Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное агентство по образованию

Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина

Факультет разработки нефтяных и газовых месторождений

Кафедра разработки и эксплуатации нефтяных месторождений

Направление 553600 – «Нефтегазовое дело»

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

на тему «Применение микроволновой обработки для разрушения водонефтяных эмульсий»

Дипломник НД-01-1 Новиков М.А. _____

Руководитель профессор, д.ф.-м.н. Евдокимов И.Н. _____

«Работа допущена к защите»

Зав. кафедрой профессор, д.т.н. Мищенко И.Т. _____

Дата защиты _____ Оценка ГАК _____

Москва 2005 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное агентство по образованию

Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина

Факультет разработки нефтяных и газовых месторождений

Кафедра разработки и эксплуатации нефтяных месторождений

Направление 553600 – «Нефтегазовое дело» группа НД-01-1

ЗАДАНИЕ НА ДИПЛОМНУЮ РАБОТУ

Студент Новиков Михаил Александрович

Тема дипломной работы «Применение микроволновой обработки для разрушения водонефтяных эмульсий».

Время выполнения дипломной работы с 11.02 по 01.06.2005 г.

Руководитель дипломной работы профессор, д.ф.-м.н. Евдокимов И.Н., кафедра физики РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, профессор.

Тема дипломной работы и руководитель утверждены приказом №54544 от 25 сентября 2004 г.

Зав. кафедрой профессор, д.т.н. Мищенко И.Т. _____ «__» _____ 2005 г.

Задание принял к исполнению «__» _____ 2005 г.

_____

Аннотация

Проведён литературный анализ сведений об основных причинах образования водонефтяных эмульсий и описаны свойства нефтяных эмульсий. Рассмотрены основные способы воздействия, применяемые при разрушении водонефтяных эмульсий, описанные в литературе. Более подробно рассмотрено применение СВЧ-нагрева в различных областях науки и техники. Изложены методика проведения измерений, правила работы с оборудованием для проведения эксперимента. Проведены измерения значений температуры для нефти, воды и водонефтяных эмульсий разных концентраций в зависимости от времени воздействия на них с помощью микроволновой обработки. Проведён расчёт величины мощности поглощённой в единице объёма для воды, нефти и эмульсий разных концентраций. На основании математического расчёта величины мощности, поглощённой в единице объёма эмульсии, и сравнения этой величины с предполагаемой величиной мощности по аддитивному закону, выявлено несовпадение этих величин. Сделано утверждение, что мощность, поглощённая в единице объёма, для эмульсий, не является аддитивной величиной. Объяснено поведение зависимости мощности, рассчитанной по данным эксперимента, по сравнению с поведением зависимости мощности, рассчитанной по правилу аддитивности, от концентрации эмульсии.

Содержание

стр.

ВВЕДЕНИЕ 5

ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР 6-26

1. Причины образования и свойства нефтяных эмульсий. 6-8

2. Способы разрушение водонефтяных эмульсий 9-14

3.Применение СВЧ-нагрева в различных областях науки и техники 15-28

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОВОЛОНОВОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ 29-43

4. Принципы измерений и оборудование 29-33

5. Экспериментальная часть 34-37

6. Расчётная часть 38-47

7. Анализ данных экспериментов 47-49

ВЫВОДЫ 50-51

Список использованной литературы 52

Введение

Обводнение продуктивных пластов нефтяных месторождений вызывает серьезные осложнения при добыче, сборе и подготовке нефти, связанные с образованием водонефтяных эмульсий. Образование стойких эмульсий снижает показатели безотказности работы насосных установок из-за увеличения количества обрывов штанг ШГНУ, пробоев электрической части УЭЦН вследствие перегрузок погружного электродвигателя. Рост давления жидкости в системах сбора нефти и газа влечет за собой порывы коллекторов. Затрудняются сепарация газа и предварительный сброс воды. Поэтому, одной из главных задач, при проведении различных технологических операций в нефтегазовой промышленности, является разрушение водонефтяных эмульсий.

ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.Причины образования и свойства нефтяных эмульсий

Поскольку водонефтяная эмульсия представляет собой неустойчивую систему, тяготеющую к образованию минимальной поверхности раздела фаз, вполне естественно ожидать наличие у нее склонности к расслоению. Однако в реальных условиях эксплуатации нефтедобывающего оборудования во многих случаях образуются эмульсии, обладающие высокой устойчивостью. Это в значительной степени определяет выбор технологии их дальнейшей обработки, а также глубину отделения водной фазы от нефти. Агрегативную устойчивость эмульсий измеряют временем их существования до полного разделения образующих эмульсию жидкостей. В случае эмульсий, полученных из разных нефтей, их устойчивость может составлять от нескольких секунд до года и более. К причинам, обуславливающим агрегативную устойчивость нефтяных эмульсий, относят:

- образование структурно-механического слоя эмульгаторов на межфазной границе глобул;
- образование двойного электрического слоя на поверхности раздела в присутствии ионизированных электролитов;
- термодинамические процессы, протекающие на поверхности глобул дисперсной фазы;
- расклинивающее давление, возникающее при сближении глобул дисперсной фазы, покрытых адсорбционно-сольватными слоями.

Кроме того, устойчивость нефтяных эмульсий зависит от величины глобул воды (ее дисперсности), плотности и вязкости нефти, содержания в ней легких фракций углеводородов, эмульгаторов и стабилизаторов эмульсии, а также от состава и свойств эмульгированной воды.

К естественным стабилизаторам эмульсий относят содержащиеся в нефти асфальтены, смолы, нафтены и парафины, являющиеся природными ПАВ. Кроме того, к ним относят мельчайшие твердые частицы веществ (глина, кварц, соли и т. д.), находящихся в продукции скважин во взвешенном состоянии.

В зависимости от концентрации дисперсной фазы в эмульсиях их подразделяют на разбавленные или слабо концентрированные (дисперсной фазы менее 20 %), концентрированные (до 74 %) и высококонцентрированные (свыше 74 %). Разбавленные эмульсии с мелкодисперсной структурой обладают высокой стойкостью к разрушению.

В промысловых эмульсиях размер капель дисперсной водной фазы обычно составляет от 0,1 до 250 мкм. Капли более крупного размера могут существовать только в потоке вследствие быстрой седиментации в статических условиях.

Устойчивость большинства нефтяных эмульсий типа "вода в нефти" со временем возрастает. В процессе старения эмульсии на глобулах воды увеличивается слой эмульгатора и, соответственно, повышается его механическая прочность. При столкновении таких глобул не происходит их коалесценции из-за наличия прочной гидрофобной пленки. Для слияния глобул воды необходимо эту пленку разрушить и заменить ее гидрофильным слоем какого-либо ПАВ. Старение эмульсий интенсивно протекает только в начальный период после их образования, а затем заметно замедляется. Особенности старения обратной эмульсии зависят от состава и свойств нефти, пластовой воды, условий образования эмульсии (температура, интенсивность перемешивания фаз). Известно, что пластовая минерализованная вода образует с нефтью более устойчивые и быстро стареющие эмульсии, чем пресная вода.

К основным характеристикам нефтяных эмульсий относят степень разрушения за определенный период времени, эффективную (в ряде случаев структурную) вязкость, средний поверхностно-объемный диаметр эмульгированных капель водной фазы. В совокупности эти параметры отражают интенсивность эмульгирования нефти, ее физико-химические свойства и адсорбцию эмульгатора.

Об интенсивности разрушения эмульсии можно судить по разности между плотностями воды и нефти $\Delta\rho$, а также отношению суммарного содержания асфальтенов (a) и смол (c) к содержанию парафинов (n) в нефти $(a+c)/n$. Последний показатель предопределяет способ деэмульгирования нефтяных эмульсий. Показатель $\Delta\rho$ соответствует движущей силе гравитационного отстаивания. Оба

показателя являются качественными характеристиками эмульсий и позволяют разделять их на группы.

В зависимости от соотношения плотностей воды и нефти эмульсии классифицируют на трудно расслаиваемые *($\Delta\rho$= 0,200-0,250 г/см^3)*, расслаиваемые *($\Delta\rho$= 0,250-0,300 г/см^3)* и легко расслаиваемые *($\Delta\rho$= 0,300-0,350 г/см^3)*. По показателю *(a+c)/n* нефти подразделяют на смешанные *((a+c)/n = 0,951-1,400)*, смолистые *((a+c)/n = 2,759-3,888)* и высокосмолистые *((a+c)/n = 4,774-7,789)*.

2. Способы разрушение водонефтяных эмульсий

Существуют следующие способы разрушения водонефтяных эмульсий:

- гравитационное холодное разделение (отстаивание);
- фильтрация;
- разделение в поле центробежных сил (центрифугирование);
- электрическое воздействие;
- термическое воздействие;
- внутритрубная деэмульсация;
- воздействие электромагнитной энергии СВЧ

Отстаивание применяют при высокой обводненности нефти и осуществляют путем гравитационного осаждения диспергированных капель воды. На промыслах применяют отстойники периодического и непрерывного действия разнообразных конструкций. В качестве отстойников периодического действия обычно используют сырьевые резервуары, при заполнении которых сырой нефтью происходит осаждение воды в их нижнюю часть. В отстойниках непрерывного действия отделение воды происходит при непрерывном прохождении обрабатываемой смеси через отстойник. В зависимости от конструкции и расположения распределительных устройств, движение жидкости в отстойниках осуществляется в преобладающем направлении горизонтально или вертикально.

Фильтрацию применяют для разрушения нестойких эмульсий. В качестве материала фильтров используются вещества, не смачиваемые водой, но смачиваемые нефтью. Поэтому нефть проникает через фильтр, а вода нет.

Центрифугирование производят в центрифуге, которая представляет собой вращающийся с большой скоростью ротор. Эмульсия подается в ротор по полому валу. Под действием сил инерции эмульсия разделяется, так как вода и нефть имеют разные значения плотности.

Воздействие на эмульсии электрическим полем производят в электродегидраторах, снабженных электродами, к которым подводится высокое напряжение переменного тока промышленной частоты. Под действием

электрического поля на противоположных концах капель воды появляются разноименные электрические заряды. В результате капли притягиваются, сливаются в более крупные и оседают на дно емкости.

Термическое воздействие на водонефтяные эмульсии заключается в том, что нефть, подвергаемую обезвоживанию, перед отстаиванием нагревают до температуры 45-80 ^{0}С. При нагревании уменьшается прочность слоев эмульгатора на поверхности капель, что облегчает их слияние. Кроме того, уменьшается вязкость нефти и увеличивается разница плотностей воды и нефти, что способствует быстрому разделению эмульсии. Подогрев осуществляют в резервуарах, теплообменниках и трубчатых печах.

Внутритрубную деэмульсацию проводят посредством добавления в эмульсию химического реагента-деэмульгатора. Это позволяет разрушать эмульсию в трубопроводе, что снижает ее вязкость и уменьшает гидравлические потери.

Для каждого состава нефти подбирают свой наиболее эффективный деэмульгатор, предварительно оценив результаты отделения пластовой воды в лабораторных условиях.

Любое органическое вещество, обладающее моющими свойствами, может с той или иной эффективностью использоваться в качестве деэмульгатора. Существует большое количество деэмульгирующих композиций для обезвоживания и обессоливания водонефтяных эмульсий на основе алкилбензосульфоната кальция и алкансульфоната натрия, азотсодержащих соединений, блоксополимера окисиэтилена и пропилена, а также глутарового альдегида, продуктов оксиалкилирования с подвижным атомом водорода и метилдиэтилалкоксиметилом аммония метилсульфатом.

Высокоэффективные деэмульгаторы, применяемые на нефтепромыслах и нефтеперерабатывающих заводах для обезвоживания и обессоливания нефти, содержат смесь ПАВ различных структур и модификаций, которые, как правило, являются синергистами.

Теории, объясняющие механизм действия деэмульгаторов, разделяют на две группы:

- физическая, предполагающая протекание физической адсорбции молекул деэмульгатора на коллоидных частицах, разрыхляющее и модифицирующее действие деэмульгаторов на межфазный слой, которое способствует вытеснению и миграции молекул (частиц) стабилизатора в ту или иную фазу;
- химическая, основанная на предположении о преобладающей роли хемосорбции молекул деэмульгатора на компонентах защитного слоя с образованием прочных химических связей, в результате чего природные стабилизаторы нефти теряют способность эмульгировать воду.

Согласно общепринятой в настоящее время теории, разработанной под руководством академика П.А. Ребиндера, при введении ПАВ в нефтяную эмульсию на границе раздела «нефть – вода» протекают следующие процессы.

ПАВ, обладая большей поверхностной активностью, вытесняет природные стабилизаторы с поверхности раздела фаз, адсорбируясь на коллоидных или грубодисперсных частицах природных стабилизаторов нефтяных эмульсий.

Молекулы деэмульгаторов изменяют смачиваемость, что способствует переходу этих частиц с границы раздела в объем водной или нефтяной фаз. В результате происходит коалесценция.

Таким образом, процесс разрушения нефтяных эмульсий является в большей степени физическим, чем химическим и зависит от:

- компонентного состава и свойства защитных слоев природных стабилизаторов;
- типа, коллоидно-химических свойств и удельного расхода применяемого деэмульгатора;
- температуры, интенсивности и времени перемещения нефтяной эмульсии с деэмульгатором.

Технологический эффект применения деэмульгатора заключается в обеспечении быстрого и полного отделения пластовой воды при его минимальном

расходе.

Как правило, подбор высокоэффективного, оптимального для конкретной водонефтяной эмульсии деэмульгатора осуществляют эмпирически. Это обусловлено тем, что в зависимости от технологии добычи и подготовки нефти, ее химического состава, физико-химических свойств и обводненности, минерализации пластовой воды, наличия в ней механических примесей и других факторов, к деэмульгатору предъявляются специфические требования.

Кроме того, проблема подбора оптимального деэмульгатора возникает вследствие роста обводненности нефти и изменения состава стабилизаторов водонефтяной эмульсии. Последнее обусловлено применением химических реагентов для повышения нефтеотдачи пласта, обеспечения его гидроразрыва, а также для защиты промыслового оборудования от АСПО.

На нефтегазодобывающих предприятиях нашел также применение метод предотвращения образования стойких эмульсий (метод искусственного увеличения обводненности нефти). Сущность метода заключается в возврате на прием насоса некоторой части добываемой воды, расслоившейся в отстойной расширительной камере или в поле центробежных сил. Избыток водной фазы, образовавшейся в насосе, приводит к переходу водонефтяной смеси из одной структуры потока в другую. Вязкость образовавшейся прямой эмульсии в десятки и сотни раз меньше вязкости обратных эмульсий. В соответствии с этим резко снижается и стойкость прямых эмульсий, что создает благоприятные условия для отделения водной фазы и возвращения некоторого ее объема на прием насоса. Подачу оборотной воды на прием насоса можно осуществить самоподливом в затрубное пространство скважины, без применения дополнительных перекачивающих органов.

Метод самоподлива предполагает потерю производительности установки за счет рециркулируемой части водной фазы. Однако многократное снижение вязкости нефти в колонне труб позволяет существенно увеличить коэффициент подачи установок, что не только компенсирует потерю, но и в ряде случаев повышает производительность насосов.

Воздействия электромагнитной энергии СВЧ и КВЧ диапазонов длин волн широко развиваются и используются в технологических процессах в настоящее время. Области использования энергии СВЧ возрастает с каждым годом, к ним относится сушка различных материалов, обеззараживание отходов, стерилизация, пастеризация, размораживание пищевых продуктов, приготовление пищи и переработка сельскохозяйственной продукции, а том числе кормов, утилизация пищевых и животноводческих отходов, производство строительных материалов, производство и переработка продуктов нефтехимической промышленности и т.д.

Интерес к научным исследованиям и внедрению их в промышленность объясняется рядом преимуществ СВЧ технологий, некоторые из которых невозможно реализовать, применяя традиционные способы обработки материала.

СВЧ технологии реализуют экологически чистые процессы, быстродейственны и энергоэкономичны, предоставляется возможность локального воздействия на материал.

Первыми областями применения СВЧТК следует считать радиолокацию. Использование СВЧ колебаний в радиолокации к настоящему времени подробно изучено, и по этому вопросу имеется большое количество публикаций.

Одним из важнейших показателей эффективности использования энергоносителей являются энергозатраты на выработку единицы продукта. К сожалению, по этому параметру Россия сильно отстает от передовых промышленных стран. СВЧ комплексы относятся к числу энергосберегающих, и их внедрение способствует уменьшению энергозатрат на единицу продукта.

Для оценки эффективности внедрения СВЧТК необходимо изучить структуру энергетики. Электроэнергия СВЧТ для нашей страны составила 20% всего энергопотребления. Необходимо отметить, что эта структура не является оптимальной и в развитых странах доля электроэнергии СВЧТ значительно выше. Поэтому можно сделать заключение, что если значительная часть электроэнергии будет использоваться в виде СВЧ энергии, то СВЧТ могут внести существенный вклад в программу энергосбережения вообще.

В настоящее время актуальным вопросом в нефтегазодобывающей промышленности является подготовка нефти к транспортировке. Одним из этапов

обработки водонефтяной эмульсии (ВНЭ) является её нагрев. СВЧ нагрев имеет значительные преимущества перед традиционными способами, поэтому проектирование и создание СВЧК обработки ВНЭ является актуальной научно-технической задачей.

3.Применение СВЧ-нагрева в различных областях науки и техники.

Технологическая обработка самых разных материалов почти всегда включает в себя термообработку и, в первую очередь, нагрев или сушку.

При традиционных способах нагрева и сушки (конвективном, радиационном и контактном) происходит поверхностный нагрев объекта. Если теплопроводность объекта низка, что имеет место у диэлектриков, то термообработка объекта происходит медленно, с локальным перегреном поверхности нагрева, отчего возможно подгорание этой поверхности, возникновение внутренних механических напряжений. Все это, в конечном счете, может привести к снижению качества материала или его браку.

Для скоростной термообработки материала с высокой проводимостью используют электрический ток промышленной частоты. Этот вид нагрева дает положительный результат только в тех случаях, когда не происходит повышения температуры в местах контакта электрода с нагреваемым объектом. Влияние этого контакта устраняется применением токов высокой частоты. В этом случае нагреваемый объект помещают между пластинами конденсатора. Токи, возникающие в объекте, вызывают в нем выделение тепла.

Высокочастотным, диэлектрическим или сверхвысокочастотным называется нагрев объекта энергией электромагнитного поля сверхвысоких частот.

Электромагнитная волна, проникая в материал, взаимодействует с заряженными частицами. Совокупность таких микроскопических процессов приводит к поглощению энергии поля в объекте. Полное описание этого эффекта может быть получено лишь с помощью квантовой теории. Однако для успешного проектирования электротермических устройств СВЧ нагрева достаточно ограничиться учетом макроскопических свойств материальной среды, описываемых классической физикой.

В зависимости от расположения зарядов молекулы диэлектрической среды могут быть полярными и неполярными. В некоторых молекулах расположение зарядов столь симметрично, что в отсутствии внешнего электрического поля их электрический дипольный момент равен пулю. Полярные молекулы обладают

некоторым электрическим дипольным моментом и в отсутствии внешнего поля. При наложении внешнего электрического поля неполярные молекулы поляризуются, то есть симметрия расположения их зарядов нарушается, и молекула приобретаем некоторый электрический момент.

Под действием внешнего поля у полярных молекул не только меняется величина электрического момента, но и происходит поворот молекулы по направлению поля. Обычно различают электронную, ионную, дипольную и структурную поляризации диэлектрика. На СВЧ наибольший удельный вес имеют дипольная и структурная поляризации, так что выделение тепла, возможно, даже в отсутствии тока проводимости.

Исследованиями, проводимыми в различных странах, установлена высокая эффективность использования СВЧ нагрева в различных областях хозяйственной деятельности — промышленности, сельском хозяйстве, медицине и т.д. Продолжается, причем небезуспешно, поиск новых приложений методов СВЧ обработки.

В последние десятилетия в ряде стран активно проводятся исследования, направленные па повышение эффективности использования и расширение сфер применения микроволновых электромагнитных полей (ЭМП) или полей сверхвысокой частоты, занимающих частотный диапазон от 300 МГц до 300 ГГц. Основными достоинствами СВЧТК по сравнению с традиционными установками являются экологическая чистота технологического процесса, возможность его простой механизации и автоматизации, значительное сокращение технологического времени для создания конечного продукта, уменьшения энергетических и экономических затрат.

Проблемам развития исследований и разработок в области СВЧТ был посвящен ряд обзоров и монографий публикации российских и зарубежных авторов. В настоящее время СВЧТ переживают бум, сопровождающийся наличием значительного количества публикаций, в которых рассматриваются как вопросы реализации СВЧТК, так и методологические аспекты применения микроволновой энергии. Общее число публикаций столь велико, что не представляется возможным дать их полный обзор.

Применение СВЧТ в *полиграфической промышленности*

Сушка – очень важный процесс в производстве бумаги и картона. В среднем 1,5 л воды испаряется на 1 кг сухого продукта. Операция сушки требует значительных энергетических затрат и составляет 10 % от стоимости продукции.

Кроме этого, сушка в значительной мере определяет качество бумаги: ее механические свойства, качество поверхности, устойчивость к внешним химическим воздействиям. Классический процесс сушки очень сложен и включает в себя как механические, так и тепловые стадии. Влажность конечного продукта составляет 5-10 %. Однако, равномерность распределения влажности в большинстве случаев неудовлетворительна.

Успешное использование микроволновой сушки в процессе производства бумаги относится к началу 70-х годов. В 1982 г. Фирма «Shanghai enterprise» достигла значительного улучшения равномерности сушки» сокращения времени и снижения энергозатрат на 50 % при использовании частот 915 и 2450 МГц.

В полиграфической промышленности СВЧТК находят широкое применение для сушки печатающих составов, клеев и обложек книг. В этих случаях СВЧТ позволили отказаться от применения нагрева бумаги до 200 - 300 $^{\circ}$С с помощью потоков тепла от открытого пламени или других источников, которые приводят к снижению качества продукции. Кроме того, повысилось качество передачи цветов за счет отсутствия перегрева бумаги и красок. Доля затрат в стоимости печатной продукции была снижена па 30 %.

Текстильная промышленность

СВЧТ применяются в текстильной промышленности для сушки кож и текстильных волокон и направлены на достижение однородности распределения влажности в конечном продукте, снижение энергозатрат, длительности процесса и выхода брака.

Конструкционные материалы.

СВЧ устройства широко используются для сушки конструкционных (дерево, фанера, керамика) и композиционных материалов.

Декаро описал использование в Финляндии установки мощностью 25 кВт, разработанной «Magnetronics» для сушки полов из сосны и березы. В Китае энергию микроволн используют для сушки оконных рам, процент брака при этом снижен с 22 до *2 %,* Установка создана для сушки микроволнами с достаточно медленной скоростью, что приводит к появлению внутренних связей и улучшению качества материала. Этот тип сушки эффективен и с точки зрения уничтожения пасскомых, живущих в древесине.

Репины и пластики.

СВЧТК для сушки полимеров применяются лишь частично, поскольку последние являются неполярными материалами. Преимущество использования микроволн заключается в том, что традиционные методы часто приводят к разрушению продукта или его фазовому преобразованию.

Попытки сушки полимеров были проведены на полиэтилене, полипропилене. Образцы от 5 до 100 грамм облучались на частоте 2,45 ГГц мощностью от 100 до 1000 Вт. Влажность падала с 18 до 1 %, экономия энергии составила 33 %.

Сушка фотопленок – классический пример избирательного нагрева с помощью микроволн. Основы фотопленок, сделанные из полиэстера и ацетата, имеют очень низкие диэлектрические потери, что контрастирует с влажными эмульсиями с большими потерями, которыми они покрываются. СВЧТК, изготовленный фирмой «Production», в своей основе содержал излучающую апертуру и позволял испарять 5 л воды в час с пленки, протягиваемой со скоростью 54 м/мин. Протягивание пленки через волновод не дало таких результатов.

Вулканизация при изготовлении эластомеров.

Эластомеры имеют низкую тепловую проводимость, что требует сложных и дорогостоящих процедур нагрева. Поэтому СВЧТ могут сыграть значительную роль в этой области как носители энергии независимо от тепловых свойств среды.

Диэлектрические потери у резины достаточно высоки, что вызывает их быстрый разогрев с помощью микроволн. Это справедливо для хлоропренов и нитрилов. Для других классов резин быстрый разогрев требует инжектирования, а их состав специальных добавок: черный уголь, облегченные красящие добавки, поляризующие активаторы.

Для вулканизации резин используются два метода, основанные на использовании крупного волновода как канала вулканизации и меандрового волновода, содержащего специальный канал вулканизации. Отметим оригинальные разработки: многоходовые кюветы для вулканизации резиновых труб, запатентованный фирмой «Kai & Jto» вулканизационный туннель с секторными рупорами и излучателями, микроволновый туннель с воздушным обдувом для предотвращения деформации резин, резонансный туннель Бека с альтернативными TE и TM зонами и, наконец, многомодовый туннель, питаемый связанными щелями.

Микроволновая девулканизация.

Девулканизация резины требует разрушения связей, созданных вулканизацией. Основная проблема заключается в том, что температуры девулканизация и деполяризации очень близки (350 и 370 °С). Поэтому СВЧТК, обеспечивающие однородность нагрева и точный контроль температуры, находят широкое применение для реализации данного технологического процесса.

Применение электромагнитной энергия СВЧ и КВЧ диапазонов в медицине и фармакологии.

К настоящему времени имеются обширные результаты, относящиеся к применению электромагнитной энергии СВЧ и КВЧ диапазонов в медицине, в том

числе ветеринарной. Работы по применению методов микроволновых технологий при производстве лекарственных средств развиты в меньшей степени, хотя здесь также имеется ряд областей, в которых использование электромагнитной энергии в технологических процессах представляется весьма перспективным. Рассмотрим кратко указанные приложения.

Наибольшее число работ относится и использованию электромагнитной энергии в терапии, главным образом дли осуществления локальной гипертермии, которая достигается применением УВЧ и СВЧ – полей. Вследствие поглощения энергии температура на границе опухоли и нормальных тканей составляет 42,5 – 43 градуса. В основу положено следующее: опухоль из-за худшего отвода тепла перегревается на 1 -1,5 градуса выше по сравнению с нормальными тканями, что и дает повышение ее чувствительности к лучевой и химиотерапии. К настоящему времени разработана аппаратура для реализации методов локальной и общей гипертермии («Циклон» « Эндотерм», « Яхта» и другие).

Разработаны специальные СВЧ инструменты для хирургии, в которых используется эффект ускоренной коагуляции крови под действием ЭМП СВЧ. К их числу относятся отечественные приборы: установка микроволновая хирургическая Гемостат» (СВЧ – скальпель).

Имеются данные об успешном использовании СВЧ – методов при лечении некоторых заболеваний. Так, при лечении кавернозных и комбинированных гемангиом предложено проводить криоусиление за счет дестабилизации «связанной воды» путем предварительного СВЧ воздействия на область замораживания. СВЧ облучение проводится и физиотерапевтическом режиме в течение 3-5 минут.

Опубликованы также данные об использовании СВЧ методов для стерилизации инструментов и материалов, в том числе изготовленных из пластмасс.

В частности предложен оригинальный метод стерилизации диализных труб методами СВЧ-нагрева. Эффект обеспечивается следующим образом: материалы, подлежащие стерилизации, увлажняются в физиологическом растворе, а затем помешаются в достаточно мощное ЭМП СВЧ диапазона. Под его действием происходит быстрое вскипание физиологического раствора, стерилизация

осуществляется перегретым паром. Ввиду кратковременности облучения, нагрев самих материалов при этом несущественен и не приводит к ухудшению их качества. Предложены СВЧ установки для размораживания биологических материалов, сохраняемых при низких и сверхнизких температурах, например установка микроволновая для отогрева и размораживания биологических объектов «Криотерм-600», «Торий» (г. Москва).

Разработан ряд методов, использующих СВЧ нагрев в ортопедии, в частности для разогрева и формования изделий из пластических масс. Использование электромагнитной энергии позволяет не только существенно ускорить процесс, но и повысить качество изделий путём повышении равномерности нагрева и специфических эффектов воздействия электромагнитных полей на полимерные материалы. Список возможных приложений в медицине можно было бы продолжить. Указанные приложения представляют собой самостоятельную область научных исследований, проводимых совместно представителями таких весьма далеких областей как медицина и радиотехника СВЧ.

Как уже отмечалось» вопросы использования энергии электромагнитных полей СВЧ и КВЧ диапазонов в фармакологии изучены значительно в меньшей степени. Тем не менее, уже в настоящее время можно отметить ряд перспективных приложений. Во-первых, это процессы сушки лекарственного сырья. Достоверно установлено, что использование СВЧ сушки, особенно в сочетании с вакуумной сушкой, позволяет не только в несколько раз сократить сроки сушки, но и обеспечить более высокое качество продукции, в частности, лучшую сохранность в высушенных материалах витаминов, эфирных масел и других важных компонент.

Другую область приложений составляют методы стимуляции биотехнологических процессов воздействием ЭМП миллиметрового диапазона волн.

К настоящему времени наличие указанной стимуляции установлено для групп грибковых и некоторых других микроорганизмов. Использование методов микроволновых технологий может оказаться весьма эффективным средством при сушке, стерилизации широкого круга материалов, используемых в фармакологии. Наконец, указанные методы могут найти применение при обеззараживании отходов фармацевтического производства.

В последние годы внимание исследователей вес чаще обращается на использование энергии ЭМП при проведении химических реакций, в частности при синтезе лекарственных средств. Параллельно с модифицированной бытовой техникой применение в органическом синтезе нашло серийное микроволновое оборудование - микродайджесты. В настоящее время некоторыми фирмами и исследовательскими организациями ведется работа над микроволновым оборудованием, предназначенным для проведения химических синтезов.

Другие применения

В монографии приведены обширные данные о некоторых промышленных применениях, отличающихся от сушки, вулканизации и девулканизации. Эти применения находятся на различных стадиях развития и занимают малый процент от общей доли применения СВЧТ, что, однако, может резко измениться.

К первой группе применений следует отнести полимеры, которые получаются за счет реакции поликонденсации: одни становятся необратимыми под воздействием тепла, вторые получаются с помощью простой полимеризации и размягчаются под воздействием тепла. *К* этой же группе применений следует отнести изготовление композитных материалов, очистку нефти от воды, ремонт асфальта, снятие корки льда.

Ко второй группе относятся процессы, вызывающие отвердевание материалов в процессе нагрева: быстросохнущие заготовки для литья, бетон, ферриты, керамика.

К третьей группе следует отнести изготовление бензо-водяных эмульсий, размельчение руды, бетона и др. Данные СВЧТК основаны на взрыве капель воды, входящей в структуру указанных материалов, путём быстрого нагрева.

К четвертой группе отнесены применения СВЧТК для преобразования веществ вследствие нагрева, например, вещества в растворе, преобразование пиритов и пиротины и удаление их из угля, выделение целлюлозы, лигнина и других веществ из остатков биомассы.

Уже сейчас можно сделать вывод, что в России и странах СНГ проявляется значительная активность в развитии исследований и разработок новых СВЧТ и СВЧТК. Разработки ведутся буквально для всех отраслей народного хозяйства.

В сельском хозяйстве это - стимуляция роста семян, сушка зерна перед закладкой на хранение, дезинфекция кормов, пастеризация молока и лекарственных форм, обеззараживание кормов и отходов животноводческих помещений.

В промышленности это - сушка древесины и изделий из неё, сушка и обработка керамических изделий, обработка с целью ускорения технологического процесса изделий из полимеров, установки получения очищенной воду и установки воздействия на «связанную» воду.

На Украине получены результаты по сушке яблочной выжимки, фруктов, ягод» овощей. На Балаклейском молокозаводе смонтирована установка переработки молочной продукции в казеин.

С целью разработки технологий сушки и обжига изделий, получаемых литьем из шликера, в Научно-исследовательском центре прикладной электродинамики НИЦ ПЮ (КГТУ - КАИ) проведены исследовании, в которых обрабатываемые изделия нагревались непрерывным модулированным полем СВЧ диапазона. Исследования показали, что внедрение разработанной технологии позволит па порядок сократить время предварительной сушки изделий перед обжигом. Кроме того, одновременно можно использовать эту же технологию и для сушки литьевых форм, которые, как правило, изготовляются из гипса и быстро становятся влажными.

Предпосевная обработка семян сельскохозяйственных и лесных культур

Первые опыты по использованию обработки семян электромагнитными полями высоких и сверхвысоких частот были предприняты в 70-е годы.

Первоначально целью такой обработки (ВЧ и СВЧ) ставилось разрушение жесткой оболочки семян. Позднее было обнаружено стимулирующее действие электромагнитной обработки на всхожесть семян некоторых культур.

Многочисленными исследованиями, проведенными как за рубежом, так и в нашей стране к настоящему времени доказана целесообразность проведения

предпосевной обработки различных сельскохозяйственных культур электромагнитными полями высоких и сверхвысоких частот. Результатом проведенных исследовательских работ является выпущенный Российской академией сельскохозяйственных наук документ — «Методические указания по обработке семян сельскохозяйственных культур электромагнитным полем сверхвысокой частоты» (Москва, 1998г).

Применение микроволнового излучения для интенсификации химических реакций

По данной теме была защищена диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук [2] в 2003 году.

В диссертации проведена систематизация 90 микроволновых экспериментов по типам химических превращений. Для сравнения эффективности использования микроволнового нагрева приведены данные по времени протекания реакций и выходу целевых продуктов для микроволнового и термического нагрева.

Ниже приводятся некоторые примеры микроволновых экспериментов.

О-алкилирование

$$CH_3CO_2K + C_8H_{17}Br \longrightarrow CH_3CO_2C_8H_{17} + KBr$$

В реакции алкилирования ацетата калия 1 - бромоктаном выход октилацетата при термическом нагреве (100 °С, 5 ч) с использованием в качестве носителя Al_2O_3 составил 93 %, с использованием SiO_2 – 69,5 %; при микроволновом нагреве (600 Вт, 10 мин) 91 и 82 % соответственно.

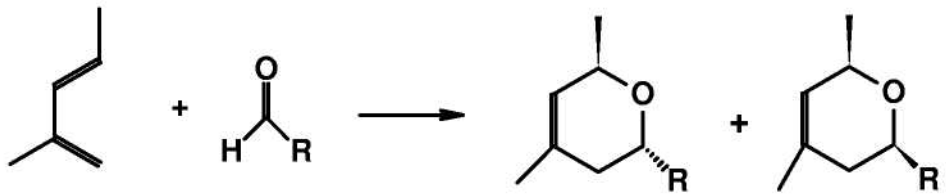
Бензилирование

$$NCC_6H_5ONa + C_6H_5CH_2Cl \longrightarrow NCC_6H_5OCH_2C_6H_5 + NaCl$$

Продолжительность реакции бензилирования 4-цианфеноксида натрия бензилхлоридом с применением микроволнового нагрева в закрытой системе

сокращена в 240 раз. Авторы данной работы нашли способ сократить продолжительность реакции в 1240 раз по сравнению с термическим способом: с 12 ч до 35 сек. с получением 65 % выхода 4-цианфенилбензилового эфира. Поскольку давление в реакционном сосуде обратно пропорционально его объему, то скорость реакции возрастает с уменьшением объема сосуда.

Гетероциклизация



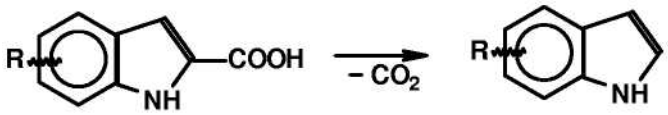
Изучена реакция присоединения 2-оксометилацетата и 2,2-диметоксиэтаналя к 2-метилпента-1,3-диену. Продукт реакции представляет собой смесь транс/цис-дигидропиранов в соотношении 25/75. Интересен тот факт, что удалось получить высокие выходы целевых продуктов при использовании микроволнового излучения очень низкой мощности. Реакции в присутствии или отсутствии растворителя и катализатора в каждом случае протекали лучше при микроволновом нагреве (табл. 1).

Таблица 1

Выход смеси *транс/цис* – дигидропиранов при различных условиях реакции

Заместитель	Раствори-тель/катализа-тор	МВИ			Термический на-грев, 140 °С	
		Мощность, Вт	Время, мин	Выход, %	Время, мин	Выход, %
R=CH_2Ome	BeH3cui/$ZnCl_2$	600	5	82	240	0
R=CH_2Ome	Вода/ZnCl	600	15	76	480	54
R=CH_2Ome	—	600	15	54	600	48
R=CO_2Me	—	72	10	96	360	65
R=CO_2Me	Вода	72	8	80	180	82

Декарбоксилирование



Исследована реакция декарбоксилированием индол-2-карбоновых кислот в микроволновой системе под давлением.

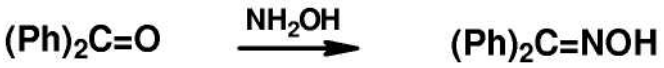
Получены высокие выходы индолов (табл. 2), при этом время реакции сокращено в 2 раза по сравнению с термическим нагревом.

Таблица 2

Выход индола в зависимости от вида заместителя

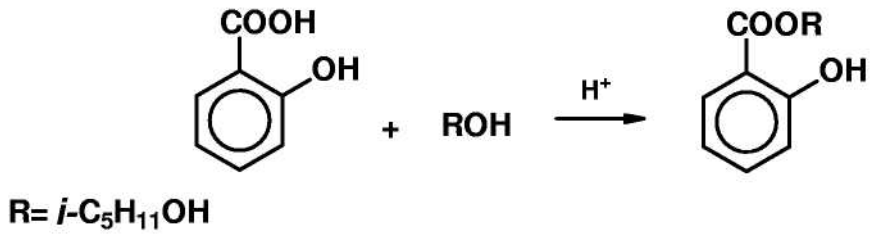
R	Выход индола, %
H	95
4-MeO	97
6-MeO	99
5-MeO	100
5-F	96
6-F	91

Оксимирование



В закрытой микроволновой системе результаты реакции таковы: продолжительность 2 мин, выход бензофенонoксима 71 %. Результаты термического нагрева: 2 ч, 68 %. Таким образом, с использованием микроволнового излучения время реакции уменьшено в 60 раз. В микроволновом реакторе непрерывного действия реакция протекает еще более эффективно: за 1,5 мин выход бензофенонoксима составляет 93 %.

Этерификация



Исследована этерификация салициловой кислоты изоамиловым спиртом в мономодовом реакторе в открытой системе. При идентичных составах реакционных смесей и выходе изоамилсалицилата продолжительность синтеза при термическом нагреве в 2 раза превышает продолжительность синтеза с использованием микроволнового нагрева.

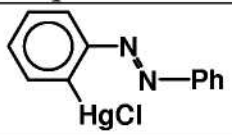
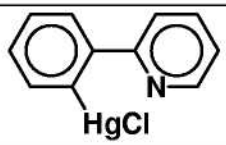
Микроволновый синтез металлоорганических и неорганических соединений

Много работ в микроволновой химии посвящено использованию микроволнового нагрева в синтезе металлоорганических соединений. Ряд металлоорганических комплексов синтезирован в герметичных тефлоновых сосудах (табл. 3).

Ряд димеров Rh(I) и Ir(I), широко используемых в металлоорганическом синтезе, был получен с высокими выходами при нагреве микроволнами продолжительностью менее 1 мин, в то время как при термическом нагреве эти синтезы идут в течение 4-36 ч.

Таблица 3

Результаты синтеза металлоорганических соединений с использованием термического нагрева и МВИ

Продукт реакции	МВИ		Термический нагрев	
	Время, мин	Выход, %	Время, ч	Выход, %
	30	33	22	40
	47	29	24	36
$PhBiCl_2$	6	46	3-4	30-68

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОВОЛОНОВОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

4. Использованные образцы, оборудование и принципы измерений.

Проводилась микроволновая обработка водонефтяных эмульсий разных концентраций (10% ,20%, 30%, 40%, 50% воды в нефти). Кроме эмульсии производили обработку отдельно воды и нефти с разными массами (25, 35 ,45, 55 грамм).

Свойства использованной нефти.

Для изготовления эмульсий использовалась нефть Коробковского месторождения, Волгоградской области, скважина № 624 (бобриковский горизонт).

Коробковское месторождение [9], открытое в 1951 году, находится в пределах Иловлинско - Терсинской седловины по отложениям каменноугольной системы и представляет собой антиклинальное поднятие, слегка вытянутое в северо-восточном направлении, ассиметричное: с более крутым юго-восточным крылом.

Месторождение многопластовое. Промышленные залежи газа выявлены в песчаных отложениях байосского яруса и верейского горизонта, в известняках среднего и нижнего карбона (башкирского и намюрского ярусов). Нефтегазовые залежи выявлены в песчаных отложениях башкирского яруса и бобриковского горизонта и известняках турнейского яруса; притоки нефти были получены также из известняков башкирского и намюрского ярусов и евлано-лиенских слоёв.

Основным продуктивным горизонтом является бобриковский. Коллекторами нефти в нём является песчаники мелко- и среднезернистые, слабосцементированные, которые разделяются на несколько прослоев пропластками глин и аргиллитов. В западной и юго-западной частях структуры песчаные прослои сливаются в монолитный пласт. Наибольшее значение пористости составляет 20 - 30 %.

Пластовые нефти бобриковского горизонта и турнейского яруса легкие, очень маловязкие и содержат большое количество растворённого газа. Нефть верхнебашкирского горизонта также маловязкая, но она содержит в 2 раза меньше газа, имеет большие значения плотности и вязкости, чем нефть бобриковского горизонта.

Горизонт, ярус	$P_{пл}$	$t_{пл}$	$P_{нас}$	G	G'	b	$\rho_н$	μ	β	α	n
Верхнебашкирский	11,9	46	11,8	71,1	84,1	1,17	0,774	1,1	12,8	6,2	2
Бобриковский	17,9	56	17,6	135	165	1,41	0,726	0,5	15,0	7,7	5
Турнейский	17,5	50	17,1	138,3	168,3	1,39	0,712	0,4	16,1	8,1	1

По одной пробе, отобранной из залежи бобриковского горизонта (скважина № 30), была определена величина температуры насыщения пластовой нефти парафином. Определения выполняли на приборах, созданных в ВолгоградНИПИнефти с использованием оптического и ультразвукового методов. При давлении насыщения 17,5 МПа среднее значение температуры насыщения пластовой нефти парафином оказалось равным 56 ºС, что соответствует среднему значению температуры в залежи.

Растворённые в нефтях газы жирные, содержат много гомологов метана. Количество гомологов метана в газах увеличивается с глубиной стратиграфического залегания нефти от 19,7 % в верхнебашкирском горизонте до 32,7 % в турнейском ярусе. Углекислый газ и азот содержится в газах в незначительных количествах.

Горизонт, ярус	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	C_5H_{12}+*высшие*	CO_2	N_2+*редкие*	$\rho_г$
Верхнебашкирский	79,7	4,4	6,6	5,4	3,3	0,3	0,3	0,942
Бобриковский	72,4	6,1	9,6	7,3	4,4	0,2	нет	1,073
Турнейский	65,2	8,4	8,4	6,7	9,2	0,5	1,6	1,202

Дегазированные нефти лёгкие, маловязкие, парафиновые (вид $П_2$); с высоким выходом светлых фракций. Нефть верхнебашкирского горизонта, в отличии от

нефтей бобриковского горизонта и турнейского яруса, сернистая (класс II) и смолистая, имеет более высокую плотность.

Гоизонт, ярус	*Верхнебашкирский*	*Бобриковский*	*Турнейский*
Плотность, г/см^3	**0,845**	**0,812**	**0,820**
Содержание, вес. %			
парафинов	**2,0**	**2,2**	**2,6**
серы	**0,9**	**0,3**	**0,2**
асфальтенов	**2,0**	**0,4**	**-**
смол селикагелевых	**11,0**	**7,3**	**-**
Вязкость, мПа*с			
при 20 ºС	**13,1**	**5,4**	**5,2**
при 50 ºС	**5,4**	**2,8**	**2,8**
Температура, ºС			
застывания	**Ниже -20**	**Ниже -18**	**Ниже -18**
начала кипения	**80**	**60**	**60**
Фракционный состав, %			
до 150 ºС	**12**	**25**	**24**
до 200 ºС	**25**	**36**	**36**
до 300 ºС	**53**	**60**	**60**

Плотность нашей нефти определили с помощью пикнометра и электронных весов. Зная заранее определённый объем пикнометра, нашли массу нефти заданного объёма нефти. Далее путём простых математических действий, разделив массу нефти на объём, получили плотность данной нефти $\rho_{нефти}$=832 кг/м^3.

Свойства использованной воды.

В качестве воды использовалась дистиллированная вода, полученная по ГОСТ 6709-92.

Методика приготовления образцов.

Приготовление эмульсии проводилось в отдельной банке. Так как часть приготовленной эмульсии оставалась на стенках банки, то приготавливали не запланированные 50 грамм, а 60 грамм. При этом концентрация компонентов эмульсии бралась из расчёта процентного содержания. Т.е. для приготовления 50 граммов 10 % эмульсии вода-нефть, необходимо было использовать 6 грамм воды и 54 грамма нефти. После взбалтывания 60 грамм смеси на электронных весах отмерялось 50 грамм получившейся 10 % эмульсии вода-нефть.

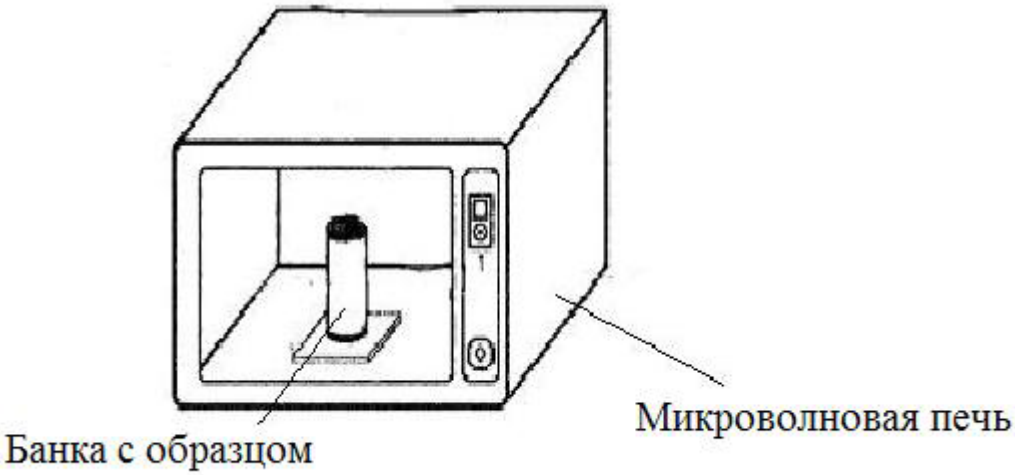
Взбалтывание смеси воды с нефтью проводили в течение 15 минут путём совместных вращательных и вертикальных возвратно-поступательных движений банки.

Использованное оборудование.

После приготовления образца массой 50 грамм, производили микроволновую обработку. Для этого использовали микроволновую печь Elenberg Microwave Oven MS-1700M (рис.1) со следующими характеристиками:

- Потребляемая мощность: 230В, 50 Гц, 1200 Вт
- Выходная мощность: 700 Вт
- Частота излучения: 2450 Гц

Рисунок 1



Так как используемая микроволновая печь не инверторного типа, т.е. с излучателем постоянной мощности, следовательно, для медленного нагрева образца, пришлось выбрать следующий характер работы печи.

На панели управления микроволновой печи был выбран режим соответствующий, по паспортным характеристикам, 17 % мощности излучателя.

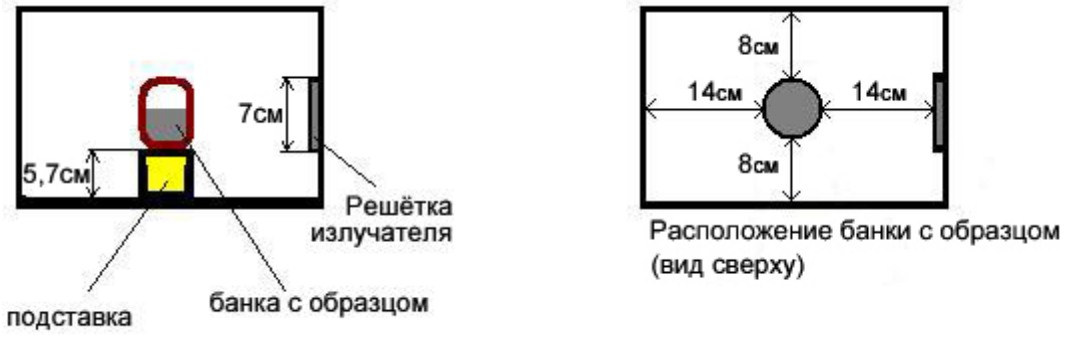
С помощью секундомера было установлено, что в течение 30 секунд работы микроволновой печи на этом режиме, излучатель осуществляет работу в течение 6 секунд. После он отключается на 24 секунды.

Следовательно, было принято решение осуществлять обработку на режиме 17% мощности в следующем порядке работы излучателя: 12 секунд при выключенном излучателе, 6 секунд работы излучателя, 12 секунд при выключенном излучателе. Таким образом, период работы между измерения составляет 30 секунд.

Определившись с режимом работы микроволновой печи для проведения обработки, выбрали сосуд, в котором производили обработку и его место расположения внутри печи. В качестве сосуда была выбрана стеклянная банка объёмом 100 мл, а её место расположения в печи выбрано из соображений максимального воздействия микроволн.

Для этого банка с образцом эмульсии располагалась в центре печи напротив излучателя (рис.2)

Рисунок 2



Такое расположение строго соблюдалось при проведении всех измерений.

Методика проведения измерений.

Обработку образцов производили с начальной температуры 20 градусов. После проведения обработки, банку с образцом вынимали из микроволновой печи и в течение 30 секунд производили измерение температуры ртутным термометром, опуская термометр на глубину 1 см в центр банки с образцом.

Каждое следующее измерение производили, используя образец с начальной температурой 20 градусов и увеличивая общее время воздействия на него на 30 секунд.

Для минимизации потерь происходящих при нагревании образцов, при каждой обработке сверху банка накрывалась пластиковой пластиной.

5. Экспериментальная часть

Сначала было проведена обработка чистой воды и нефти разной массы. Для нефти было выбраны следующие массы 25, 35, 45, 55 грамм, а для воды 25, 35, 45, 50, 55 грамм. Далее была проведена обработка водонефтяных эмульсий с концентрациями воды в нефти 10%, 20%, 30%, 40%, 50%. Далее, с помощью программы EasyPlot 4.00, были построены зависимости величины температуры от времени воздействия для нефти (рис.3) и воды (рис.4).

Рисунок 3

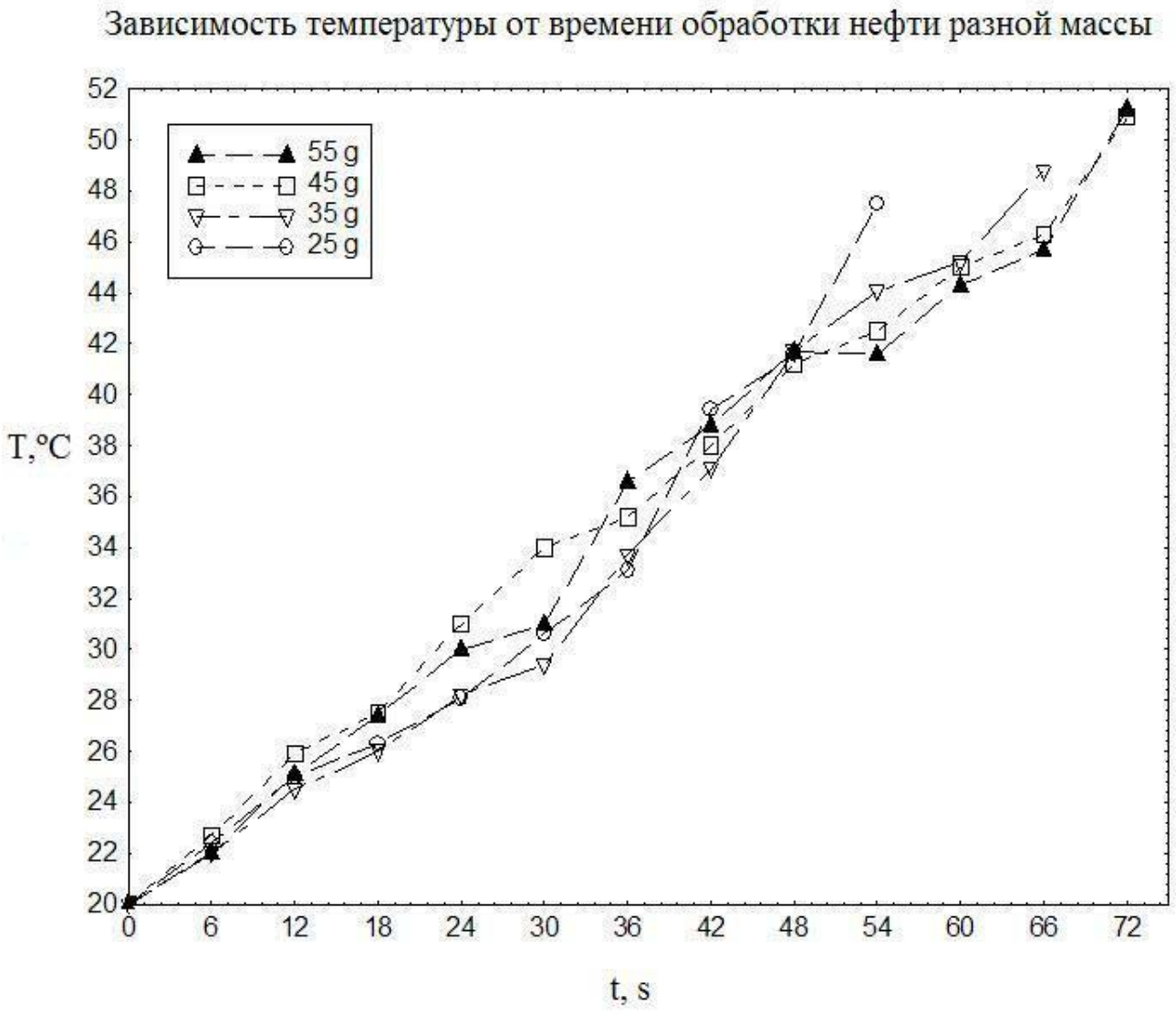
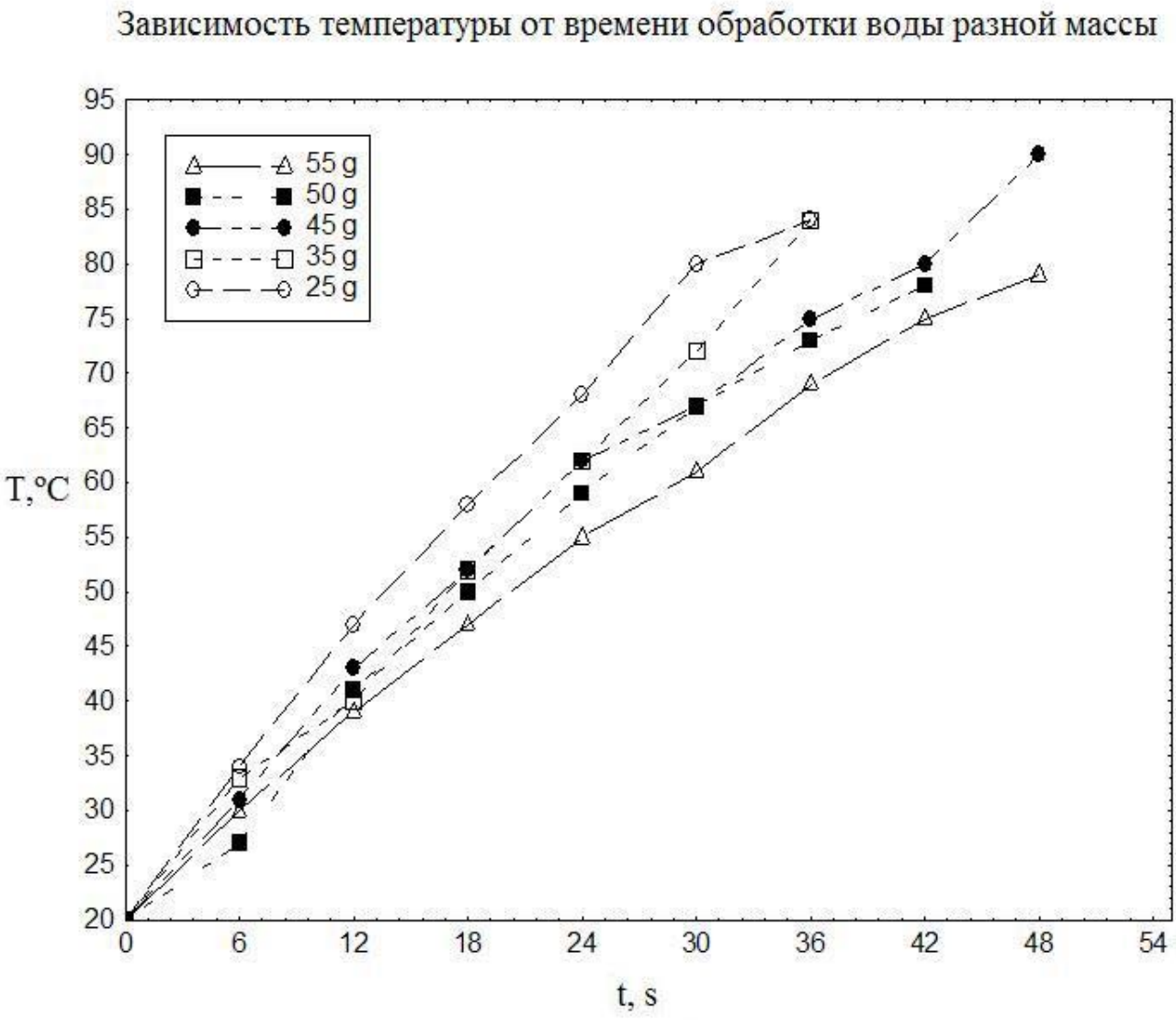


Рисунок 4



По первому графику видно, что зависимости температур от времени обработки для нефти разной массы лежат в пределах погрешностей измерений, и поэтому, для простоты обработки данных, построим среднюю зависимость температуры от времени обработки.

На втором графике виден небольшой разброс точек в кривых зависимостей температуры от времени обработки для разных масс образцов. Такое поведение

кривых можно объяснить потерями тепла во время измерения температуры, вследствие большой теплоотдачи воды. Следовательно, пренебрегая разбросом точек, можно также построить среднюю зависимость температуры от времени обработки и для воды.

Строим средние кривые зависимостей температуры от времени обработки для нефти (рис.5) и для воды (рис.6).

Рисунок 5

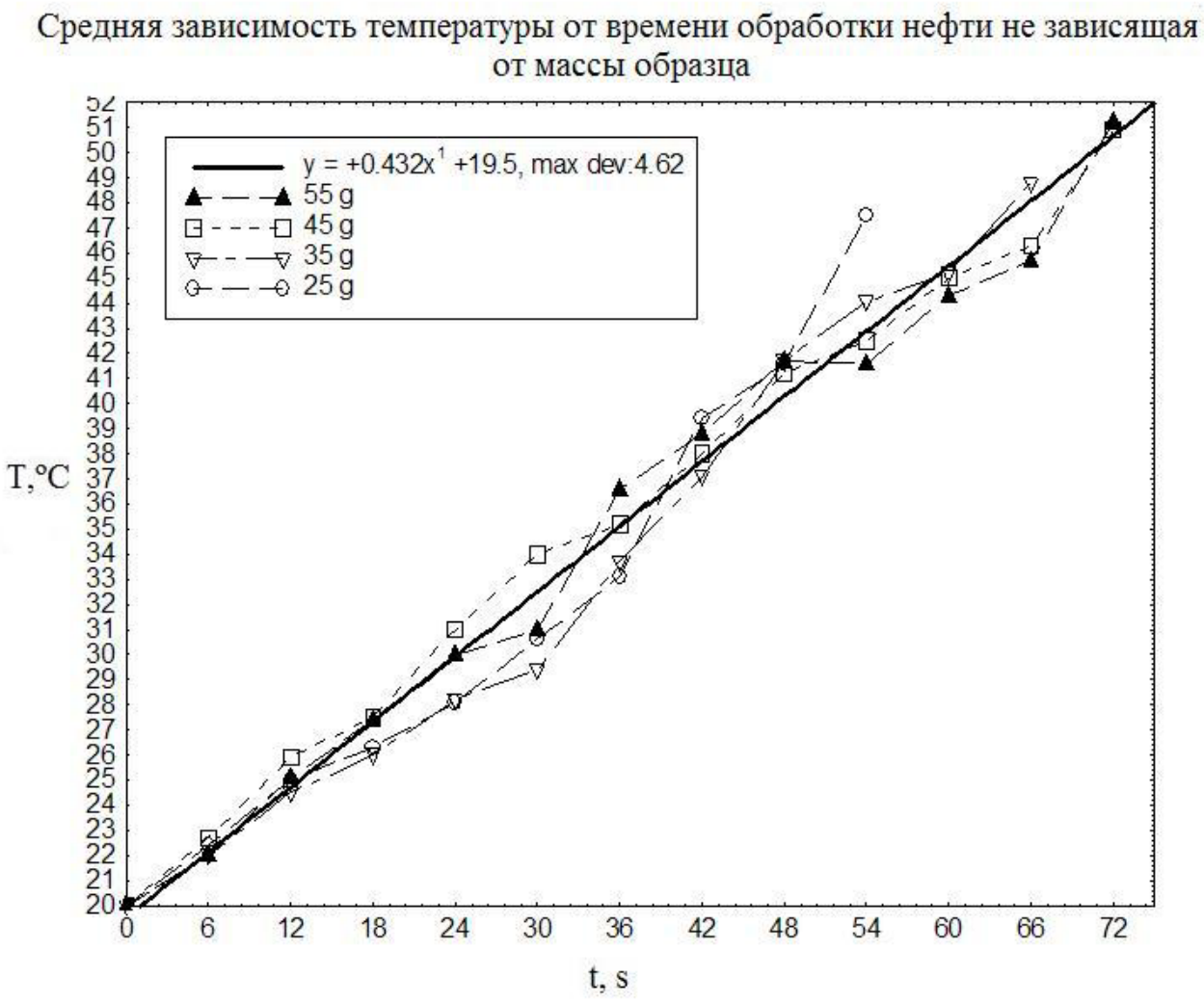
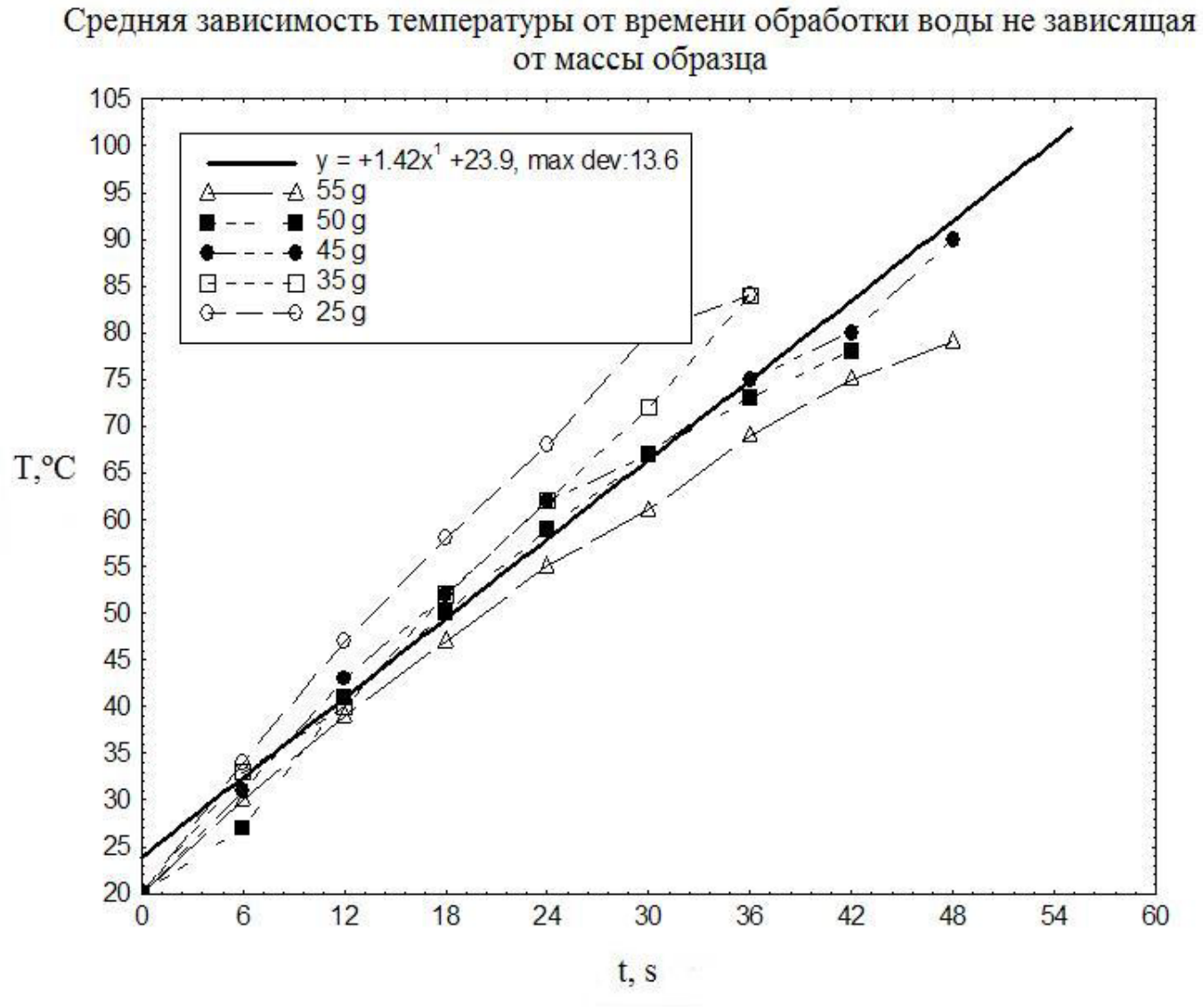


Рисунок 6


Средняя зависимость температуры от времени обработки воды не зависящая от массы образца
y = +1.42x^1 +23.9, max dev:13.6
55 g
50 g
45 g
35 g
25 g
T,°C
t, s
105
100
95
90
85
80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
0
6
12
18
24
30
36
42
48
54
60

6. Расчётная часть

Полученная зависимость для нефти подчиняется уравнению:

$$y = 0{,}432 \cdot x + 19{,}5 \qquad (1)$$

Зависимость для воды подчиняется уравнению:

$$y = 1{,}42 \cdot x + 23{,}9 \qquad (2)$$

1. Найдём величину мощности поглощённой в единице объёма $N_н$ ($\frac{кДж}{с \cdot м^3}$)

$$N_н = \rho_н \cdot C_н \cdot \frac{dT}{dt}$$

Плотность нефти найдена ранее $\rho_н$=832 кг/м^3.

Теплоёмкость нефти найдём с помощью формулы [8]:

$$C_н = \frac{107{,}325 \cdot (496{,}8 + t)}{\sqrt{\rho_н}}$$, где t=20°C

$$C_н = \frac{107{,}325 \cdot (496{,}8 + 20)}{\sqrt{832}} = \frac{55465{,}56}{28{,}8444} = 1922{,}922994 \frac{Дж}{кг \cdot °C}$$

Изменение температуры $\frac{dT}{dt}$ найдём из уравнения (1):

Если *x(t)* = 10, то *y(T)* = 0,432*10 +19,5 = 4,32+19,5 = 23,82

dT = 23,82-$t_{нач}$ = 23,82-19,5 = 4,32, тогда $\frac{dT}{dt} = \frac{4{,}32}{10} = 0{,}432$

Тогда величина мощности поглощенной в единице объёма для нефти равна:

$$N_н = \rho_н \cdot C_н \cdot \frac{dT}{dt} = 832 \cdot 1922{,}923 \cdot 0{,}432 = 691144{,}6764 \frac{Дж}{с \cdot м^3} = 691{,}11446764 \frac{кДж}{с \cdot м^3}$$

2. Найдём величину мощности поглощённой в единице объёма для воды

$$\boldsymbol{N}_в \left(\frac{кДж}{с \cdot м^3}\right)$$

$$\boldsymbol{N}_в = \rho_в \cdot C_в \cdot \frac{dT}{dt}$$

Плотность воды $\rho_в$=1000 кг/м^3

Теплоёмкость воды известна $C_в$=4200 $\frac{Дж}{кг \cdot °C}$

Изменение температуры $\frac{dT}{dt}$ найдём из уравнения (2):

Если $x(t)$ = 10, то $y(T)$ = 1,42*10 = 14,2+23,9= 38,1

dT = 38,1-$t_{нач}$ = 38,1-23,9 = 14,2, тогда $\frac{dT}{dt} = \frac{14,2}{10} = 1,42$

Величина мощности поглощённой в единице объёма для воды равна:

$$\boldsymbol{N}_в = \rho_в \cdot C_в \cdot \frac{dT}{dt} = 1000 \cdot 4200 \cdot 1,42 = 5964000 \frac{Дж}{с \cdot м^3} = 5964 \frac{кДж}{с \cdot м^3}$$

Зная величину мощности поглощённой в единице объёма для нефти и воды, воспользуемся правилом аддитивности величин и посчитаем теоретические мощности для смесей воды и нефти с концентрацией воды в нефти 10%, 20%, 30%, 40%, 50%.

10% В-Н

$$\boldsymbol{N}_{10\%_{В-Н}} = 0,1 \cdot N_в + 0,9 \cdot N_н = 0,1 \cdot 5964 + 0,9 \cdot 691,11446764 =$$

$$= 596,4 + 622,003 = 1218,403 \frac{кДж}{с \cdot м^3}$$

20% В-Н

$$\boldsymbol{N}_{20\%_{В-Н}} = 0{,}2 \cdot N_{в} + 0{,}8 \cdot N_{н} = 0{,}2 \cdot 5964 + 0{,}8 \cdot 691{,}11446764 =$$
$$= 1192{,}8 + 552{,}8915 = 1745{,}6915 \frac{кДж}{с \cdot м^{3}}$$

30% В-Н

$$\boldsymbol{N}_{30\%_{В-Н}} = 0{,}3 \cdot N_{в} + 0{,}7 \cdot N_{н} = 0{,}3 \cdot 5964 + 0{,}7 \cdot 691{,}11446764 =$$
$$= 1789{,}2 + 483{,}78 = 2272{,}98 \frac{кДж}{с \cdot м^{3}}$$

40% В-Н

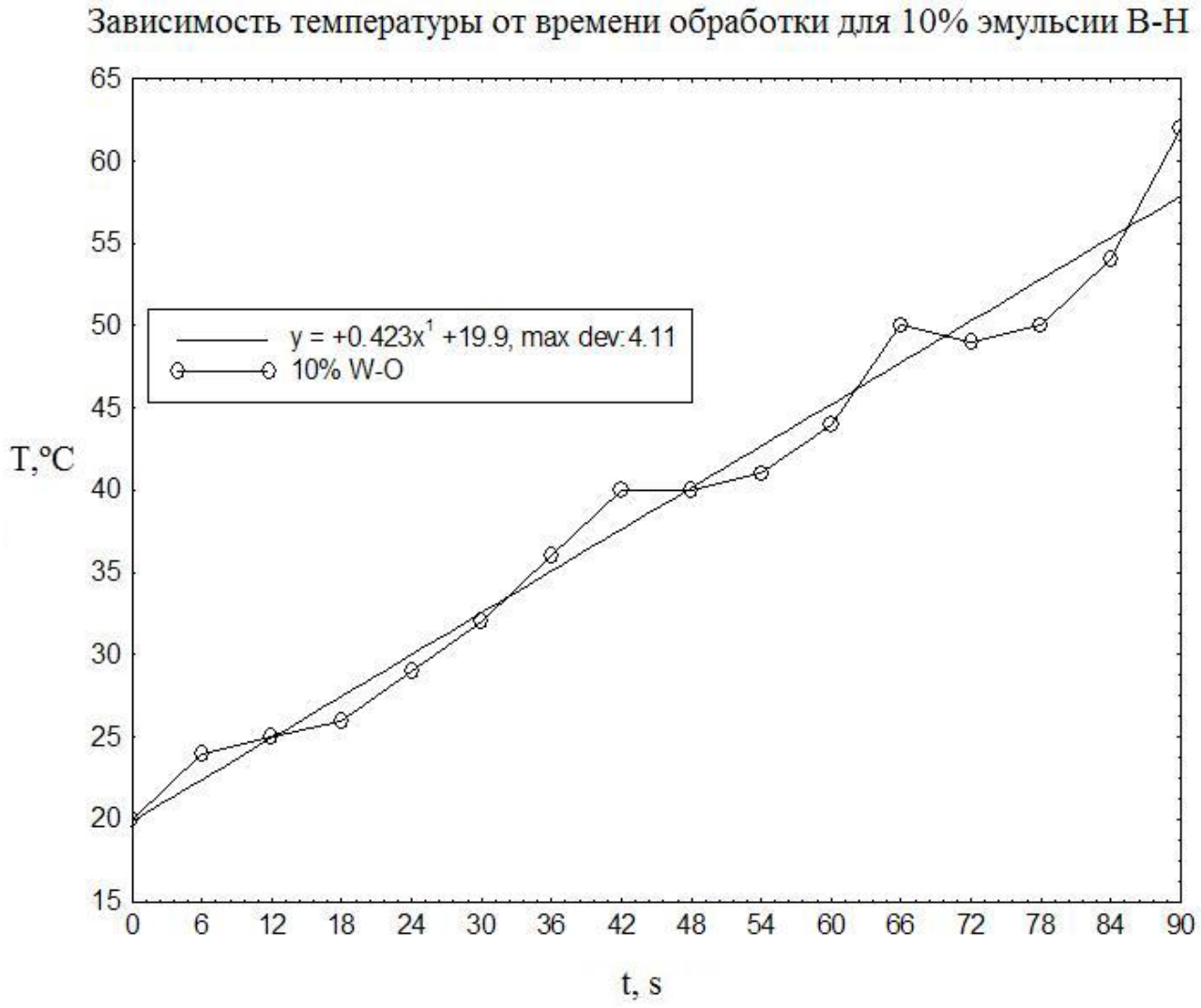
$$\boldsymbol{N}_{40\%_{В-Н}} = 0{,}4 \cdot N_{в} + 0{,}6 \cdot N_{н} = 0{,}4 \cdot 5964 + 0{,}6 \cdot 691{,}11446764 =$$
$$= 2385{,}6 + 414{,}6686 = 2800{,}27 \frac{кДж}{с \cdot м^{3}}$$

50% В-Н

$$\boldsymbol{N}_{50\%_{В-Н}} = 0{,}5 \cdot N_{в} + 0{,}5 \cdot N_{н} = 0{,}5 \cdot 5964 + 0{,}5 \cdot 691{,}11446764 =$$
$$= 2982 + 345{,}557 = 3327{,}557 \frac{кДж}{с \cdot м^{3}}$$

3. Построим зависимости температуры от времени обработки для эмульсий разных концентраций (10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %) и найдём величину мощности поглощённой в единице объёма для этих концентраций.

1) 10 % В-Н



Найдём величину мощности поглощённой в единице объёма для 10 % эмульсии $N_{10\%_{B-H}}(\frac{кДж}{с \cdot м^3})$

$$N_{10\%_{B-H}} = \rho_{10\%_{B-H}} \cdot C_{10\%_{B-H}} \cdot \frac{dT}{dt}$$

$$\rho_{10\%_{B-H}} = 0{,}9 \cdot \rho_н + 0{,}1 \cdot \rho_в = 0{,}9 \cdot 832 + 0{,}1 \cdot 1000 = 748{,}8 + 100 = 848{,}8 \frac{кг}{м^3}$$

$$C_{10\%_{B-H}} = 0{,}9 \cdot C_н + 0{,}1 \cdot C_в = 0{,}9 \cdot 1992{,}923 + 0{,}1 \cdot 4200 = 1793.6307 + 420 = 2213{,}6307 \frac{Дж}{кг \cdot °C}$$

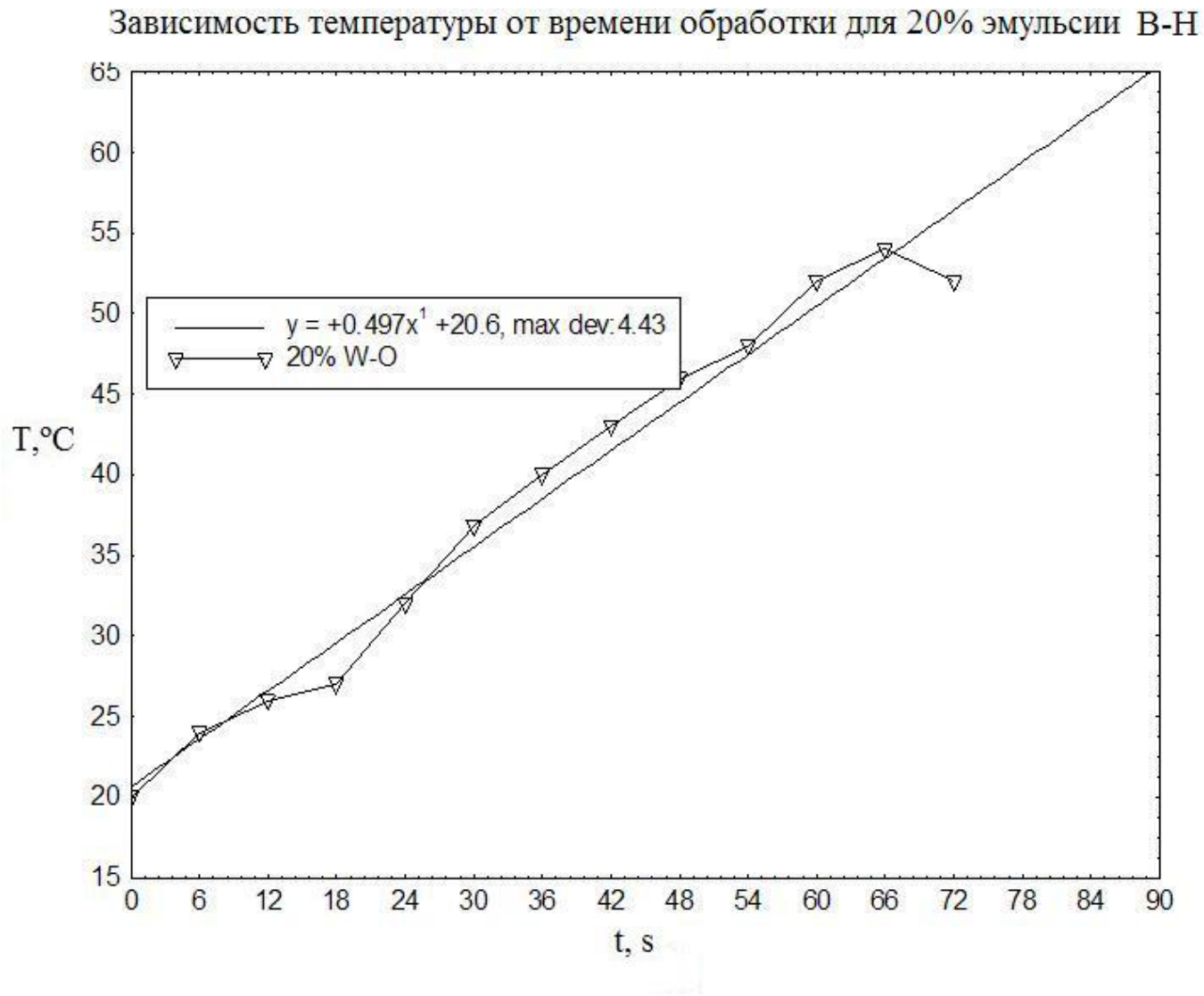
$$\frac{dT}{dt} = 0{,}423$$

Величина мощности поглощённой в единице объёма для 10% эмульсии равна:

$$\boldsymbol{N}_{10\%_{B-H}} = \rho_{10\%_{B-H}} \cdot C_{10\%_{B-H}} \cdot \frac{dT}{dt} = 848{,}8 \cdot 2213{,}6307 \cdot 0{,}423 =$$

$$= 794787{,}2793 \frac{Дж}{с \cdot м^3} = 794{,}7873 \frac{кДж}{с \cdot м^3}$$

2) 20% В-Н



Найдём величину энергии поглощения для 20% эмульсии $N_{20\%_{B-H}}(\frac{кДж}{с \cdot м^3})$

$$\boldsymbol{N}_{20\%_{B-H}} = \rho_{20\%_{B-H}} \cdot C_{20\%_{B-H}} \cdot \frac{dT}{dt}$$

$$\rho_{20\%_{B-H}} = 0{,}8 \cdot \rho_н + 0{,}2 \cdot \rho_в = 0{,}8 \cdot 832 + 0{,}2 \cdot 1000 = 665{,}6 + 200 = 865{,}6 \frac{кг}{м^3}$$

$$C_{20\%_{B-H}} = 0{,}8 \cdot C_н + 0{,}2 \cdot C_в = 0{,}8 \cdot 1992{,}923 + 0{,}2 \cdot 4200 = 1594{,}338 + 840 = 2434{,}338 \frac{Дж}{кг \cdot °C}$$

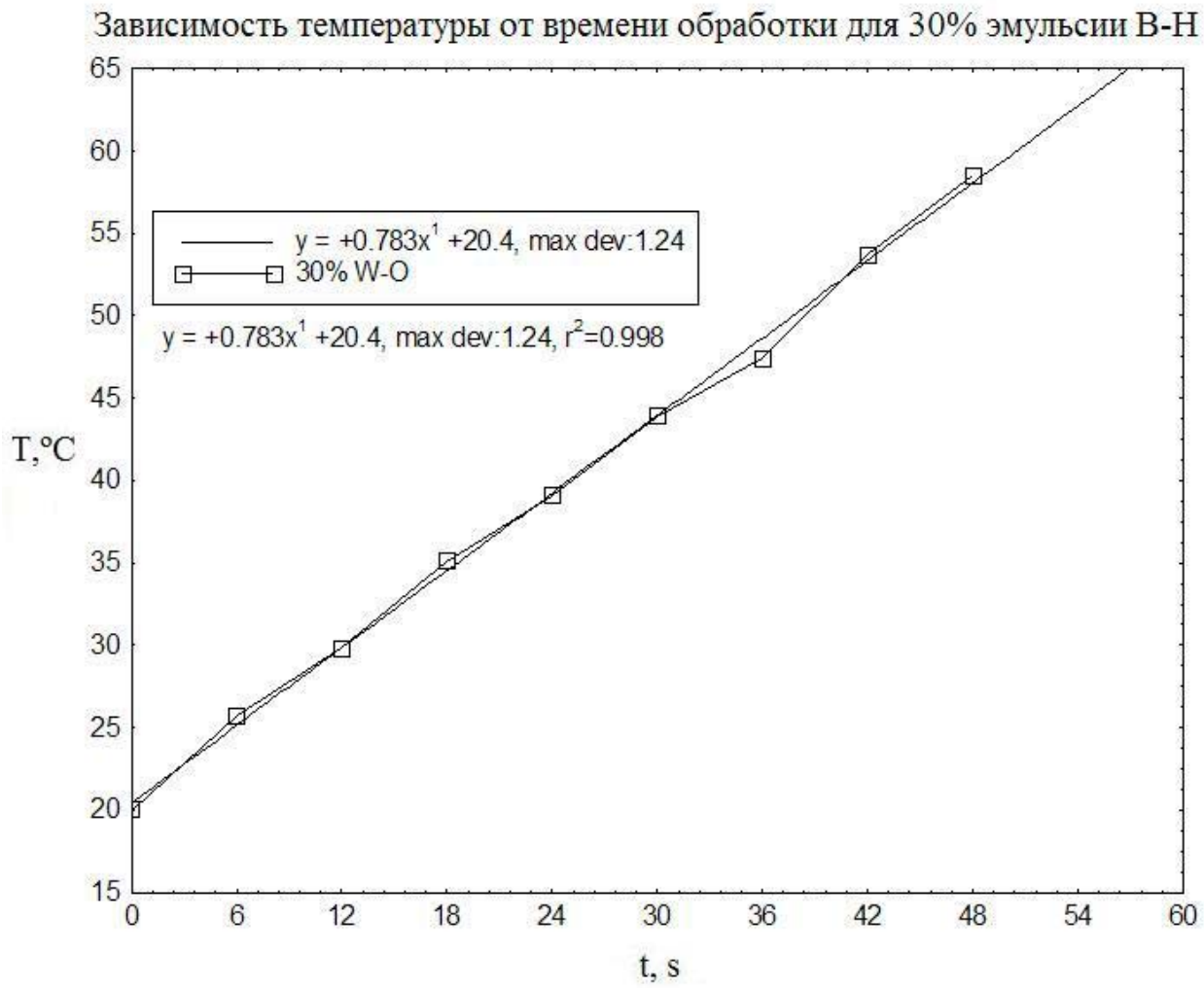
$$\frac{dT}{dt} = 0{,}497$$

Величина энергии мощности поглощённой в единице объёма для 20% эмульсии равна:

$$\boldsymbol{N}_{20\%_{B-H}} = \rho_{20\%_{B-H}} \cdot C_{20\%_{B-H}} \cdot \frac{dT}{dt} = 865{,}6 \cdot 2434{,}338 \cdot 0{,}497 =$$

$$= 1047259{,}998 \frac{Дж}{с \cdot м^3} = 1047{,}259998 \frac{кДж}{с \cdot м^3}$$

3) 30% В-Н



Найдём величину мощности поглощённой в единице объёма для 30% эмульсии

$$\boldsymbol{N}_{30\%_{В-Н}}\left(\frac{кДж}{с\cdot м^3}\right)$$

$$\boldsymbol{N}_{30\%_{В-Н}}=\rho_{30\%_{В-Н}}\cdot C_{30\%_{В-Н}}\cdot\frac{dT}{dt}$$

$$\rho_{30\%_{В-Н}}=0{,}7\cdot\rho_{н}+0{,}3\cdot\rho_{в}=0{,}7\cdot 832+0{,}3\cdot 1000=582{,}4+300=882{,}4\frac{кг}{м^3}$$

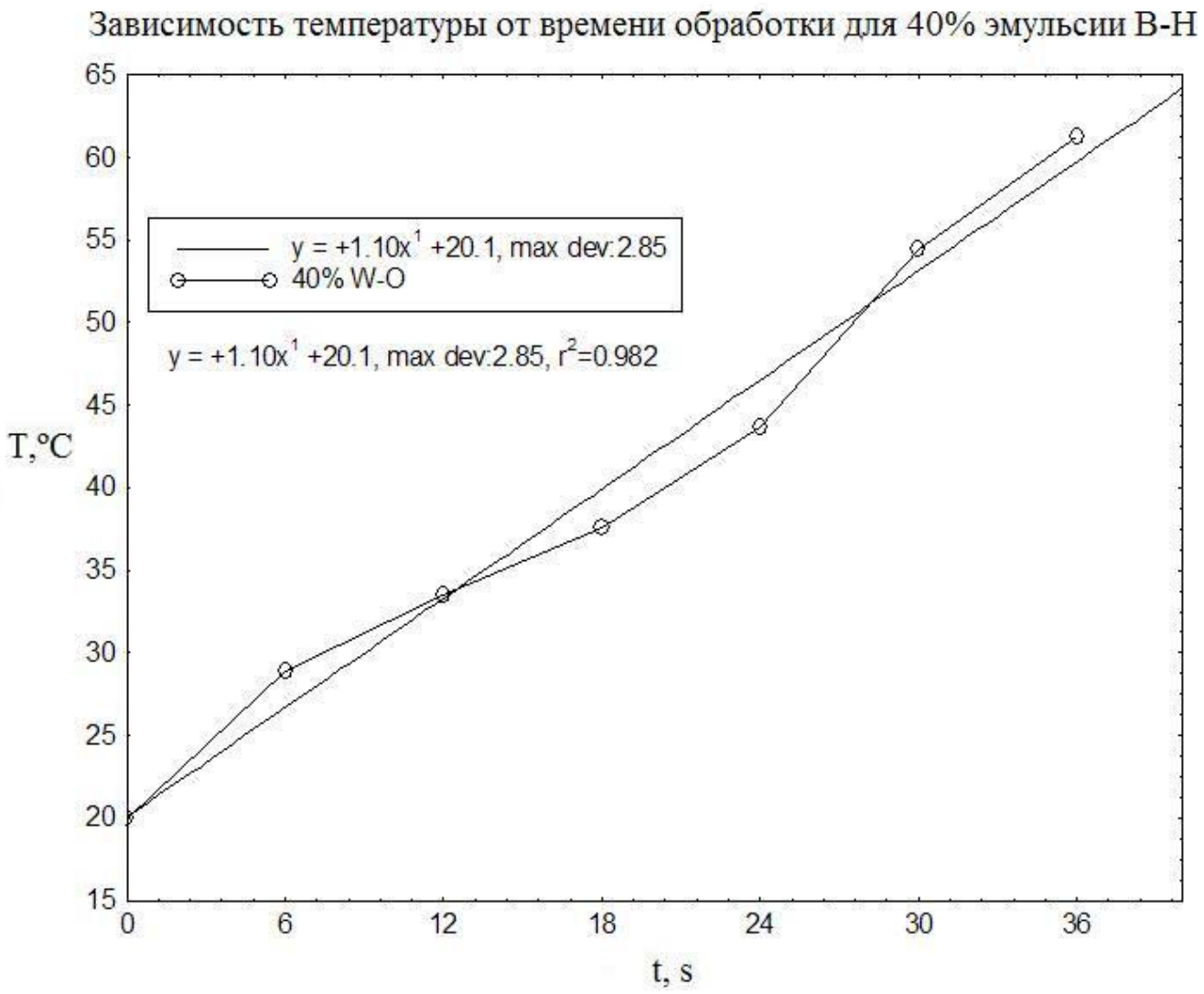
$$C_{30\%_{В-Н}}=0{,}7\cdot C_{н}+0{,}3\cdot C_{в}=0{,}7\cdot 1992{,}923+0{,}3\cdot 4200=1396{,}0461+1260=2656{,}0461\frac{Дж}{кг\cdot{}^{\circ}C}$$

$$\frac{dT}{dt}=0{,}783$$

Величина энергии поглощения для 30% эмульсии равна:

$$\boldsymbol{N}_{30\%_{В-Н}}=\rho_{30\%_{В-Н}}\cdot C_{30\%_{В-Н}}\cdot\frac{dT}{dt}=882{,}4\cdot 2656{,}0461\cdot 0{,}783=$$
$$=1835113{,}247\frac{Дж}{с\cdot м^3}=1835{,}113\frac{кДж}{с\cdot м^3}$$

4) 40% В-Н



Найдём величину мощности поглощённой в единице объёма для 40% эмульсии

$$N_{40\%_{B-H}}\left(\frac{кДж}{с\cdot м^3}\right)$$

$$N_{40\%_{B-H}} = \rho_{40\%_{B-H}} \cdot C_{40\%_{B-H}} \cdot \frac{dT}{dt}$$

$$\rho_{40\%_{B-H}} = 0{,}6\cdot\rho_н + 0{,}4\cdot\rho_в = 0{,}6\cdot 832 + 0{,}4\cdot 1000 = 499{,}2 + 400 = 899{,}2\frac{кг}{м^3}$$

$$C_{40\%_{B-H}} = 0{,}6\cdot C_н + 0{,}4\cdot C_в = 0{,}6\cdot 1992{,}923 + 0{,}4\cdot 4200 = 1195{,}7538 + 1680 = 2875{,}7538\frac{Дж}{кг\cdot °C}$$

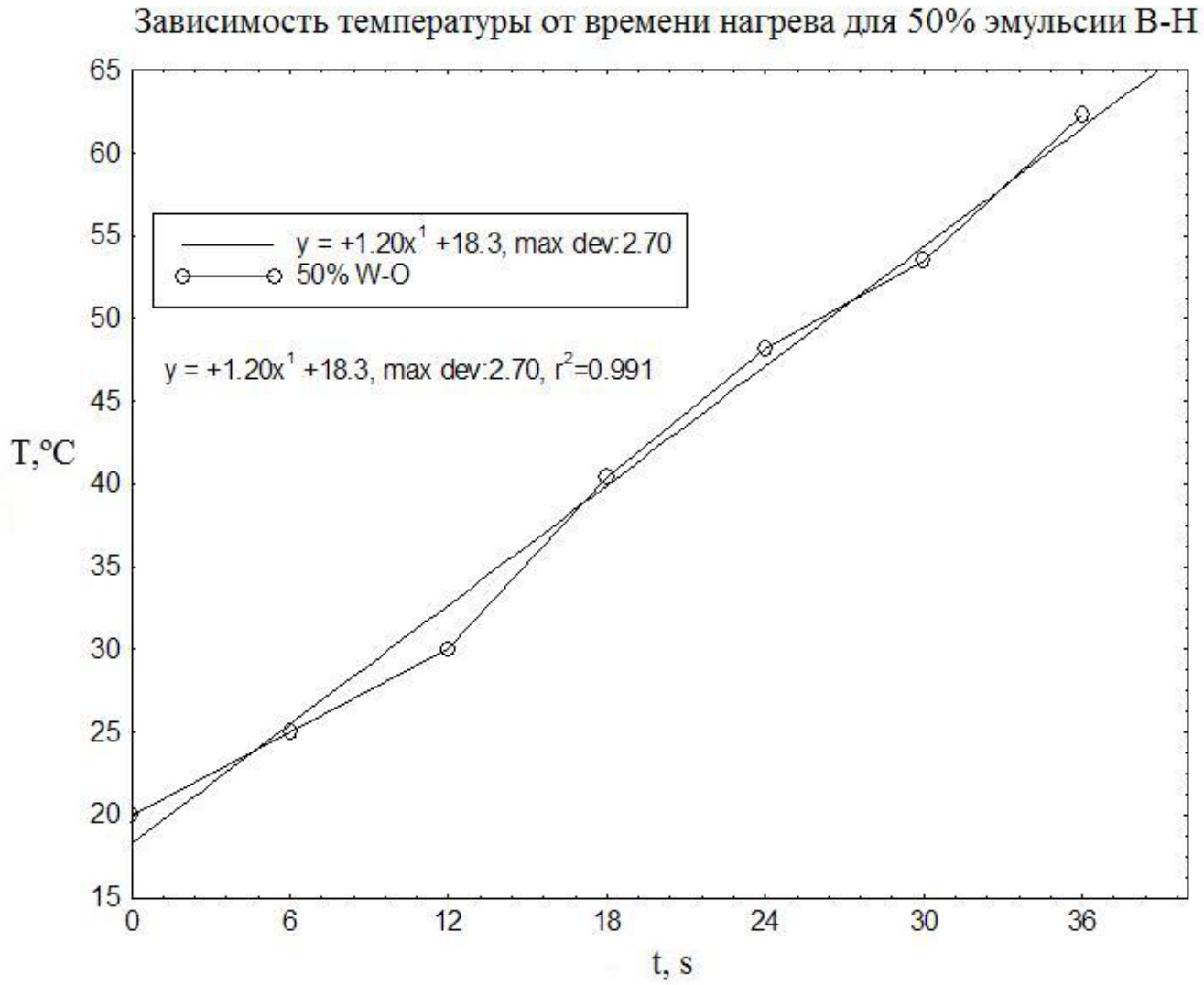
$$\frac{dT}{dt} = 1,10$$

Величина мощности поглощённой в единице объёма для 40% эмульсии равна:

$$N_{40\%_{B-H}} = \rho_{40\%_{B-H}} \cdot C_{40\%_{B-H}} \cdot \frac{dT}{dt} = 882,4 \cdot 2875,7538 \cdot 1,10 =$$

$$= 2791321,668 \frac{Дж}{с \cdot м^3} = 2791,321668 \frac{кДж}{с \cdot м^3}$$

5) 50% В-Н



Найдём величину мощности поглощённой в единице объёма для 50% эмульсии $N_{50\%_{В-Н}}(\frac{кДж}{с \cdot м^3})$

$$\boldsymbol{N}_{50\%_{В-Н}} = \rho_{50\%_{В-Н}} \cdot C_{50\%_{В-Н}} \cdot \frac{dT}{dt}$$

$$\rho_{50\%_{В-Н}} = 0{,}5 \cdot \rho_н + 0{,}5 \cdot \rho_в = 0{,}5 \cdot 832 + 0{,}5 \cdot 1000 = 416 + 500 = 916 \frac{кг}{м^3}$$

$$C_{50\%_{В-Н}} = 0{,}5 \cdot C_н + 0{,}5 \cdot C_в = 0{,}5 \cdot 1992{,}923 + 0{,}5 \cdot 4200 = 996{,}4615 + 2100 = 3096{,}4615 \frac{Дж}{кг \cdot °C}$$

$$\frac{dT}{dt} = 1{,}20$$

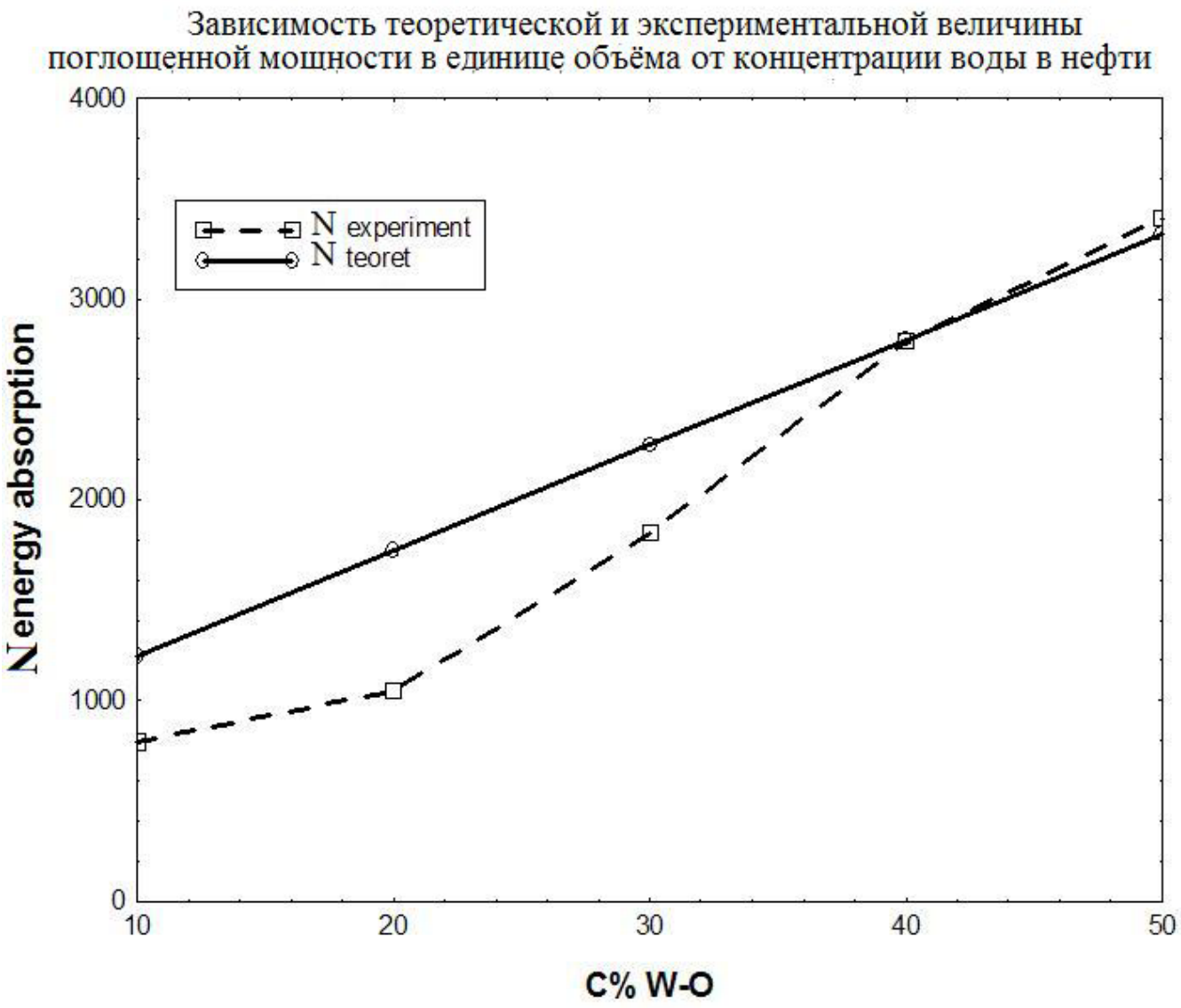
Величина мощности поглощённой в единице объёма для 50% эмульсии равна:

$$Q_{50\%_{В-Н}} = \rho_{50\%_{В-Н}} \cdot C_{50\%_{В-Н}} \cdot \frac{dT}{dt} = 916 \cdot 3096{,}4615 \cdot 1{,}20 =$$

$$= 3403630{,}481 \frac{Дж}{с \cdot м^3} = 3403{,}630481 \frac{кДж}{с \cdot м^3}$$

7. Анализ данных экспериментов

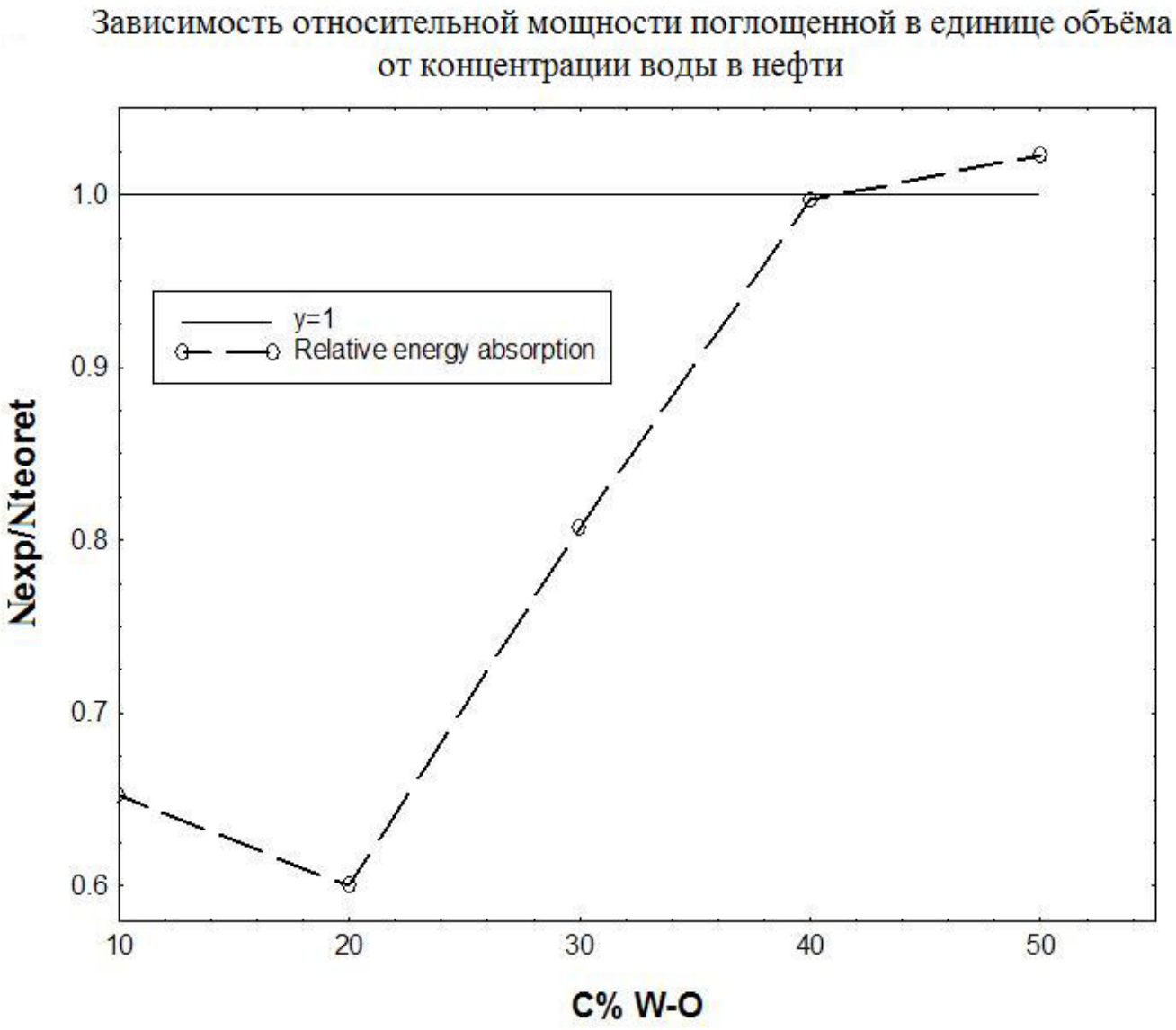
Построим теоретические и экспериментальные зависимости мощности поглощённой в единице объёма от концентрации воды в нефти:



Для представления более наглядного результата, необходимо построить зависимость относительной мощности, поглощённой в единице объёма, от концентрации воды в нефти.

Для этого разделим значения экспериментальной мощности на теоретическую мощность для каждой концентрации воды в нефти.

Получим зависимость относительной мощности поглощённой в единице объёма от концентрации воды в нефти.



Таким образом, анализируя полученную зависимость, можно сказать, что мощность, поглощенная в единице объёма, для эмульсий разных концентраций, не совпадает с величиной мощности для этих же эмульсий, найдённой по правилу аддитивности.

ВЫВОДЫ

Анализируя график изменения мощности, поглощенной в единице объёма, от концентрации водонефтяной эмульсии, можно утверждать что, мощность является неаддитивной величиной, так как значения мощности по экспериментальным данным не совпадает со значениями мощности найденной по правилу аддитивности для одних и тех же концентраций водонефтяных эмульсий.

На сегодняшний день, в достаточной степени, данное явление не изучено.

После изучения общих свойств водонефтяных эмульсий, механизм и причины их образования, можно выдвинуть следующее предположение.

Известно, что водонефтяные эмульсии достаточно устойчивые эмульсии. Особенностью является то, что водонефтяные эмульсии обладают большой поверхностью раздела фаз. На поверхности раздела фаз образуется компактная пленка из эмульгатора, обладающая известной механической прочностью. Такие плёнки защищают частицы эмульсии от взаимного слияния (коалесценции) при возможном соприкосновении, причём этот фактор может быть более важным, чем действие электрических зарядов.

Образование поверхности раздела фаз всегда требует затраты работы, и работа тем больше, чем выше поверхностное натяжение на этой поверхности.

Главным эффектом после применения микроволновой обработки является термический нагрев эмульсий. Известно, что при нагревании уменьшается прочность слоёв эмульгатора на поверхности капель. Следовательно, явление неаддитивности мощности при нагревании эмульсии, связано с затрачиванием части мощности, идущей на нагрев, на уменьшение прочности слоёв эмульгатора, находящихся на поверхности раздела фаз и их разрушение. Т.е. мощность, поглощаемая эмульсией, состоит из мощности затраченной на разрушение слоёв эмульгатора и мощности затраченной непосредственно на нагрев самой эмульсии.

Причём, чем больше площадь поверхности раздела фаз или поверхностное натяжение слоя эмульгатора, тем больше необходимо затратить мощности, для того чтобы разрушить этот слой.

Это видно из зависимости, так как при увеличении концентрации воды в нефти уменьшается площадь поверхности раздела фаз и уменьшается отклонение экспериментальной мощности от мощности посчитанной по правилу аддитивности.

Список использованной литературы:

1. Киреев В.А. Краткий курс физической химии. Изд. 5-е, стереотипное.-М.: Химия, 1978. 624 с., ил.
2. Шавшукова С.Ю. Интенсификация химических процессов воздействием микроволнового излучения. Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Уфа 2003 год.
3. Гараев Т.К. Методы и устройства повышения эффективности СВЧ комплексов обработки нефтепродуктов. Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Казань 2004 год.
4. Joo-Hee Hong, Byoung-Sik Kim and Dok-Chan Kim. Demulsification of Oil-Water Emulsions by Microwave Irradiation. Korean Chem. Eng. Res., Vol. 42, No. 6, December, 2004, pp. 662-668.
5. к.т.н. Шайдаков В.В., к.т.н. Каштанова Л.Е., Емельянов А.В. Аппараты для воздействия на водонефтяные эмульсии магнитным полем. www.Laboratory.ru, сборник трудов по науке и технике.
6. Р.З. Сафиева, Л.А. Магадова, Л.З. Климова, О.А. Борисова. Физико-химические свойства нефтяных дисперсных систем. Под ред. проф. В.Н. Кошелева – М.: Изд. РГУ нефти и газа им.И.М.Губкина, 2001. - 60 с.
7. Ю.Г.Фролов. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. М.,Химия,1982, 399 с. ил.
8. И.И.Дунюшкин, И.Т.Мищенко, Е.И.Илисеева. Расчёты физико-химических свойств пластовой и промысловой нефти и воды: Учебное пособие для вузов. – М: ФГУП Из-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2004 . – 448с. С.171.
9. Г.Ф.Требин, Н.В.Чарыгин, Т.Н.Обухова. Нефти месторождений Советского Союза. – М.Недра, 1974, 422 с.