

И. А. Пронченков (н.с.¹, асп.^{2а}), С. А. Антонов (к.х.н., зав. лаб.¹, доц.^{2б}),
А. И. Матвеева (с.н.с.¹, асп.^{2б}), Р. В. Бартко (к.т.н., нач. отд.¹),
Е. В. Жмаева (к.х.н., зав. лаб.)³, П. А. Никольшин (д.х.н., зам. ген. дир.¹, проф.^{2а})

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОБЕЗМАСЛИВАНИЯ ГАЧЕЙ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАСТВОРИТЕЛЕЙ

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт по переработке нефти,
отдел смазочных материалов

111116, г. Москва, ул. Авиамоторная, д. 6, стр. 2; e-mail: antonovsa@vniinp.rosneft.ru

² Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина,
^а кафедра технологии переработки нефти,

^б кафедра химии и технологии смазочных материалов и химмотологии
119991, г. Москва, Ленинский пр., 65; e-mail: pronchenkova@vniinp.rosneft.ru

³ ООО «Объединенный центр исследований и разработок»
г. Москва, 119333, г. Москва, Ленинский проспект, 55/1, стр. 2; e-mail: ZhmaevaEV@rdc.rosneft.ru

I. A. Pronchenkov ^{1,2}, S. A. Antonov ^{1,2}, A. I. Matveeva ^{1,2},
R. V. Bartko ¹, E. V. Zhmaeva ³, P. A. Nikulshin ^{1,2}

CURRENT STATE AND PROSPECTS FOR DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES FOR DEOILING OF THE GATCH WITHOUT THE USE OF SOLVENTS

¹ All-Russian Research Institute of Oil Refining
6/2, Aviamotornaya Str., 111116, Moscow, Russia; e-mail: antonovsa@vniinp.rosneft.ru

² Gubkin University
65, Leninsky Prospekt Str., 119991, Moscow, Russia; e-mail: pronchenkova@vniinp.rosneft.ru

³ LLC United Research and Development Centre
55/1 bld.2, Leninskiy Prospekt Str., 119991, Moscow, Russia

На основе анализа развития технологий процессов обезмасливания гачей без использования растворителей показано, что главными факторами, повлиявшими на развитие и внедрение этих технологий обезмасливания в поточные схемы маслблоков НПЗ, являются периодичность и низкая эффективность переработки высококипящих гачей. Термические способы обезмасливания приобретают актуальность благодаря технологической гибкости, позволяющей производить широкий ассортимент парафино-восковой продукции, низким эксплуатационным затратам и низкой экологической нагрузке. Применение технологий обезмасливания без использования растворителей позволит существенно расширить ассортимент выпускаемой парафино-восковой продукции.

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

The article discusses the main aspects, current state, and prospects for the development of technologies for deoiling processes of slack waxes without the use of solvents. The limiting factors that have influenced the development and industrial integration of thermal deoiling methods into oil refinery flowcharts are the frequency, as well as the low efficiency of processing slack waxes with a high boiling range. At the present stage, thermal methods of deoiling are becoming relevant due to the technological flexibility, allowing for the production of a wide range of paraffin wax products, low operating costs, and low environmental burden due to the absence of toxic solvents. The use of solvent-free deoiling technologies significantly expands the range of paraffin wax products produced.

Key words: deoiling of slack waxes; paraffin waxes; solvent-free deoiling; static crystallization.

Дата поступления 22.01.24

В 2023 г. производство парафино-восковой продукции в России составило порядка 120 тыс. т. Учитывая нейтральную динамику производства нефтяных твердых парафинов в России на протяжении последнего десятилетия, 2022 и 2023 годы стали настоящим вызовом для основных производителей и экспортеров данного вида продукции (рис. 1). В начале 2023 г. был принят десятый пакет санкций ¹, накладывающий ограничения на импорт в страны Евросоюза парафино-восковой продукции из России, объединенной в группу под кодом 2712 по классификации ТН ВЭД (имеет аналогичный номер в *Harmonized system*). Около 30–40 % производственных объемов парафино-восковой продукции, преимущественно твердых нефтяных парафинов, до этого времени экспортировалось за рубеж. Историческим каналом сбыта парафино-восковой продукции была Польша, на долю которой приходилось более 67% экспорта по состоянию на 2021 г. Остальная часть экспорта была равномерна распределена между странами западной Европы, такими как как Беларусь (8%), Литва (8%), Германия (5%), Эстония (4%) и 8% остальные ².

Несмотря на обширную сырьевую базу для производства современной парафино-восковой продукции, ассортимент российских производителей представлен, в основном, парафинами, выпускаемыми согласно ГОСТ 23683-2021, гачами депарафинизации, петролатумами, а также не-

многочисленными защитно-восковыми композициями и мягчителями, такими как ЯВ-1, ЗВ-П, ОМСК-10М, ЯПП-М и др. Спецификации на данные виды продукции были разработаны еще в советское время и в малой степени отвечают современным требованиям к парафино-восковой продукции. Так, например, в актуализированной версии ГОСТ 23683-2021 определение показателя содержания серы проводится согласно ГОСТ 1437, однако данный метод распространяется лишь на нефтепродукты, содержащие не менее 0.1% мас. серы, при том, что содержание серы в пищевых марках парафинов обычно не превышает 20 мг/кг, что соответствует требованиям европейского стандарта RAL-GZ-041. Более широкий ассортимент парафино-восковой продукции представлен частными компаниями, количество которых в России насчитывает единицы. В ассортимент их товарной продукции входят воски для ламинации, блескообразующие составы, мягчители, модельные воски, парафиновые эмульсии и клеи-расплавы ³. Для производства данных видов продукции, кроме парафиновых эмульсий, не требуется сложного технологического оборудования, за исключением реакторов-смесителей и фасовочных линий.

В отличие от отечественного ассортимента парафино-восковой продукции, зарубежные компании способны предоставить многочисленные линейки как нефтяных твердых парафинов, так и компаундов на их основе – товарные продукты с

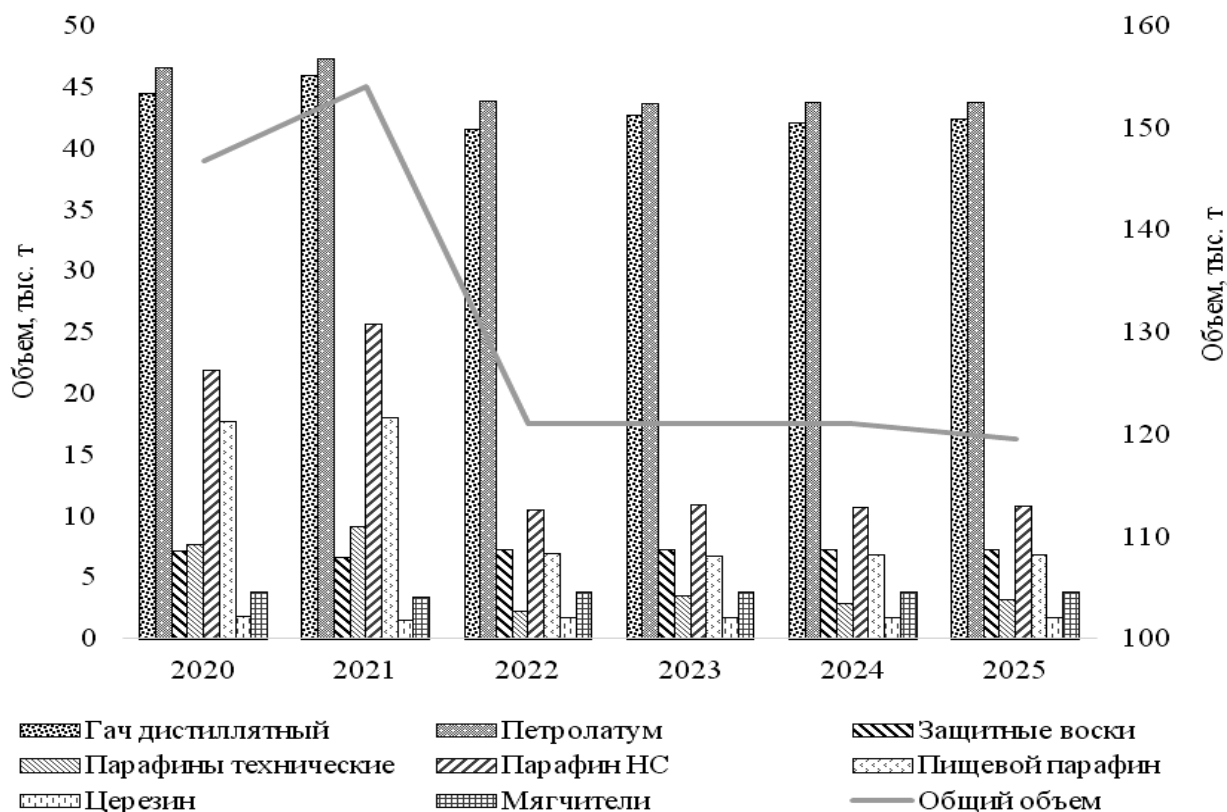


Рис. 1. Статистика и прогноз производства парафино-восковой продукции в России в период 2020–2025 гг.

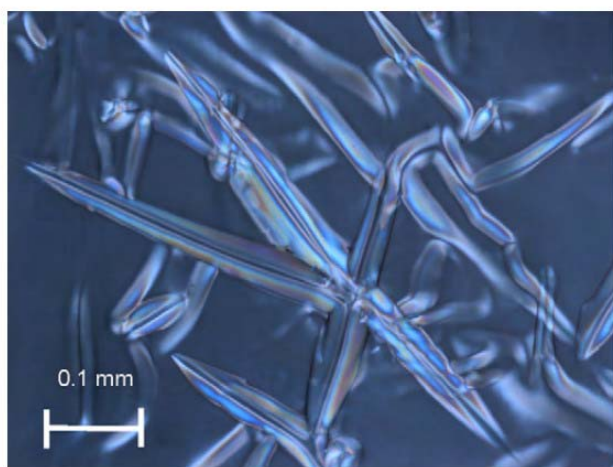
заранее подобранными характеристиками для применения в различных областях промышленности, так и полупродуктами для вовлечения в последующие производственные стадии. Например, выпускаются линейки парафино-восковой продукции, предназначенные для применения в сельскохозяйственной промышленности, медицине, составе антикоррозионных покрытий, красок, упаковочных материалов, компонентов ухода за кожей, а также в резинотехнической и текстильной областях. Одним из существенных преимуществ зарубежных производителей является наличие установок Фишера-Тропша для производства высокоплавких парафинов и церезинов синтетического происхождения. Помимо продуктов процесса Фишера-Тропша, в современные парафино-восковые составы вовлекаются отходы производства полиэтилена и полипропилена, что дает возможность разработки и выпуска большого числа составов посредством варьирования различных компонентов обширной сырьевой базы.

На территории РФ нефтяные парафины производятся на совмещенных установках депарафинизации и обезмасливания методом экстрактивной кристаллизации. Данные установки обладают низким потенциалом для увеличения маржинальности масляного производства и выпуска высококачественных марок нефтяных парафинов, так как требуют существенной модернизации и характеризуются высокими производственными затратами. Метод экстрактивной кристаллизации требует также применения дорогостоящих и токсичных растворителей. Наибольшее распространение в России и в мире получила смесь, состоящая из метилэтилкетона (от 45 до 60 % мас.) и толуола (от 55 до 40 % мас.)⁴, при этом производство метилэтилкетона в стране не налажено. Для получения парафина с содержанием масла до 0.5% мас. требуется

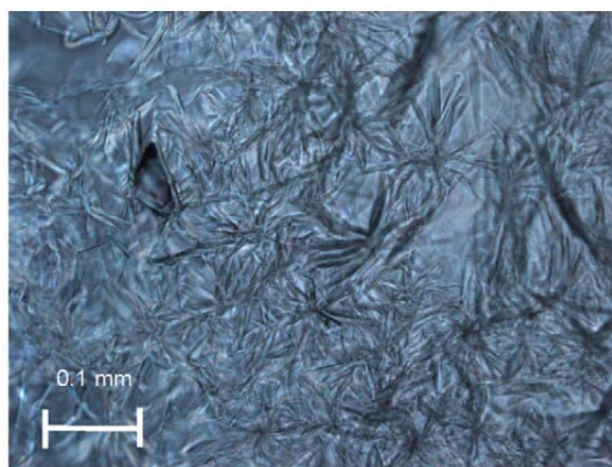
есть две-три ступени фильтрования и высокая кратность разбавления сырья^{5, 6}, что оказывает существенное влияние на сложность технологического оформления и затраты на производство продукции. Помимо этого, установки обезмасливания методом экстрактивной кристаллизации являются крупнотоннажными и предназначены для получения депарафинированных масел, в то время, как гачи, петролатумы и даже парафины являются побочными продуктами процесса, качество которых может варьироваться в широких интервалах.

В связи с этим большую актуальность приобретают альтернативные (термические) способы обезмасливания, исключающие применение кетон-ароматических растворителей⁷. Термические способы реализуются на установках малотоннажного производства – компактных и энергоемких, при этом позволяющих значительно расширить ассортимент парафино-восковой продукции.

Эффективность процессов обезмасливания как с применением растворителей, так и без них во многом определяется структурой и размерами образующихся кристаллов. Характеристика кристаллической структуры, в свою очередь, зависит от фракционного и компонентного состава сырья, содержания парафинов нормального строения, скорости охлаждения. Так, крупные кристаллы, характерные для парафиновых углеводородов, способствуют более полному и четкому разделению; уменьшение размеров кристаллов и увеличение их усеченности приводит к получению мелкодисперсной кристаллической структуры (рис. 2), в которой задерживается большое количество углеводородов с низкой температурой плавления⁸. С повышением температурных пределов выкипания нефтяных фракций в них увеличивается количество нафтеновых и ароматических углеводородов, образующих мелкокристаллическую структуру, и,



a



б

Рис. 2. Микроскопические изображения парафина во время образования кристаллической структуры: а – крупнокристаллическая; б – мелкокристаллическая

как следствие, затрудняющих отделение жидкой фазы от твердой⁵. Экстрактивная кристаллизация в меньшей степени подвержена влиянию кристаллической структуры ввиду высокого разбавления растворителями, в то время, как технологии, исключающие их применение, на данный момент не способны обеспечить извлечение низкоплавких углеводородов из высококипящих гачей и петролатумов. Несмотря на это, мировые тенденции, направленные на производство глубокообезмасленных и экологически чистых продуктов, вынуждают производителей отказываться от технологий с использованием растворителей.

Дополнительным фактором, оказывающим положительное влияние на эффективность обезмасливания без использования растворителей, является наличие фазовых превращений кристаллической структуры *n*-алканов⁹. Исследование полиморфных превращений *n*-алканов и их смесей также проводится с целью использования нефтяных твердых парафинов в качестве теплоаккумулирующих материалов¹⁰, изучения физико-химических свойств парафиновых эмульсий¹¹ и механизмов образования асфальто-смолистых отложений в трубопроводах¹². Основополагающими в данной области являются исследования фазовых превращений индивидуальных алканов нормального строения и смесевых образцов на их основе. В чистом виде нормальные алканы способны переходить в стабильные и метастабильные состояния, характеризующиеся различной кристаллической структурой. Твердофазные превращения протекают в узкой температурной области, как правило, не ниже чем на 20 градусов температуры плавления образца углеводорода^{13,14}. В работах^{15,16} описаны фазовые превращения *n*-алканов состава C₁₈–C₃₀ и экспериментально на примере *n*-алканов C₂₆ и C₂₈ показано, что в данном ряду кристаллическая

решетка претерпевает полный цикл твердофазных превращений. Так, в низко- и высокотемпературных областях отмечается существование ортомбической и гексагональной сингонии кристаллов твердых углеводородов. Для *n*-алканов C₃₀+ высокотемпературный фазовый переход затрудняется и практически отсутствует, о чем свидетельствуют экспериментальные данные ДСК и ИК-спектроскопии. В тоже время, для таких сложных смесей, которыми представлены нефтяные твердые парафины, набор всевозможных фазовых переходов не характерен. Кристаллическая структура и возникающие фазовые превращения соответствуют усредненной молекуле *n*-алкана, содержащегося в парафине⁸.

Наибольшая группа термических способов обезмасливания именуется «потением». Между собой данные способы в основном различаются по конструктивному исполнению основного аппарата потения, обладая схожими технологическими схемами. Сущность данного процесса заключается в постепенном охлаждении расплавленного гача до температуры на 10–20 °С ниже его температуры плавления, при этом преимущественная часть содержащихся в нем *n*-алканов кристаллизуется в виде крупных кристаллов. Выделение жидкой фазы происходит под воздействием сил гравитации в процессе последующего нагрева и выдержки гача. Этот метод позволяет не только получать из гачей парафины с низким содержанием масла (табл. 1), но также фракционировать их по температурам плавления при определенном температурном режиме^{17,18}.

Первые камеры потения, разработанные в 1930-х годах, имели достаточно простое технологическое оформление и были выполнены в виде плоских прямоугольных стальных ящиков с пирамидальными днищами. Над днищами располага-

Таблица 1

Характеристики парафинов, обезмасленных методом потения

Наименование показателя	Парафин №1	Парафин №2	Парафин №3
Температура плавления, °С	57.5	59.0	59.0
Содержание <i>n</i> -алканов, % мас.	80.5	96.0	78.3
Содержание масла, % мас.	3.4	0.43	0.45
Кинематическая вязкость при 100 °С, мм ² /с	3.4	3.9	4.3
Первая фракция отбора			
Температура плавления, °С	49.5	56.0	57.0
Содержание <i>n</i> -алканов, % мас.	64.1	95.8	74.7
Содержание масла, % мас.	6.7	0.98	0.56
Кинематическая вязкость при 100 °С, мм ² /с	4.2	3.6	4.4
Выход, % мас.	50	50	50
Вторая фракция отбора			
Температура плавления, °С	65.0	61.5	61.0
Содержание <i>n</i> -алканов, % мас.	85.8	96.6	82.5
Содержание масла, % мас.	0.9	0.29	0.10
Кинематическая вязкость при 100 °С, мм ² /с	3.1	4.2	4.6
Выход, % мас.	50	50	50

лась сетка, выше уровня которой заливалась вода. Расплавленный гач подавался в тарелки камеры на воду, после охлаждения гача вода спускалась через нижние маточники, создавая дополнительное пространство для отделения масляного отека. Нагрев массы гача осуществлялся с помощью камер, пронизанных змеевиками, через которые циркулировал теплоноситель, в результате чего низкоплавкие углеводороды с частью растворенного в них парафина стекали в днище и отводились с установки. Для перевода полученного парафина в жидкое состояние внизу камеры имелись маточники для подачи острого водяного пара. Дальнейшее усовершенствование процесса потения было направлено на конструктивную модификацию камер потения, позволяющую существенно снизить время отдельных операций нагрева и выдержки¹⁹. Стали использоваться вертикальные и горизонтальные кожухотрубчатые теплообменники для обезмасливания гачей, отличием которых является наличие горизонтальных перфорированных перегородок, расположенных между трубами на расстоянии 50–300 мм в зависимости от физико-химических свойств разделяемой смеси. Для интенсификации процесса нижняя часть аппарата заполняется инертной жидкостью с высокой плотностью для создания полого пространства, облегчающего отвод парафинового отека. Однако процессы потения с различными модификациями камер потения были малоэффективны и не находили широкого распространения. Промышленное внедрение процесса обезмасливания, исключая применение растворителей, возобновилось в 2000-е годы в связи с возрастающими требованиями к экологически безопасным продуктам и производствам²⁰. Так, компания «Sulzer Chemtech», выкупив права на технологию очистки фирмы Proabd, запатентовала собственную технологию, именуемую «статической кристаллизацией». Данная технология отлично зарекомендовала себя в очистке таких соединений, как акриловая кислота, нафталин, ксиленол и др. Посредством модификации внутреннего устройства аппарата стало возможно использование данной технологии для обезмасливания гачей. В Гамбурге была успешно построена первая установка для переработки гачей методом статической кристаллизации^{21, 22}. Мощность установки составила 100 тыс. т/год в расчете на сырьевой гач, количество аппаратов статической кристаллизации составило 20 единиц. При этом было заявлено, что выход в данном процессе в среднем на 10–30 % выше в сравнении с существующими, а энергопотребление на 30% меньше.

Согласно патенту²³ компаний «Sasol Limited» и «Sulzer Chemtech» аппарат статической кристал-

лизации представляет собой контейнер с погруженными внутрь теплообменными элементами (рис. 3). Сырьевой гач вводится через распределительные устройства¹, после чего кристаллизуется слоями между охлаждаемыми водой элементами³. Парафиновый отек, отделяющийся от основной массы парафина при нагревании, выводится через штуцер⁴. Для выделения кристаллизовавшегося парафина в теплообменные элементы вводится водяной пар.

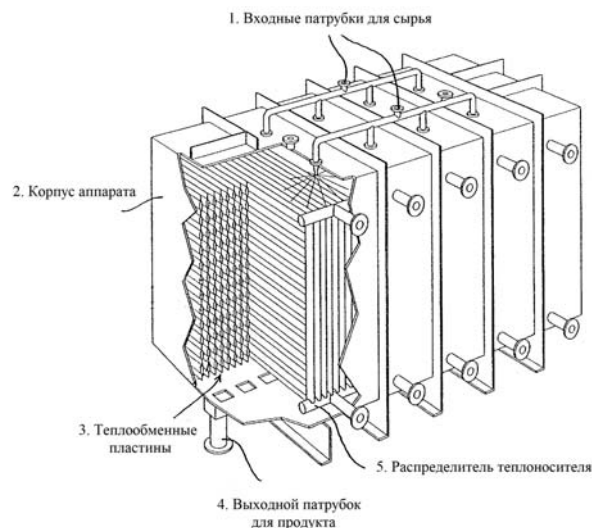


Рис. 3. Схематическое изображение камеры статической кристаллизации

В качестве теплообменных элементов выступают полые пластины, размещенные по всему объему камеры на минимальном расстоянии. Помимо этого, в пространстве между пластинами располагается в форме зигзага проникаемая сетка, касающаяся стенок теплообменных элементов (рис. 4). В результате этого нагрев гача происходит не только на поверхности теплообменных элементов, но и непосредственно в его объеме.

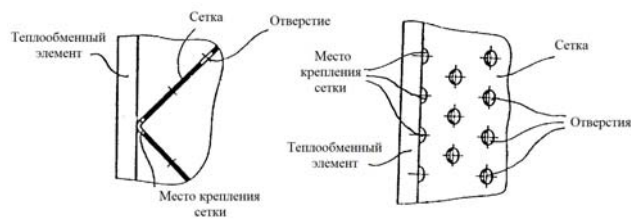


Рис. 4. Схематическое изображение перфорированной сетки, размещенной между теплообменными пластинами

Обезмасливание гача с высоким содержанием масла сопровождается образованием порового пространства, через которое выводится основная часть жидких углеводородов. При нагревании исходной массы гача уменьшается его адгезионная способность, вследствие чего происходит его частичное или полное отслоение от поверхности теп-

лообменных элементов (рис. 5б). Помимо интенсификации процесса нагрева, проницаемая сетка позволяет сохранить массу парафина в подвешенном состоянии, увеличивая таким образом эффективную площадь, на которой способно выделяться масло. Статическая кристаллизация парафинов с низким содержанием масла может сопровождаться образованием двух вертикальных слоев (рис. 5а и 5г), наименее предпочтительным является вариант (рис. 5в), в котором масло задерживается в объеме парафина.

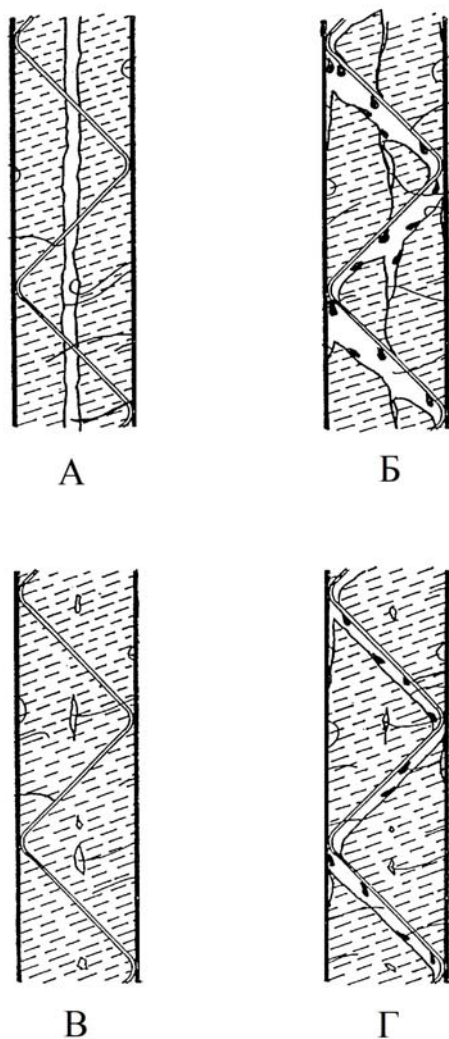


Рис. 5. Схематичное изображение образования каналов при обезмасливании парафинов: а – с низким содержанием масла; б – с высоким содержанием масла; в – с практически полным отсутствием масла; г – со средним содержанием масла

Как известно, увеличение содержания масла в гаче, сырье процесса обезмасливания, приводит к уменьшению выхода парафина. Это обусловлено растворением в масляном отеке и частичном уносе кристаллов твердых углеводородов. Так, уменьшение площади монокристаллов и их количества приводит к увеличению контакта с изопарафиновыми углеводородами, в результате чего сни-

жается механическая стабильность кристаллической структуры в процессе выделения жидкой фазы. В конечном итоге данный эффект приводит к высвобождению монокристаллов или агломератов кристаллов из кристаллической структуры парафина, увеличивая тем самым выход масляного отека. Предложенный «Sulzer Chemtech» способ размещения перфорированной сетки между теплообменными элементами помогает частично решить данную проблему, что отмечено в повышенном выходе обезмасленного парафина (табл. 2).

Заявленный компанией «Sulzer Chemtech» способ обезмасливания гачей и церезинов не справляется со своей задачей при переработке высококипящих гачей, что непосредственно связано с образованием мелкокристаллической структуры. Наиболее предпочтительной является переработка сырья с выраженной высокой концентрацией нормальных алканов с числом атомов углерода 24–30 и суммарным содержанием данных углеводородов более 30% (табл. 3). В то же время, обезмасливание гачей с содержанием углеводородов C_{35+} свыше 15% приводит к снижению производительности процесса и равносильно по затратам переработке четырех объемов гачей с содержанием C_{35+} менее 15%.

На территории СНГ реализована единственная разработанная фирмой «Sulzer Chemtech» установка статической кристаллизации. В ходе ее эксплуатации было установлено, что кинематическая вязкость может косвенно служить показателем пригодности сырья к переработке методом статической кристаллизации без наличия подробных результатов хроматографического анализа. Опытным путем для сырья с содержанием масла 5.0–15.0 % мас. были определены оптимальные значения кинематической вязкости при 100 °С – 3.8–4.2 мм²/с. Также показано, что при переработке сырья с содержанием масла до 6% мас. возможно увеличение скорости охлаждения до 8 °С/ч без изменения показателей качества конечного продукта.

В работе ²⁴ для интенсификации процесса отделения твердых парафинов от масла предложено использование органических веществ, обладающих сродством к жидкой фазе гача и меньшей вязкостью. Результатом введения активирующих добавок стало сокращение длительности процесса на дополнительные 1.5–2 ч. Альтернативным вариантом является введение масляного отека в высококипящие гачи для снижения содержания углеводородов C_{35+} , что также способствует сокращению длительности процесса. Напротив, введение депрессорных присадок не оказывает существенного влияния на проведение процесса и несколько ухудшает качество парафина.

Компанией «Sulzer Chemtech» предложен также способ обезмасливания в «падающей» пленке ²⁵,

Таблица 2

**Сравнительные характеристики парафинов, полученных
в ходе классического процесса потения и статической кристаллизации**

Показатели	Гач	Товарный парафин	Парафин сольвентного обезмасливания	Парафин процесса потения	Парафин статической кристаллизации
Пример 1					
Температура плавления, °С	47	49–52	51	50.5	52
Содержание масла, % мас.	6.8	0–0.5	0.5	0.5	0.5
Пенетрация, при 25 °С, ×0.1 мм	60	17–23	23	23	17
Выход, % мас.	–	–	Референсное значение	Значительно ниже	Значительно выше
Пример 2					
Температура плавления, °С	50.5	57–59	58.5	57.5	58.5
Содержание масла, % мас.	9.4	0–0.5	0.4	0.4	0.4
Пенетрация, при 25 °С, ×0.1 мм	93	18–22	15	21	15
Выход, % мас.	–	–	Референсное значение	Значительно ниже	Значительно выше

Таблица 3

Основные показатели высококипящих гачей, полученных в ходе статической кристаллизации

Наименование показателя	Гач №1	Гач №2	Обезмасленный гач №1	Обезмасленный гач №2
Содержание масла, % мас.	10.88	9.18	3.06	7.3
Температура плавления, °С	52	56	58	58
Кинематическая вязкость при 100 °С, мм ² /с	4.67	5.07	4.72	5.05
Содержание <i>n</i> -алканов, % мас.	53	46	64	49
Содержание <i>изо</i> -алканов, % мас.	47	54	36	51
Содержание углеводородов C ₃₅₊ , % мас.	19	30	18	31

предназначенный для очистки органических соединений и разделения компонентов с различными температурами плавления, в том числе и твердых нефтяных парафинов. Процесс разделения происходит в вертикальном кожухотрубчатом теплообменном аппарате (рис. 6).

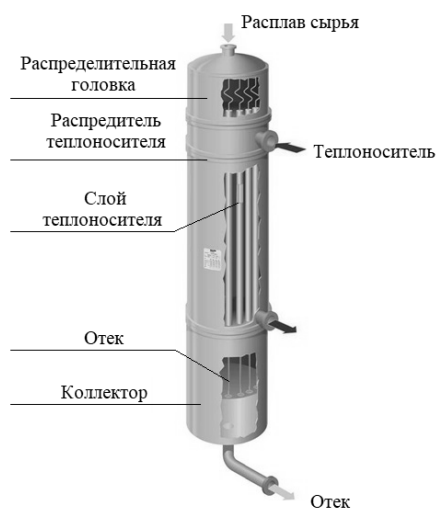


Рис. 6. Аппарат кристаллизации в «падающей» пленке

Межтрубное и трубное пространство по данной технологии жидкостью полностью не заполняется. Тепло- и массообмен осуществляется в тонком слое на поверхностях труб, причем очищаемое сырье подается внутрь трубного пространства, а теплоноситель стекает с их внешней поверхности.

В научно-технической литературе не было обнаружено свидетельств о применении кристаллизации в «падающей» пленке для обезмасливания гачей или парафинов. Предположительно, причиной этому является сложность в установлении оптимальных условий процесса для отдельного вида сырья. Так, неверно подобранный технологический режим может вызвать закупоривание трубок, при котором не будет происходить отделение жидкой фазы. Авторами ²⁶ подробно описан механизм кристаллизации в падающей пленке; показано, что на образование кристаллических пробок наибольший эффект оказывают такие параметры, как температура охлаждающего агента и конечного нагрева разделяемой массы.

Таким образом, учитывая возрастающее количество публикаций и патентов в области термических процессов обезмасливания, а также изменение пула парафино-восковой продукции, направленное на выпуск высокоочищенных и экологически чистых продуктов, вернуло интерес как исследователей, так и нефтяных компаний к термическому способу обезмасливания. Развитие уровня техники и конструктивных особенностей камер потения позволило значительно интенсифицировать процесс, сократить длительность стадий, увеличить выход, расширить сырьевую базу и ассортимент парафино-восковой продукции (модельные составы для точного литья деталей сложной геометрической формы, парафины

нефтяные твердые, воски для пропитки и покрытия гибкой упаковки пищевых продуктов, гидрофобные пропиточные материалы, компоненты топливных брикетов, сырьевые компоненты для производства пластичных, консервационных и канатных смазок, парафиновые композиции для улучшения скольжения и увеличения скорости движения пластиковых и деревянных лыж, парафиновые составы для производства спичек, свечей, защитно-восковые композиции, используемые в резиновых смесях с целью защиты резины от озонового старения и от атмосферных воздействий, парафиновые эмульсии, используемые при производстве современных древесных плитных

материалов для защиты их от воздействия влаги и разбухания, придания материалам противопожарной способности во время распиловки или шлифовки, компоненты масел различного назначения и многое другое), который не выпускается на маслоблоках нефтеперерабатывающих заводов. Ключевым недостатком данного способа является невозможность переработки гачей и петролатумов, полученных из остаточных фракций, что свидетельствует о необходимости дальнейшего усовершенствования процесса и поиска модификации конструкционного исполнения камер потения, с учетом данных о фазовых переходах нефтяных твердых углеводородов.

Литература

1. Сайт представительства европейской комиссии [Электронный ресурс]. – URL: <https://ec.europa.eu>
2. Федеральная таможенная служба [Электронный ресурс]. – URL: <https://customs.gov.ru/>
3. Дуров О.В., Рассадин В.Г., Шлыгин О.Ю., Накипова И.Г., Гаврилов Н.В., Васильев Г.Г., Лихтерова Н.М., Шилов С.А., Богданов А.Ю., Зинин Д.В. Опыт производства высококачественных твердых парафинов // Технологии нефти и газа. – 2008. – №4. – С.7-13.
4. Бондаренко Б.И. Альбом технологических схем процессов переработки нефти и газа. – М.: Химия, 1983. – 128 с.
5. Steven A. Treese, Peter R. Pujado, David S. J. Jones. Handbook of Petroleum Processing. – Springer, 2015. – 1913 p.
6. Гайнуллин Р.Р., Гизятуллин Э.Т., Солодова Н.Л., Абдуллин А.И. Получение низкозастывающих нефтепродуктов методами депарафинизации // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т.16, №10. – С.257-265.
7. Pronchenkov I.A., Antonov S.A., Matveeva A.I., Bartko R.V., Nikulshin P.A., Kilyakova A.Yu., Tonkonogov B.P., Dogadin O.B. Deoiling of Slack Waxes by Static Crystallization // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 2022. – №3. – Pp.57-61.
8. Kuszlik A. K. et al. Solvent-free slack wax de-oiling - Physical limits // Chemical Engineering Research and Design. – 2010. – V.88, №9. – Pp.1279-1283.
9. Meyer G. Interactions between chain length distributions, crystallization behaviour and needle penetration of paraffin waxes // SOFW journal. – 2006. – V.122, №1. – Pp.16-18.
10. Альбинская Ю.С., Усачев С.М., Ресснер Ф., Рудаков О.Б. Направления создания микрокапсулированных теплоаккумулирующих материалов с фазовым переходом // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. – 2013. – №7. – С.21-27.
11. Курьяков В. Н., Богачев Д. Д. Исследование фазовых переходов парафинов в коммерческих дисперсиях оптическим методом // Актуальные проблемы нефти и газа. – 2018. – №4. – С.20-29.
12. Бойцова А. А., Строкин С. В., Демченко Н. П. Расчет оптимальных условий транспортировки Ачимовского газового конденсата на основании струк-

References

1. URL: <https://ec.europa.eu>
2. URL: <https://customs.gov.ru/>
3. Durov O.V., Rassadin V.G., Shlygin O.I.U., Nakipova I.G., Gavrilov N.V., Vasil'ev G.G., Likhterova N.M., SHilov S.A., Bogdanov A.I.U., Zinin D.V. *Opyt proizvodstva vysokokachestvennykh tverdykh parafinov* [Experience in the production of high-quality solid paraffins]. *Tekhnologii nefi i gaza* [Oil and Gas Technologies], 2008, no.4, pp.7-13.
4. Bondarenko B.I. *Al'bom tekhnologicheskikh skhem protsessov pererabotki nefi i gaza* [Album of technological schemes of oil and gas refining processes]. Moscow, Khimiya Publ., 1983, 128 p.
5. Steven A. Treese, eter R. Pujado, David S. J. Jones. [Handbook of Petroleum Processing]. Springer, 2015, 1913 p.
6. Gaynullin R.R., Gizyatullin E.T., Solodova N.L., Abdullin A.I. *Poluchenie nizkozastyaiushchikh nefteproduktov metodami deparafinizatsii* [Production of low solidification petroleum products by dewaxing methods]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], 2013, vol.16, no.10, pp.257-265.
7. Pronchenkov I.A., Antonov S.A., Matveeva A.I., Bartko R.V., Nikulshin P.A., Kilyakova A.Yu., Tonkonogov B.P., Dogadin O.B.. [Deoiling of Slack Waxes by Static Crystallization]. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 2022, no.3, pp.57-61.
8. Kuszlik A. K. et al. [Solvent-free slack wax de-oiling – Physical limits]. *Chemical Engineering Research and Design*, 2010, vol.88, no.9, pp.1279-1283.
9. Meyer G. [Interactions between chain length distributions, crystallization behaviour and needle penetration of paraffin waxes]. *SOFW journal*, 2006, vol.122, no.1, pp.16-18.
10. Al'binskaya Yu.S., Usachev S.M., Ressner F., Rudakov O.B. *Napravleniya sozdaniya mikroapsulirovannykh teploakkumuliruiushchikh materialov s fazovym perekhodom* [Directions for creating microencapsulated heat-accumulating materials with a phase transition]. *Nauchnyi vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering], 2013, no.7, pp.21-27.
11. Kur'yakov V. N., Bogachev D. D. *Issledovanie fazovykh perekhodov parafinov v kommercheskikh dispersiiakh opticheskim metodom* [Study of phase transitions of paraffins in commercial dispersions by

- турно-механических свойств // Газовая промышленность. – 2020. – №2 (796). – С.32-40.
13. Cholakova D., Denkov N. Rotator phases in alkane systems: In bulk, surface layers and micro/nano-confinements // *Advances in colloid and interface science*. – 2019. – V.269. – Pp.7-42.
 14. Meyer G., Behrmann I. Influence of non-linear alkanes on the physical properties of fully refined paraffin wax // *SOFW journal*. – 2007. – V.133, №6. – Pp.36-49.
 15. Филатов С. К., Баран Я., Дрозд М. Полиморфные превращения *n*-парафинов $C_{26}H_{54}$ и $C_{28}H_{58}$ как типичных представителей ротационных веществ // *Журнал структурной химии*. – 2007. – Т.48, №4. – С.705-716.
 16. Платонова Н.В., Котельникова Е.Н., Филатов С.К., Пучковская Г.А., Гнатюк И.И., Ян Баран, Марек Дрозд. Полиморфные превращения и термические деформации моноклинных *n*-парафинов $C_{30}H_{62}$ и $C_{32}H_{66}$ // *Журнал структурной химии*. – 2012. – Т.53, №5. – С.991-1005.
 17. Patent No.10,689,588 U.S. Process for obtaining wax fractions from a feed wax / Meyer G., Behrmann I. // 2020.
 18. Meyer G. Thermal properties of microcrystalline waxes in dependence on the degree of deoiling // *SOFW Journal*. – 2009. – V.135, №8. – Pp.43-50.
 19. Островский Г.М. и др. Новый справочник химика и технолога. Процессы и аппараты химических технологий. – СПб: НПО Профессионал, 2006. – 920 с.
 20. Блажеев Я.А. Эколого-правовое регулирование нефтегазового комплекса России // *Актуальные проблемы российского права*. – 2015. – №9. – С.91-95.
 21. Jans B., Stepanski M. Solvent-free Deoiling of Paraffin // *Sulzer Technical Review*. – 1999. – V.2, №99. – P.3864.
 22. Kuszlik A.K. Enhancing the capacity of static layer crystallization using mechanical devices // *Chemical Engineering & Technology: Industrial Chemistry – Plant Equipment – Process Engineering – Biotechnology*. – 2003. – V.26, №4. – Pp.417-420.
 23. Patent No.6,074,548 U.S. Process for obtaining paraffin or paraffin fractions / Matzat N., Hildebrand G., Richter F., Stepanski M., Lippuner F., Engstler H., Jans B. // 2000.
 24. Карпенко О. В., Грушова Е. И. Интенсификация процесса выделения твердого парафина из нефтяного сырья методом статической кристаллизации // *Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология*. – 2016. – №4. – С.186-187.
 25. Patent No. 10,981,844 U.S. Semi-continuous crystallization method and apparatus / Pfeil M., Stepanski M. // 2021.
 26. Radhakrishnan K.B., Balakrishnan A.R. Kinetics of melt crystallization in falling films // *Chemical Engineering Communications*. – 1999. – V.171, №1. – Pp.29-53.
 12. Boytsova A. A., Strokin S. V., Demchenko N. P. *Raschet optimal'nykh usloviy transportirovki Achimovskogo gazovogo kondensata na osnovanii strukturno-mekhanicheskikh svoystv* [Calculation of optimal conditions for transporting Achimov gas condensate based on structural and mechanical properties]. *Gazovaya promyshlennost'* [Gas industry], 2020, no.2(796), pp.32-40.
 13. Cholakova D., Denkov N. [Rotator phases in alkane systems: In bulk, surface layers and micro/nano-confinements]. *Advances in colloid and interface science*, 2019, vol.269, pp.7-42.
 14. Meyer G., Behrmann I. [Influence of non-linear alkanes on the physical properties of fully refined paraffin wax]. *SOFW journal*, 2007, vol.133, no.6, pp.36-49.
 15. Gnatyuk I.I., Puchkovskaya G.A., Platonova N.V., Kotelnikova E.N., Filatov S.K., Baran J., Drozd M. [Polymorphic transformations of $C_{26}H_{54}$ and $C_{28}H_{58}$ *n*-paraffins as typical rotator substances]. *Journal of Structural Chemistry*, 2007, vol.48, no.4, pp.654-665.
 16. Platonova N.V., Kotel'nikova E.N., Filatov S.K., Puchkovskaya G.A., Gnatyuk I.I., Baran J., Drozd M. [Polymorphic transformations and thermal deformations of monoclinic *n*-paraffins $C_{30}H_{62}$ and $C_{32}H_{66}$]. *Journal of Structural Chemistry*, 2012, vol.53, no.5, pp.973-987.
 17. Meyer G., Behrmann I. [Process for obtaining wax fractions from a feed wax]. Patent no.10689588 USA, 2020.
 18. Meyer G. [Thermal properties of microcrystalline waxes in dependence on the degree of deoiling]. *SOFW Journal*, 2009, vol.135, no.8, pp.43-50.
 19. Ostrovskiy G.M. *Novyi spravochnik khimika i tekhnologa. Protsessy i apparaty khimicheskikh tekhnologii* [New reference book for chemist and technologist. Chemical technology processes and apparatus]. Saint Petersburg, Professional Publ., 2006, 920 p.
 20. Blazheev Ya.A. *Ekologo-pravovoe regulirovanie neftegazovogo kompleksa Rossii* [Environmental and legal regulation of the oil and gas complex of Russia]. *Aktual'nye problemy rossiyskogo prava* [Current problems of Russian law], 2015, no.9, pp.91-95.
 21. Jans B., Stepanski M. [Solvent-free Deoiling of Paraffin]. *Sulzer Technical Review*, 1999, vol.2, no.99, p.3864.
 22. Kuszlik A. K. [Enhancing the capacity of static layer crystallization using mechanical devices]. *Chemical Engineering & Technology: Industrial Chemistry – Plant Equipment – Process Engineering – Biotechnology*, 2003, vol.26, no.4, pp.417-420.
 23. Matzat N., Hildebrand G., Richter F., Stepanski M., Lippuner F., Engstler H., Jans B. [Process for obtaining paraffin or paraffin fractions]. Patent no.6074548 USA, 2000.
 24. Karpenko O. V., Grushova E. I. *Intensifikatsiya protsessa vydeleniya tverdogo parafina iz neftyanogo syr'ya metodom staticheskoy kristallizatsii* [Intensification of the process of separation of solid paraffin from petroleum raw materials by the method of static crystallization]. *Trudy BGTU. Seriya 2: Khimicheskie tekhnologii, biotekhnologiya, geokologiya* [Proceedings of BSTU. Series 2: Chemical technologies, biotechnology, geoecology], 2016, no.4, pp.186-187.
 25. Pfeil M., Stepanski M. [Semi-continuous crystallization method and apparatus]. Patent no.10981844 USA, 2021.
 26. Radhakrishnan K.B., Balakrishnan A.R. [Kinetics of melt crystallization in falling films]. *Chemical Engineering Communications*, 1999, vol.171, no.1, pp.29-53.