

На правах рукописи



МАРЫШЕВА МАРИНА АЛЕКСАНДРОВНА

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ И ОЧИСТКЕ
ТЕХНИЧЕСКОГО ПАРАФИНА ИЗ НЕФТИ,
А ТАКЖЕ ПАРАФИНИЗАЦИИ УПАКОВОЧНЫХ ПЛЕНОК**

1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника
(технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Уфа – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Астраханский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «АГТУ»)

Научный руководитель:

Доктор технических наук, профессор
Нугманов Альберт Хамед-Харисович

Официальные оппоненты:

Шарафутдинов Рамиль Фаизырович, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры геофизики, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский университет науки и технологий»

Хадисова Жанати Турпалиевна, кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры «Химические дисциплины и фармакология», федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чеченский государственный университет имени А.А. Кадырова»

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), г. Тамбов

Защита диссертации состоится 06 марта 2024 г. в 14:00 на заседании диссертационного совета 24.2.479.03 на базе ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» по адресу: 450008 г. Уфа, ул. К. Маркса, 12.

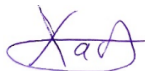
Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью организации, направлять по адресу: 450076 г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32 каб. 217.

Электронная почта диссертационного совета: khabirovtr@mail.ru

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» и на официальном сайте: <https://uust.ru/dc/dissertations/marisheva-marina-aleksandrovna-2023-10-24/>

Автореферат разослан «__» _____ 2024 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.479.03
к.ф.-м.н.



Хабиров Тимур Раильевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Согласно сводной стратегии развития обрабатывающей промышленности Российской Федерации до 2024 года и на период до 2035 года п. IX (распоряжение Правительства РФ от 06.06.2020г., № 1512-р) химическая и нефтехимическая промышленность играют существенную роль в мировой экономике, оказывая значительное влияние на ключевые отрасли народного хозяйства. С учетом современного уровня материаловедения и тенденции к переходу на композиционные материалы, развитие отраслей, использующих технологичные компоненты, не представляется возможным без наличия современной химической и нефтехимической промышленности. Химические технологии как основа для производства большинства современной упаковки на основе парафина, включая и биологической природы, чрезвычайно важны в контексте вопросов технологического развития, экономического роста и обеспечения национальной безопасности страны.

Одним из перспективных методов решения поставленных задач служит практическая реализация биополимерных покрытий из возобновляемого сырья, растительной природы, обработанных парафином, т.к. его использование в качестве влагоотталкивающего компонента композиции обусловлено специфическими химическими и физическими показателями и экономической эффективностью. Объекты переработки нефти реализуются не только в химической, но и в пищевой отраслях промышленности, к примеру, твердый парафин нефтяной природы П-2 (пищевой), который реализуют с целью пропитки пищевой упаковки, как ее защитное покрытие, что обуславливает рост сроков хранения продуктов. Чтобы расширить сырьевую базу для получения технического парафина, предложено осуществлять депарафинизацию высокопарафинистой нефти, используя жидкостные термодиффузионные установки, тем более получаемый парафиновый продукт может служить сырьем для выработки пищевого аналога, для чего также необходимо реализовать новые технологии по его очистке от токсичных веществ, в частности, от бенз- α -пирена.

Новизна продукта и его уникальность обуславливает актуальность проведения научных исследований, позволяющих осуществить рациональное ведение основных процессов, применяемых в предлагаемой инновационной технологии депарафинизации нефтепродуктов и получения парафинированных биополимерных пленочных структур. К таким процессам необходимо отнести следующие: депарафинизация нефти, растворение технического парафина в неполярной жидкой среде; его адсорбция пленочными структурами и сушка итоговой парафиновой пленочной композиции. При правильном проведении вышеуказанных процессов можно с уверенностью гарантировать, что конечная влагонепроницаемая пленочная субстанция останется технологически устойчивой при заданном и гарантированном времени ее применения.

Объектом исследования являются теплофизические процессы депарафинизации нефти, растворения технического парафина и конвективного концентрирования парафинового раствора на биополимерной поверхности.

Степень её разработанности. Различным аспектам проблемы по извлечению парафиновых веществ из асфальто-смоло-парафиновых отложений, как не утилизируемых отходов в индустрии нефти посвящено множество исследований. К внесшим заметный вклад в снятие обозначенной проблемы можно причислить та-

ких ученых, как Г.А. Бабалян, П.П. Галонский, И.А. Гуськова, С.Ф. Люшин, Б.А. Мазепа, Н.Н. Непримеров, В.А. Рагулин, В.А. Рассказов, З.А. Хабибуллин, G. Mansoori, K.J. Leontaritis, O.C. Mullins, W. Frenier и многие другие. В настоящее время для извлечения парафиновых веществ из асфальто-смоло-парафиновых отложений используют термические, механические, и физико-химические подходы, каждому из которых присущи как позитивные, так и негативные стороны, не позволяющие однозначно выделить максимально эффективные из них.

В числе иностранных исследователей в ракурсе термовлажностного воздействия и концентрирования при конвективном энергоподводе можно выделить таких исследователей, как: Mujumdar, T. Kudra, A.S. Couper и W, James R. Roy Penny, Gavin P. Ray K. Sinnott, Towler и др. К российским исследователям в области переноса тепла и массы можно причислить А.С. Гинзбурга, А.В. Лыкова, Г. К. Филоненко, П.А. Ребиндера, И.Ю. Алексаняна, А.Н. Острикова и других.

Следует отметить, что в технологии пленочных структур, изучению основных процессов которой посвящена данная работа, необходимо предложить эффективный способ парафинизации биополимеров растительного происхождения, в ракурсе организации процедуры концентрирования парафинового раствора при снижении ее энергоемкости. Несомненно, выбор способа конвективного концентрирования жидкого парафинового материала, наносимого на биополимер, существенно влияет на потребительские показатели итоговой пленки. По этой причине поставленные задачи при разработке эффективной промышленной технологии гидрофобной упаковки, требуют обоснованного решения.

Цель и задачи исследования.

Целью работы служит выявление рациональных режимных параметров теплофизической обработки высокопарафинистых нефтей для извлечения парафина и конвективного концентрирования парафиносодержащего раствора в технологии гидрофобных упаковочных материалов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. провести анализ современного уровня теории теплофизического воздействия на парафиновые углеводородные комплексы нефтяной природы и технического обеспечения процессов депарафинизации нефти и парафинизации гидрофобных упаковочных структур;

2. обосновать рациональные подходы к совершенствованию реализуемых теплофизических процессов при выработке технического парафина из асфальто-смоло-парафиновых отложений, определить рациональные режимные параметры их проведения и представить оригинальные теплотехнические решения и их аппаратное обеспечение;

3. выбрать эффективный растворитель для полученного парафинового продукта, определить комплекс теплофизических характеристик полученного раствора и параметры теплообмена на границе раздела фаз в технологических рамках процесса его конвективного концентрирования;

4. исследовать и проанализировать кинетические закономерности процессов растворения парафина в выбранном растворителе и конвективного концентрирования полученного раствора, а также определить величину удельной теплоты испарения удаляемой из раствора токсичной композиции;

5. адаптировать к полученному раствору и решить модель теплопереноса при его концентрировании для исключения вероятности снижения величины его температуры ниже значения возможной предварительной кристаллизации;

6. дать практические рекомендации по техническому исполнению оптимальных условий нанесения парафина на пектиносодержащий упаковочный материал для обеспечения его гидрофобности.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые:

1. для асфальто-смоло-парафиновых отложений была определена скорость осаждения парафиновых веществ на цилиндрической стенке транспортирующих нефть каналов и рассчитана для них тепловая модель затвердевания и плавления на конической стенке циклонных аппаратов;

2. для технического парафина определены температуры его плавления и кристаллизации, физическая плотность, а также удельная теплота плавления в реальных температурных диапазонах проведения процесса депарафинизации асфальто-смоло-парафиновых отложений, составлены материальный и тепловой балансы этой процедуры;

3. для парафиносодержащего раствора найдено рациональное соотношение материал-растворитель для эффективной трансформации парафинистых веществ в растворимое состояние, выявлены теплофизические и структурно-механические показатели и закономерности их изменения в определенных пределах варьирования температуры и концентрации при протекании процесса конвективного концентрирования;

4. для парафиносодержащего раствора установлены и математически описаны кинетические закономерности процессов растворения парафина в н-гексане и концентрирования исследуемого раствора при конвективной теплоподаче, для которой определён коэффициент теплоотдачи на границе раздела фаз в его технологических рамках, построены кривые скорости массопереноса;

5. для процесса концентрирования парафиносодержащего раствора проанализирована скорость перемещения температурного фронта в образце при путём решения математической модели теплопереноса численным конечно-разностным методом, целью которого являлось исключение вероятности снижения величины температуры в растворе ниже значения возможной предварительной кристаллизации;

6. установлены параметрические показатели, обуславливающие удельный выход готового материала из парафинизатора, а также технологические пределы их изменения, и просчитана итоговая величина удельной производительности при реализации разрабатываемого способа конвективного концентрирования.

Теоретическая и практическая значимость.

Теоретическая значимость исследования определяется комплексным анализом процедур переноса тепловой энергии и массы и обмена ими при контакте фаз в технологии гидрофобных пищевых парафиносодержащих упаковочных материалов с определенными потребительскими показателями при падении энергоёмкости реализуемых процессов. Намечены пути роста эффективности известных способов парафинизации натуральных полимерных материалов, в частности, пектиносодержащих пленочных структур, включающих растворение технического парафина в н-гексане и конвективное концентрирование гексанового раствора, а также конструкций депарафинизатора асфальто-смоло-парафиновых отложений и парафинизатора для рационального нанесения пищевого парафинового продукта на биополимерную субстанцию.

Практическая значимость подтверждается разработанными способами получения технического парафина из асфальто-смоло-парафиновых отложений, его

растворения в н-гексане и конвективного концентрирования гексанового раствора, а также рациональным конструктивным исполнением установок, реализующих анализируемые процедуры. Полученные результаты и их практическая ценность способствуют повышению качественных параметров извлекаемого из асфальто-смоло-парафиновых отложений парафина и влагостойкого упаковочного материала на основе разлагаемых биополимеров за счет их парафинизации, а также сократить материальные и энергетические затраты при проведении необходимых технологических процедур выработки целевых продуктов.

При решении вопросов интенсификации изучаемых операций предложено оригинальное техническое исполнение термогидроциклона, получен патент РФ на полезную модель № 207853, также получен патент РФ на изобретение «Способ получения пищевой упаковочной пленки» №2807873.

В основном результаты и рекомендации, полученные в работе, планируется применить при реализации обозначенных технологических операций на предприятиях гор. Астрахани.

Методология и методы исследования.

Базой исследований, проводимых при выполнении работы, послужило определение кинетических и динамических закономерностей изучаемых процедур трансфера тепловой энергии и массы, их физико-химический и математический анализ, опирающийся на опытные результаты интенсификации изучаемых процессов, полученные посредством соответствующего методического обеспечения, в рассматриваемых объектах (парафин, парафиносодержащий раствор и влагостойкий биополимер), а также построении, адаптации к объектам изучения и численного решения моделей переноса тепла и массы и обмена ими на границе раздела контактирующих фаз, для чего применялись определенные методические подходы, инструментальный аппарат, программное обеспечение и оригинальные опытные установки.

Положения, выносимые на защиту:

1. теоретический анализ и опытные величины структурно-механических, теплофизических и иных параметров анализируемых объектов при депарафинизации, растворении и концентрирования при конвективном подводе тепловой энергии;

2. данные по изучению динамики переноса тепла и массы и выявление его механизма, статических и кинетических закономерностей операций депарафинизации, растворения парафина в н-гексане и конвективного концентрирования парафинового раствора при непосредственном контакте раствора с биополимером;

3. результаты решения построенной математической модели внутреннего и внешнего трансфера тепла и массы при депарафинизации асфальто-смоло-парафиновых отложений и конвективного концентрирования парафинового раствора;

4. конструктивные особенности депарафинизатора и устройства для проведения концентрирования гексано-парафиновой композиции при конвективном теплоподводе в процессах извлечения парафина из асфальто-смоло-парафиновых отложений и производства гидрофобной полимерной упаковочной продукции.

Достоверность полученных результатов подтверждается обоснованным применением метрологически поверенного современного оборудования, применением апробированных методов корреляционного анализа при обработке экспериментальных данных.

Апробация результатов диссертационного исследования. Основные результаты диссертационного исследования доложены и обсуждены на международных конференциях различного уровня, часть из которых приведена ниже, в списке публикаций по теме диссертации.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 19 научных работ, в том числе 3 – в журналах, входящих в Перечень рецензируемых изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, 6 публикаций в сборниках международных научно-практических конференций, 8 публикаций в иных изданиях, 1 патент на полезную модель, 1 патент на изобретение.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, включающих аналитический обзор литературы, результатов собственных исследований, выводы, заключение, список литературы (147 наименований) и приложений. Общий объем диссертации без приложений составляет 151 стр. Работа содержит 29 таблиц и 62 рисунка.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведена общая характеристика исследования, определены его актуальность, цель и задачи, научная новизна, а также значимость с теоретической и практической точек зрения, проведена оценка степени разработанности подходов к устранению поставленной проблемы и полноты апробации результатов исследования.

В первой главе представлена общая информация о современном состоянии теории, техники и технологии парафина для получения гидрофобной упаковки на основе пектиносодержащих пленочных материалов. Проведен анализ недостатков существующих технологий пленочных гидрофобных структур для производства упаковки и современных возможностей аппаратного обеспечения процедуры парафинирования биополимерных покрытий. Дана общая характеристика и классификация твердых парафинов и методы извлечения их из асфальто-смолопарафиновых отложений (АСПО). Приведены перспективы промышленного использования пищевого парафина, в особенности в области получения влагоотталакивающих пленочных структур.

Вторая глава содержит сведения о предпринятых подходах к совершенствованию способов выработки парафина из АСПО и его технического обеспечения. Представлены исследования процессов образования АСПО и анализ механизма проведения процесса образования затвердевания и плавления АСПО, приведена разработка оригинальной конструкции депарафинизатора нефти и оценка ее основных режимных параметров, связанных с получением технического парафина.

Опираясь на статистическую обработку и микрофотографии нефтяных проб можно заключить, что формирующаяся в нефтепродукте парафиновая суспензия является грубодисперсной композицией, которая выявляется посредством таких показателей, как кинетическая и агрегативно стабильность. При прочих равных условиях интенсивность осаждения включений на дно емкости v определяется в параболической зависимости от радиуса осаждаемого включения r , т.е.: $v = f(r^2)$.

Опираясь на полученные результаты, были найдены продолжительность τ и удельная производительность осаждения всех кристаллообразований в парафиновых включениях, а также скорость осаждения АСПО, равная $v = 1,265 \cdot 10^{-4}$ м/с.

$$\tau = \frac{h}{v}, v = \frac{d^2(\rho_1 - \rho_2)g}{18\mu_2} = \frac{d^2(\rho_1 - \rho_2)g}{18\vartheta\rho_2}, \quad (1, 2)$$

в представленном уравнении h – высота емкости с образцом нефтепродукта, m ; d – диаметр включения, m ; ρ_1, ρ_2 – плотности дисперсной и дисперсионной жидкообразной среды, kg/m^3 ; μ_2 – коэффициент динамической вязкости дисперсионной среды $Pa \cdot s$; ϑ – коэффициент ее кинематической вязкости, m^2/s .

При прочих равных условиях масса M образующихся АСПО определяется в зависимости от продолжительности осаждения τ в некоторой степени n . Осадок АСПО представляет собой объемную фигуру, полученную путем вращения криволинейной трапеции вокруг оси ОУ (рис. 1).

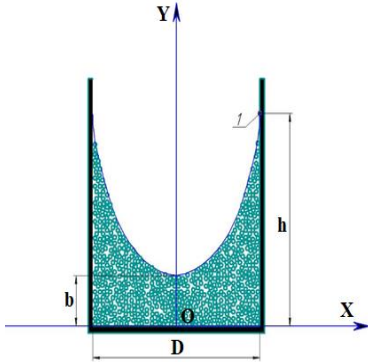


Рисунок 1. Осадок АСПО в сечении

Из рисунка следует, что объем фигуры представляет собой разность объемов цилиндра и параболоида вращения. В этом случае:

$$\frac{M}{\rho} = \frac{\pi D^2 h}{8} \Rightarrow h = \frac{8M}{\pi D^2 \rho}. \quad (3)$$

Приняв, что все точки в сечении равно отделены друг от друга и симметричны, можно определить первый коэффициент в параболическом уравнении, который позволит определиться с величиной площади сечения криволинейной трапеции, и в итоге смоделировать механизм осаждения АСПО в цилиндрическом слое.

Параболическое уравнение примет следующий вид: $y = 59,8x^2 + 0,038$. Его графическая интерпретация представлена на рисунке 2, которая наглядно демонстрирует характер осаждения АСПО в цилиндрическом слое. Предполагается, что образование новой фазы будет схоже с предыдущим слоем, за счет налипания новых частиц АСПО в процессе кристаллизации. Интегрирование уравнения для заштрихованного участка позволит получить величину его площади.

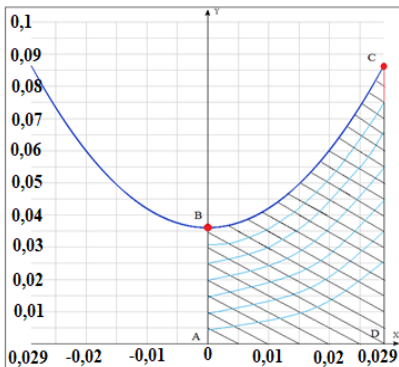


Рисунок 2. График осаждения АСПО в цилиндрическом слое

Скорость выделения или поглощения тепловой энергии в ареале фазового перехода значительно больше скорости ее трансфера путем теплопроводности или квазикондуктивности, поэтому размеры такого ареала стремятся к минимизации. Процедура смены агрегатного состояния материала локализуется в малом диапазоне его объемного пространства, так называемом фронте перехода, где поток тепловой энергии от границы фазового раздела во вновь образованную фазу для поверхности цилиндрической формы (рис. 3 (а)) имеет следующий вид:

$$Q_1 = Q_\phi + Q_2, \quad (4)$$

где Q_ϕ , Q_2 – поток тепловой энергии при фазовом переходе, и он же при подводе к фронту из исходной среды, Дж. Отметим, что температурный градиент в исходной среде стремится к нулевому значению, поэтому $Q_2 \approx 0$.

$$Q_\phi = 2\pi R L r \rho_1 \frac{dR}{dt}, \quad Q_1 \approx 2\pi \lambda_1 L \frac{\Delta t}{\ln \frac{R_2}{R_1}}, \quad (5, 6)$$

где R , L – текущая величина радиуса и длины цилиндрической прослойки, м; r – удельная тепловая энергия фазового преобразования, Дж/кг; ρ_1 – плотность исходной среды, кг/м³; $\frac{dR}{dt}$ – скорость в радиальном направлении трансфера новой фазы; R_1, R_2 – исходная и итоговая величина радиус-вектора слоя цилиндрической формы, м; λ_1 – теплопроводность материала, Вт/(м К).

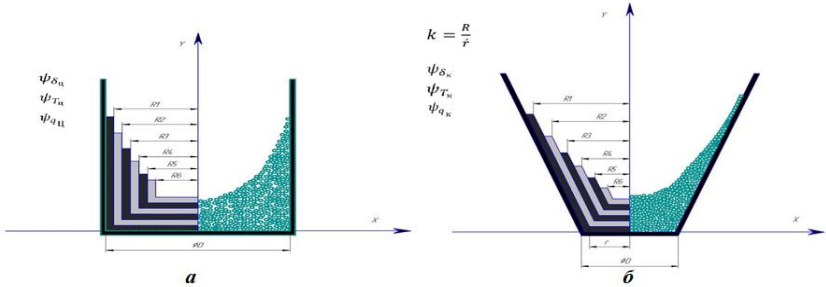


Рисунок 3. Эмульсионные включения в емкости: а – цилиндрической; б – конической

В результате изучения процессов образования АСПО была определена эквивалентная толщина слоя осаденного слоя АСПО $\delta_{\text{экв}} = 0.043$ м, проведен расчет тепловой модели затвердевания и плавления АСПО на цилиндрической стенке, а также предложена и рассчитана тепловая модель затвердевания и плавления АСПО на конической стенке (рис. 3 (б)).

С целью определения конструктивных размерных и технологических параметров промышленного нефтяного депарафинизатора (ПДН) были изучены закономерности и механизм процедуры формирования АСПО (рис. 4, 5).

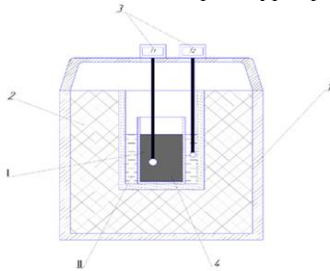


Рисунок 4. Схема калориметра: I – парафинистые вещества АСПО; II – вода; 1 – корпус сосуда; 2 – изоляция (пеннополост); 3 – термометры; 4 – стакан с пробой АСПО

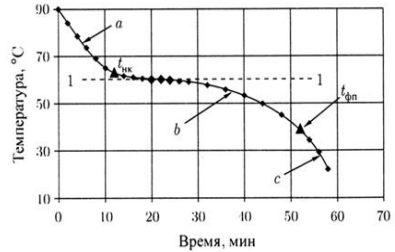


Рисунок 5. Изменение температуры в процессе охлаждения расплавленного чистого парафина: а – расплавленный парафин; б – гексагональная структура; с – орторомбическая структура.

Это исследование состояло в экспериментальном определении температур плавления и кристаллизации АСПО, оценке интенсивности их выпадения, а также расчета удельной теплоты плавления парафиновых веществ в АСПО. Температуры плавления и кристаллизации АСПО составили соответственно 54°С и 60°С.

Определение удельной теплоты плавления парафиновых веществ в АСПО $r_{п}$, Дж/кг проводилось на основе теплового баланса с учетом тепловых потерь:

$$r_{п} = \frac{c_{в}\rho_{в}V_{в}(t_{вк} - t_{вн}) + KF(t_{ср} - t_{вн})\tau - c_{п}(t_{пн} - t_{пк})m_{п}}{m_{п}} \quad (7)$$

здесь $c_{п}$ – удельная теплоемкость парафина, Дж/(кг·К); $t_{пн}$ – начальная температура парафина, °С; $t_{пк}$ – конечная температура парафина, °С; $m_{п}$ – масса АСПО, кг; $r_{п}$ – удельная теплота плавления АСПО, Дж/кг; $c_{в}$ – удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·К); $\rho_{в}$ – плотность воды, кг/м³; $V_{в}$ – объем воды, м³; $t_{вн}$ – начальная температура воды, °С; $t_{вк}$ – конечная температура воды, °С; K – коэффициент теплопередачи изоляции (пенополистирол), Вт/(м²·К); F – поверхность теплообмена, м²; $t_{ср}$ – средняя температура воды, °С; $t_{вн}$ – начальная температура воды, °С; τ – время, мин.

В результате проведения экспериментов была определена удельная теплота плавления, равная $r_{п} = 170$ кДж/кг.

Процедура снижения температуры АСПО проходит при контакте с водной средой, направляемой из питающего резервуара в пластиковую емкость-сосуд, в которой находится короб с перфорациями и опытными образцами (рис. 6). Для получения величины скорости образования АСПО, согласно формулы (2) также необходимо проведение экспериментальных исследований, связанных с нахождением плотностных характеристик нефти $\rho_{н}$, АСПО $\rho_{АСПО}$ и нефти плюс АСПО $\rho_{н+АСПО}$. Эксперименты проводились по методике, подробно описанной в работе, в итоге получены следующие значения плотностей: $\rho_{н} = 709$ кг/м³, $\rho_{АСПО} = 770$ кг/м³ и $\rho_{н+АСПО} = 715$ кг/м³. Проведенная опытная серия экспериментов на установке (рис. 6), позволила оценить кинетику образования АСПО в цилиндрическом слое (рис. 7), т.е. для каждой опытной серии определены показатели массы сосуда и отложений в начале и в конце эксперимента.

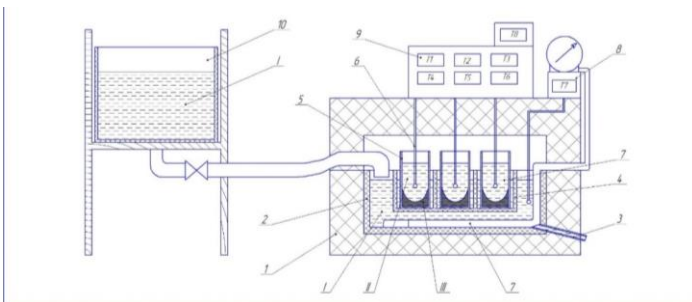


Рисунок 6. Схематическое изображение опытного стенда для определения скорости выпадения

АСПО: I – водная среда для охлаждения, II – нефтепродукт парафинистый, III – АСПО
 1 – термостатный корпус; 2 – емкость пластмассовая; 3 – сливной патрубок для водной среды;
 4 – коробка секционная; 5 – мерная емкость из стекла; 6 – термодатчик; 7 – гибкий тепло электронагреватель (ТЭН); 8 – тепловое реле; 9 – термометры цифрового исполнения; 10 – емкость с холодной водной средой;

Таким образом, на основе экспериментальных исследований определена средняя скорость осаждения АСПО и получена эмпирическая зависимость для определения массы АСПО, отложившейся на охлаждаемой цилиндрической стенке

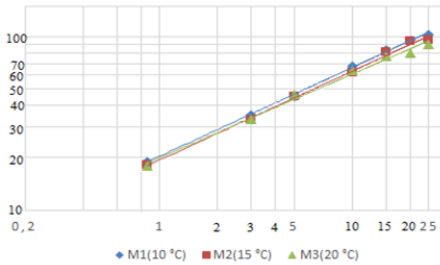


Рисунок 7. Динамика процесса осаждения АСПО

и днище за счет сил тяжести, действующих на ее кристаллы в объеме парафинистой нефти.

Для оценки работы депарафинизатора был проведен материальный и тепловой баланс, а также экспериментальные гидравлические испытания на холодной воде и нефти с АСПО лабораторного депарафинизатора нефти на основе термического гидроциклона (ТЦГ) с омываемой рубашкой (рис. 8).

В результате гидравлических испытаний было определено значение расхода жидкости $Q = 0,051$ л/с, значение коэффициента местного сопротивления сопла тангенсального впуска $\zeta_{суж} = 0,3$. В итоге гидравлического тестирования найдена величина расхода нефтепродукта $Q_n = 0,031$ л/с и охлаждающей водной среды $Q_v = 0,044$ л/с. Из материального баланса определили количество удаляемой АСПО, количество очищенной нефти, получаемого в результате очистки и расход охлаждаемой/нагревательной воды. Тепловой баланс позволил выявить удельный расход теплоты на 1 кг очищенной нефти, потери теплоты с уходящей охлаждающей воды и в окружающую среду, коэффициент полезного действия, а также расход нефти и воды.

В данном исследовании за производительность депарафинизатора принимали массу парафина, осевшего на квадратный метр установки за время проведения эксперимента Y . Графическая зависимость производительности установки показана на рисунке 9.



Рисунок 8. ТЦГ с омываемой рубашечной полостью и отдельно выведенным питающим резервуаром

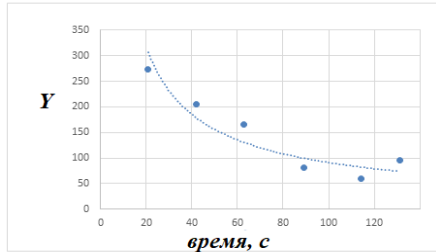


Рисунок 9. Графическая зависимость производительности установки

Оценив график можно сделать вывод, что длительное время охлаждения депарафинизатора мало влияет на осаждение АСПО, большую роль играет своевременный подвод охлаждающей жидкости, площадь контакта и подача сырья. Проведенные исследования показывают перспективность предлагаемого депарафинизатора, работающего в постоянном режиме, конструктивные элементы которого схематично представлены на рисунке 10.

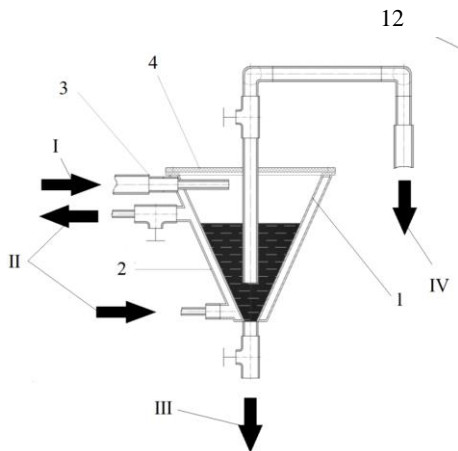


Рисунок 10. Схема термического гидроциклона

I – подача нефти; II – подача охлаждающей/нагревающей воды в рубашку; III – вывод АСПО; IV – вывод очищенной нефти.
1 – корпус; 2 – оmyваемая рубашка; 3 – тангенциальный впуск; 4 – крышка корпуса.

Основываясь на проведенные исследования, принимаем следующие технические показатели ПДН (табл. 1):

Таблица 1

Технические показатели проектируемого производственного депарафинизатора

Проектируемая подача	Температура охлаждения	Температура нагрева	Содержание парафина в нефти	Проектируемое давление
Q , т/час	$T_{\text{охл}}$, °С	$T_{\text{нагр}}$, °С	C , %	P , Мпа
648	18	70	6	1,5
Гидравлическая крупность частиц	Плотность нефти	Плотность парафина тверд.	Плотность парафина жидк.	Температура плавления парафина
U_0 , мм/с	ρ_n , кг/м ³	$\rho_{\text{тв}}$, кг/м ³	$\rho_{\text{жк}}$, кг/м ³	$T_{\text{плав}}$, °С
0,5	785	880	811	54

Следует отметить, что эффективность предложенных технических решений дополнительно подтверждена оценкой технико-экономических показателей проектируемого депарафинизатора нефти.

В третьей главе представлены результаты изучения варьирования комплекса характеристик гексанового раствора парафина и параметров теплообмена на границе раздела фаз в технологических рамках процесса его конвективного концентрирования.

Опираясь на анализ достоинств и недостатков известных технологических и технических решений поставленных задач, рекомендуется технологическая схема получения неочищенного парафина из АСПО, его очистки и нанесения на биоразлагаемые упаковочные полимерные материалы, представленная на рисунке 11.

Для рационального применения технологической схемы (рис. 11), необходимо выбрать растворитель для полученного парафинового продукта из АСПО. Установлено, что АСПО, образующиеся на поверхностях насосно-компрессорных труб, относятся к парафинистому типу, а в составе газового конденсата преобладает n-гексан, поэтому в качестве объекта исследования был выбран нефтяной парафин, выделенный из АСПО, образовавшегося при транспортировке Каспийской нефти, а в качестве его растворителя – вышеназванный углеводород.



Рисунок 11. Технологическая схема получения гидрофобной пленочной структуры

В.В. Красников и др. разработали экспресс метод определения теплофизических характеристик (ТФХ), а именно коэффициента теплопроводности λ , температуропроводности a и удельной теплоемкости c_M исследуемого материала непосредственно в процессе его обработки. В итоге для растворенного технического парафина в н-гексане, при его концентрации в растворе 91%, были получены следующие средние значения искомым величин, представленные в таблице 3.

Таблица 2

Плотность гексанового раствора и пищевого парафина

Наименование	Плотность ρ , кг/м ³
Гексановый раствор, концентрация сухих веществ 9,1%	649±3
Пищевой парафин	898±3

Таблица 3

Результаты по экспериментальному определению ТФХ гексанового раствора

Концентрация C_r , %	Удельная теплоемкость c_M , Дж/(кг·К)	Температуропроводность $a \cdot 10^8$, м ² /с	Коэффициент теплопроводности, λ , Вт/(м·К)
≈91	≈2321	≈22,59	≈0,34

Исследование ТФХ гексанового раствора предполагает выявление их зависимостей от величины C_r в диапазоне $0,00 \leq C_r \leq 0,91$ кг/кг. Изменение теплоемкости при варьировании концентрации растворителя в исследуемом растворе можно с допустимой точностью принять линейным, поэтому информация о ней в двух точках, дает возможность получить аппроксимирующую зависимость c_M от C_r в заданном диапазоне. Что касается λ , то его изменение в зависимости от величины C_r в заданном диапазоне может быть определено методом линейной аппроксимации между крайними точками диапазона C_r , где точкой отсчета служит известное значение λ для пищевого парафина. Коэффициент температуропроводности, явля-

Экспериментальные исследования показали, что наиболее рациональными условиями получения гексанового раствора являются: температура растворителя – 40°C; соотношение технического парафина и растворителя 1:10. В процессе конвективного концентрирования гексанового раствора получается пищевой парафин, при этом плотностные характеристики исходного и конечного материала будут разные, вследствие различного содержания в них н-гексана (табл. 2).

ется комплексной величиной вышеназванных трех, поэтому получить искомую зависимость для этой характеристики целесообразно расчетным путем.

Результаты экспериментов по определению величины C_M для объекта исследования представлены в таблице 4.

Таблица 4

Значения C_M исследуемого раствора при разных концентрациях растворителя

Концентрация образца C_r , %	Удельная теплоемкость образца C_M , Дж/(кг·К)
91/80/70/60/50	2321/2413/2421/2477/2576

На рисунке 12, представлены графики зависимости λ и a для исследуемого раствора в заданных интервалах температур и относительного содержания н-гексана в нем.

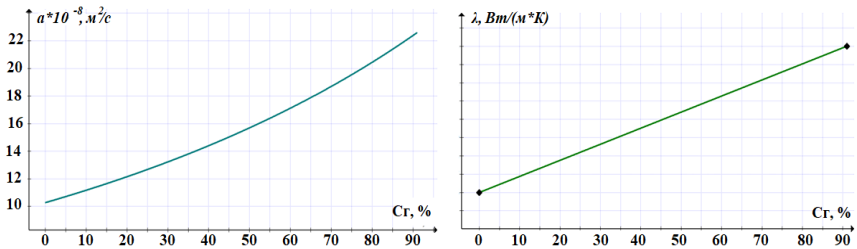


Рисунок 12. Графики зависимости λ и a для исследуемого раствора от концентрации растворителя в нем, в интервале температур 273...318°K

Согласно технологической схеме (рис. 11) необходимо провести процедуру нанесения полученного раствора на упаковочный материал. В результате проведения данной операции, получаем парафинизированный упаковочный материал, обладающий водоотталкивающей способностью (рис. 13).

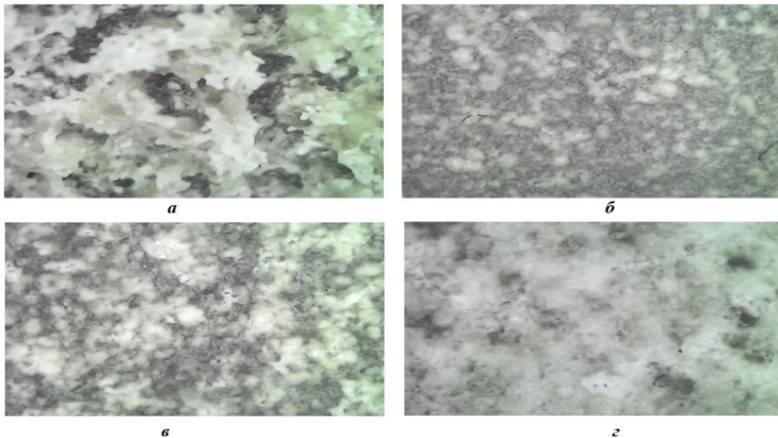


Рисунок 13. Микрофотографии пленочной структуры, обработанной раствором парафина в н-гексане различными способами: a – многоцветное напыление; $б$ – намазывание; $в$ – периодическое окунание в раствор; $г$ – наливной способ

Среди выбранных способов нанесения раствора на пленочную основу рациональным является последний, вследствие, во-первых – непрерывности процесса, во-вторых – простоты реализации, по сравнению с первыми двумя способами, в-третьих – высокой вероятностью равномерного нанесения раствора, что подтверждается визуальным анализом микроснимков (рис. 13 з).

Определяющими при выборе рациональных режимов конвективного концентрирования гексанового раствора являются условия обмена тепловой энергии и веществом на границе между теплоносителем и поверхностью упаковочного изделия. Условия такого обмена зависят от гидродинамического режима конвективного теплообмена и, в частности, от коэффициента теплоотдачи. Учитывая, что целесообразным способом концентрирования исследуемого раствора является конвективный, то для получения высококачественного парафинизированного конечного продукта, температура теплоносителя не должна быть ниже 60°C (температура плавления парафина) и не выше 70°C (температура кипения растворителя при атмосферном давлении $68,73^{\circ}\text{C}$), при этом его максимальная скорость не может быть выше значения $0,6$ м/с, направленная прямококом.

Ниже приведено оригинальное уравнение, описывающие конвективную теплоотдачу в зазоре между двумя плоскими поверхностями, в условиях вынужденного движения среды в нем, получение которого подробно описано в работе.

$$\alpha = 4,35 \left(\frac{\rho_{sr} \omega_{sr}}{L} \right)^{0,4} \cdot \frac{\lambda_{sr}^{0,67} \cdot C_{sr}^{0,33}}{\mu_{sr}^{0,07} \cdot D^{0,2}} \cdot \Psi^{0,25}, \quad (8)$$

где ω_{sr} – скорость теплоносителя, м/с; ρ_{sr} – его плотность, кг/м^3 ; μ_{sr} – его динамическая вязкость, Па·с; λ_{sr} – его коэффициент теплопроводности, $\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$; $\Psi = \frac{Pr_{sr}}{Pr_s}$; C_{sr} – коэффициент теплоемкости теплоносителя, $\text{Дж/(кг}\cdot\text{К)}$; Pr_{sr} вычисляются при определенной температуре, равной температуре теплоносителя на входе в зазор; Pr_s вычисляется при средней температуре на поверхности объекта.

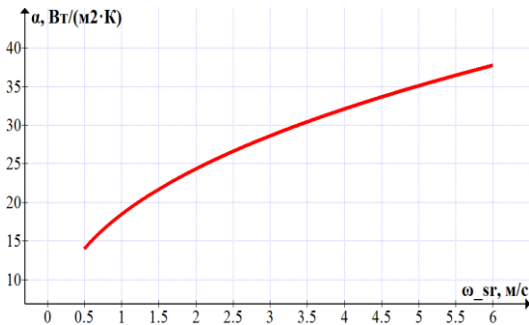


Рисунок 14. График зависимости α от скорости теплоносителя при его температуре 70°C

Для наглядности и удобства использования на рисунке 14 представлен график зависимости α от скорости теплоносителя (воздух) ω_{sr} в случае искусственной конвекции и применяемой в технологии концентрирования гексанового раствора при температуре теплоносителя ($\approx 70^{\circ}\text{C}$) в контакте с его поверхностью ($\approx 60^{\circ}\text{C}$). Рекомендуемое в уравнении 8 значение D , равное 100 мм, обусловлено

минимизацией возможного загрязнения внутренней поверхности рабочей камеры.

Таким образом, была скорректирована и модифицирована известная критериальная зависимость для определения коэффициента теплоотдачи с учетом известных литературных данных и авторских тестирующих экспериментов, что дает возможность рассчитать искомый коэффициент в зависимости от варьирования влияющих на него физических параметров.

В четвертой главе представлены результаты исследования кинетической закономерности технологических операций нанесения парафинового покрытия на биоразлагаемый упаковочный материал.

Исследование кинетики растворения технического парафина, полученного из АСПО, проводилось гравиметрически при температурах 35°C и 40°C. Опытное построение кривых при двух различных температурах растворения позволило вычислить энергию активации E_a , которую априори надо сообщить молекулам (частицам) взаимодействующих веществ, чтобы превратить их в активные, как правило, E_a выражают в кДж/моль. Проведенная серия экспериментов позволила определить степень растворения α , которую рассчитывали, как отношение растворившегося парафина к его взятой общей массе, в итоге построена графическая ее зависимость от продолжительности процесса растворения (рис 15).

По характеру кривых, видно, что скорость растворения технического парафина в выбранном реагенте существенно зависит от температуры. Геометрия кривых показывает, что растворение парафина протекает с максимальной скоростью. В данном случае, в качестве реагента применялся алифатический растворитель, поэтому интенсификацию процесса растворения можно объяснить влиянием температуры, однако, с повышением степени растворения скорость процесса снижается, вследствие насыщения фиксированного объема жидкости растворяемым материалом. Подобные процессы хорошо описываются уравнением Ерофеева-Колмогорова, в котором постоянные n и k можно определить графическим способом, для чего эта зависимость представлена в логарифмическом виде:

$$\ln(-\ln(1-\alpha)) = \ln k + n \ln \tau, \quad (9)$$

где k – константа скорости растворения; τ – время процесса; n – константа характера процесса, если $n < 1$ – диффузионный процесс, $n = 1$ – реакция первого порядка, скорость сопоставима со скоростью диффузии, $n > 1$ – кинетический процесс.

Проведенная аппроксимация кривых (рис 16) позволила определить постоянные n и k для двух вариантов растворения: $n = 0,686$; $k = 0,031$ (при 40°C) и $n = 1,042$; $k = 0,016$ (при 35°C). Из полученных результатов видно, что процесс растворения парафина в n -гексане при температурах выше 35°C, протекает в диффузионной области ($n < 1$), поэтому только при повышении температуры растворителя может происходить интенсификация процедуры растворения, и скорость физико-химического взаимодействия, как самого парафина, так и токсичных компонентов в нем с растворителем, становится соизмеримой со скоростью их диффузии.

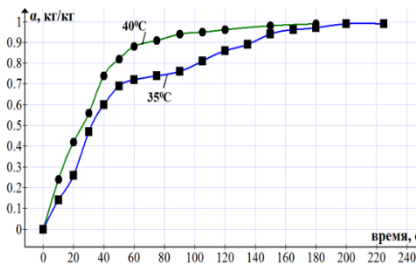


Рисунок 15. Кинетические кривые растворения технического парафина в n -гексане при двух температурах 35°C и 40°C

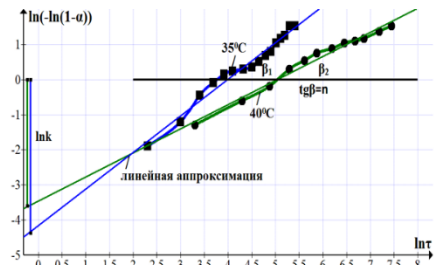


Рисунок 16. Логарифмические анаморфозы кинетических кривых растворения

При понижении температуры растворителя, ввиду его алифатической природы, процесс протекает менее интенсивно ($n > 1$), т.к. технический парафин, обладающий меньшей кинетической энергией, уже не способен полностью распределиться в н-гексане, обладающем по своей природе низкой химической активностью, и начинает выпадать в осадок.

Для определения величины энергии активации $E_a = 105,8$ (кДж/моль), воспользуемся уравнением, в которое входят температурные условия процесса T_1, T_2 и константы его скорости k_1, k_2 :

$$E_a = \frac{RT_1T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{k_2}{k_1}, \quad (10)$$

где $R = 8,314$ – газовая постоянная, Дж/(моль·°К).

Зная E_a , порядок реакции α и время полного растворения при некоторых фиксированных значениях концентрации раствора C_ϕ и температуры растворителя T_ϕ можно вычислить время полного растворения при любых его значениях C и T .

За варьируемые параметры, определяющие скорость конвективного концентрирования объекта исследования от его начальной доли растворителя в парафино-содержащем растворе $C_{г.н.}$ (кг/кг) до конечной $C_{г.к.}$ (кг/кг), были приняты следующие: температура пленочной основы T_m (°К) и толщина слоя раствора поверх его основы h_p (м). В качестве не варьируемых параметров приняты следующие: температура теплоносителя $T_{с.а.}$ (°К), его скорость $v_{с.а.}$ (м/с) и направление (табл. 5, 6).

Таблица 5

Варьируемые параметры процесса концентрирования гексанового раствора

$C_{г.н.}, \text{ кг/кг}$	$T_m, \text{ }^\circ\text{C}$	$h_p, \text{ м}$	$C_{г.к.}, \text{ кг/кг}$
0,91	40	0,0005	0
	60	0,001	
	70	0,0015	

Таблица 6

Не варьируемые параметры процесса обезвоживания арбузного полуфабриката

$C_{г.н.}, \text{ кг/кг}$	$T_{с.а.}, \text{ }^\circ\text{C}$	$v_{с.а.}, \text{ м/с}$	$C_{г.к.}, \text{ кг/кг}$
0,91	70	0,5	0

В результате экспериментальных исследований построены кривые концентрирования гексанового раствора, часть из которых представлена на рисунке 17.

Для рационализации исследуемого процесса в качестве целевой функции выбрана удельная производительность Y , которая соответствует наложению пищевого парафина на единицу площади пленочной основы в единицу времени. На основе результатов расчетов получена аппроксимирующая зависимость производительности от температуры пленочной основы T_m (К) и толщины слоя раствора поверх его основы h_p (м):

$$Y = (-833,333T_m^2 + 1,403 \cdot 10^5 T_m - 5,64 \cdot 10^6)h_p^2 + (1,95T_m^2 - 277,5T_m + 1,284 \cdot 10^4)h_p + (-7,333 \cdot 10^{-4}T_m^2 + 0,123T_m + 1,23). \quad (11)$$

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что повышение температуры исходного пленочного материала, не смотря на незначительное, но все-таки увеличение удельной производительности, не целесообразно. При варьировании толщины слоя раствора следует учесть, что его увеличение приводит с одной стороны к росту массы парафина на выходе, а с другой стороны к

увеличению продолжительности процесса парафинизации. В результате, рекомендована рациональная толщина исходного слоя раствора, равная 1,5 мм при этом толщина слоя конечной пленки с учетом парафинового покрытия увеличиться на 0,1...0,15 мм, при этом $Y = 10,95 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, а продолжительность концентрирования до момента полного удаления растворителя будет составлять 5,5 минут.

Далее необходим анализ механизма внутреннего массопереноса в процессе концентрирования гексанового раствора, который производится на основании функциональной зависимости скорости удаления растворителя из него от содержания парафина в нем, полученной путем математического описания кривых (рис. 17). Полученные зависимости графически представлены на рисунке 18.

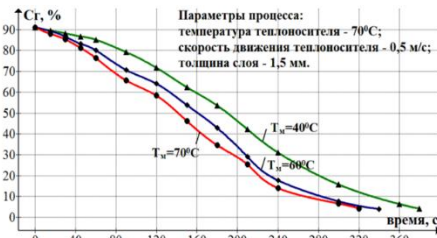


Рисунок 17. Кривые конвективного концентрирования исследуемого раствора

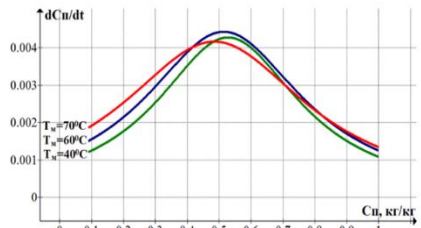


Рисунок 18. Кривые скорости концентрирования исследуемого раствора

Анализ кривых скорости показал наличие двух характерных периодов процесса. Первый период соответствует росту скорости концентрирования до максимума в результате повышения температуры раствора за счет теплоносителя практически до его критической отметки в 68°C. Однако при удалении растворителя меняется концентрация исходного раствора, которая идет не в пользу интенсификации процесса, к тому же испарение растворителя порождает и снижение температуры самого раствора, несмотря на стремление ее удержания за счет пленочной основы, откуда появляе-

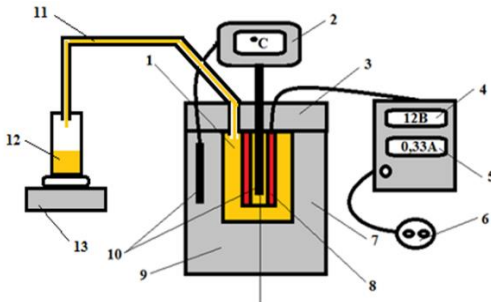


Рисунок 19. Принципиальная схема опытной установки для определения удельной теплоты испарения: 1 – исследуемый жидкий материал; 2 – дисплей термодатчика; 3 – крышка калориметра; 4 – вольтметр; 5 – амперметр; 6 – источник питания; 7 – калориметр (термос); 8 – электронагреватель; 9 – теплоизоляционный материал; 10 – термопары; 11 – канал для отвода конденсата; 12 – конденсат; 13 – электронные весы.

ности второго периода, который соответствует снижению роста скорости концентрирования до минимума.

При моделировании процесса удаления н-гексана из исследуемого раствора вместе с токсичными веществами, в частности бенз- α -пирена, необходимо определить с величиной удельной теплоты образования пара и конденсации растворителя r , (Дж/кг) для различных технологических

условий его проведения. Информация о величине r при фиксированных значениях его температуры была получена экспериментальным путем на опытной калориметрической установке, представленной на рисунке 19, принцип работы с ней подробно представлен в диссертации.

Тепло, сообщённое кипящей жидкости нагревателем, идёт на её испарение, а также не избежать его потерь:

$$UIt = mr + Q_{\text{пот}}, \quad (12)$$

где U – напряжение, В; I – сила тока, А; τ – время, с; m – масса собранного конденсата, кг; r – удельная теплота парообразования, Дж/кг; $Q_{\text{пот}}$ – потери тепла, Дж.

Так как потеря тепла по закону Ньютона пропорциональна разности температур жидкости и окружающей среды, а температура кипящей жидкости постоянна, то потери тепла в обоих опытах можно считать одинаковыми. Тогда для первого опыта:

$$U_1 I_1 \tau = m_1 r + Q_{\text{пот}},$$

для второго:

$$U_2 I_2 \tau = m_2 r + Q_{\text{пот}}.$$

Отсюда удельная теплота испарения:

$$r = \frac{U_2 I_2 - U_1 I_1}{m_2 - m_1} \tau. \quad (13)$$

В итоге удельная теплота испарения, исследуемого гексанового раствора при температуре, близкой к температуре его кипения (70°C) равна $420,8$ кДж/кг.

В пятой главе представлены результаты моделирования процесса концентрирования гексанового раствора и даны рекомендации по реализации предлагаемой технологической схемы парафинизации упаковочных материалов.

Математическая модель тепломассопереноса представляет собой систему уравнений – аналитического уравнения переноса тепла и эмпирического уравнения переноса массы (14). Решение системы уравнений осуществляется методом конечных разностей с учетом режимных параметров и кинетики исследуемого процесса, теплофизических характеристик и других физико-химических свойств объекта концентрирования.

$$\frac{\partial T}{\partial C_n} = \frac{a}{\frac{\partial C_n}{\partial \tau}} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{r\rho}{c_V}, \quad (14)$$

где x – координата толщины слоя наносимого раствора, м; a – температуропроводность раствора, $\text{м}^2/\text{с}$; $\frac{\partial C_n}{\partial \tau}$ – скорость концентрирования, $\text{кг}/(\text{кг}\cdot\text{с})$, с учетом допущения, что структура материала изотропна; r – энергия, затрачиваемая на фазовый переход и на разрыв связи растворителя с раствором, Дж/кг, определенная экспериментально; ρ – плотность раствора, $\text{кг}/\text{м}^3$; c_V – объемная теплоемкость раствора, Дж/($\text{м}^3\cdot\text{K}$).

Решением уравнения (14) при краевых условиях является функция $T = f(C_n, x)$, поэтому для удобства дифференцирования, при численной реализации модели величина C_r была заменена концентрацией парафина в растворе C_n , учитывая формулу их связи $C_n = 1 - C_r$.

Граничные условия 2-го рода для теплообмена на поверхности гексанового раствора, контактирующего с теплоносителем, связаны зависимостью:

$$\lambda(C_n) \frac{\partial T}{\partial x} = -\alpha(T_{c.a} - T_m), \quad (15)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К); $T_{c.a}$ – температура теплоносителя при заданном давлении в камере, °К; T_M – температура пленочной основы, °К.

Граничные условия 1-го рода при контакте исследуемого раствора с начальной температурой $T = 313^\circ\text{К}$, стремящейся экспоненциально к температуре T_M °К, более нагретой рабочей поверхности пленочной основы, определяются следующим образом:

$$T_M = 353 - e^{5(C_{\text{пнач}} - C_{\text{п}})}, \quad (16)$$

где $T_{\text{пов}}$ – текущая температура продукта, °К; $C_{\text{пнач}}$ – исходная и $C_{\text{п}}$ – текущая доли парафина в растворе, кг/кг.

На рисунке 20 графически представлена эволюция полей температур по толщине и концентрации, изменяющейся во времени процесса, полученная посредством разработанной математической модели, для слоя концентрируемого раствора 1,5 мм, с температурой пленочной основы 40°С (рис. 20 (а)), 60°С (рис. 20 (б)) и 70°С (рис. 20 (в)).

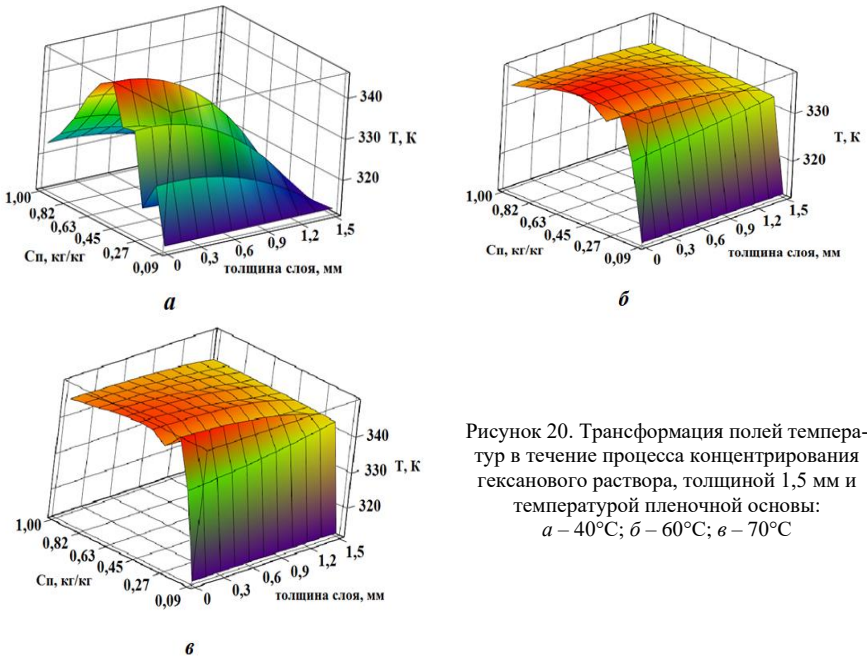


Рисунок 20. Трансформация полей температур в течение процесса концентрирования гексанового раствора, толщиной 1,5 мм и температурой пленочной основы:
а – 40°С ; б – 60°С ; в – 70°С

Из полученных трехмерных графиков видно, что при любой концентрации парафина в растворе существуют температурные перепады, вследствие инерционности переноса тепловой энергии по объему объекта исследования. Анализ результатов решения математической модели конвекционного концентрирования гексанового раствора показал, что наиболее рациональным условием проведения этого процесса является 2-ой вариант, при котором температура пленочной основы предварительно нагрета до 60°С .

Учитывая все вышеописанное, а также на основе анализа конструкций, предназначенных для парафинизации различных упаковочных материалов, результатов собственных комплексных теоретико-экспериментальных исследований, была разработана конвейерная установка для изготовления гидрофобных пектиносо-держащих пленок, принципиальная схема которой представлена на рисунке 21.

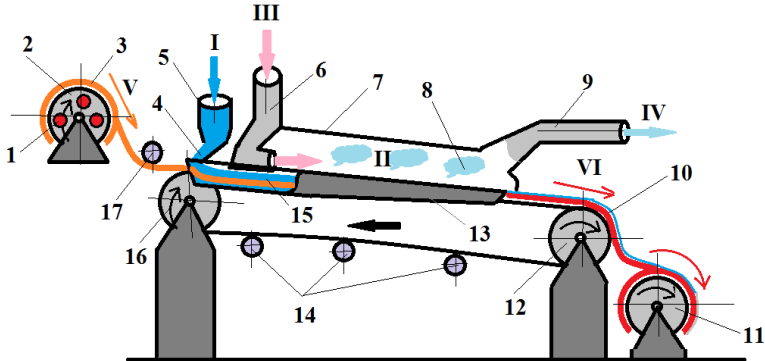


Рисунок 21. Схема предлагаемой установки для парафинизации съедобных покрытий: 1 – нагреватель; 2 – барабан-накопитель для исходной съедобной пленки; 3 – съедобная пленка; 4 – растворенный в н-гексане парафин; 5 – приемный бункер для раствора; 6 – подвод теплоносителя; 7 – рабочая камера; 8 – растворитель в газовой фазе; 9 – воздухоотвод; 10 – гидрофобный готовый материал; 11 – барабан-накопитель готового изделия; 12, 16 – барабаны конвейера с лентой; 13 – рабочая ванна для раствора; 14, 17 – дополнительные ролики конвейера; 15 – пленочная основа в растворе
I – подвод раствора для парафинизации; II – отвод удаленного растворителя с токсичными веществами; III – подвод теплоносителя; IV – отвод отработанного теплоносителя; V – подвод пленочной основы для парафинизации; VI – отвод готового гидрофобного покрытия

Следует отметить, что предлагаемая установка непрерывного действия, благодаря своим конструктивным особенностям, может быть пригодна не только для осуществления концентрации исследуемого раствора на пектиносодержащей пленочной структуре, но и для парафинизации подобных упаковочных материалов.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

В качестве основных выводов и результатов диссертационного исследования следует отметить:

1. Проведена оценка современного состояния теории теплофизического воздействия на парафиновые углеводородные комплексы нефтяной природы и технического обеспечения процессов депарафинизации нефти и парафинизации гидрофобных упаковочных структур;

2. Обоснованы рациональные подходы к совершенствованию реализуемых теплофизических процессов при выработке технического парафина из асфальто-смоло-парафиновых отложений, определены рациональные режимные параметры их проведения и представлены оригинальные теплотехнические решения и их аппаратное обеспечение;

Технические показатели проектируемого производственного депарафинизатора представлены в таблице 1.

3. Обоснован выбор *n*-гексана, как эффективного растворителя для полученного парафинового продукта, определен комплекс теплофизических характеристик полученного раствора, и параметры теплообмена на границе раздела фаз в технологических рамках процесса его конвективного концентрирования;

4. Исследованы и проанализированы кинетические закономерности процессов растворения парафина в выбранном растворителе и конвективного концентрирования полученного раствора, а также определена величина удельной теплоты испарения удаляемой из раствора токсичной композиции;

Рациональные условия проведения процесса растворения технического парафина в n-гексане:

- массовое соотношение измельченного парафина и растворителя 1:10;
- температура растворителя – 40°C;
- максимально возможный размер измельченного парафина в любом направлении не более 10 мм;
- продолжительность процесса – не более 3-х минут.

Рациональные условия проведения процесса конвективного концентрирования, полученного гексанового раствора:

- температура теплоносителя – 70°C, раствора – 40°C, пленочной основы – 60°C;
- скорость теплоносителя – 0,5 м/с;
- высота слоя раствора над пленочной основой – 1,5 мм;
- начальная концентрация парафина в растворе – 0,09 кг/кг;
- конечная концентрация парафина в растворе – 1,00 кг/кг;
- примерное время на концентрирование раствора – 5,5 мин.

5. Адаптирована к полученному раствору и решена математическая модель теплопереноса при его концентрировании для исключения вероятности снижения величины его температуры ниже значения возможной предвратительной кристаллизации;

6. Даны практические рекомендации по техническому исполнению оптимальных условий нанесения парафина на пектиносодержащий упаковочный материал для обеспечения его гидрофобности.

Список публикаций по теме диссертации:

Публикации в рецензируемых научных изданиях:

1. **Марышева, М.А.** Решение математической модели концентрирования гексанового раствора технического парафина для получения его пищевой модификации / М.А. Марышева, И.Ю. Александян, А.Х.-Х. Нугманов, Ю.А. Максименко, Л.М. Титова // Вестник Международной академии холода. – 2022. – № 2. – С. 77-84.

2. **Марышева, М.А.** Повышение эффективности способа получения парафина из асфальтосмолопарафиновых отложений и его аппаратурное оформление / М.А. Марышева, А.Х.Х. Нугманов, И.Ю. Александян, Н.Д. Шишкин, А.И. Александян // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. – 2022. – Т. 8, № 2 (30). – С. 52-76.

3. **Марышева, М.А.** Теплофизическое обоснование вида растворителя технического парафина и рационального способа конвективного концентрирования полученного раствора с целью создания пищевой парафиновой субстанции / М.А. Марышева, А.Х. Нугманов, И.Ю. Александян, Ю.А. Максименко // Тепловые процессы в технике. – 2022. – Т. 14, № 6. – С. 268–275.

Публикации в иных изданиях:

4. **Марышева, М.А.** Исследование теплофизических свойств асфальтопарафиновых отложений на промыслах / М.А. Марышева, Н.Д. Шишкин // Международная научная конференция научно-педагогических работников Астраханского государственного технического университета, посвящённая 85-летию со дня основания вуза (59 НПП): материалы, Астрахань, 20–25 апреля 2015г. – С. 57-58.

5. **Марышева, М.А.** Анализ конструкций и оценка параметров промысловых депарафинизаторов нефти / М.А. Марышева, Н.Д. Шишкин // Новейшие технологии освоения месторождений углеводородного сырья и обеспечение безопасности экосистем Каспийского шельфа: материалы VII Международной научно-практической конференции, Астрахань, 16 сентября 2016 года / ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет». – Астрахань: Астраханский государственный технический университет, 2016. – С. 130-134.

6. Шишкин, Н.Д. Разработка промысловых депарафинизаторов нефти с получением товарного асфальтосмолопарафинового продукта / Н.Д. Шишкин, **М.А. Марышева**, Д.С. Мамитов // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2017. – № 1(63). – С. 77-84.

7. **Марышева, М.А.** Разработка конструкций и оценка параметров промысловых депарафинизаторов нефти с получением товарного парафинового продукта / М.А. Марышева, Н.Д. Шишкин // Новейшие технологии освоения месторождений углеводородного сырья и обеспечение безопасности экосистем Каспийского шельфа: Материалы VIII Международной научно-практической конференции, Астрахань, 08 сентября 2017 года. – Астрахань: Астраханский государственный технический университет, 2017. – С. 117-121.

8. Шишкин, Н.Д. Исследование гидравлических параметров термогидроциклона для промышленной депарафинизации нефти с получением товарного парафинового продукта / Н.Д. Шишкин, **М.А. Марышева** // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2018. – № 2(66). – С. 56-65.

9. **Марышева, М.А.** Моделирование теплообмена в термогидроциклоне непрерывного действия / М.А. Марышева, Н.Д. Шишкин // Новейшие технологии освоения месторождений углеводородного сырья и обеспечение безопасности экосистем Каспийского шельфа: Материалы X Международной научно-практической конференции, Астрахань, 06 сентября 2019 года. – Астрахань: Астраханский государственный технический университет, 2019. – С. 213-217.

10. Шишкин, Н.Д. Аналитическое исследование теплообмена в термогидроциклоне для промышленной депарафинизации нефти / Н.Д. Шишкин, **М.А. Марышева** // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2019. – № 2(68). – С. 16-23.

11. **Марышева, М.А.** Совершенствование технологии парафина и ее аппаратного обеспечения для эффективного использования в пищевой промышленности / М.А. Марышева. И.Ю. Алексанян. Н.Д. Шишкин. М.Ш. Арабов // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2019. – № 3 (29). – С. 111-118.

12. **Марышева, М.А.** Аналитическое исследование теплообмена в термогидроциклоне для промышленной депарафинизации нефти с получением товарного парафинового продукта / М.А. Марышева, Н.Д. Шишкин // Наука и технологии в нефтегазовом деле: Тезисы докладов II Международной научно-практической конференции, Армавир, 31 января – 01 февраля 2020 года / Кубанский государственный технологический университет, Армавирский механико-технологический институт, Кафедра машин и оборудования нефтяных и газовых промыслов. – Армавир: Кубанский государственный технологический университет, 2020. – С. 56-59.

13. **Марышева, М.А.** Изучение теплофизических параметров асфальтосмолопарафиновых веществ, как сырья для получения парафина различного назначения / М.А. Марышева, И.Ю. Алексанян, Н.Д. Шишкин // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2020. – № 2. – С. 157-168.

14. **Марышева, М.А.** Область применения пищевого парафина / М.А. Марышева, А.И. Алексанян, Л.Б.С. Пуабу // Актуальные вопросы теории и практики развития научных исследований: сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции: в 2 ч., Омск, 24 января 2022 года. – Стерлитамак: Общество с ограниченной ответственностью "Агентство международных исследований", 2022. – С. 141-144.

15. **Марышева, М.А.** Теплофизические характеристики и плотность гексанового раствора парафина, как объекта конвективного концентрирования и получения пищевого парафина / М.А. Марышева, А.Х.Х. Нугманов, И.Ю. Алексанян, Л.М. Титова, Я.А. Доркас // Современная наука и инновации. – 2022. – № 1 (37). – С. 80-90.

16. **Марышева, М.А.** Исследование кинетических закономерностей процесса конвективного концентрирования гексанопарафиновой композиции для получения пищевого парафина / М.А. Марышева, И.Ю. Алексанян, А.Х.Х. Нугманов, Л.М. Титова // Индустрия питания. – 2022. – Т. 7, № 1. – С. 5-13.

17. **Марышева, М.А.** Исследование кинетики растворения технического парафина в гексане и удельной теплоты испарения гексанопарафиновой композиции при получении пищевого парафина / М.А. Марышева, И.Ю. Алексанян, А.Х.Х. Нугманов, Л.М. Титова, Ю.А. Максименко // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2022. – № 1 (51). – С. 12-21.

Патент на полезную модель:

18. Патент 207853 РФ, МПК В04С 3/02, В04С 5/107. Термогидроциклон / Н.Д. Шишкин, **М.А. Марышева**. Заявитель и патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «АГТУ»); заявл. 20.07.2021 №2021121398; опубл. 22.11.2021, Бюл. №33.

Патент на изобретение:

19. Патент 2807873 РФ, МПК С08J 5/18, В65D 65/42. Способ получения пищевой упаковочной пленки / **М.А. Марышева**, И.Ю. Алексанян, А.Х.-Х. Нугманов, Л.М. Титова, Ю.А. Максименко. Заявитель и патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «АГТУ»); заявл. 24.04.2023 №2023110404; опубл. 21.11.2023, Бюл. № 33.