

## МНОГОСТАДИЙНЫЙ ПРОЦЕСС ОБЕЗМАСЛИВАНИЯ ГАЧЕЙ С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ МАСЛА МЕТОДОМ СТАТИЧЕСКОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

© И. А. Пронченков<sup>1,2</sup>, С. А. Антонов<sup>1,2</sup>, П. А. Никульшин<sup>1,2</sup>, Р. Э. Болдушевский<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт по переработке нефти,

111116, г. Москва, ул. Авиамоторная, д. 6, стр. 2

<sup>2</sup> РГУ нефти и газа (НИУ) им. И. М. Губкина,

119991, г. Москва, Ленинский пр., д. 65

E-mail: pronchenkovia@vniinp.rosneft.ru

Поступила в Редакцию 18 октября 2024 г.

После доработки 15 ноября 2024 г.

Принята к публикации 15 ноября 2024 г.

*Изложены результаты проведенных исследований многостадийного процесса обезмасливания методом статической кристаллизации для производства глубокообезмасленных парафинов и квалифицированной переработки побочных продуктов — масляных отеков с целью потенциального расширения ассортимента товарных парафинов и парафино-восковой продукции, а также повышения экономичности эффективности производства базовых масел I группы. Показана возможность переработки парафинсодержащих продуктов с содержанием остаточного масла вплоть до 40 мас%. Продемонстрирована эффективность четырехстадийного процесса обезмасливания, позволяющая увеличить выход товарных парафинов на 60 мас% в сравнении с двухстадийным процессом при переработке гачей с остаточным содержанием масла более 15 мас%. Предложено использование в качестве критерия целесообразности переработки масляных отеков показателя содержания нормальных алканов. Установлено, что сырье с содержанием нормальных алканов менее 45 мас% не образует механически прочной кристаллической структуры, необходимой при переработке методом статической кристаллизации.*

Ключевые слова: нефтяные твердые парафины; обезмасливание гачей без использования растворителей; статическая кристаллизация

DOI: 10.31857/S0044461824060045; EDN: DDHNBП

Нефтяные твердые парафины являются высокомаржинальным побочным продуктом масляного производства и находят применение во многих областях как промышленности, так и повседневной жизни. По состоянию на 2023 г. более 45% производственных объемов нефтяных парафинов было вовлечено в производство свечей и свечных композиций (рис. 1). Второе место по потреблению нефтяных парафинов занимает упаковочная промышленность. Парафины

или же эмульсии на их основе придают упаковочным материалам гидрофобные и эластичные свойства [1]. В среднесрочной перспективе не ожидается значительное увеличение потребности в сегменте свечных композиций, чего нельзя сказать о ее структуре. Так, например, все большее значение приобретают глубокоочищенные и обезмасленные марки парафинов для производства домашних свечей премиального качества. В то же время спрос на данные марки растет и

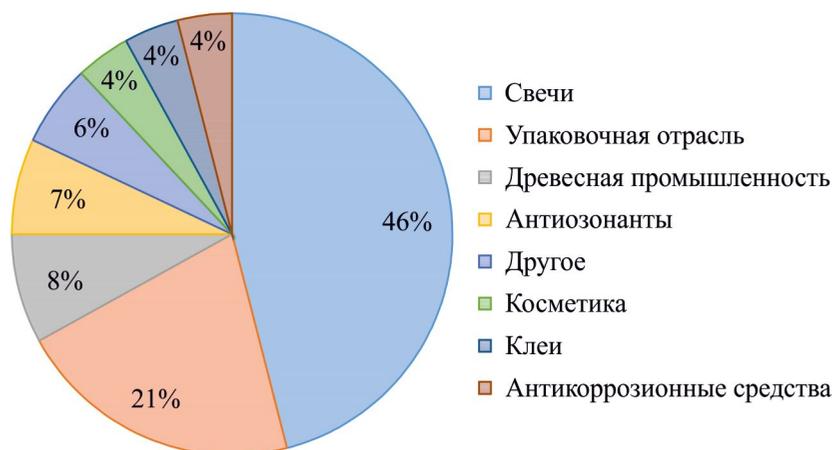


Рис. 1. Потребление нефтяных парафинов по отраслям в 2023 г.

в упаковочной промышленности, чему способствуют экологические инициативы по сокращению потребления пластика, а также уход с внутреннего рынка страны крупнейших производителей асептической упаковки [2].

Технология обезмасливания методом статической кристаллизации является перспективным процессом для переработки гачей, выделенных из низко- и средневязких масляных дистиллятов [3]. Преимуществом данной технологии является возможность ее промышленной эксплуатации на заводах, в которых не предусмотрено масляное производство. Ярким примером реализации данной технологии является завод Компании Sasol в Гамбурге, где функционирует установка обезмасливания гачей мощностью 100 тыс. т/год [4]. Сырьем данной установки до 2022 г. были дистиллятные гачи, ввозимые в основном из России.

В настоящее время промышленная реализация технологии обезмасливания гачей методом статической кристаллизации в России и странах СНГ [5] актуальна как для крупных, так и для относительно небольших частных компаний, занимающихся свечным производством, а также производством различных видов парафино-восковой продукции. Основной причиной этого является снижение цен на гачи, производство которых осуществляется на крупных нефтеперерабатывающих заводах, а также отсутствие импорта из Европейских стран высокоочищенных и глубокообезмасленных марок парафинов в количестве около 4.2 тыс. т/год [6].

Эффективность одностадийного процесса обезмасливания методом статической кристаллизации всегда будет уступать крупнотоннажному процессу экстрактивной кристаллизации, однако использование последовательных стадий и увеличение количе-

ства времени обработки позволяет приблизиться к эффективности обезмасливания технологии, предусматривающей использование растворителя [7]. В то же время процесс статической кристаллизации не несет экологической нагрузки ввиду отсутствия селективных растворителей, что также приводит к значительному снижению эксплуатационных затрат.

Цель работы — изучение потенциального ассортимента товарных парафинов и парафино-восковой продукции в процессе многостадийного обезмасливания методом статической кристаллизации, а также определение критериев, оказывающих лимитирующее влияние на переработку парафинсодержащего сырья с различным остаточным содержанием масла.

### Экспериментальная часть

В качестве сырья исследовали образцы гачей промышленного производства, выделенные из средневязких масляных погонов. Для сырья, полученных продуктов — парафинов и масляных отеков определяли содержание масла по ГОСТ 9090–2000, температуру плавления по ГОСТ 23683–89, вязкость кинематическую при 100°C по ГОСТ 33–2016, содержание серы по ГОСТ Р 51947–2002 и цвет по Сейболту по ГОСТ 33909–2016. Определение содержания нормальных алканов проводилось согласно разработанной методике, основывающейся на ASTM D 2887, который устанавливает метод построения кривой разгонки нефтяных фракций на основании газохроматографического анализа, полученного при интегрировании сигналов детектора в пределах установленного интервала времени удерживания. Ввиду высокого содержания n-алканов в парафинсодержащем сырье становится возможным определение площади хроматографического пика по времени удерживания, соот-

ветствующего индивидуальному n-алкану. Согласно разработанной методике, определение содержания n-алканов рассчитывалось как отношение суммы площадей пиков n-алканов к интегрированной площади хроматограммы. Определение молекулярно-массового распределения нормальных алканов проводили аналогичным способом, за исключением использования отношения площади пика индивидуального n-алкана к интегрированной площади хроматограммы. Полученные данные представлены в табл. 1.

Процесс обезмасливания методом статической кристаллизации проводили на стендовой установке, основным аппаратом которой выступил кристаллизатор кожухотрубчатого типа объемом 1000 мл. Температурный режим поддерживался автоматически с помощью термостата Huber Kiss K6, подключенного к персональному компьютеру. Для увеличения эффективности отведения продуктов, а также предотвращения их застывания в патрубках нижняя часть

кристаллизатора была оборудована дополнительной системой обогрева.

Для проведения исследований были выбраны гачи схожего фракционного состава. Стоит отметить, что остаточное содержание масла в образцах составило 6.21, 18.99 и 28.82 мас% (табл. 1). Разброс образцов по данному показателю позволил оценить потенциал и особенности переработки наиболее распространенных типов сырья методом статической кристаллизации.

Выбранные гачи подверглись четырехстадийному процессу обезмасливания методом статической кристаллизации в соответствии со схемой, представленной на рис. 2. Использование последовательных ступеней обезмасливания и концентрирования полупродуктов по содержанию остаточного масла позволяет увеличить экономическую эффективность процесса, в особенности за счет квалифицированной переработки масляных отеков. В промышленности

**Таблица 1**  
Физико-химические свойства гачей

Показатель	Метод анализа	Гач № 1	Гач № 2	Гач № 3
Вязкость кинематическая при 100°C, мм <sup>2</sup> ·с <sup>-1</sup>	ГОСТ 33–2016	4.356	3.989	4.032
Температура плавления, °C	ГОСТ 23683–89	53.2	50.2	45.3
Содержание масла, мас%	ГОСТ 9090–2000	6.21	18.99	28.82
Содержание n-алканов, мас%	Модифицированный ASTM D 2887	72.3	66.3	58.1
Среднее число атомов углерода в расчете на гипотетическую молекулу	Модифицированный ASTM D 2887	27.9	27.5	27.7
Содержание серы, ppm	ГОСТ Р 51947–2002	270	1870	2860
Содержание нормальных алканов ряда C <sub>26</sub> –C <sub>30</sub> , мас%:	Модифицированный ASTM D 2887			
C <sub>26</sub>		6.4	8.0	5.1
C <sub>27</sub>		7.5	7.9	6.1
C <sub>28</sub>		8.8	8.3	9.2
C <sub>29</sub>		8.1	7.1	6.8
C <sub>30</sub>		7.3	5.2	5.6
Цвет по Сейболту, усл. ед.	ГОСТ 33909–2016	Ниже –16	Ниже –16	Ниже –16
Пределы выкипания, °C	ГОСТ 10120–71	350–485	330–480	345–485
Содержание компонентов, выкипающих выше 470°C	ASTM D 2887	4.6	3.6	4.1
Температура вспышки в открытом тигле, °C	ГОСТ 4333–2014	218	210	212
Содержание воды, мас%	ГОСТ 2477–2014	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
Содержание механических примесей, мас%	ГОСТ 6370–2018	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует

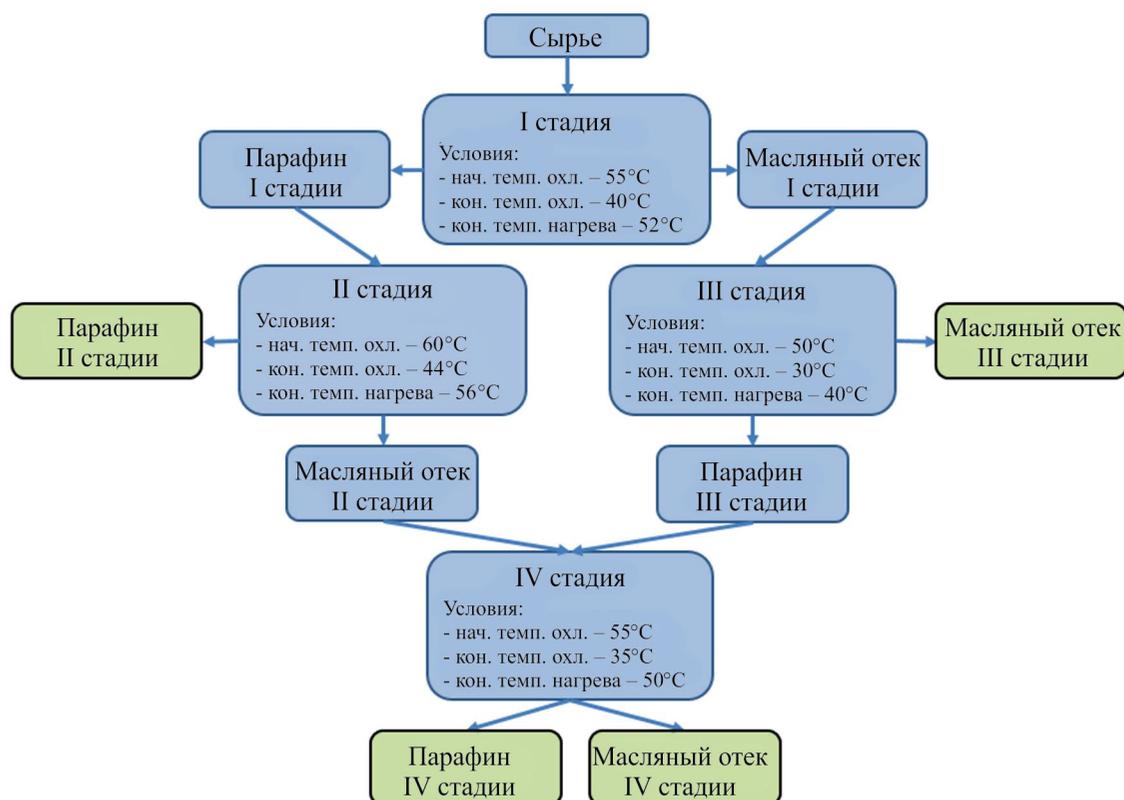


Рис. 2. Схема четырехстадийного процесса обезмасливания гачей методом статической кристаллизации.

чаще всего используют двухстадийную схему переработки, в которой на первой стадии обезмасливается гач, а на второй — полученный парафин, что позволяет обеспечить получение товарного продукта с содержанием остаточного масла менее 0,8 мас% при переработке низко- и средневязких гачей. При этом некоторые производители накапливают масляные отеки от различных стадий и производят их совместную переработку.

Процесс обезмасливания всех гачей проводился в идентичных условиях, выбранных для каждой стадии. Скорость охлаждения и нагрева на данных стадиях составили 6 и 1 град·ч<sup>-1</sup> соответственно; конечные температуры нагрева и охлаждения для каждой стадии представлены на рис. 2. Выбранные на основании предварительных экспериментов технологические параметры обеспечивают оптимальное отношение выхода к остаточному содержанию масла в парафине [8] в условиях, не предусматривающих рециркуляцию сырья. Конечными продуктами согласно выбранной схеме переработки являются парафины II и IV стадий, а также масляные отеки III и IV стадий. Сырьем на IV стадии процесса была выбрана смесь масляного отека II стадии и парафина III стадии. Данные сырьевые компоненты достаточно

близки по составу ввиду обогащенности низкоплавкими парафиновыми углеводородами. Соотношение компонентов в смесевом образце аналогично соотношению их массового выхода на сырье.

### Обсуждение результатов

На изменение физико-химических свойств парафинов и масляных отеков оказывают существенное влияние характеристики исходного сырья, при этом для отдельных показателей наблюдаются общие тенденции их изменения. Так, например, на каждой стадии обезмасливания у полученных парафинов увеличивается температура плавления, улучшается цвет, а также снижаются значения таких показателей, как кинематическая вязкость, содержание масла и серы.

Физико-химические свойства парафинов, полученных на I стадии процесса, в большей степени отличаются от исходных характеристик сырья в ряду образцов № 1.1, 2.1 и 3.1, соответствующему увеличению остаточного содержания масла в гачах. В общем виде зависимость изменения температуры плавления и кинематической вязкости полученного парафина от начального содержания масла в гаче характеризуется экспоненциальным характером.

Степень извлечения масла, определенная как отношение разницы содержания масла в сырье и парафине к содержанию масла в сырье, составила 62,8, 92,0, 86,3% для парафинов № 1.1, 2.1, 3.1 соответственно (рис. 3). При этом парафин № 2.1 содержит меньшее количество остаточного масла в сравнении с парафином № 1.1, а именно 1,51 против 2,31 мас%. Более низкая степень обезмасливания может быть связана с различным начальным содержанием масла в гаче и фактической разницей в конечной температуре нагрева и температуре плавления исходного сырья. Так, например, конечная температура нагрева для гача № 1 не достигла начальной температуры плавления сырья, в то время как для гача № 2 данное превышение составило около 2°C, что могло стать причиной интенсивного выделения жидкой фазы, представленной смесью масла и низкоплавких углеводородов. Для парафина № 3.1 должен был проявляться аналогичный эффект, однако остаточное содержание масла в нем практически в 2 раза выше по сравнению с парафином № 1.1. Причиной этого может являться различное молекулярно-массовое распределение нормальных алканов в ряду C<sub>26</sub>–C<sub>30</sub>. Так, например, у гачей № 1 и 2 наблюдается равномерное распределение алканов в данном ряду, в то время как в гаче № 3 содержание нормального алкана C<sub>28</sub> значительно превалирует над другими, что может быть объяснено непосредственно технологией производства гача — выделением из узкофракционированного масляного дистиллята.

Проведение одностадийного процесса обезмасливания позволяет получать товарные парафины даже из гачей с высоким содержанием масла — вплоть до 30 мас%, однако выход целевых продуктов и их качество остается неудовлетворительным для получения сырья для производства высокоочищенных марок нефтяных твердых парафинов по ГОСТ 23683–2021.

Так, по основным физико-химическим свойствам парафины № 1.1, 2.1 и 3.1 могут быть отнесены к товарным маркам Т-2, Т-1 по ГОСТ 23683–2021 и парафину НС соответственно.

На II стадии, предназначенной для дополнительного снижения содержания масла в парафине, проявляются аналогичные зависимости, отмеченные на I стадии. При этом изменение физико-химических свойств парафинов от начального содержания масла в сырье носит менее выраженный характер. Стоит отметить, что эффект концентрирования серосодержащих соединений в масле и низкоплавких углеводородов наиболее отчетливо проявляется при сравнении результатов, полученных на I и II стадиях обезмасливания.

Таким образом, проведение II стадии обезмасливания подтверждает возможность производства глубокообезмасленных парафинов с содержанием остаточного масла менее 0,8 мас% из гачей № 1 и 2. Данные парафины пригодны для производства высокоочищенных марок по ГОСТ 23683–2021 и «fully-refined» по международной классификации с проведением постобработки — гидроочистки. Стоит отметить, что получение сырья для производства высокоочищенных марок парафинов пищевого назначения из гачей, содержащих масла более 25 мас%, должно проводиться в три стадии.

На III стадии, предназначенной для извлечения низко- и среднеплавких парафиновых углеводородов из масляного отека, наблюдается линейное изменение физико-химических свойств парафинов в зависимости от начального содержания масла в сырье — масляном отеке. Степень извлечения масла на данной стадии была практически идентична и составила около 67%. В образце парафина № 2.3 изменение содержания серы претерпело наименьшее снижение в сравнении с другими образцами парафинов, что позволяет

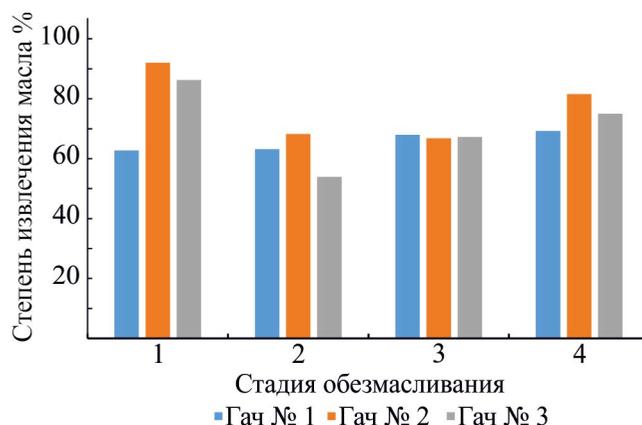


Рис. 3. Изменение степени извлечения масла на различных стадиях обезмасливания.

Таблица 2

Характеристики продуктов, полученных в процессе обезмасливания методом статической кристаллизации

Показатель	Гач № 1		Гач № 2		Гач № 3	
	П 1.1	М.О. 1.1	П 2.1	М.О. 2.1	П 3.1	М.О. 3.1
<b>I стадия</b>						
Содержание масла, мас%	2.31	26.59	1.51	33.61	3.95	43.42
Температура плавления, °С	56.2	42.8	55.6	41.0	54.9	38.6
Вязкость кинематическая при 100°С, мм <sup>2</sup> ·с <sup>-1</sup>	4.241	4.705	3.855	4.128	3.826	4.136
Содержание серы, ppm	179	733	480	3002	780	4190
Цвет по Сейболту, усл. ед.	0	-16	+16	-16	-10	-16
Выход, мас%	82.8	17.2	45.7	54.3	37.2	62.8
<b>II стадия</b>						
Содержание масла, мас%	0.68	10.12	0.48	5.11	1.82	9.26
Температура плавления, °С	56.8	50.8	56.2	50.4	56.0	51.2
Вязкость кинематическая при 100°С, мм <sup>2</sup> ·с <sup>-1</sup>	4.201	4.560	3.826	3.960	3.802	3.902
Содержание серы, ppm	138	448	325	932	518	1412
Цвет по Сейболту, усл. ед.	+10	-14	+13	-8	-12	-16
Выход, мас%, на стадию	88.2	11.8	75.5	24.5	72.6	27.4
Выход, мас%, на сырье	73.0	9.8	34.5	11.2	27.0	10.2
<b>III стадия</b>						
Содержание масла, мас%	8.52	38.12	11.14	48.24	14.20	51.59
Температура плавления, °С	49.0	32.4	49.8	32.2	49.8	31.6
Вязкость кинематическая при 100°С, мм <sup>2</sup> ·с <sup>-1</sup>	4.360	5.012	3.767	4.339	3.634	4.338
Содержание серы, ppm	350	1056	2029	3510	734	5170
Цвет по Сейболту, усл. ед.	-8	-16	-5	-16	-14	-16
Выход, мас%, на стадию	45.2	54.8	34.4	65.6	22.09	77.91
Выход, мас%, на сырье	7.8	9.4	18.7	35.6	13.9	48.9
<b>IV стадия</b>						
Содержание масла, мас%	4.12	32.5	2.05	23.14	2.98	32.45
Температура плавления, °С	52.3	45.2	52.4	44.2	53.0	41.2
Вязкость кинематическая при 100°С, мм <sup>2</sup> ·с <sup>-1</sup>	4.412	4.598	3.826	3.862	3.712	3.825
Содержание серы, ppm	256	721	921	2780	758	1420
Цвет по Сейболту, усл. ед.	+7	-16	+9	-16	+5	-16
Выход, мас%, на стадию	67.3	32.7	72.7	27.3	69.6	30.4
Выход, мас%, на сырье	11.8	5.8	21.8	8.1	16.8	7.3

сделать вывод о концентрировании серосодержащих соединений не только в масле, но и в низко- и среднелетучих парафиновых углеводородах.

Масляные отеки, полученные на III стадии процесса, не представляют интереса с точки зрения дальнейшей переработки, потенциально низкого выхода парафина, ввиду низкой механической прочности кристаллической структуры, образующейся на стадии

охлаждения, и могут использоваться в качестве сырья каталитического крекинга, масел-пластификаторов, компонента мазута, основ для производства смазок и др. Парафины, выделенные на данной стадии, также не представляют интерес для потенциальных потребителей. Для увеличения маржинальности производства переработка парафинов III стадии может быть осуществлена совместно с исходным сырьем

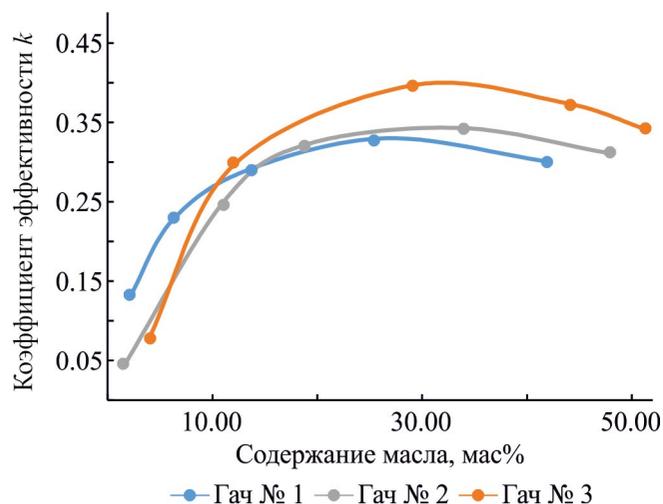


Рис. 4. Зависимость коэффициента эффективности обезмасливания от содержания масла в сырье.

или же, как в предложенном варианте, с масляными отеками II стадии.

Для оценки способности гачей и парафинов к обезмасливанню методом статической кристаллизации предложен коэффициент эффективности, отражающий изменение содержания масла в парафине по отношению к сырью при удалении 1% масляного отека в расчете на сырье:

$$k = \frac{w_1 - w_2}{1 - \eta_{\text{п}}}$$

где  $w_1$  — содержание масла в сырье,  $w_2$  — содержание масла в парафине,  $\eta_{\text{п}}$  — выход парафина.

Зависимость коэффициента эффективности обезмасливания (рис. 4) от содержания масла в сырье является экстремальной. Наибольшее значение коэффициента эффективности находится в интервале от 25 до 40 мас% масла. Эффективность обезмасливания при переработке парафинсодержащего сырья снижается с уменьшением содержания остаточного масла, что обусловлено равномерным распределением масла — жидкой фазы в объеме кристаллической структуры и, как следствие, сопутствующими высокими потерями, необходимыми для достижения требуемого остаточного содержания масла в парафине. При содержании масла выше 40 мас% наблюдается аналогичное снижение коэффициента эффективности обезмасливания, что непосредственно связано с избыточным количеством жидкой фазы, увлекающей вместе с собой кристаллы парафиновых углеводородов и, как следствие, создающей кристаллическую структуру с пониженной механической прочностью.

Разработчиками процесса обезмасливания методом статической кристаллизации утверждается о его

пригодности для переработки парафинсодержащего сырья с содержанием масла менее 30 мас% [9], в то время как классический способ потения ориентировался на сырье с содержанием масла до 15 мас%. Результаты настоящей работы, полученные в ходе квалифицированной переработки масляных отеков и использования коэффициента эффективности обезмасливания, подтверждают возможность расширения сырьевой базы и переработки сырья с содержанием масла до 40 мас% включительно.

На диаграмме (рис. 5) отображены сырьевые гачи и полупродукты различных стадий, использовавшиеся для дальнейшей переработки, в порядке уменьшения содержания n-алканов и роста содержания масла. Как видно из рис. 5, в области экстремума усредненного коэффициента эффективности обезмасливания содержание нормальных алканов в сырье составляет около 45–50 мас%. Таким образом, в качестве дополнительного критерия целесообразности переработки парафинсодержащего сырья стоит отнести содержание нормальных алканов, которое должно быть не менее 45 мас%.

По результатам проведения четырехстадийного процесса обезмасливания можно сделать вывод о целесообразности проведения процесса в 2 или же 4 стадии (табл. 3). Переработка гачей как с низким, так и высоким содержанием масла не позволяет получать парафины с содержанием масла, удовлетворяющим требованиям для высокоочищенных марок, в одну стадию.

Достижение необходимых показателей качества возможно лишь при проведении двухстадийного процесса обезмасливания, при этом большое количество фракций, обогащенных парафиновыми углеводо-

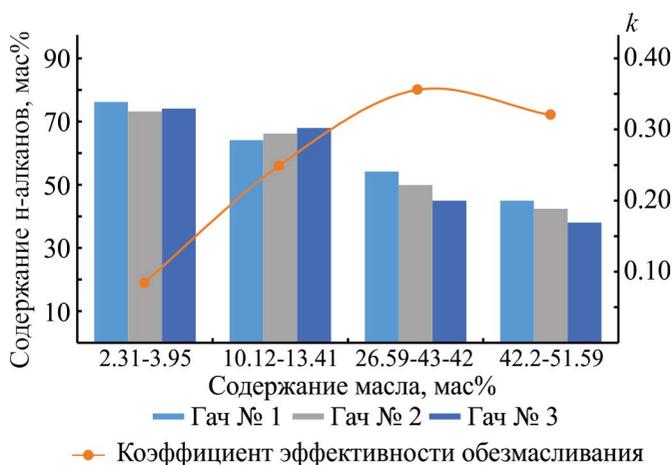


Рис. 5. Зависимость коэффициента эффективности обезмасливания от содержания нормальных алканов в сырье.

Таблица 3

Потенциальный ассортимент продукции, полученный с использованием многостадийного процесса обезмасливания методом статической кристаллизации

Продукт	Двухстадийный			Трехстадийный			Четырехстадийный		
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 1	№ 2	№ 3	№ 1	№ 2	№ 3
Парафин с содержанием масла менее 1 мас%	73.04	34.50	—	73.04	34.50	—	73.04	34.50	—
Парафин с содержанием масла менее 3 мас%	—	—	26.98	—	—	26.98	—	21.77	26.98
Парафин с содержанием масла менее 5 мас%	—	—	—	—	—	—	11.80	—	16.77
Масляный отек, в том числе:									
с содержанием масла менее 20 мас%	9.78	11.22	10.20	17.55	29.91	24.08	—	—	—
с содержанием масла более 20 мас%	17.18	54.28	62.82	5.75	35.59	48.94	15.16	43.73	56.26

родами, попадает в масляный отек. Трехстадийный процесс, предусматривающий переработку масляного отека, не позволяет получать дополнительное количество товарного парафина. Полученные продукты могут классифицироваться лишь как гачи с пониженным содержанием масла. В свою очередь наличие четвертой стадии позволяет снизить содержание масла в полупродуктах и довести их показатели качества до товарных парафинов. В общем случае применение четырехстадийного процесса целесообразно при переработке гачей с высоким содержанием масла. Так, например, выход товарного парафина при четырехстадийном процессе для гачей № 1, 2 и 3 вырос на 16.2, 63.1, 62.2% соответственно в сравнении с двухстадийным процессом.

### Выводы

Проведенные исследования с использованием парафинсодержащего сырья позволяют оценить потенциал их квалифицированной переработки и показать эффективность использования полупродуктов с высоким остаточным содержанием масла. Продемонстрированная зависимость эффективности обезмасливания от содержания масла в сырье создает обоснованное ограничение минимального содержания нормальных алканов в сырье — не менее 45 мас%, а также расширяет ранее существовавшее ограничение по переработке сырья с содержанием остаточного масла до 40 мас%.

### Конфликт интересов

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

### Информация об авторах

*Пронченков Иван Александрович*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2080-263X>

РИНЦ: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?authorid=1089883](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=1089883)

*Антонов Сергей Александрович, к.х.н., доцент*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1096-0067>

РИНЦ: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?authorid=808288](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=808288)

*Никульшин Павел Анатольевич, д.х.н.*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3243-7835>

РИНЦ: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?authorid=243746](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=243746)

*Болдушевский Роман Эдуардович, к.х.н.*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2714-8860>

РИНЦ: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?authorid=173484](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=173484)

### Список литературы

- [1] *Soliman F. S.* Introductory chapter: Petroleum paraffins // *Paraffin: an Overview*. 2020. V. 3. P. 1–9. <https://doi.org/10.5772/intechopen.87090>
- [2] *Рывес Е. А.* Рынок упаковки из бумаги и картона. Итоги 2023 года // *Российский продовольственный рынок: сетевой журн.* 2024. URL: <https://foodmarket.spb.ru/archive/2024/223064/223073> (дата обращения: 31.08.2024).
- [3] *Krendlinger E. J., Wolfmeier U. H.* *Natural and Synthetic Waxes: Origin, Production, Technology, and Applications*. New York: John Wiley & Sons, 2022. P. 105–123.
- [4] *Kuszlik A. K., Meyer G., Heezen P. A. M., Stepanki M.* Solvent-free slack wax de-oiling — Physical limits // *Chem. Eng. Res. Design*. 2010. V. 88. N 9. P. 1279–1283. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2010.01.009>

- [5] URL: [https://newchemistry.ru/letter.php?n\\_id=6947](https://newchemistry.ru/letter.php?n_id=6947) / Аналитический портал химической промышленности (дата обращения: 31.08.2024).
- [6] URL: <https://customs.gov.ru/statistic> / сайт Федеральной таможенной службы (дата обращения 31.08.2024).
- [7] *Myerson A. S., Erdemir D., Lee A. Y.* Handbook of industrial crystallization // Cambridge University Press. 2019. P. 266–289.  
<https://doi.org/10.1017/9781139026949>
- [8] *Pronchenkov I. A., Antonov S. A., Matveeva A. I., Bartko R. V., Nikulshin P. A., Kilyakova A. Yu., Tonkonogov B. P., Dogadin O. B.* Slack wax deoiling by static crystallization // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2022. V. 58. N 3. P. 479–483.  
<https://doi.org/10.1007/s10553-022-01410-7>
- [9] Pat. US 6074548 (publ. 2000). Process for obtaining paraffin or paraffin fractions.