точки зрения интерес может представлять смесь данных петролатумов для расширения сырьевой базы производства.

Полученные в ходе обезмасливания церезины № 1 и 2 можно отнести к товарным маркам 75 и 70 соответственно по классификации ГОСТ 2488-79 (табл. 3). В ходе проведения многостадийного

процесса обезмасливания содержание серы снижается практически в три раза для обоих образцов церезина. При этом наибольшее изменение физико-химических свойств наблюдается у образца церезина № 2, что непосредственно связано с большим содержанием компонентов, растворимых в смеси избирательных растворителей. Наиболее отчетливо это заметно на показателе кинематической вязкости, изменение которого для образца церезина № 2 составило 2,63 мм²/с против 1,27 мм²/с для образца № 1.

Все исследованные режимы гидроочистки (за исключением режима № 3) на основании образца № 1 позволяют получать церезин марки 75 с улучшенными показателями качества. Потенциально образцы церезинов, полученные в условиях режимов № 4 и 5, могут соответствовать по содержанию ароматических углеводородов

Таблица 4. Свойства гидроочищенного церезина (образец № 1)

Наименование показателя	Церезин № 1	Гидроочищенный церезин в различных условиях				
		режим № 1	режим № 2	режим № 3	режим № 4	режим № 5
Температура каплепадения, °C	78	79	77	73	78	77
Пенетрация иглой при 25°C, 0,1 мм	14	14	15	17	15	15
Содержание масла, мас.%	0,69	0,71	0,78	1,12	0,73	0,84
Содержание серы, мг/кг	704	132	128	120	98	95
Кинематическая вязкость при 100°C, мм ² /с	11,84	11,67	11,61	11,47	11,44	11,62
Групповой углеводородный состав, мас.%:						
парафино-нафтены	81,6	94,2	94,7	94,9	96,6	97,4
моно-ароматика	7,2	3,5	3,4	3,4	2,3	1,8
би-ароматика	5,8	1,5	1,2	1,1	0,8	0,7
три-ароматика	3,1	0,8	0,7	0,6	0,3	0,1
нейтральные смолы	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
окисленные смолы	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

международным требованиям, предъявляемым к церезинам, вовлекаемым в производство пищевого картона [1].

В ходе гидроочистки образца церезина № 1 наблюдается полное удаление смолистых веществ в условиях всех исследованных технологических режимов. Минимальное содержание серы в церезине достигнуто в условиях режима № 5 и составило 95 мг/кг, что соответствует международным стандартам качества [1] и находится на аналогичном уровне с рыночными образцами [11, 12]. Как видно из табл. 4 наибольшее влияние на удаление ароматических и серосодержащих соединений оказывает парциальное давление водорода. Увеличение температуры процесса в свою очередь способствует протеканию нежелательных деструктивных реакций, наблюдавшихся уже при температуре 300°C, о чем свидетельствует увеличение содержания остаточного масла и снижение таких показателей, как температура каплепадения и пенетрация. Стоит отметить, что проведение процесса гидроочистки в условиях режима № 5 при 6 МПа позволяет снизить содержание ароматических соединений более чем в два раза, в сравнении с условиями режима № 1, проводимого при 3 МПа.

В ходе гидроочистки образца церезина № 2 было установлено схожее проявление изменения зависимости физико-химических свойств церезина от технологических параметров процесса во всех условиях исследованных режимов. При

этом стоит отметить, что зависимости носят более резкий характер, что отчетливо наблюдается при изменении таких показателей как пенетрация, кинематическая вязкость, а также температура каплепадения.

Процесс гидроочистки позволяет полностью удалить смолистые вещества лишь при повышении давления (или температуры процесса), а именно в условиях режимов № 3, 4, 5.

Как видно из табл. 5 в условиях любого из режимов № 1–5 для образца № 2 наблюдается снижение температуры каплепадения гидроочищенного церезина, что обусловлено показателями качества исходного петролатума, и, как следствие, подтверждает возможность производства гидроочищенного церезина, соответствующего марке 65.

Среди исследованных технологических режимов наименее удовлетворяющим является режим № 3, ввиду значительного увеличения остаточного содержания масла как у гидроочищенных образцов церезина № 1, так и образцов № 2. Как следствие, температура процесса гидроочистки лимитируется остаточным содержанием масла в церезине и не должна превышать 280–290°C. Увеличение парциального давления водорода в процессе гидроочистки оказывает наибольшее влияние на уменьшение содержания серы и ароматических углеводородов. Оптимальное значение данного технологического параметра зависит

Таблица 5. Свойства гидроочищенного церезина (образец № 2)

Наименование показателя	Церезин № 2	Гидроочищенный церезин, в условиях				
		режим № 1	режим № 2	режим № 3	режим № 4	режим № 5
Температура каплепадения, °C	71	69	68	65	69	69
Пенетрация иглой при 25°C, 0,1 мм	25	28	28	30	26	28
Содержание масла, мас.%	1,51	1,72	1,87	2,19	1,68	1,75
Содержание серы, мг/кг	2220	211	198	195	145	134
Кинематическая вязкость при 100°C, мм ² /с	12,23	12,10	11,88	11,51	11,98	11,82
Групповой углеводородный состав, мас. %:						
парафино-нафтены	74,2	85,6	87,2	87,7	90,1	92,5
моно-ароматика	10,3	8,3	7,3	7,2	6,5	5,5
би-ароматика	7,8	4,5	4,3	4,3	2,8	1,5
три-ароматика	3,5	1,3	1,1	0,8	0,6	0,5
нейтральные смолы	2,4	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0
окисленные смолы	1,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0

Таблица 6. Сравнение полученного гидроочищенного церезина с зарубежными аналогами

Наименование показателя	Гидроочищенный церезин № 1 (режим № 4)	Гидроочищенный церезин № 2 (режим № 4)	Очищенный церезин Sasolwax 3279	Очищенный церезин Polwax
Содержание масла, мас.%	0,60	1,68	≤1,0	≤1,5
Температура каплепадения, С	78	69	76–82	70–80
Пенетрация иглой при 25°C, 0,1 мм	14	26	14–18	15–25
Содержание серы, мг/кг	98	145	менее 100	менее 100
Кинематическая вязкость при 100°C, мм ² /с	11,67	11,98	13–19	12–20

от нормируемых требований конечной продукции. Так, например, для улучшения цвета церезина процесс гидроочистки может проводиться при давлении не более 3 МПа, в то время как получение пищевых грейдов церезинов должно проводиться при более высоком давлении.

Гидроочищенные образцы церезина № 1 не уступают по показателям качества зарубежным аналогам [11, 12] и могут стать альтернативой, потенциально реализуемой как на внутреннем, так и на внешнем рынках, чего нельзя сказать о гидроочищенных образцах церезина № 2, которые с наибольшей степенью вероятности не соответствуют международным требованиям к церезинам пищевого качества (табл. 6). Образцы гидроочищенного церезина № 2 могут быть использованы для создания линейки товарной продукции различного качества, отвечающей запросам отечественных потребителей.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о возможности использования смесевого сырья; при этом предельно допустимое количество неблагоприятного сырья (церезина № 2) не должно превышать 25 мас.%.

Для гидроочищенного образца церезина № 1, полученного в условиях режима № 5, а также сырьевого церезина была определена фотохимическая стабильность в модуляторе солнечного света SOL-2, имитирующем воздействие прямого солнечного света при хранении парафино-восковой продукции. Фотохимическую стабильность оценивали на основании цвета образцов по шкале цветности нефтепродуктов (ЦНТ), определенного по ГОСТ 20284-74 с использованием цветных светофильтров, до и после пребывания в модуляторе солнечного света SOL-2. В табл. 7 представлена сравнительная характеристика фо-

тохимической стабильности сырьевого и гидроочищенного церезина, а также товарных парафинов марок П-2, Т-1 и НС.

Как видно из табл. 7, процесс гидроочистки способствует существенному улучшению цвета церезина — от коричневого (4,0 ед. ЦНТ) до белого (0,5 ед. ЦНТ), что с одной стороны, обусловлено произошедшими изменениями его состава и свойств, а с другой непосредственно влияет на дальнейшие области применения. Отметим, что меньшее изменение цвета по результатам фотохимической стабильности наблюдается у сырьевого церезина № 1 и разница составляет всего 0,5 ед. ЦНТ. Основная причина этого — изначально высокое светопоглощение образца церезина — цвет церезина по шкале ЦНТ превышает цвет окисленных образцов парафинов и составляет 4,0 ед. ЦНТ. Фотохимическая стабильность гидроочищенного церезина соответствует товарному парафину марки Т-1; при этом она значительно уступает пищевому парафину марки П-2, что обусловлено углеводородным составом образца церезина, в котором вместо нормальных алкановых углеводородов преобладают изомери-

Таблица 7. Сравнительная характеристика фотохимической стабильности сырьевых и гидроочищенных образцов церезина и парафинов марок НС, Т-1 и П-2

Наименование показателя	Церезин № 1	Гидроочищенный церезин № 1 (режим № 5)	Парафин марки		
			НС	Т-1	П-2*
Цвет в ед. ЦНТ, до	4,0	0,5	0,5	0,5	30
Цвет в ед. ЦНТ, после	4,5	2,0	3,0	2,0	10

* Примечание: для парафина марки П-2 цвет определялся по Сейболту, где -16 (самый темный цвет), +30 (самый светлый)

зованные и нафтеновые углеводороды с длинными алкильными цепями, обладающие более высокой реакционной способностью к окислению. При этом полученные результаты носят демонстрационный характер, ввиду отсутствия жестких требований к фотохимической стабильности гидроочищенного церезина и позволяют сделать вывод о необходимости соблюдения аналогичных правил перевозки, что и у нефтяных парафинов марки Т-1.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, учитывая товарный ассортимент производителей парафино-восковой продукции, существующий спрос, а также уход с внутреннего рынка иностранных компаний, реализация промышленного производства церезина с улучшенными показателями качества является актуальным и перспективным направлением. Проведенные исследования с использованием петролатумов различного состава позволяют оценить потенциал их квалифицированной переработки и подтверждают возможность получения церезинов с улучшенными показателями качества, не уступающими зарубежным аналогам.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Махин Дмитрий Юрьевич, к.т.н., ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3443-8176>

Лаврентьев Владимир Александрович, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4394-6950>

Пронченков Иван Александрович, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2080-263X>

Канустин Владимир Михайлович, д.т.н., профессор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8102-8624>

Ахмед Ала Абдулкарим Сале, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-1564-2993>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Krendlinger E.J., Wolfmeier U.H.* Natural and Synthetic Waxes: Origin, Production, Technology, and Applications. John Wiley & Sons, 2022. 704 p. ISBN3527342222. <https://doi.org/10.1002/9783527807758>
2. *Soliman F.S.* Introductory chapter: petroleum paraffins. In: Paraffin — an overview, Soliman F.S., Ed. 2020. V. 3. P. 1–9. <https://doi.org/10.5772/intechopen.87090>
3. *El-Sayed Ibrahim E.M., Sadik W.A., El Batouti M., Nashed A.W., Abass M.T., El Rafey E.* Blending petroleum waxes with suitable polymeric additives as a simple and promising way to improve the quality of petroleum waxes for numerous industrial applications // J. Pet. Sci. Technol. 2021. V. 11, № 2. P. 30–42. <https://doi.org/10.22078/jpst.2021.4394.1711>
4. *Kumar S., Agrawal K.M.* The deep deoiling of microcrystalline waxes by solvent percolation // Pet. Sci. Technol. 2014. V. 32, № 3. P. 261–266. <https://doi.org/10.1080/10916466.2011.574175>
5. *Herz G., Reichelt E., Jahn M.* Design and evaluation of a Fischer–Tropsch process for the production of waxes from biogas // Energy. 2017. V. 132. P. 370–381. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.102>
6. *Yang J.I., Yang J.H., Kim H.J., Jung H., Chun D.H., Lee H.T.* Highly effective cobalt catalyst for wax production in Fischer–Tropsch synthesis // Fuel. 2010. V. 89, № 1. P. 237–243. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.07.008>
7. *Abbas A.S., Barnoo S.K.A.* Hydro-de-aromatization of paraffin wax // J. Eng. 2005. V. 11, № 4. P. 715–723. <https://doi.org/10.31026/j.eng.2005.04.09>
8. *Riazi M.R.* Characterization and properties of petroleum fractions. West Conshohocken: ASTM International, 2005. 421 p.
9. *Sanchez J., Tallafigo M.F., Gilarranz M.A., Rodríguez F.* Catalytic hydrotreatment of crude waxes from different sources over a Ni–W/Al₂O₃ // Ind. Eng. Chem. Res. 2008. V. 47, № 18. P. 6854–6861. <https://doi.org/10.1021/ie800014u>
10. *Sánchez J., Tallafigo M.F., Gilarranz M.A., Rodríguez F.* Refining heavy neutral oil paraffin by catalytic hydro-treatment over Ni–W/Al₂O₃ catalysts // Energy Fuels. 2006. V. 20, № 1. P. 245–249. <https://doi.org/10.1021/ef050143c>
11. Официальный сайт компании Sasolwax. URL: https://sasoldcproducts.blob.core.windows.net/documents/Product%20Brochures/ZA_Wax_Industrial%20Coatings.pdf (дата обращения 12.08.2024)
12. Официальный сайт компании Polwax. URL: <https://www.polwax.com/> (дата обращения 12.08.2024)