

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки 21.04.01. Нефтегазовое дело
 Отделение школы (НОЦ) Нефтегазового дела

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
«Численная методика обработки экспериментов для определения реологических свойств нефти месторождений Томской области»

УДК 519.654:665.6.035.6:553.982(571.16)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ7Р	Шакиров Владислав Алексеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Галкин В.М.	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Романюк В.Б.	к.э.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина М.С.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Зятиков П.Н.	д.т.н		

Томск – 2019 г.

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Применять естественнонаучные, математические, гуманитарные, экономические, инженерные, технические и глубокие профессиональные знания в области современных нефтегазовых технологий для решения прикладных междисциплинарных задач и инженерных проблем, соответствующих профилю подготовки
P2	Планировать и проводить аналитические и экспериментальные исследования с использованием новейших достижений науки и техники, уметь критически оценивать результаты и делать выводы, полученные в сложных и неопределённых условиях; использовать принципы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности
P3	Проявлять профессиональную осведомленность о передовых знаниях и открытиях в области нефтегазовых технологий с учетом передового отечественного и зарубежного опыта; использовать инновационный подход при разработке новых идей и методов проектирования объектов нефтегазового комплекса для решения инженерных задач развития нефтегазовых технологий, модернизации и усовершенствования нефтегазового производства
P4	Выбирать оптимальные решения в многофакторных ситуациях, владеть методами и средствами технического моделирования производственных процессов и объектов нефтегазовой отрасли; управлять технологическими процессами, обслуживать оборудование, использовать любой имеющийся арсенал технических средств, обеспечивать высокую эффективность при разработке нефтегазовых объектов
P5	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности; активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию и защищать результаты инженерной деятельности
P6	Работать эффективно в качестве члена и руководителя команды, умение формировать задания и оперативные планы всех видов деятельности, распределять обязанности членов команды, нести ответственность за результаты работы; координировать работу групп по извлечению и совершенствованию добычи нефти, газа и газового конденсата, передавать знания через наставничество и консультирование
P7	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные машины и механизмы для реализации технологических процессов нефтегазовой области, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды
P8	Проявлять профессиональную осведомленность о передовом отечественном и зарубежном опыте в моделировании динамически вязких сред и низкопроницаемых коллекторов
P9	Предлагать процедуры оценки эффективности промысловых работ и оптимизации работы оборудования при добыче нефти, газа и газового конденсата, обеспечение энергоэффективности технологических процессов
P10	Обеспечивать внедрение новых методов, материалов и нефтегазового оборудования в осложненных условиях эксплуатации нефтяных и газовых скважин, прогнозировать режимы безопасной работы нефтегазового оборудования по динамическим, локальным и осредненным параметрам
P11	Контролировать выполнение требований регламентов для обеспечения добычи нефти, газа и газового конденсата и повышение интенсификации притока скважинной продукции
P12	Совершенствовать, разрабатывать мероприятия и/или подготавливать бизнес-предложения по технологическому процессу и технологическим мероприятиям при добыче нефти, газа и газового конденсата на основе производственного менеджмента и планирования работ в сфере нефтегазодобычи
P13	Корректировать программы работ по добыче нефти, газа и газового конденсата, выбирать и принимать решения в нестандартных ситуациях, опираясь на государственные стандарты в области нефтегазодобычи

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01. Нефтегазовое дело
 Отделение школы (НОЦ) Нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Зятиков П.Н.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ7Р	Шакиров Владислав Алексеевич

Тема работы:

«Численная методика обработки экспериментов для определения реологических свойств нефти Томской области»
--

Утверждена приказом директора (дата, номер)	
---	--

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации,</i></p>	<p>Периодическая и фондовая литература, экспериментальные данные по нефти Арчинского месторождения.</p>
---	---

<i>влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Введение 1. Обзор методик определения реологии нефти 2. Проверка выбранной методики 3. Предложение собственной методики 4. Обработка экспериментальных данных 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 6. Социальная ответственность Заключение Перечень публикаций студента Перечень использованных источников
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Романюк В.Б.
Социальная ответственность	Черемискина М.С.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Галкин В.М.	к.ф.-м.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ7Р	Шакиров В.А.		.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01. Нефтегазовое дело
 Отделение школы (НОЦ) Нефтегазового дела
 Форма представления работы:

магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
10.09.2018	<i>Обзор методик определения реологии нефти</i>	10
09.10.2018	<i>Проверка выбранной методики</i>	
03.11.2018	<i>Предложение собственной методики</i>	10
01.12.2018	<i>Обработка экспериментальных данных разработанной методикой</i>	10
25.03.2019	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	10
22.04.2019	<i>Социальная ответственность</i>	10
25.04.2019	<i>Оформление работы</i>	10

**СОСТАВИЛ:
Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Галкин В.М.	к.ф.-м.н		

**СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Зятиков П.Н.	д.т.н		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из с. 83, рис. 15, 16 табл., 24 источников.

Ключевые слова: вязкость, закон Ньютона, напряжение сдвига, скорость сдвига, асфальтены, смолы, парафины, неньютоновская жидкость, суспензия, дисперсные системы.

Объектом исследования являются нефти Томской области.

Цель работы – разработать методику обработки результатов экспериментов для расчета реологических свойств нефти.

В результате исследования были рассмотрены существующие методики определения реологических свойств нефти; была выбрана аппроксимирующая зависимость для регрессионного анализа реологических свойств нефти; был разработан метод обработки свойств нефти, исходя из объяснения неединственности и нефизичности получаемого решения; проведены расчеты по определению реологических свойств нефтей согласно данной методике.

Область применения: данная методика может быть применима для численного определения реологических свойств нефти, основанная на экспериментальных данных скорости сдвига и напряжения сдвига. Методика пригодна для использования её при определении реологии нефти в лабораторных условиях.

Экономическая эффективность представлена в части «Финансовый менеджмент, ресурсосбережение и ресурсоэффективность».

Для выполнения выпускной квалификационной работы использовались текстовый редактор Microsoft Word, расчеты, таблицы и графики выполнялись в Microsoft Excel, презентация подготовлена с помощью Microsoft PowerPoint.

Список сокращений

ДС – дисперсная система

КПД – коэффициент полезного действия

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	9
1. ОБЗОР МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕФТИ	11
2. МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ОПЫТНЫХ ДАННЫХ	17
3. ПРЕДЛОЖЕННАЯ ЧИСЛЕННАЯ МЕТОДИКА	19
4. УПРОЩЕННАЯ МЕТОДИКА.....	25
5. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ.....	30
6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	34
6.1 Планирование научно-исследовательской работы	34
6.1.1 Основные этапы работы в рамках научного исследования	34
6.1.2 Определение трудоемкости выполнения работ	35
6.2 Разработка графика выполнения научно-исследовательской работы	36
6.3 Составление сметы проекта	38
6.3.1 Определение трудоемкости выполнения работ	38
6.3.2 Определение полной заработной платы исполнителей темы.....	39
6.3.3 Определение отчислений во внебюджетные фонды	40
(страховые отчисления)	40
6.3.4 Определение амортизации основных фондов	41
6.3.5 Определение накладных расходов	41
6.3.6 Формирование бюджета затрат на реализацию научно-исследовательской работы.....	42
6.4 Оценка научного уровня работы	42
7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	45
7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	46
7.2 Производственная безопасность	50
7.2.1 Анализ вредных факторов.....	50
7.2.2 Анализ вредных факторов.....	55
7.3 Экологическая безопасность.....	56
7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	62
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА:.....	63
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	64
Приложение А	67

ВВЕДЕНИЕ

Любое физико-химическое свойство нефти есть результат макроскопического проявления состава и структуры этой нефти. Химический состав и структура углеводородов формируются природой органического вещества и условиями, в которых протекало формирование залежи. Вязкость – одно из важнейших реологических свойств нефти, знание которого необходимо для определения подвижности нефти в пласте, а также для расчета технологических схем трубопроводов при транспортировке нефти и нефтепродуктов. К тому же сведения о величине вязкости учитываются при подборе типа вытесняющего агента, подсчете мощности погружного электроцентробежного насоса, определении скорости фильтрации жидкости в пласте и т.д.

К примеру, зная величину вязкости нефти можно дать грубую оценку составу добываемой нефти: чем выше вязкость нефти, тем большее количество тяжелых фракций преобладает в ее составе, и, как следствие, нефть тяжелее, что свидетельствует о большом количестве смолисто-асфальтеновых веществ в составе высоковязкой нефти, а переработка такой нефти крайне трудоемка.

Знание величины вязкости нефти необходимо для качественной разработки залежи. Например, показатель вязкости нефти учитывается при расчете объема воды, необходимого для закачки в пласт с целью вытеснения нефти к скважине. При эксплуатации месторождения с нефтью малой вязкости конечная нефтеотдача достигается при гораздо меньших объемах прокаченной воды, в то время как на других месторождениях, где показатели вязкости извлекаемых углеводородов выше, необходимо закачать в пласт 5, а то и более, поровых объемов. В динамике отборов воды и нефти из пласта показатель вязкости является определяющим, в особенности при стремлении достижения безводной нефтеотдачи. Показатель вязкости влияет на основные показатели разработки нефтяных месторождений.

При подборе насосного подземного оборудования изменение величины вязкости жидкости оказывает влияние на потери мощности, дисковое трение и гидравлическое сопротивление движения потока флюида. При перекачке высоковязкой нефти значительно уменьшается КПД насоса, что обуславливается снижением напора и подачи насоса. При неправильном определении вязкости извлекаемого флюида снижается период безремонтной работы насоса. Неверный подбор насоса на вязкой среде приводит к выходу из строя насосного погружного оборудования в кратчайшие сроки, а также к перегреву и поломке электропривода.

В расчете технологии транспортировки нефти также необходимо уделять отдельное внимание величине вязкости транспортируемой нефти. Перекачка маловязкой нефти осуществляется в температурных условиях окружающей среды без предварительной обработки в отличие от высоковязкой нефти, процесс транспортировки которой сопровождается предварительными механическими, химическими и термическими обработками. Таким образом, определение вязкости нефти является одной из важнейших задач нефтяного дела.

Главной целью реологии нефти и нефтепродуктов является определение коэффициента вязкости. Коэффициент вязкости – один из параметров, которые характеризуют течение. Огромное количество работ по определению коэффициента вязкости в зависимости от температуры нефти и сдвиговой скорости нашли отражение в изучении экспериментальных данных нефтей различных месторождений.

1. ОБЗОР МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕФТИ

В работе будут рассмотрены несколько методик определения реологических свойств нефти. В основе всех методик лежит зависимость А. Эйнштейна для определения вязкости суспензий.

В качестве основного литературного источника будет рассмотрена статья В.М. Гиниятуллина, Э.Г. Теляшева, С.Ф. Урмачеева «К вопросу о механизме изменений вязкости нефтяных дисперсных систем» [1].

В данной статье нефть рассматривается не как молекулярный раствор, а как дисперсная система, состоящая из дисперсных частиц и дисперсионной среды [2]. Ядра этих частиц представляют собой молекулы, характеризующиеся высоким значением С/Н. Их окружают сольватные оболочки [3]. В дисперсных системах вязкость жидкости непосредственно зависит от наличия в ней частиц дисперсной фазы. К тому же авторы статьи [1] основываются на том, что размеры частиц дисперсной фазы изменяются не только при температурном воздействии, но и при влиянии сдвиговых деформаций, возникающих в дисперсионной среде [4]. Поэтому можно сделать вывод, что если происходит частичное разрушение сольватной оболочки в области сдвиговых напряжений, то вязкость суспензии становится зависимой от размера части дисперсной фазы.

Целью настоящего исследования является разработка методики обработки результатов экспериментов для расчета реологических свойств нефти, основанная на указанной точке зрения.

Согласно литературным источникам, число дисперсных частиц в нефтяной дисперсной системе составляет примерно $n = 1,75 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-3}$. В то же время диаметр частиц « a » приблизительно равен 200 нм [5]. Таким образом, объемное фазовое содержание будет определяться формулой:

$$\phi = \frac{4}{3} \pi a^3 n \quad (1.1)$$

Получим $\phi = 0,0073$.

На основании того, что рассматриваемая суспензия обладает достаточно малой концентрацией, то можно говорить о применимости формулы А. Эйнштейна для расчета вязкости суспензий малых концентраций $\phi \sim 0,01$:

$$\eta(\phi) = \eta_0(1 + 2.5\phi) \quad (1.2)$$

Здесь η – динамическая вязкость суспензии, η_0 – динамическая вязкость дисперсионной среды. Формула (1.2) будет применяться в дальнейшем с некоторой оговоркой, потому что радиус частиц будет изменяться под воздействием сдвиговых деформаций.

В этой связи введём следующие гипотезы аналогично [1].

1. Радиус частиц дисперсной фазы изменяется незначительно;
2. Вязкость находится в линейной зависимости от концентрации частиц дисперсной фазы, а формула А. Эйнштейна остается справедлива для расчета вязкости суспензии при изменяющемся радиусе частиц дисперсной фазы;

3. Под действием сдвиговых деформаций радиус частиц a изменяется от a_0 (начальный радиус частицы, соответствующий нулевой скорости деформации, $e = 0$), до a_∞ (предельное минимальное значение радиуса частицы, при $e = \infty$), значения которых определяются заданной температурой.

Согласно работе [1], нефть – ньютоновская жидкость, а неньютоновские свойства проявляются в результате изменения радиуса частиц дисперсной фазы.

Основываясь на статье [1], примем, что изменение толщины сольватного слоя h ($h = a - a_\infty$, где a - текущий радиус частицы), который подвергается разрушению, подчиняется уравнению:

$$\frac{dh}{de} = -ka, \quad (1.3)$$

где k – константа, которая определяется на основании экспериментальных данных.

Решение уравнения (1.3), представленного относительно текущего радиуса частицы, с учетом, что $a_\infty = a(e = \infty)$ и $a_0 = a(e = 0)$, примет вид:

$$a = a_\infty + (a_0 - a_\infty) \exp(-ke) \quad (1.4)$$

Таким образом, основываясь на соотношении (1.2) и гипотезе 1, согласно которой величина h считается малой, что позволяет пренебречь величинами, содержащими h в степени выше первой, было получено следующее уравнение:

$$\eta = \eta_0 \left\{ 1 + \frac{10}{3} \pi n [a_\infty^3 + 3a_\infty^2(a_0 - a_\infty) \exp(-ke) + O(h^2)] \right\} \quad (1.5)$$

Используя формулу определения объемной концентрации дисперсной фазы (1.1), запишем выражение (1.5) в виде:

$$\eta = \eta_E + \eta_* \exp(-ke). \quad (1.6)$$

Где

$$\eta_E = \eta_0(1 + 2.5\phi)$$

$$\eta_* = 7,5\phi \left(\frac{a_0}{a_\infty} - 1 \right) \eta_0$$

Сдвиговое напряжение τ можно выразить через интегрирование закона Ньютона для вязкого внутреннего трения:

$$\int_{\tau_0}^{\tau} d\tau = \int_0^e \eta de$$

Получаем

$$\tau = \tau_0 + \int_0^e \eta de = \tau_0 + \eta_E e + \frac{\eta_*}{k} [1 - \exp(-ke)] \quad (1.7)$$

Где τ_0 – предельное напряжение. При больших скоростях деформаций выражение (1.7) переходит в зависимость:

$$\tau = \tau_0 + \frac{\eta^*}{k} + \eta_E e \quad (1.8)$$

В данной статье была рассмотрена методика, которая учитывает изменения структуры дисперсной системы, что объясняет проявление неньютоновских свойств нефти и нефтепродуктов. Также данная методика позволяет описывать экспериментальные данные и предсказывать характерные размеры частиц дисперсной фазы.

В статье [6] также используется закон А. Эйнштейна для суспензий, который был упомянут выше (1.2).

Согласно экспериментам, выражение (1.2) применимо лишь для малых объемных концентраций $\phi \leq 10^{-3}$. В дальнейшем были предприняты попытки адаптировать формулу Эйнштейна для более высоких объемных концентраций дисперсных частиц [7].

В результате для эффективного коэффициента вязкости было получено следующее соотношение:

$$\eta(\phi) = \eta_0(1 + 2.5\phi + k\phi^2) \quad (1.9)$$

Коэффициент k варьируется в пределах от 6.0 до 6.25 в зависимости от трактовки автора.

В статье [8] описано влияние вязкости суспензии на силу взаимодействия между частицами дисперсной фазы. Рассмотрен случай, когда сила обусловлена диполь-дипольным взаимодействием частиц во внешнем магнитном поле, что имеет место в магнитных жидкостях.

В статье для получения выражения для вязкости суспензии с взаимодействующими частицами используется подход, когда искомая величина выражается в терминах диссипации энергии. Вязкость суспензии η^* можно представить в виде [9]:

$$\eta^* = \eta \left(1 + \frac{E^*}{E_0} \right)$$

Где E_0 - диссипация энергии в жидкости в отсутствии частиц, а E^* - дополнительная диссипация энергии при присутствии сферических частиц в жидкости. Также в статье учитывается [10], что вязкость суспензии сферических частиц дисперсной фазы с точностью до членов второго порядка при малых объемных концентрациях частиц ϕ можно представить в виде:

$$\eta^* = \eta(1 + K\phi + (K_1 + K_2)\phi^2)$$

Где K_1 – коэффициент, учитывающий гидродинамическое взаимодействие между частицами; K_2 – коэффициент, учитывающий непосредственное взаимодействие между частицами; ϕ – объемная концентрация дисперсной фазы.

В результате авторами статьи была получена формула эффективной вязкости суспензии при условиях растяжения или сжатия со скоростью деформации « e » в следующем виде:

$$\eta^* = \eta(1 + K\phi + K_1\phi^2 + 0.0140625\phi^2 \frac{m^4}{\pi^2\eta^2 e^2 a^{12}})$$

Где a – радиус частиц; m – дипольный момент.

Согласно выведенному уравнению, авторы делают вывод, что взаимодействие частиц посредством первого механизма взаимодействия между ними дает вклад в эффективную вязкость суспензии того же порядка, что и гидродинамическое взаимодействие. Механизм изменения вязкости объясняется тем, что взаимодействие частиц дисперсной фазы вызывает изменение относительной скорости частиц, в результате чего возникает дополнительная диссипация энергии.

Анализ полученного выражения эффективной вязкости суспензии с дипольными частицами позволяет объяснить аномально высокое увеличение вязкости в некоторых образцах магнитной жидкости [11] механизмом взаимодействия частиц.

В статье [12] было приведено уравнение Аррениуса — Френкеля — Эйринга (уравнение АФЭ):

$$\eta = A \cdot \exp\left\{\frac{E_B}{RT}\right\} \quad (1.10)$$

Данное уравнение (1.10) авторы рекомендуют для аналитического описания свойств жидкостей в достаточно широком интервале температур, что позволяет определить геометрические размеры структурированных фрагментов нефти при различных значениях сдвиговых нагрузок. Согласно методике, приведенной авторами статьи, можно проводить обработку результатов вискозиметрических экспериментов в координатах $\ln\eta - 1/T$, откуда будут получены количественные значения энергии активации вязкого течения (E_B) и предэкспоненциального множителя (A), а также можно будет рассчитать радиусы (r) сложных структурных единиц, участвующих в слоистом течении при различных скоростях сдвига.

2. МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ОПЫТНЫХ ДАННЫХ

В качестве основной методики для обработки экспериментальных данных с целью определения реологических свойств нефти была выбрана методика, представленная в статье [1].

В статье предполагается, что число дисперсных частиц в нефтях оценивается величиной $n = 1,75 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-3}$. Радиус частиц составляет порядка $a=200/2$ нм. Объемное фазовое содержание частиц определяется формулой:

$$\phi = \frac{4}{3} \pi a^3 n \quad (2.1)$$

Получается $\phi = 0,0073$, следовательно, работает формула Эйнштейна

$$\eta = \eta_0(1 + 2,5\phi) \quad (2.2)$$

Подставляем (2.1) в (2.2)

$$\eta = \eta_0 \left(1 + \frac{10}{3} \pi a^3 n \right) \quad (2.3)$$

Обозначим

$$h = a - a_\infty \quad (2.4)$$

h – толщина слоя частицы, a – текущий радиус частицы, $a_0 < a < a_\infty$, e – скорость деформации, $a_0 = a(0)$ – начальный радиус частицы при $e = 0$, $a_\infty = a(\infty)$ – предельный радиус частицы при $e = \infty$. Имеем:

$$\frac{dh}{de} = -ka \quad (2.5)$$

k – некоторая константа, которую необходимо определить. Перепишем (2.4)

$a = h + a_\infty$, подставим в (2.5) и проинтегрируем. Получили:

$$a = a_\infty + (a_0 - a_\infty) \exp(-ke) \quad (2.5)$$

Подставляем (2.12) в (2.3)

$$\eta = \eta_0 \left(1 + \frac{10}{3} \pi n [a_\infty + (a_0 - a_\infty) \exp(-ke)]^3 \right) \quad (2.6)$$

На основании $(x + y)^3 \approx x^3 + 3x^2y$ приближенно будет

$$[a_\infty + (a_0 - a_\infty) \exp(-ke)]^3 \approx a_\infty^3 + 3a_\infty^2(a_0 - a_\infty) \exp(-ke) \quad (2.7)$$

Тогда из (2.13) и (2.14) следует

$$\eta = \eta_0 \left(1 + \frac{10}{3} \pi n [a_\infty^3 + 3a_\infty^2(a_0 - a_\infty) \exp(-ke)] \right) \quad (2.8)$$

Закон Ньютона для вязкого внутреннего трения имеет вид:

$$d\tau = \eta de \quad (2.9)$$

В результате его интегрирования получена следующая аппроксимирующая зависимость:

$$\tau(\tau_0, \eta_0, y, k, b, e) = \tau_0 + \eta_0 e + yg(k, b, e) \quad (2.10)$$

где

$$g(k, b, e) = \left(\frac{e}{3} + \frac{b}{k} [1 - \exp(-ke)] \right) (1 + 3b \exp(-ke)),$$

$$y = \eta_0 a_3,$$

$$b = a_0/a_\infty - 1,$$

$$a_3 = 10\pi n a_\infty^3.$$

В работе [1] решение нелинейной задачи об аппроксимации опытных данных методом наименьших квадратов было получено численно с использованием модифицированного метода Ньютона. Однако проведенные нами расчеты в Excel с использованием Solver, в котором реализован метод Ньютона, показали, что полученное решение не единственное и зависит от начального приближения.

В связи с этим возникла необходимость объяснить неединственность и нефизичность получаемого решения, а также разработать метод для получения приемлемого результата.

3. ПРЕДЛОЖЕННАЯ ЧИСЛЕННАЯ МЕТОДИКА

Согласно статье [1] и выведенным выше формулам, в результате получена следующая аппроксимирующая зависимость (2.10):

$$\tau(\tau_0, \eta_0, y, k, b, e) = \tau_0 + \eta_0 e + yg(k, b, e)$$

где $g(k, b, e) = \left(\frac{e}{3} + \frac{b}{k}[1 - \exp(-ke)]\right)(1 + 3b\exp(-ke))$. Здесь $y = \eta_0 a_3$, $b = a_0/a_\infty - 1$; $a_3 = 10\pi n a_\infty^3$;

В методе наименьших квадратов решение сводится к поиску минимума следующей функции:

$$S(\tau_0, \eta_0, y, k, b) = \sum_{i=1}^N (\tau(\tau_0, \eta_0, y, k, b, e_i) - \tau_i)^2 = \sum_{i=1}^N (\tau_0 + \eta_0 e_i + yg(k, b, e_i) - \tau_i)^2 \quad (3.1)$$

Необходимым условием минимума функции является равенство нулю частных производных этой функции по всем её аргументам τ_0, η_0, y, k, b . Так как в выше рассмотренной методике решение является неединственным, был предложен комбинированный подход, в котором задача (3.1) сводилась к поиску минимума функции в пространстве не пяти параметров τ_0, η_0, y, k, b , а только двух. При этом на первом шаге строился зависящий от двух параметров график функции (3.1). Из визуального анализа линий уровня выбирались такие значения параметров, которые лежали около физически приемлемого минимума. На заключительном шаге эти значения использовались как начальные в Excel и Solver для поиска минимума в пространстве двух параметров.

Так как необходимым условием минимума функции является равенство нулю частных производных этой функции по всем её аргументам, то из соотношений $\frac{\partial S}{\partial \tau_0} = 0$, $\frac{\partial S}{\partial \eta_0} = 0$, $\frac{\partial S}{\partial y} = 0$ с учетом того, что $\frac{\partial g}{\partial \tau_0} = \frac{\partial g}{\partial \eta_0} = \frac{\partial g}{\partial y} = 0$ получается линейная система трех уравнений с тремя неизвестными, из которой легко находятся τ_0, η_0, y , зависящие от k, b :

$$y = \frac{L_3(a_{22} - a_{12}^2) + L_1(a_{12}a_{23} - a_{13}a_{22}) - L_2(a_{23}N - a_{12}a_{13})}{a_{33}(a_{22}N - a_{12}^2) - a_{13}^2a_{22} - a_{23}^2N + 2a_{23}a_{13}a_{12}} \quad (3.2)$$

$$\eta_0 = \frac{L_2N - L_1a_{12} - y(a_{23}N - a_{13}a_{12})}{a_{22}N - a_{12}^2} \quad (3.3)$$

$$\tau_0 = \frac{L_1 - \eta_0a_{12} - ya_{13}}{N} \quad (3.5)$$

где

$$\begin{aligned} a_{12} &= \sum [e_i], & a_{13} &= \sum [g(e_i)], & L_1 &= \sum [\tau_i], \\ a_{22} &= \sum [e_i^2], & a_{23} &= \sum [e_i g(e_i)], & L_2 &= \sum [\tau_i e_i], \\ a_{33} &= \sum [(g(e_i))^2], & L_3 &= \sum [\tau_i g(e_i)] \end{aligned}$$

Следовательно, теперь функция (3.1) будет зависеть только от двух аргументов k и b :

$$S(k, b) = \sum_{i=1}^N (\tau_0(k, b) + \eta_0(k, b)e_i + y(k, b)g(k, b, e_i) - \tau_i)^2 \quad (3.6)$$

На основе полученных соотношений (3.2-3.5) выполнены расчеты с использованием экспериментальных данных, представленных в таблице 1, которые были получены по нефти Арчинского месторождения:

Таблица 1 – Экспериментальные данные

e_i	3	5,4	9	16,2	27	48,6	81	145,8	243	437,4	729	1312
τ_i	2,16	2,21	2,48	2,9	3,69	4,95	6,48	8,96	12,02	18,18	25,35	43,06

На рисунке 1 показана функция (3.6). Рисунок 1 построен в программе Surfer с использованием градиентной заливки, метод интерполяции – крайгинг.

Из рисунка 1 следует, что на некотором расстоянии от левой границы сверху вниз идут максимальные значения. Следовательно, функция (3.6) не обладает унимодальностью, что и объясняет неединственность решения

методом Ньютона. С рисунка 2 можно взять начальные данные слева и справа от максимумов для поиска минимума функции (3.6) с последующей проверкой на физическую достоверность результата, в частности, полученные значения $\tau_0, \eta_0, \gamma, k, b$ должны быть больше нуля (рисунок 5).

Из рисунка 2 следует, что начальные значения должны выбираться слева от максимумов.

Ниже представлены рисунки (3-4), на которых изображены графики зависимости напряжения сдвига от скорости сдвига и изменения радиуса частицы в зависимости от скорости сдвига соответственно.

Таким образом, предложенный подход позволяет для экспериментальных данных найти параметры аппроксимирующего соотношения и определить зависимость напряжения сдвига и/или вязкости от скорости сдвига.

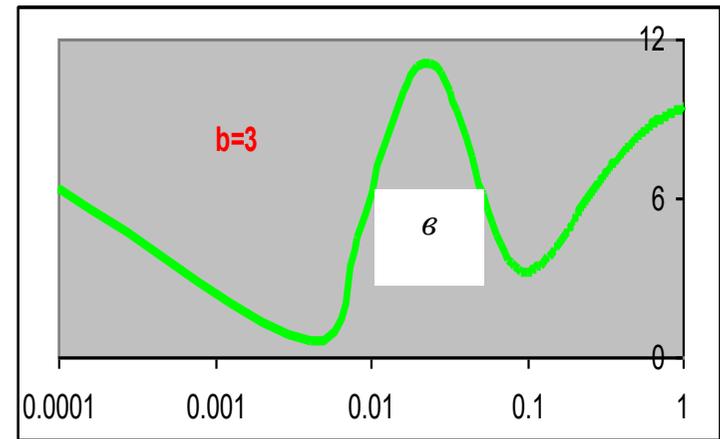
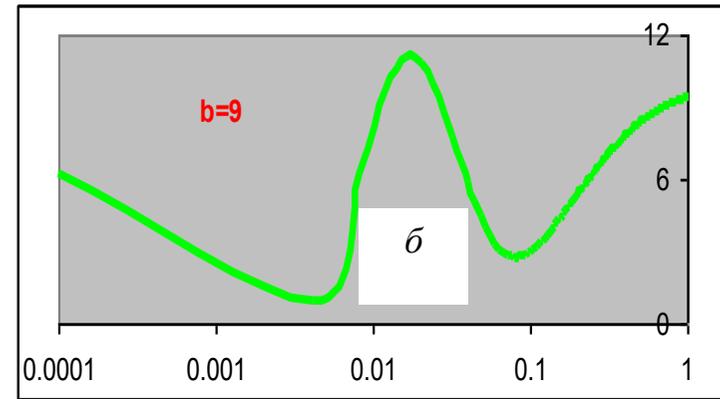
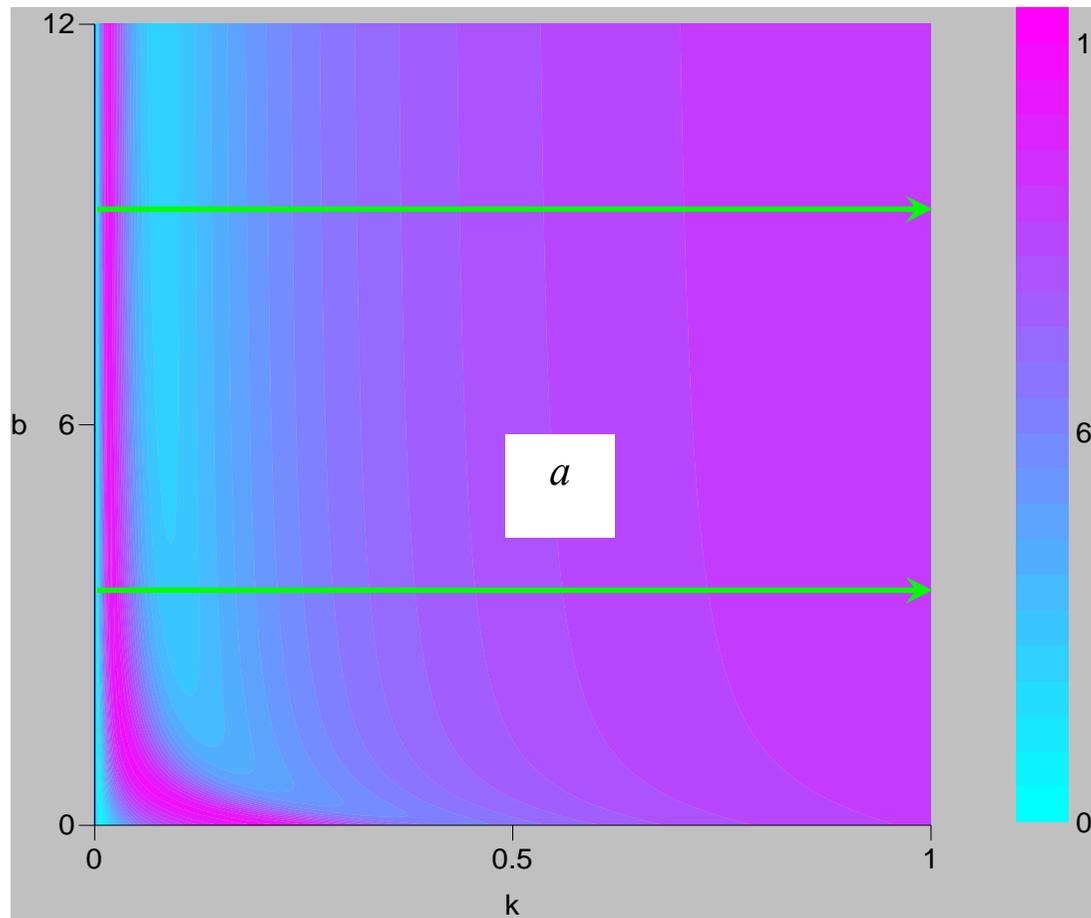


Рисунок 1: a – поведение минимизируемой функции $S(b, k)$; \bar{b} – поведение минимизируемой функции $S(b, 3)$; \bar{v} – поведение минимизируемой функции $S(b, 9)$

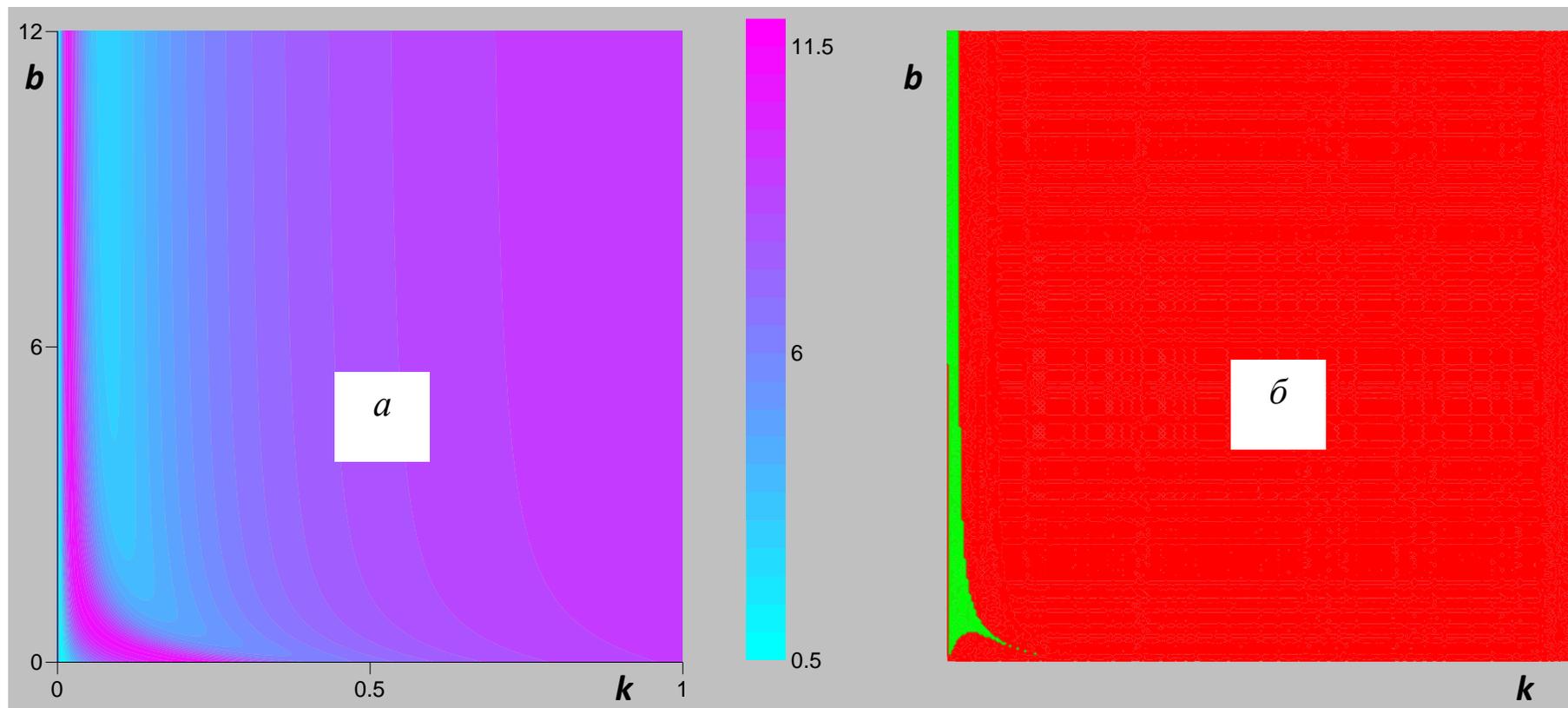


Рисунок 2 – Выбор начальных значений b, k
 a – минимизируемая функция $S(b,k)$; \bar{b} - минимизируемая функция $S(b,k)$
с выделенной зеленым цветом областью допустимых значений

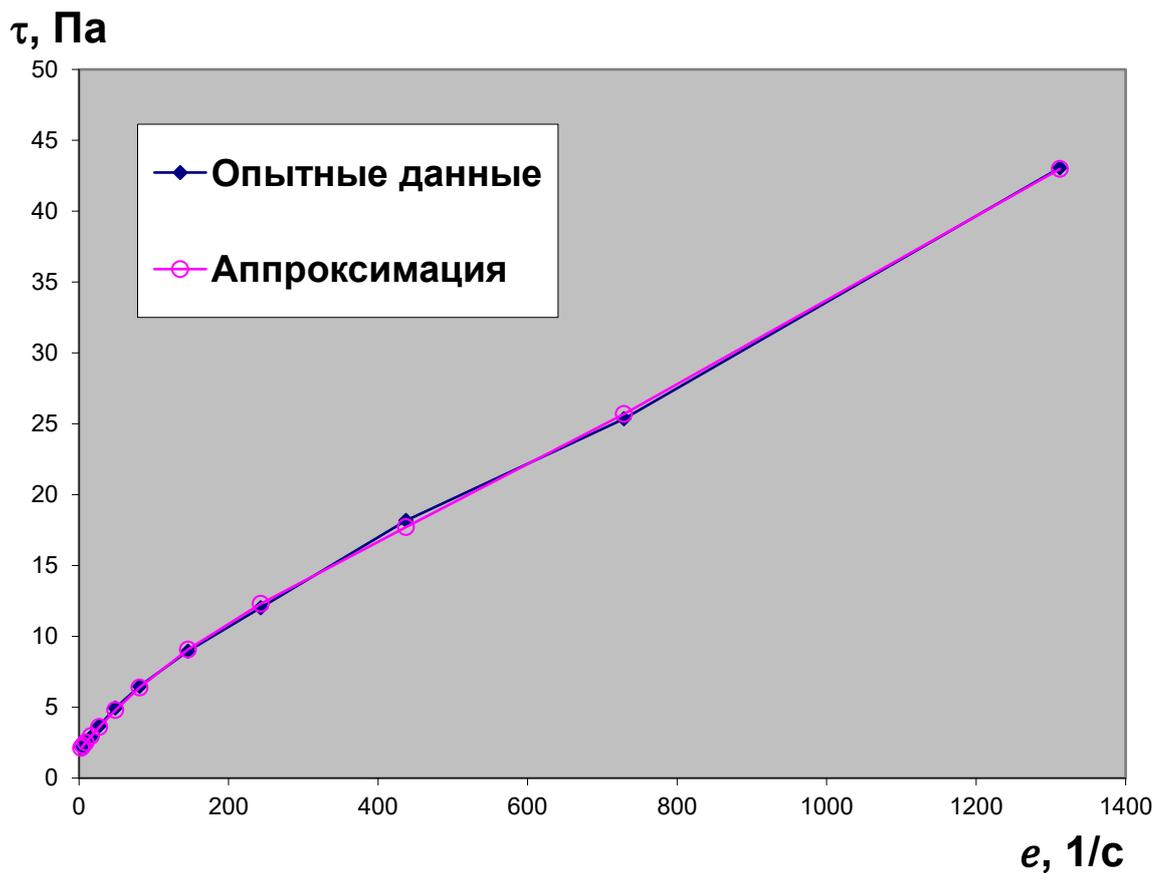


Рисунок 3 – зависимость напряжения сдвига от скорости сдвига

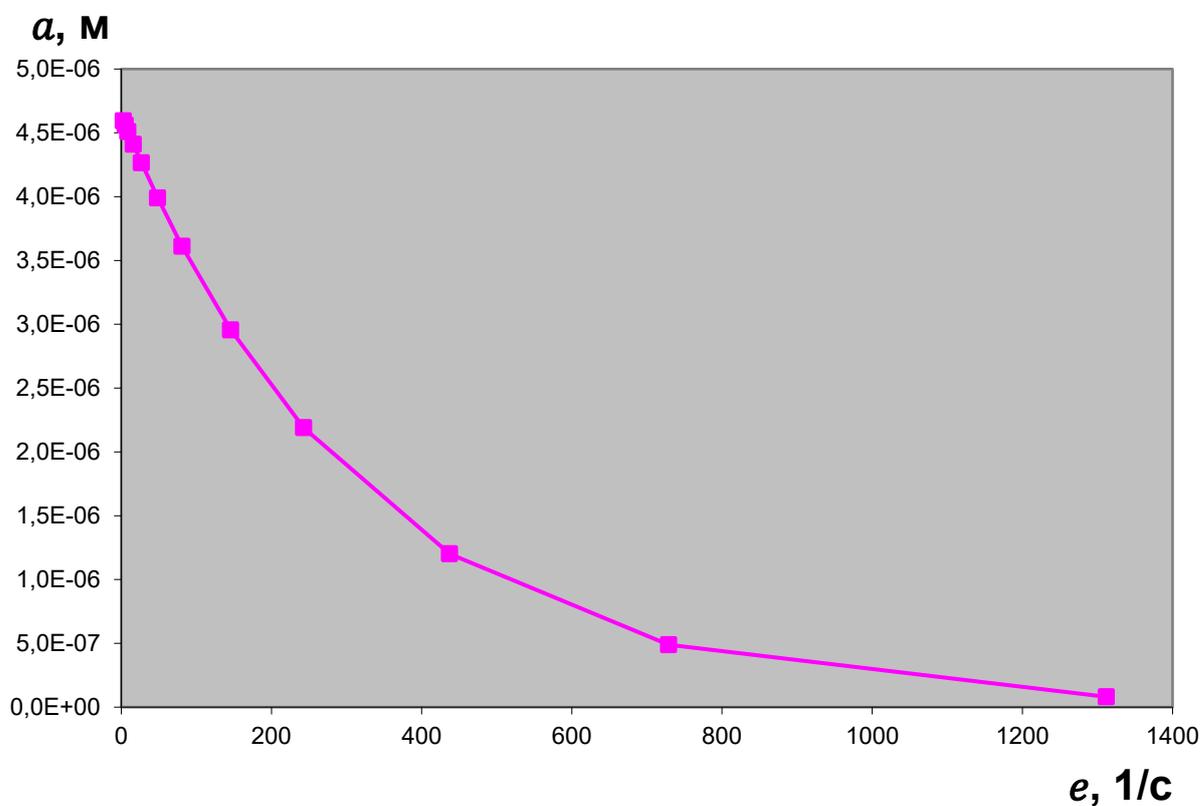


Рисунок 4 – зависимость радиуса частиц от скорости сдвига

4. УПРОЩЕННАЯ МЕТОДИКА

Также было введено упрощение, ввиду которого поиск решения сводился к определению четырех параметров вместо пяти. Данный подход предложен на основании допущения, что радиус частиц на бесконечности сводится к нулю. В этом случае вместо соотношения

$$a = a_0 \exp(-ke) + a_\infty(1 - \exp(-ke))$$

Получится

$$a = a_0 \exp(-ke)$$

Ниже представлен ход решения по определению искомым четырех параметров (τ_0, η_0, y, k) .

Имеем формулу Эйнштейна:

$$\eta = \eta_0 \left(1 + \frac{10}{3} \pi a^3 n \right)$$

Закон Ньютона для вязкого трения:

$$d\tau = \eta de$$

После интегрирования

$$\int_{\tau_0}^{\tau} d\tau = \int_0^e \eta de$$

Получим:

$$\tau = \tau_0 + \eta_0 e + \eta_0 \frac{10}{3} \pi n \int_0^e a^3 de$$

Интеграл примет вид:

$$\int_0^e (a_0 \exp(-ke))^3 de = \frac{a_0^3}{3k} (1 - \exp(-3ke))$$

Окончательный вид аппроксимирующей функции:

$$f(e) = \tau(\tau_0, \eta_0, y, k, e) = \tau_0 + \eta_0 e + y(1 - \exp(-3ke)) \quad (3.1)$$

Где

$$y = \eta_0 \frac{10}{9k} \pi n a_0^3 \quad (3.2)$$

Тогда

$$a_0 = \left(\frac{9yk}{10\eta_0\pi n} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3.3)$$

Введена функция, равная сумме квадратов отклонений аппроксимирующей функции от экспериментальных данных $\{(e_i, \tau_i)\}_{i=1}^N$:

$$S(\tau_0, \eta_0, y, k) = \sum (f(e_i) - \tau_i)^2 \quad (3.4)$$

Из необходимого условия минимума функции S , то есть равенства нулю частных производных в точке минимума, получим соотношения, связывающие τ_0, η_0, y, k в точке минимума.

Найдем $\frac{\partial S}{\partial \tau_0} = 0$.

$$\frac{\partial S}{\partial \tau_0} = \frac{\partial \sum (f(e_i) - \tau_i)^2}{\partial \tau_0} = 2 \sum \left[(f(e_i) - \tau_i) \frac{\partial f(e_i)}{\partial \tau_0} \right] = 0 \quad (3.5)$$

Или

$$\sum \left[f(e_i) \frac{\partial f(e_i)}{\partial \tau_0} \right] = \sum \left[\tau_i \frac{\partial f(e_i)}{\partial \tau_0} \right] \quad (3.6)$$

Частная производная

$$\frac{\partial f}{\partial \tau_0} = \frac{\partial (\tau_0 + \eta_0 e + y(1 - \exp(-3ke)))}{\partial \tau_0} = 1 \quad (3.7)$$

Обозначим

$$f_{ki} = 1 - \exp(-3ke_i)$$

Из (3.1), (3.6) и (3.7) получим

$$\tau_0 N + \eta_0 \sum [e_i] + y \sum [f_{ki}] = \sum [\tau_i] \quad (3.8)$$

Найдем $\frac{\partial S}{\partial \eta_0} = 0$

$$\frac{\partial S}{\partial \eta_0} = \frac{\partial \sum (f(e_i) - \tau_i)^2}{\partial \eta_0} = 2 \sum \left[(f(e_i) - \tau_i) \frac{\partial f(e_i)}{\partial \eta_0} \right] = 0 \quad (3.9)$$

Или

$$\sum \left[f(e_i) \frac{\partial f(e_i)}{\partial \eta_0} \right] = \sum \left[\tau_i \frac{\partial f(e_i)}{\partial \eta_0} \right] \quad (3.10)$$

Частная производная

$$\frac{\partial f(e)}{\partial \eta_0} = \frac{\partial(\tau_0 + \eta_0 e + y[1 - \exp(-3ke)])}{\partial \eta_0} = e \quad (3.11)$$

Из (3.1), (3.10) и (3.11) получим

$$\tau_0 \sum [e_i] + \eta_0 \sum [e_i^2] + y \sum [f_{ki} e_i] = \sum [\tau_i e_i] \quad (3.12)$$

Найдем $\frac{\partial S}{\partial y} = 0$.

$$\frac{\partial S}{\partial y} = \frac{\partial \sum (f(e_i) - \tau_i)^2}{\partial y} = 2 \sum \left[(f(e_i) - \tau_i) \frac{\partial f(e_i)}{\partial y} \right] = 0 \quad (3.13)$$

Или

$$\sum \left[f(e_i) \frac{\partial f(e_i)}{\partial y} \right] = \sum \left[\tau_i \frac{\partial f(e_i)}{\partial y} \right] \quad (3.14)$$

Частная производная

$$\frac{\partial f}{\partial y} = \frac{\partial(\tau_0 + \eta_0 e + y[1 - \exp(-3ke)])}{\partial y} = 1 - \exp(-3ke_i) \quad (3.15)$$

Из (3.1), (3.14) и (15) получим

$$\tau_0 \sum [f_{ki}] + \eta_0 \sum [e_i f_{ki}] + y \sum [f_{ki}^2] = \sum [\tau_i f_{ki}] \quad (3.16)$$

Получили линейную систему трех уравнений для τ_0, η_0, y :

$$\begin{aligned} \tau_0 N + \eta_0 a_{12} + y a_{13} &= L_1 \\ \tau_0 a_{12} + \eta_0 a_{22} + y a_{23} &= L_2 \\ \tau_0 a_{13} + \eta_0 a_{23} + y a_{33} &= L_3 \end{aligned} \quad (3.17)$$

Где

$$\begin{aligned} a_{12} &= \sum [e_i], & a_{13} &= \sum [f_{ki}], & L_1 &= \sum [\tau_i] \\ a_{22} &= \sum [e_i^2], & a_{23} &= \sum [e_i f_{ki}], & L_2 &= \sum [\tau_i e_i] \\ a_{33} &= \sum [f_{ki}^2], & L_3 &= \sum [\tau_i f_{ki}], & f_{ki} &= 1 - \exp(-3ke_i) \end{aligned}$$

Тогда параметры τ_0, η_0, y находятся по формулам:

$$y = \left(\frac{\left(\frac{L_2}{a_{12}} - \frac{L_1}{N} \right)}{\left(\frac{a_{22}}{a_{12}} - \frac{a_{12}}{N} \right)} - \frac{\left(\frac{L_3}{a_{13}} - \frac{L_1}{N} \right)}{\left(\frac{a_{23}}{a_{13}} - \frac{a_{12}}{N} \right)} \right) : \left(\frac{\left(\frac{a_{23}}{a_{12}} - \frac{a_{13}}{N} \right)}{\left(\frac{a_{22}}{a_{12}} - \frac{a_{12}}{N} \right)} - \frac{\left(\frac{a_{33}}{a_{13}} - \frac{a_{13}}{N} \right)}{\left(\frac{a_{23}}{a_{13}} - \frac{a_{12}}{N} \right)} \right) \quad (3.18)$$

$$\eta_0 = \frac{L_2 N - L_1 a_{12} - y(a_{23} N - a_{13} a_{12})}{a_{22} N - a_{12}^2} \quad (3.19)$$

$$\tau_0 = \frac{L_1 - \eta_0 a_{12} - y a_{13}}{N} \quad (3.20)$$

Найдем $\frac{\partial S}{\partial k} = 0$

$$\frac{\partial S}{\partial k} = \frac{\partial \sum (f(e_i) - \tau_i)^2}{\partial k} = 2 \sum \left[(f(e_i) - \tau_i) \frac{\partial f(e_i)}{\partial k} \right] = 0 \quad (3.21)$$

Или

$$\sum \left[(f(e_i) - \tau_i) \frac{\partial f(e_i)}{\partial k} \right] = 0 \quad (3.22)$$

Частная производная:

$$\frac{\partial f}{\partial k} = \frac{\partial (\tau_0 + \eta_0 e + y(1 - \exp(-3ke)))}{\partial k} = 3ye \exp(-3ke) \quad (3.23)$$

Для $\frac{\partial S}{\partial k}$ получили нелинейное выражение относительно k :

$$y \sum [\{\tau_0 + \eta_0 e_i + y(1 - \exp(-3ke_i)) - \tau_i\} e_i \exp(-3ke_i)] = 0 \quad (3.24)$$

В нем переменные τ_0, η_0, y определены выше и являются функциями от k . Определяя переход через ноль выражения (3.24) можно найти значение k , соответствующее точке экстремума.

На рисунке 5 представлен результат нахождения параметра k . В качестве экспериментальных данных использовались данные таблицы 1.

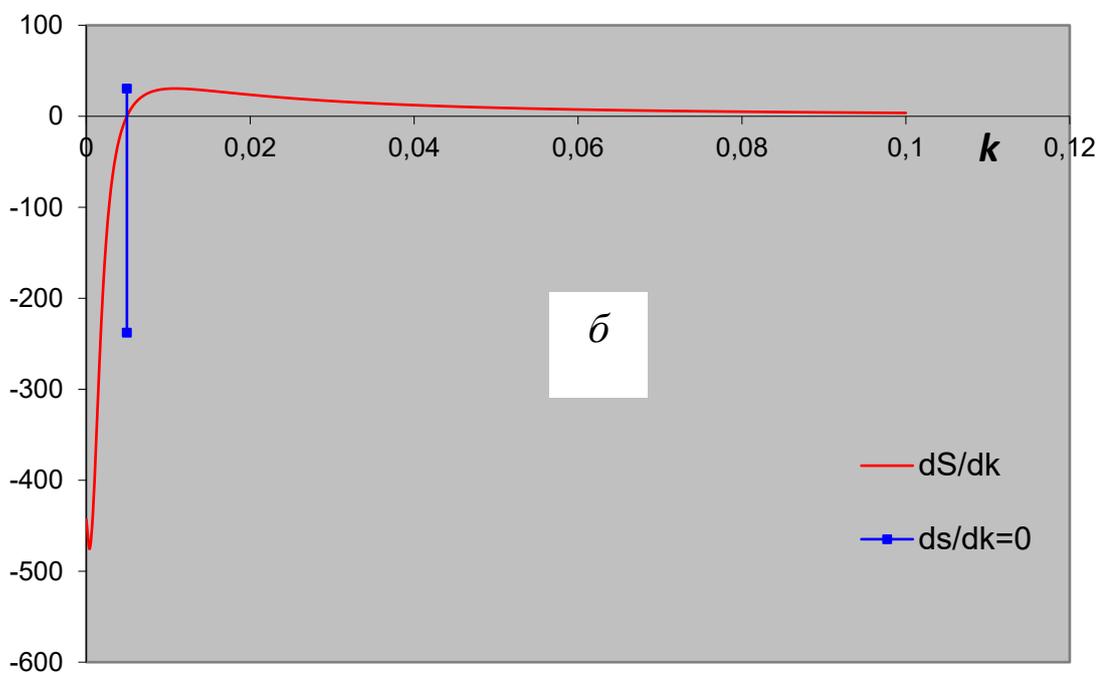
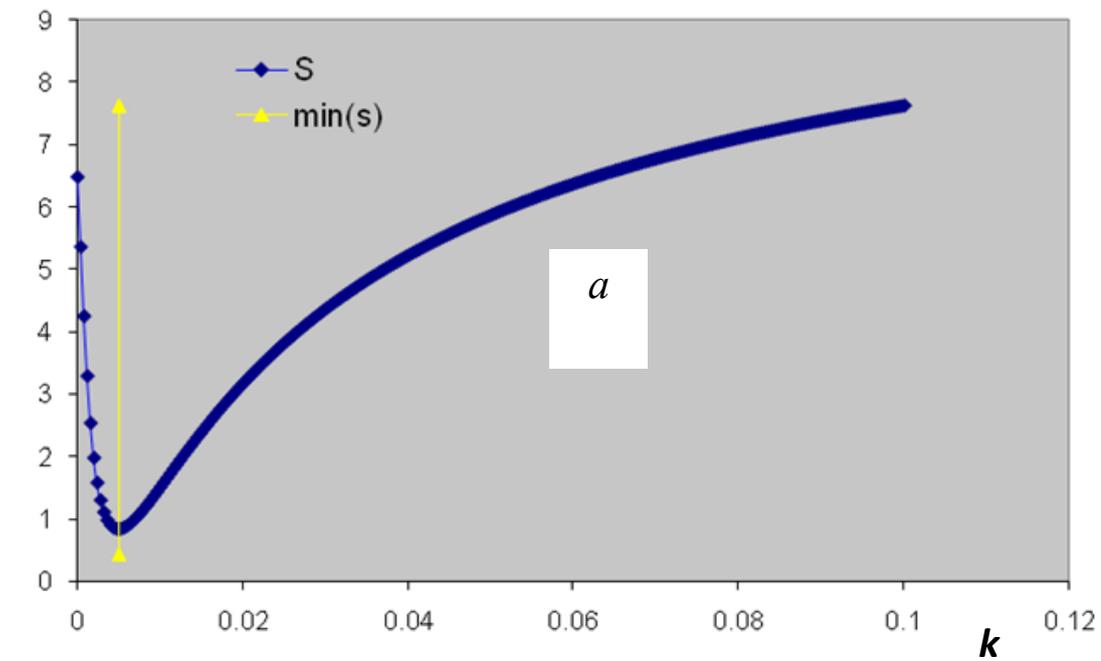


Рисунок 5 – Результат поиска минимума функции $S(k)$, в зависимости от

параметра k . a – функция $S(k)$; b – функция $\frac{\partial S}{\partial k}$

5. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

На основании данных представленных Л.В. Чеканцевой по Арчинскому месторождения была проверена работоспособность разработанной методики определения реологических свойства нефти. В таблице 2 приведены предоставленные экспериментальные данные:

Таблица 2 – Экспериментальные данные напряжения сдвига и скорости сдвига при температурах 20°, 25°, 35°, 40°, 45°, 50°, 55° С

e	τ (20)	τ (25)	τ (35)	τ (40)	τ (45)	τ (50)	τ (55)
3	2,1607	0,6851	0,3162	0,2635	0,2635	0,0527	0,0527
5,4	2,2134	0,7378	0,4216	0,2743	0,3162	0,1581	0,3162
9	2,4769	0,7378	0,4743	0,2851	0,3162	0,3162	0,2108
16,2	2,8985	0,7378	0,527	0,3162	0,3162	0,3162	0,2635
27	3,689	1,1067	0,6851	0,527	0,3162	0,3162	0,3162
48,6	4,9538	1,581	0,9486	0,7905	0,527	0,5797	0,527
81	6,4821	2,2661	1,3702	1,054	0,8432	0,8432	0,7905
145,8	8,959	3,7944	2,2134	1,8445	1,5283	1,3175	1,054
243	12,0156	5,9551	3,4782	2,8458	2,3188	2,108	1,8445
437,4	18,1815	10,013	5,9024	4,8484	4,1106	3,5836	3,1093
729	25,3487	15,9154	9,5387	7,905	6,6402	5,9024	5,0592
1312	43,0559	27,931	16,6005	13,9128	11,6994	10,1184	8,8536

По значениям, выделенным в таблице красным цветом, программа не даёт решения, т.к. используемая модель не способна учитывать немонотонные значения.

Ниже представлены графики: зависимость начального радиуса частиц от температуры (рисунок 6); зависимость радиуса частиц от скорости сдвига (рисунок 7); зависимость вязкости от скорости сдвига (рисунок 8); зависимость напряжения сдвига от скорости сдвига при различных температурах (рисунок 9).

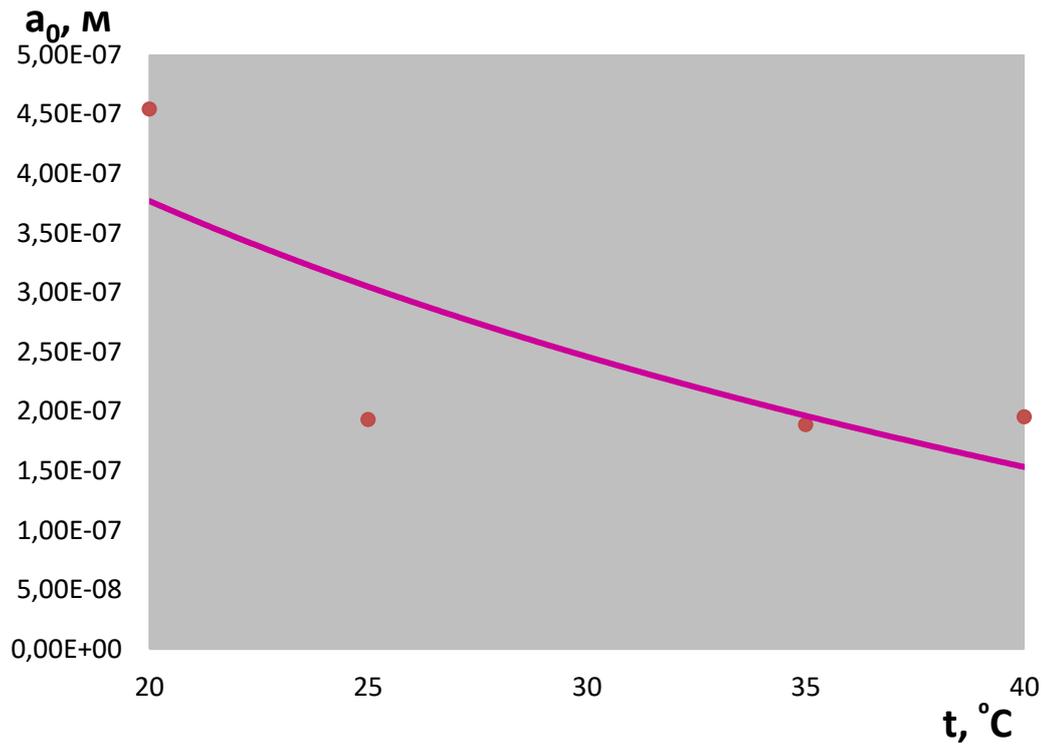


Рисунок 6 – Аппроксимация начального радиуса частиц от температуры

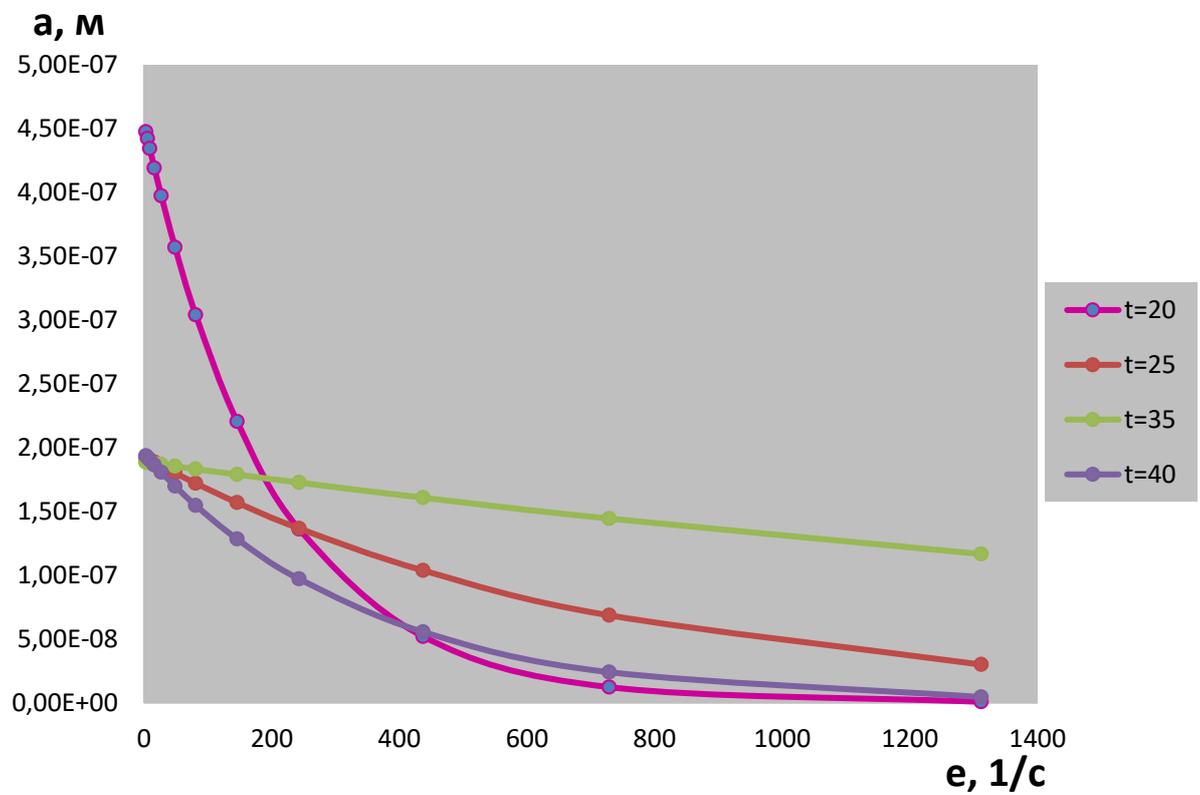


Рисунок 7 - Зависимость радиуса частиц от скорости сдвига

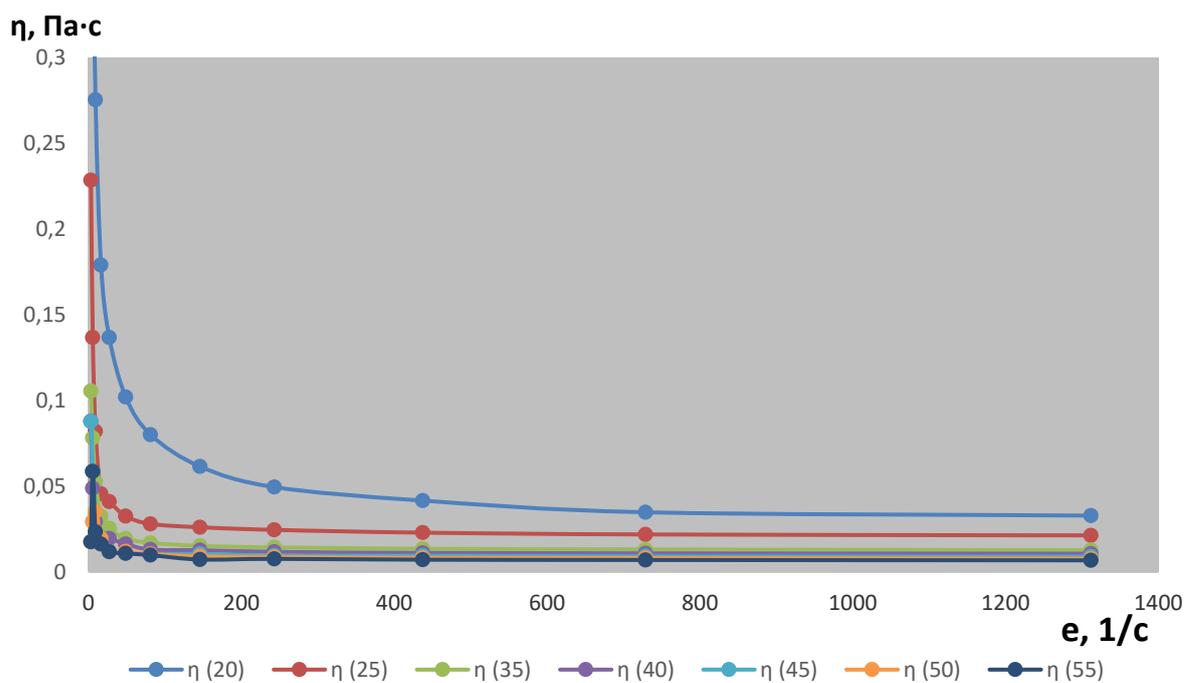


Рисунок 8 - Зависимость вязкости от скорости сдвига

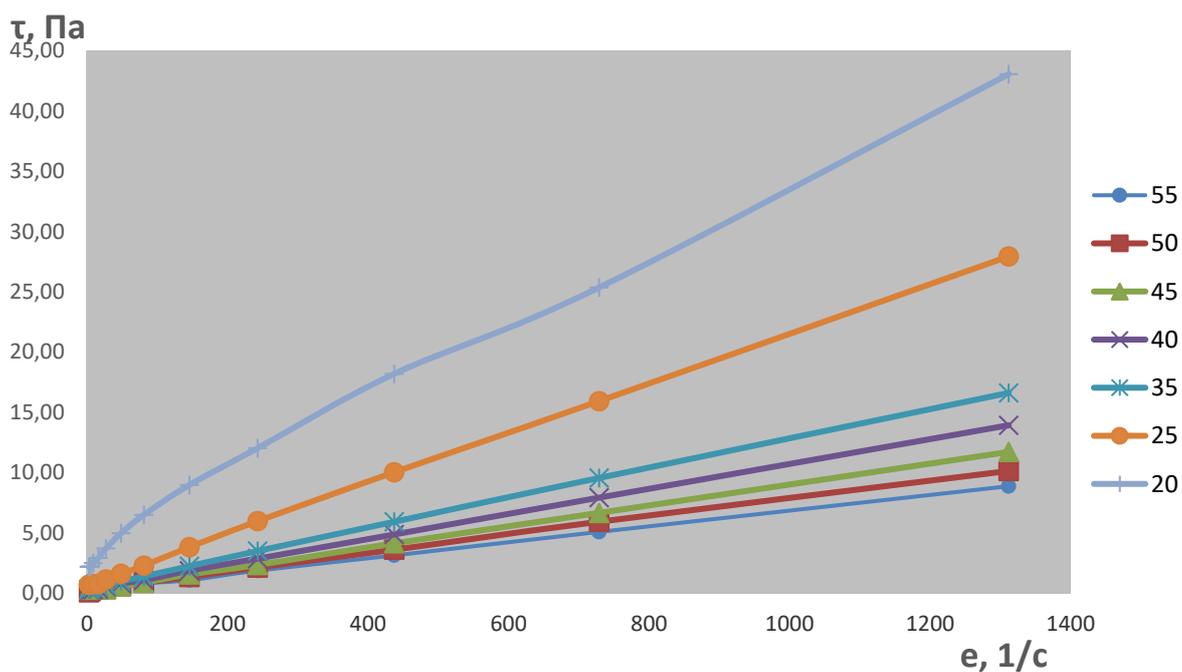


Рисунок 9 – Зависимость напряжения сдвига от скорости сдвига при различных температурах

Таким образом, предложенная методика показала свою работоспособность за исключением тех случаев, когда экспериментальные данные немонотонны.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ7Р	Шакиров Владислав Алексеевич

Школа	ИШПР	Отделение школы	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Нефтегазовое дело. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Определить стоимость материально-технических ресурсов для выполнения работы; Определить стоимость трудовых ресурсов. При проведении научного исследования задействованы два человека: студент (младший научный сотрудник) и руководитель
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Зарботная плата участников НИРопределяется по тарифным ставкам Единой тарифной сетки (ЕТС), введенной с 01.12.01.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления на социальные нужды составляют 30% от затрат на оплату труда

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Разработка плана реализации НИР; Определение трудоемкости работ, затрат на оплату труда и материально-технических ресурсов
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Оценка научного уровня работы, определение договорной цены за разработку

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Романюк В.Б.	к.э.н, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ7Р	Шакиров Владислав Алексеевич		

6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

6.1 Планирование научно-исследовательской работы

6.1.1 Основные этапы работы в рамках научного исследования

Планирование заключается в составлении перечня работ, необходимых для достижения поставленной задачи, определении их трудоемкости, а также финансовых и временных затрат на реализацию данного исследования.

Для выполнения научных исследований была сформирована рабочая группа, в состав которой входят руководитель и младший научный сотрудник.

Таблица 3 – Состав и структура основных этапов работы

№ п/п	Перечень работ	Исполнитель
1.	Разработка технического задания	Руководитель
2.	Подбор и изучение необходимой литературы	мл.науч.сотрудник
3.	Разработка теоретической части темы: подбор методики для определения реологических свойств нефти	мл.науч.сотрудник
4.	Формульное представление выбранной методики	мл.науч.сотрудник
5.	Подбор и представление справочного материала	мл.науч.сотрудник
6.	Подбор вариантов физически осуществимых расчетных решений	мл.науч.сотрудник
7.	Сравнительный технический анализ разработанных вариантов расчетов	мл.науч.сотрудник
8.	Проверка выполненной работы руководителем	Руководитель
9.	Завершающий этап: оформление работы в соответствии со стандартами	мл.науч.сотрудник

6.1.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников выполнения проекта.

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов. Методика оценки приведена в [13].

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5},$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

6.2 Разработка графика выполнения научно-исследовательской работы

В качестве графика инженерных работ используется диаграмма Ганта. Диаграмма Ганта – это горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого используется следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,478,$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Результаты расчетов сведены в таблицу 5.

Таблица 4 – Календарная продолжительность работ

№ этапа	Вид работ	t_{min} , чел.-дн.	t_{max} , чел.-дн.	$t_{\text{ож}}$, чел.-дн.	$Ч$, чел.	T_p , дн.	T_k , дн.
1	Разработка технического задания	2	6	3,6	1	3,6	5
2	Подбор необходимой литературы	2	7	4	1	4	6
3	Разработка теоретической части темы: подбор методики для определения реологических свойств нефти	14	25	18,4	1	18,4	27
4	Формульное представление выбранной методики	3	9	5,4	1	5,4	8

5	Подбор и представление справочного материала	7	15	10,2	1	10,2	15
6	Подбор вариантов физически осуществимых расчетных решений и проведенний технического анализа разработанной методики	5	10	7	1	7	10
7	Проверка выполненной работы руководителем + корректировка студентом	7	14	9,8	2	4,9	7
8	Завершающий этап: оформление работы в соответствии со стандартами	3	8	5	1	5	7
Итого:							86

Продолжение таблицы 4

По результатам расчетов строится диаграмма Ганта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней), приведенная в таблице 6.

Таблица 5 – Диаграмма Ганта

№ работ	Вид работ	Исполнители	T _{кј} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ, декад															
				Фев.			Март			Апр.			Май			Июнь			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1			
1	Разработка технического задания	Руководитель	5	■															
2	Подбор необходимой литературы	мл.науч. сотрудник	6	■															
3	Разработка теоретической части темы: подбор методики для определения реологических свойств нефти	мл.науч. сотрудник	27		■	■	■												
4	Формульное представление выбранной методики	мл.науч. сотрудник	8						■	■	■								
5	Подбор и представление справочного материала	мл.науч. сотрудник	15						■	■	■	■	■						
6	Подбор вариантов физически осуществимых расчетных решений и проведенний технического анализа разработанной методики	мл.науч. сотрудник	10									■	■	■	■	■			

Продолжение таблицы 5

7	Проверка выполненной работы руководителем + корректировка студентом	Руководитель	7																
		мл.науч. сотрудник	7																
8	Завершающий этап: оформление работы в соответствии со стандартами	мл.науч. сотрудник	7																

Итого, длительность работ в календарных днях для руководителя – 12 дней, а для инженера – 81 день.

6.3 Составление сметы проекта

Обычно затраты на любой вид деятельности рассчитываются по следующим элементам расходов с последующим суммированием:

1. Материальные затраты (за вычетом стоимости возвратных отходов);
2. Затраты на оплату труда;
3. Отчисления на социальные нужды (страховые взносы);
4. Амортизация основных фондов и нематериальных активов;
5. Прочие затраты.

6.3.1 Определение трудоемкости выполнения работ

Таблица 6 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
Бумага	Пачка	1	200	200
Ручка шариковая	Штука	2	40	80
Картридж для принтера	Штука	1	1200	1200
Карандаш механический	Штука	1	40	40
USB-флеш-накопитель	Штука	1	400	400
Итого				1920

В элементе «Материальные затраты» отражается стоимость приобретенных со стороны сырья и материалов, которые входят в состав

вырабатываемой продукции, образуя ее основу, или являются необходимыми компонентами при проведении работ.

6.3.2 Определение полной заработной платы исполнителей темы

В настоящую статью включается основная и дополнительная заработная плата всех исполнителей, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

1. Расчет полной заработной платы осуществляется следующим образом:

$$Z_{\text{зн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-15 % от $Z_{\text{осн}}$).

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) исполнителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot (1 + k_{\text{р}})}{F_{\text{д}}},$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

Тарифная ставка 1-го разряда - 6000 руб./мес., умножаем на тарифные коэффициенты 3,62 и 2,22 для руководителя и младшего научного сотрудника согласно [1].

$F_{\text{д}}$ – количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе, 21 при 5-дневной рабочей неделе), раб. дн.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{\text{тс}}$);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

k_p – районный коэффициент, равный 0,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.

Таблица 7 – Расчёт основной заработной платы

Исполнитель	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб.дн	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	21720	0,3	0,2	0,3	42354	2017	8	16135
мл.науч. сотрудник	12120	0,3	0,2	0,3	23634	1125	55	61899
Итого $Z_{осн}$, руб.								78033

2. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 78033 = 11705 \text{руб.}$$

Полная заработная плата исполнителей

$$Z = Z_{осн} + Z_{доп} = 78033 + 11705 = 89738 \text{руб.}$$

6.3.3 Определение отчислений во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot Z,$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов, равный 30%.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$Z_{внеб} = 0,3 \cdot 89738 = 26,92 \text{ тыс. руб.}$$

6.3.4 Определение амортизации основных фондов

Амортизация основных фондов и нематериальных активов представляет собой сумму амортизационных отчислений на полное восстановление основных производственных фондов, исчисленную исходя из их балансовой стоимости и утвержденных норм амортизации. Нормы амортизации принята равной величине, обратной сроку службы.

Таблица 8 – Определение амортизации

Наименование	Количество, шт.	Цена за ед. W , руб.	Срок службы, лет	Норма амортизации H_a , о.е.	Амортизация, руб.
Компьютер персональный	1	30000	5	$1/5=0,2$	1333
Принтер	1	4000	5	$1/5=0,2$	9
Итого					1342

$$A_{комп} = H_a \cdot K_{оборот} \cdot W = 0,2 \cdot 80/360 \cdot 30000 = 1333 \text{ руб.};$$

$$A_{пр} = H_a \cdot K_{оборот} \cdot W = 0,2 \cdot 4/360 \cdot 4000 = 9 \text{ руб.},$$

где $K_{оборот}$ – коэффициент, представляющий собой отношение длительности использования объекта основных фондов к длительности года, о.е.

6.3.5 Определение накладных расходов

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и

телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 4) \cdot k_{\text{нр}},$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$Z_{\text{накл}} = (1920+89738+26921) \cdot 0,16 = 18972,6 \text{ руб.}$$

6.3.6 Формирование бюджета затрат на реализацию научно-исследовательской работы

Таблица 9 – Расчет бюджета затрат

Наименование статьи	Сумма, руб.	Доля, %
Материальные затраты	1920	1,38
Затраты по основной и дополнительной заработной плате исполнителей	89738	64,61
Отчисления во внебюджетные фонды	26921	19,38
Амортизация	1342	0,97
Накладные расходы	18972,6	13,66
Бюджет затрат	138893,6	100

Рассчитанная величина затрат проектирования работы является основой для формирования бюджета затрат проекта. Амортизация

6.4 Оценка научного уровня работы

Количественная оценка научного или научно-технического уровня может быть произведена путем расчета результативности участников разработки по формуле:

$$K_{\text{ну}} = \sum_{i=1}^n (K_{\text{дyi}} \cdot d_i)$$

где $K_{\text{ну}}$ – коэффициент научного или научно-технического уровня;

$K_{\text{дyi}}$ – коэффициент достигнутого уровня i -го фактора;

d_i – значимость i -го фактора;

n – количество факторов.

Для удобства расчетов составлена таблица факторов оценки научно-технической результативности.

По каждому из факторов экспертным путем устанавливается числовое значение коэффициента значимости d_i . Коэффициент достигнутого уровня фактора также устанавливается экспертным путем, а его числовое значение в пределах от 0 до 1 определяется с учетом качества признака фактора и его характеристики.

Таблица 10 – Оценка научного уровня разработки

Показатели	Значимость показателя	Достигнутый уровень	Значение i -го фактора
	d_i	$K_{дyi}$	$K_{дyi} \cdot d_i$
1.Новизна полученных или предполагаемых результатов	0,25	0,3	0,075
2.Перспективность использования результатов	0,3	0,2	0,06
3.Завершенность полученных результатов	0,2	0,2	0,04
4.Масштаб возможной реализации полученных результатов	0,25	0,2	0,05
Результативность	$K_{ны} = \sum(K_{дyi} \cdot d_i) = 0,225$		

Чем ближе значение $K_{ны}$ к 1,0, тем выше научный или научно-технический уровень разработки.

Договорная цена разработки определяется как

$$C_d = C_{пл} \cdot (1 + K_{ны}) = 138893,6 \cdot 1,225 = 170145 \text{руб.}$$

Научный эффект характеризует получение новых знаний и отражает прирост информации, предназначенной для внутринаучного потребления.

В работе был проведен технико-экономический анализ. Результаты исследований могут быть использованы, по крайней мере, при проведении научно-исследовательских работ или интересны для организаций, занимающихся расчетом реологических свойств нефти.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ7Р	Шакиров Владислав Алексеевич

Школа	ИШПР	Отделение школы	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Нефтегазовое дело. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования и области его применения	Методика определения реологических свойств нефти Томской области
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	1.1 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны исследователя, проектируемой рабочей зоны для создания комфортной рабочей среды 1.2 ТК РФ, № 197 – ФЗ 1.3 Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере ТОО Р-45-084-01 1.4 ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны..
2. Производственная безопасность 2.1. Анализ выявленных вредных факторов 2.2. Анализ выявленных опасных факторов	2.1 Анализ вредных факторов 2.1.1 Отклонение показателей микроклимата в помещении 2.1.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны 2.1.3 Психофизиологические факторы 2.2 Анализ опасных факторов 2.2.1 Электробезопасность 2.2.2 Пожароопасность
3. Экологическая безопасность – защита атмосферы; – защита литосферы; – защита гидросферы	3.1 Анализ воздействия объекта на атмосферу 3.2 Анализ воздействия объекта на гидросферу 3.3 Анализ воздействия объекта на земельные ресурсы, флору и фауну
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	4.1 Анализ возможных ЧС 4.2 Меры по предотвращению пожароопасной обстановки 4.3 Действия в результате возникшей ЧС и меры по ликвидации её последствий

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина М.С.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ7Р	Шакиров Владислав Алексеевич		

7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Основными Социальная ответственность предприятия – это уровень добровольного отклика на социальные потребности работников, лежащие вне определяемых законом или регулируемыми органами требований, это действия, предпринимаемые во благо общества добровольно.

Целью настоящей работы является разработка методики для определения реологических свойств нефти на примере проб нефти месторождений Томской области.

Охрана труда в современном мире имеет огромное значение в связи с интенсивным развитием производственной сферы и появлением новых видов деятельности. Соблюдение ее принципов позволяет решить целый ряд задач, среди которых:

- гарантированная защита сотрудников предприятия от вредных и опасных факторов, влияющих на их здоровье;

- снижение расходов на обеспечение производственного процесса;

- исключение серьезных экономических убытков из-за потери рабочего времени;

- исключение претензий и финансовых санкций контролирующих органов, призванных следить за соблюдением требований трудового законодательства;

- повышение производительности и качества труда персонала. [13]

Важно соблюдать правила безопасности и охраны труда, потому что в первую очередь самой высокой ценностью всегда является человек, его жизнь и здоровье. Ни размер заработной платы, ни уровень рентабельности предприятия, ни ценность производимого продукта не могут служить основанием для пренебрежения правилами безопасности и оправданием существующих угроз жизни или здоровью работников. Кроме того, в данном случае речь также идет о ценности конкретного человека как сотрудника с присущими ему знаниями, навыками и опытом.

Во-вторых, правильно организованная работа по обеспечению безопасности труда повышает дисциплинированность работников, что, в свою очередь, ведет к повышению производительности труда, снижению количества несчастных случаев, поломок оборудования и иных нештатных ситуаций, что в конечном итоге повышает эффективность производства.

В-третьих, охрана труда подразумевает не только обеспечение безопасности работников во время исполнения ими служебных обязанностей. Сюда также относятся самые разные мероприятия: например, профилактика профессиональных заболеваний, организация полноценного отдыха и питания работников во время рабочих перерывов, обеспечение их необходимой спецодеждой и даже выполнение социальных льгот и гарантий. Правильный подход к организации охраны труда на предприятии, грамотное использование нематериальных способов стимулирования работников дают последним необходимое чувство надежности, стабильности и заинтересованности руководства в своих сотрудниках. Таким образом, благодаря налаженной охране труда снижается также текучесть кадров, что в свою очередь благотворно влияет на стабильность всего предприятия.

7.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

При разработке данного раздела учитываются необходимые нормы и требования законов Российской Федерации при работе за компьютером. Продолжительность рабочего дня составляет 8 часов.

В соответствии с приказом Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации от 12 апреля 2011 г. N 302н работы профессионально связанные с эксплуатацией ПК не входят в перечень вредных и (или) опасных производственных факторов и работ.

В соответствии с пунктом 13.1 статьи 13 Постановления Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 03.06.2003 № 118 [14] лица, работающие с ПК более 50% рабочего времени (профессионально связанные с эксплуатацией ПК), должны проходить

обязательные предварительные при поступлении на работу и периодические медицинские осмотры в установленном порядке.

Нормальная продолжительность рабочего времени согласно статье 91 Трудового кодекса РФ не может превышать 40 часов в неделю.

В соответствии с Типовой инструкцией по охране труда при работе на персональном компьютере ТОО Р-45-084-01 [15] продолжительность непрерывной работы с компьютером без регламентированного перерыва не должна превышать двух часов. Продолжительность и частота перерывов зависит от категории работы с компьютером и уровня нагрузки (таблица 12).

Согласно статье 92 Трудового кодекса РФ сокращенная продолжительность рабочего времени при проведении работ профессионально связанных с эксплуатацией ПК не предусмотрена.

В соответствии со статьей 108 Трудового кодекса РФ в течение рабочего дня (смены) работнику должен быть предоставлен перерыв для отдыха и питания продолжительностью не более двух часов и не менее 30 минут, который в рабочее время не включается.

Таблица 12 – Категории работ с компьютером

Категории работы с компьютером	Уровень нагрузки за смену при разных видах работ		
	А	Б	В
	кол-во знаков	кол-во знаков	кол-во знаков
I	до 20000	до 15000	до 2
II	до 40000	до 30000	до 4
III	до 60000	до 40000	до 6

При 8-часовой рабочей смене и работе на компьютере регламентированные перерывы следует устанавливать [16]:

- для I категории работ – через два часа от начала рабочей смены и через два часа после обеденного перерыва продолжительностью 15 минут каждый;

- для II категории работ – через два часа от начала рабочей смены и через 1,5-2 часа после обеденного перерыва продолжительностью 15 минут каждый или продолжительностью 10 минут через каждый час работы;

- для III категории работ – через 1,5-2 часа от начала рабочей смены и через 1,5-2 часа после обеденного перерыва продолжительностью 20 минут каждый или продолжительностью 15 минут через каждый час работы.

Негативное воздействие на человека персонального компьютера заключается в том, что к концу рабочего дня операторы ощущают головную боль, резь в глазах, тянущие боли в мышцах шеи, рук, спины, зуд кожи лица. Со временем это приводит к мигреням, частичной потере зрения, сколиозу, кожным воспалениям и т.д. Результаты показали, что наиболее «рисковыми» пользователями ПК являются дети и беременные женщины.

Санитарно-гигиенические требования к помещениям для эксплуатации ПК согласно следующие: рабочие места с ПК требуется располагать во всех помещениях, кроме подвальных, с окнами, выходящими на север и северо-восток.

Отделка помещения полимерными материалами производится только с разрешения Госсанэпиднадзора. В образовательных помещениях запрещается применять полимерные материалы (ДСП, слоистый пластик, синтетические ковровые покрытия и т.д.), выделяющие в воздух вредные химические вещества.

Оконные проемы должны иметь регулирующие устройства (жалюзи, занавески). Компьютер нужно установить так, чтобы на экран не падал прямой свет (иначе экран будет отсвечивать, что является вредным для экрана). Оптимальное положение на работе - боком к окну, желательно левым.

Высота рабочей поверхности стола составляет 725 мм. Модульными размерами рабочей поверхности стола для ПК, на основании которых должны рассчитываться конструктивные размеры, следует считать: ширину 800, 1000, 1200 и 1400 мм, глубину 800 и 1000 мм при нерегулируемой его

высоте. Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм. Конструкция рабочего стола поддерживает рациональную рабочую позу при работе с ПК, позволяет изменить позу с целью снижения статистического направления мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения утомления. Конструкция рабочего стула должна обеспечивать:

- ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм;
- регулировку высоты поверхности сиденья в пределах 400-550 мм и углам наклона вперед до 15° и назад до 5°;
- высоту опорной поверхности спинки 30 ± 20 мм, ширину – не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости – 400 мм;
- угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах $\pm 30^\circ$;
- регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах 230 ± 30 мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах 350-500 мм.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края, обращённого к пользователю, или на специальной, регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделённой от основной столешницы.

Рабочий процесс проходил в кабинете самостоятельной работы института природных ресурсов, который расположен в 316 аудитории 20 корпуса НИ ТПУ. В кабинете предусмотрено 12 индивидуальных рабочих мест. Каждое место представляет собой компьютерный стол с тумбой и полками для книг, оснащенный стационарным компьютером (процессор: Intel(R) Core(TM) i5-3230M CPU 2,60 GHz) с монитором Samsung Sync Master 715N с диагональю 19 дюймов (яркость 75 %, контрастность 50 %, с частотой обновления 60 Hz и разрешением 1920×1080).

Так же кабинет оборудован прямоугольным столом, рассчитанным на 8 человек. Кабинет имеет естественное и искусственное освещение.

Естественное освещение осуществляется через световые проемы (окна), искусственное освещение осуществляется системой общего равномерного освещения. Значения размеров комнаты составляют: длина – 8 м, ширина – 6 м, высота – 3,5 м. Одно рабочее место занимает площадь равную 6 м², а объем на одно рабочее место – 20,0 м³.

Основная работа производится в закрытом помещении (камеральная обработка данных) за компьютером, поэтому в разделе «Социальная ответственность» рассматривается безопасность работы за рабочим местом в компьютерном классе.

7.2 Производственная безопасность

7.2.1 Анализ вредных факторов

Естественные Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при выполнении камеральных работ в этом помещении описаны в таблице 13 в соответствии с ГОСТ 12.0.003-74 [17].

Таблица 13 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при моделировании фильтрационных свойств пород мелкого месторождения Томской области.

Наименование видов работ	Ф а к т о р ы (ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ с измен. 1999 г.)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Сбор, изучение, анализ имеющихся материалов;	1. Недостаточная освещенность рабочей зоны	1. Электрический ток	ГОСТ 12.1.019 - 79 [18] ГОСТ 12.1.038-82 [19] ПТЭ и ПТБ потребителей [20]
Камеральная обработка, формирование пояснительной записки	2. Отклонение параметров микроклимата в помещении 3. Психофизиологические факторы	2. Пожароопасность	ПУЭ [21] СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [22] СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [23] СанПиН 2.2.4.548-96 [24]

Отклонение показателей микроклимата в помещении

Микроклимат производственных помещений – метеорологические условия производственной среды помещений, которые оказывают влияние на тепловую стабильность организма человека в процессе труда. Микроклиматические условия на рабочих местах производственных помещений – важнейший санитарно-гигиенический фактор, от которого во многом зависит состояние здоровья и работоспособность человека.

Показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях согласно СанПиН 2.2.4.548-96 являются:

- температура воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового облучения.

Микроклиматические параметры оказывают значительное влияние, как на функциональную деятельность человека, так и на надежность работы ПК. Поэтому в помещениях, где установлены компьютеры, должны соблюдаться оптимальные параметры микроклимата с учетом разграничения работ на категории по СанПиН 2.2.4.548-96 (таблица 14). В данном случае проводимые работы можно отнести к категории Ia – интенсивность энергозатрат до 120 ккал/ч (производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением).

Таблица 14 – Оптимальные величины показателей микроклимата в рабочей зоне производственных помещений при работе в компьютерном помещении согласно СанПиН 2.2.4.548–96 [24]

Период года	Параметр микроклимата	Величина
Холодный и	Температура воздуха в помещении	22 – 24°C

переходный	Относительная влажность	40 – 60 %
	Скорость движения воздуха	до 0,1 м/с
Теплый	Температура воздуха в помещении	23 – 25°С
	Относительная влажность	40 – 60 %
	Скорость движения воздуха	0,1 – 0,2 м/с

При обеспечении оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года следует применять средства защиты рабочего места от радиационного переохлаждения от стеклянных поверхностей оконных проемов, в теплый период – от попадания прямых солнечных лучей.

Для поддержания нормальных параметров микроклимата в рабочей зоне необходимо применять следующие основные мероприятия: защиту от источников теплового излучения, устройство систем вентиляции, кондиционирования воздуха и отопления.

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Правильно спроектированное и рационально выполненное освещение производственных помещений оказывает положительное воздействие на работающих. Способствует повышению эффективности и безопасности труда, снижает утомление и травматизм, сохраняет высокую работоспособность.

Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормативных условий работы в помещениях и открытых площадках и проводится в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [23]. Естественное освещение обеспечивается через оконные проемы с коэффициентом естественного освещения (КЕО) не ниже 1,2 % в зонах с устойчивым снежным покровом и не ниже 1,5 % на остальной территории. Световой поток из оконного проема должен падать на рабочее место с левой стороны.

Искусственное освещение в помещениях эксплуатации компьютеров должно осуществляться системой общего равномерного освещения. Освещенность на поверхности стола в зоне размещения документа должна быть 300-500 лк. Допускается установка светильников местного освещения для подсветки документов. Местное освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана и увеличивать освещенность экрана более 300 лк. Прямую блескость от источников освещения следует ограничить. Яркость светящихся поверхностей (окна, светильники), находящихся в поле зрения, должна быть не более 200 кд/м². Для искусственного освещения помещений с персональными компьютерами следует применять светильники типа ЛПО36 с зеркализированными решетками, укомплектованные высокочастотными пускорегулирующими аппаратами. Допускается применять светильники прямого света, преимущественно отраженного света типа ЛПО13, ЛПО5, ЛСО4, ЛПО34, ЛПО31 с люминисцентными лампами типа ЛБ. Защитный угол светильников должен быть не менее 40 градусов. Светильники местного освещения должны иметь непросвечивающийся отражатель с защитным углом не менее 40 градусов.

Психофизиологические факторы

Негативное воздействие на человека компьютеров заключается в том, что к концу рабочего дня операторы ПК ощущают головную боль, резь в глазах, тянущие боли в мышцах шеи, рук, спины, зуд кожи лица. Со временем это приводит к мигреням, частичной потере зрения, сколиозу, кожным воспалениям. Эти заболевания не только снижают трудоспособность, но и подрывают здоровье людей [23].

Чтобы избежать подобных негативных явлений, необходимо грамотно организовывать и оборудовать рабочие места с учетом требований СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 (Рисунок 10), а именно:

– рабочее место должно располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку, преимущественно слева;

- окна в помещениях с ВДТ и ПК должны быть оборудованы регулируемыми устройствами (жалюзи, занавески, внешние козырьки и т.д.);
- расстояние между рабочими столами с видеомониторами должны быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов – не менее 1,2 м;
- монитор, клавиатура и корпус компьютера должны находиться прямо перед оператором; высота рабочего стола с клавиатурой должна составлять от 680 до 800 мм над уровнем пола; а высота экрана (над полом) от 900 до 1280 см;
- монитор должен находиться от оператора на расстоянии от 60 до 70 см на 20 градусов ниже уровня глаз;
- пространство для ног должно быть: высотой не менее 600 мм, шириной не менее 500 мм, глубиной не менее 450 мм. Должна быть предусмотрена подставка для ног работающего шириной не менее 300 мм с регулировкой угла наклона. Ноги при этом должны быть согнуты под прямым углом.

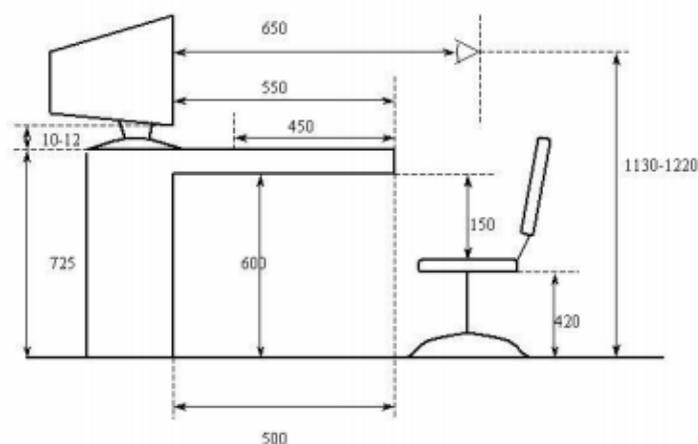


Рисунок 10 – Основные требования к рабочему месту

Кроме того, необходимо учитывать, что в случаях, когда характер работы требует постоянного взаимодействия с ВДТ (набор текстов или ввод

данных и т. п.) с напряжением внимания и сосредоточенности, при исключении возможности периодического переключения на другие виды трудовой деятельности, не связанные с ПК, рекомендуется организация перерывов на 10 – 15 мин через каждые 45-60 мин работы. Продолжительность непрерывной работы с ВДТ без регламентированного перерыва не должна превышать 1 ч. Ежедневная работа высокой интенсивности и с нервно-эмоциональным напряжением по 12 и более часов не допускается.

7.2.2 Анализ вредных факторов

Электробезопасность

Электрические установки, к которым относятся практически все оборудование ПК, представляет для человека большую потенциальную опасность.

Степень опасного и вредного воздействия на человека электрического тока и ЭМП зависит от: рода и величины напряжения и тока, частоты тока, пути тока через тело человека, продолжительность воздействия электрического тока на организм человека, условий внешней среды.

Реакция человека на электрический ток возникает лишь при протекании тока через тело. Электрический ток, проходя через организм человека, оказывает на него сложное действие – термическое, электролитическое, биологическое, механическое.

Напряжения и токи, протекающие через тело человека при нормальном режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 15 [23].

Таблица 15 – Предельно допустимые значения напряжений и токов

Род тока	Напряжение (U), В	Сила тока (I), мА
	не более	

Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Для предотвращения электротравматизма большое значение имеет правильная организация работ, т.е. соблюдение правил технической эксплуатации электроустановок потребителей, правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ и ПТБ потребителей) и правил устройства электроустановок (ПУЭ).

Аудитория, где проводится камеральная обработка результатов научной деятельности, согласно ПУЭ относится к помещениям без повышенной опасности поражения электрическим током (относительная влажность воздуха – не более 75 %, температура воздуха +25°С, помещение с небольшим количеством металлических предметов, конструкций)

Основные нормативные акты, устанавливающие требования электробезопасности являются ГОСТ 12.1.019 -79 и ГОСТ 12.1.038-82.

Для предотвращения электротравм следует соблюдать требования, предъявляемые к обеспечению электробезопасности работающих на ПК:

- все узлы одного персонального компьютера и подключенное к нему периферийное оборудование должно питаться от одной фазы электросети;
- корпуса системного блока и внешних устройств должны быть заземлены радиально с одной общей точкой;
- для отключения компьютерного оборудования должен использоваться отдельный пункт с автоматами и общим рубильником.

7.3 Экологическая безопасность

В настоящем разделе приведена экологическая оценка воздействия на компоненты природной среды при разработки мелкого месторождения. Предусмотрены мероприятия, обеспечивающие безопасность населения,

охрану окружающей среды и недр от возможных негативных воздействий, связанных с разработкой малого месторождения.

Защита атмосферы

Основная деятельность, планируемая на мелком месторождении – добыча и транспортировка нефти.

Основными источниками выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферу от планируемых объектов пробной эксплуатации малого месторождения являются:

- транспортная котельная с котлами ПKN–2С, работающая в период бурения новых скважин;
- дизельный подъемный агрегат «Cardwell» (работает в период освоения, бурения, монтажа и демонтажа при зарезки бокового ствола);
- двигатели внутреннего сгорания автомобильной и строительной техники.

Основными, выбрасываемыми в приземный слой атмосферы, от планируемых источников являются: углеводороды, оксид азота, диоксид азота, оксид углерода, оксид серы, сажа, формальдегид, сернистый ангидрид, взвешенные вещества, акролеин.

Для нормирования выбросов вредных веществ используется показатель предельно-допустимой концентрации вредных веществ, рассчитываемый по формуле:

$$\sum_{i=1}^N \frac{C_i}{\text{ПДК}_i - \text{Сф}_i} \leq 1,$$

Для предотвращения выбросов вредных веществ в атмосферу предусмотрены плановые ремонтно-предупредительные работы, не допускающие прорыв трубопровода при транспортировке нефти от кустовых площадок до ДНС с УПСВ.

В процессе опытно-промышленной разработки мелкого месторождения предусматривается герметизированная система добычи, сбора и транспорта продукции скважин до ДНС с УПСВ где планируется проводить первичную подготовку нефти (сброс воды).

Окончательная подготовка нефти проводится на действующей УПН соседнего месторождения, которая обеспечивает соответствие её качественных показателей первой группе по ГОСТ Р 51858-2002.

Защита литосферы

Бурение эксплуатационных скважин с кустовых оснований и прокладка инженерных коммуникаций к ним в одном коридоре позволит сконцентрировать негативное воздействие планируемой разработки месторождения на литосферу. Почв сельскохозяйственного использования на площади месторождения не имеется. Земли используются в лесном хозяйстве.

Негативное воздействие объектов планируемой разработки месторождения на растительность оказывается:

- вырубкой леса на изымаемых под строительство землях;
- возможными аварийными разливами нефти.

Для рационального использования растительных ресурсов и снижения отрицательного воздействия планируемой разработки месторождения на растительность рекомендуется:

- использовать древесину, вырубаемую на отводимой территории, для нужд строительства;
- выполнять строительные работы строго в полосе отвода;
- соблюдать правила пожарной безопасности при работе в лесных массивах.

Реализация перечисленных мероприятий позволит ограничить негативное воздействие планируемой разработки месторождения на животный мир пределами площадных объектов. Беспокойство животных

производством работ при отсутствии браконьерства будет сказываться в пределах нескольких сотен метров от планируемых объектов в период их строительства.

Образующиеся при разработке месторождения отходы подлежат переработке, обезвреживанию или захоронению в соответствии с требованиями нормативных документов и природоохранных органов государственного контроля.

Защита гидросферы

При добыче и подготовки нефти в сточные воды могут попадать нефтепродукты из-за прорыва трубопровода и разгерметизации оборудования.

Основными являются: углеводороды, оксид азота, диоксид азота, оксид углерода, оксид серы, сажа, формальдегид, сернистый ангидрид, взвешенные вещества, акролеин. Основным нормирующим показателем, характеризующим качество воды, как и атмосферы, является ПДК.

Предельно допустимая концентрация вредного (загрязняющего) вещества в воде водоема (ПДКв) – это такая его концентрация, которая не оказывает негативного влияния на организм человека при различных видах употребления воды (для питья, приготовления пищи, гигиенических целей и для отдыха).

При установлении ПДК принимают во внимание несколько лимитирующих показателей вредности, т.е. под ним понимают определенное наиболее неблагоприятное воздействие каждого вещества. Для водоемов питьевого назначения используют три вида ЛПВ: санитарнотоксикологический, общесанитарный и органолептический. Для водоемов рыбохозяйственного назначения дополнительно применяют еще два ЛПВ: токсикологический и рыбохозяйственный.

Очистка воды от нефтепродуктов происходит на очистных сооружениях, которые сочетают в себе:

- механические методы;
- химические способы;
- физико-химические методики;
- биологические методы очистки.

7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В данном разделе рассматривается чрезвычайная ситуация – пожары в зданиях, сооружениях жилого, социального и культурного назначения, относящаяся к классу ЧС техногенного характера.

В современных ПК очень высока плотность размещения элементов электронных схем. В непосредственной близости друг от друга располагаются соединительные провода, коммутационные кабели. При протекании по ним электрического тока выделяется значительное количество теплоты, что может привести к повышению температуры отдельных узлов до 80-100⁰С. При повышении температуры отдельных узлов возможно оплавление изоляции соединительных проводов, которое ведет к короткому замыканию, сопровождающееся, в свою очередь, искрением.

«Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» утвержден федеральным законом от 22 июля 2008 г.

Предотвращение распространения пожара достигается мероприятиями, ограничивающими площадь, интенсивность и продолжительность горения. К ним относятся:

- конструктивные и объёмно-планировочные решения, препятствующие распространению опасных факторов пожара по помещению;
- ограничения пожарной опасности строительных материалов используемых в поверхностных слоях конструкции здания, в том числе кровель, отделок и облицовок фасадов, помещений и путей эвакуации;
- снижение технологической взрывопожарной и пожарной опасности помещений и зданий;

- сигнализация и оповещение о пожаре;
- «План эвакуации людей при пожаре»;
- установлена система автоматической противопожарной сигнализации (датчики-сигнализаторы типа ДТП).

В данном помещении не обнаружено предпосылок к пожароопасной ситуации. Это обеспечивается соблюдением норм при монтаже электропроводки, отсутствием электрообогревательных приборов и дефектов в розетках и выключателях.

Выводы:

Одной из самых важных проблем, стоящих перед мировым сообществом, является проблема защиты окружающей природной среды и устойчивого развития человеческой цивилизации. В современном обществе с высокоразвитой экономикой резко возрастает роль инженерной экологии, включающей вопросы инженерной защиты от воздействий природного и техногенного происхождения. Большую долю техногенных загрязнений окружающей среды занимает нефтяная промышленность. Загрязнения, возникающие в результате халатного отношения работников сферы нефтяной промышленности, не менее, а возможно и более опасны для человека и окружающей среды, чем традиционные виды загрязнений.

Во первой части раздела было рассмотрено рабочее место исполнителя данной работы – место за персональным компьютером. Рассмотрены и проанализированы вредные и опасные факторы производственной среды, оказывающие влияние на исполнителя, и методы их снижения или устранения.

В второй части данного раздела было рассмотрено влияние нефтяной промышленности на окружающую природную среду и человека, а также дана характеристика негативного воздействия нефтяного промысла на атмосферу, гидросферу и литосферу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения диссертационной работы были рассмотрены методики по обработке экспериментальных данных для определения реологических свойств нефти. В качестве основной методики была выбрана методика, представленная в статье В.М. Гиниятуллина, Э.Г. Теляшева, С.Ф. Урмачеева «К вопросу о механизме изменений вязкости нефтяных дисперсных систем» [1]. Была произведена проверка выбранной методики, в результате которой было выявлено, что решение является неединственным и зависит от начального приближения, поэтому была предложена модификация методики по обработке экспериментальных данных.

В основе разработанной методики был предложен комбинированный подход, в котором задача поиска минимума аппроксимирующей зависимости сводилась к поиску минимума функции в пространстве не пяти параметров $\tau_0, \eta_0, a_0, k, a_\infty$, а только двух. При этом на первом шаге строился зависящий от двух параметров график линий уровня функции. Из визуального анализа линий уровня выбирались такие значения параметров, которые лежали около физически приемлемого минимума. Это обеспечивало единственное решение. На заключительном шаге эти значения использовались как начальные в Excel и Solver для поиска минимума в пространстве двух параметров.

С использованием предложенной методики была произведена обработка экспериментальных данных по скорости сдвига и напряжению сдвига, полученных по нефти Арчинского месторождения.

Также была предложена упрощенная методика, в которой решение сводилось к поиску лишь четырех параметров. При этом поиск минимума аппроксимирующей зависимости сводился к поиску минимума функции одной переменной. Данная методика оказалась более удобной в использовании, однако её необходимо в дальнейшем проверить на экспериментальных данных.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА:

1. Шакиров В.А. Численная методика обработки экспериментов для определения реологических свойств нефти / Томский политехнический университет. XXIII Международный научный симпозиум студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» - Томск, 2019.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гиниятуллин В.М., Теляшев Э.Г., Урманчиев С.Ф. К вопросу о механизме изменения вязкости нефтяных дисперсных систем // Нефтепереработка и нефтехимия. – 1997. – №8. – С. 18–20;
2. Сюнев З.И. Нефтяной улерод. М.: Химия, 1980 - 270 с.;
3. Унгер Ф.Г., Андреева Н.Г. Фундаментальные аспекты химии нефти. Новосибирск, Наука, 1995 - 185 с.;
4. Абдульманов Р.Г., Сериков П.Ю., Смидович Е.В., Сюняев З.И. Агрегативная устойчивость тяжелого дистиллятного сырья в присутствии активирующих добавок. Химия и технология топлив и масел, 1985, No 1, с 28- 29;
5. Гилязетдинов Л.П., Аль-Джома А. Определение параметров темных частиц дисперсной фазы в нефтяных системах. Химия и технология топлив и масел, 1994, No 3, с 27-29;
6. В.Я. Рудяка, А.А. Белкина, В.В. Егорова. Об эффективной вязкости наносuspензий // Журнал технической физики. – 2009. - №8 – С. 18-25;
7. Рудяк В.Я. Статистическая аэрогидромеханика гомогенных и гетерогенных. Т. 2. Гидромеханика. Новосибирск: Наука, 2005. 468 с.;
8. П.К. Волкова, С.И., Мартынова, Л.Ю. Ткачева. Взаимодействие частиц как механизм увеличения вязкости суспензии // Вестник югорского государственного университета. – 2012. - №2 – С. 21-24.;
9. Happel, J. Low Reynolds number hydrodynamics [Text] / J. Happel, H. Brenner. – Prentice- Hall, 1965 = Хаппель Дж. Гидродинамика при малых числах Рейнольдса [Текст] / Дж. Хаппель, Г. Бреннер. – М. : Мир, 1976. – 632 с.;
10. Batchelor, G. K. The determination of the bulk stress in a suspension of

- spherical particles to order c^2 . [Text] / G. K. Batchelor, J. T. Green // Journal of Fluid Mechanics. – 1972. – V. 56, pt. 3. – P. 401–427.;
11. Мартынов, С. И. Гидродинамическое взаимодействие частиц [Текст] / С. И. Мартынов. Известия РАН. Механика жидкости и газа, 1998. – №, С. 112–119.;
12. Манжай В.Н., Кулышкина С.Г., Чеканцева Л.В., Яценко И.Г. состав и структура высоковязких нефтей различных месторождений // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. - 2018 – С.112-118.;
13. Безопасность жизнедеятельности: учеб.пособие. 3-е изд., испр. и доп. / под ред. О. Н. Русака. –СПб.: Изд-во «Лань», 2000. –448 с.;
14. Постановления Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 03.06.2003 № 118 О введении в действие санитарноэпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. – М.: Минюст, 2003. – 32 с.;
15. ТОИ Р-45-084-01. Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере. – М.: Минсвязь, 2011. – 4 с.;
16. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003. –42 с.;
17. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 5 с.;
18. ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 5 с.;
19. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые

- уровни напряжений прикосновения и токов. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 5 с.;
20. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: Атомиздат, 1971. – 130 с.;
21. Правила устройства электроустановок. 7-е изд., разд. 1, 6, 7. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2009. – 149 с.;
22. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. – М.: Минюст, 2003. – 15 с.;
23. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003. – 42 с.;
24. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Госкомсанэпиднадзор, 1996. – 12 с.

Приложение А
(справочное)

**Numerical method of interpretation experimental data to determine the oil
rheological properties of Tomsk region**

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ7Р	Шакиров Владислав Алексеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Галкин Владислав Михайлович	к.ф.-м.н		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гутарева Надежда Юрьевна	к.п.н.		

LITERATURE REVIEW

Several techniques for determining the rheological properties of oil are discussed in this dissertation. All techniques are based on A. Einstein's equation for determining the viscosity of suspensions.

The main literary source is an article [1]. This article is based on the hypothesis [2], according to which oil and oil products can be considered as disperse systems, and not molecular solutions. In this case, a dispersed system consists of dispersed particles surrounded by a dispersive medium. Dispersed particles, in turn, consist of nuclei, usually formed by molecules with a high C / H ratio and solvation shells. These ideas, based on the works of Rebinder P [3]. In such systems, the viscosity of the fluid must be associated with the presence of dispersed particles in it. When considering oil and its products as dispersed systems, several authors [4] experimentally established that the sizes of dispersed particles change both with temperature fluctuations and under the action of shear deformations of the medium. Thus, it is logical to assume that the dynamic behavior of oil dispersed systems can be explained by the destruction of a part of the solvation shell in the shear field, which entails the dependence of viscosity on the characteristic particle size. The purpose of this study is to substantiate the non-Newtonian properties of petroleum and petroleum products from this point of view.

On the basis of literature data, it is known that the number of dispersed particles in oils is estimated by $n = 1,75 \cdot 10^{18} m^{-3}$, the surface diameter of the particles is approximately equal to $a \sim 200$ nm [5], on the basis of which it is possible to estimate the volumetric phase content of dispersed particles, calculated by the formula:

$$\phi = \frac{4}{3} \pi a^3 n$$

Where $\phi = 0,0073$

Thus, it can be concluded that the well-known Einstein formula is applicable for determining the viscosity of a suspension consisting of solid particles characterized by a low concentration ($\phi \sim 0,01$).

$$\eta(\phi) = \eta_0(1 + 2.5\phi) \quad (1.1)$$

It is obvious that formula (1.1) can be applied with some qualification, because in the future it is supposed to assume that the radius of the particles changes. In this regard, we introduce the following hypotheses.

1. The radius of dispersed particles varies slightly under the action of shear deformation.

2. Einstein's formula remains valid when the radius of the particles changes, and the viscosity depends on the concentration linearly.

3. The change of the particle radius under the action of shear deformations occurs in the range from 0 (the initial radius of the particle at zero share rate, $e \rightarrow 0$) to ∞ (the limiting value of the particle radius), whose values are determined by temperature.

Hypothesis 3 suggests a consequence, according to which at high shear rates the oil dispersed system behaves like a Newtonian liquid, and the non-Newtonian properties of the system are due to a change in the radius of the dispersed particles. We also assume that the change in the thickness of the layer h destroyed by shear deformations of the medium is calculated by the equation:

$$\frac{dh}{de} = -ka, \quad (1.2)$$

where k is a constant that can be determined by experimental data.

The solution of equation (1.2), using the value of the current particle radius, takes the form:

$$a = a_{\infty} + (a_0 + a_{\infty})\exp(-ke) \quad (1.3)$$

Then, using the relation (1) and hypothesis 1, according to which the value of h is considered small. This allows us to neglect the values containing h , the degree of which is higher than the first. Thus, we get:

$$\eta = \eta_0 \left\{ 1 + \frac{10}{3} \pi n [a_{\infty}^3 + 3a_{\infty}^2(a_0 - a_{\infty})\exp(-ke) + O(h^2)] \right\} \quad (1.4)$$

Taking into account the formula for determining the volume concentration of the dispersed phase, we write the expression (1.4) in the form:

$$\eta = \eta_E + \eta_* \exp(-ke) \quad (1.5)$$

where

$$\eta_E = \eta_0(1 + 2.5\phi)$$

$$\eta_* = 7,5\phi \left(\frac{a_0}{a_{\infty}} - 1 \right) \eta_0$$

The value corresponds to the limit value of the particle radius.

The shear stress τ in accordance with the definition of the coefficient of viscosity, takes the form:

$$\tau = \int_0^e \eta de = \tau_0 + \eta_E e + \frac{\eta_*}{k} [1 - \exp(-ke)] \quad (1.6)$$

In the definition at sufficiently high strain rates, equation (1.6) transforms into the following equation:

$$\tau = \tau_0 + \frac{\eta_*}{k} + \eta_E e \quad (1.7)$$

This equation is a generalization of the Bingham-Shvedov model, under the assumption that:

$$\tau_* = \tau_0 + \frac{\eta_*}{k}$$

It should be noted that in formulas (1.5) and (1.6), which desummandine the dependence of viscosity and shear stress on the shear rate, each summand has a clear physical meaning: τ_0 is the ultimate shear stress, $\tau_0 + \eta^*/k$ is the sum that characterizes the imperceptible shear stress environments; the coefficient in the second summand of equation (1.6) is the viscosity characteristic for the Newtonian fluid behavior at designed relative volume content of the dispersed phase and sufficiently high shear rates; Finally, the last summand is responsible for changing the structural properties of the field due to a change of the surface diameter of dispersed particles.

In this article, an approach was used that takes into account structural changes in the oil dispersed system, which can explain the non-Newtonian properties of oils from a physical point of view.

The rheological model of oil disperse systems proposed in this article satisfactorily describes the experimental data and makes it possible to predict particle sizes. This model is a generalization of the Bingham-Shvedov model and contains only physically determined quantities. Thus, on the basis of the developed model concepts, the mechanism of viscosity change in oil disperse systems is adequately described, and the expression (1.5) can be used in calculations of flow regimes of viscous oils and oil products.

NEW METHOD

According to article [1] and the formulas presented above, the following approximating dependence (2.34) is obtained as a result:

$$\tau(\tau_0, \eta_0, y, k, b, e) = \tau_0 + \eta_0 e + yg(k, b, e)$$

where $g(k, b, e) = \left(\frac{e}{3} + \frac{b}{k} [1 - \exp(-ke)]\right) (1 + 3b \exp(-ke))$.

$$y = \eta_0 a_3, b = a_0/a_\infty - 1; a_3 = 10\pi n a_\infty^3;$$

The solution is to find the minimum of the following function:

$$S(\tau_0, \eta_0, y, k, b) = \sum_{i=1}^N (\tau_0 + \eta_0 e_i + yg(k, b, e_i) - \tau_i)^2 \quad (2.1)$$

A necessary condition for the function minimum is the equality to zero of the partial derivatives of this function with respect to all its arguments. In the above methodology, the solution is not unique, therefore a combined approach was proposed, in which problem (2.1) was reduced to finding the minimum of a function in the space of not five parameters, but only two. In this case, at the first step, the graph of the function (2.1), depending on two parameters, was constructed. Such parameters were chosen from a visual analysis of the level lines, which lay near a physically acceptable minimum. At the final step, these values were used as initial values in Excel and Solver to search for a minimum in the space of two parameters.

Since the necessary condition for the function minimum is the equality to zero of the partial derivatives of this function with respect to all its arguments, then from the equations $\frac{\partial S}{\partial \tau_0} = 0$, $\frac{\partial S}{\partial \eta_0} = 0$, $\frac{\partial S}{\partial y} = 0$ taking into account the fact that $\frac{\partial g}{\partial \tau_0} = \frac{\partial g}{\partial \eta_0} = \frac{\partial g}{\partial y} = 0$ we obtain a linear system of three equations (2.2–2.5) with three unknowns, from which τ_0, η_0, y , depending on k, b are easily calculated.

$$y = \frac{L_3(a_{22} - a_{12}^2) + L_1(a_{12}a_{23} - a_{13}a_{22}) - L_2(a_{23}N - a_{12}a_{13})}{a_{33}(a_{22}N - a_{12}^2) - a_{13}^2a_{22} - a_{23}^2N + 2a_{23}a_{13}a_{12}} \quad (2.2)$$

$$\eta_0 = \frac{L_2N - L_1a_{12} - y(a_{23}N - a_{13}a_{12})}{a_{22}N - a_{12}^2} \quad (2.3)$$

$$\tau_0 = \frac{L_1 - \eta_0a_{12} - ya_{13}}{N} \quad (2.5)$$

Where

$$\begin{aligned} a_{12} &= \sum [e_i], & a_{13} &= \sum [g(e_i)], & L_1 &= \sum [\tau_i], \\ a_{22} &= \sum [e_i^2], & a_{23} &= \sum [e_i g(e_i)], & L_2 &= \sum [\tau_i e_i], \\ a_{33} &= \sum [(g(e_i))^2], & L_3 &= \sum [\tau_i g(e_i)] \end{aligned}$$

Therefore, the function (3.1) will depend on only two arguments k and b:

$$S(k, b) = \sum_{i=1}^N (\tau_0(k, b) + \eta_0(k, b)e_i + y(k, b)g(k, b, e_i) - \tau_i)^2 \quad (2.6)$$

Based on the formulas, calculations were performed using the following experimental data presented in Table A.1, which were obtained from the oil of the Archinskoye field:

Table A.1 - Experimental data

e_i	3	5,4	9	16,2	27	48,6	81	145,8	243	437,4	729	1312
τ_i	2,16	2,21	2,48	2,9	3,69	4,95	6,48	8,96	12,02	18,18	25,35	43,06

Figure A.1 shows the function (2.6). Figure 1 is built by the program Surfer using a gradient fill, the interpolation method is kriging.

From the figure it follows that the maximum values are located at some distance from the left border. Therefore, function (2.6) is not unimodal, that explains the non-uniqueness of the solution by the Newton method. From Figure 2,

we can take the initial data to search for the minimum of function (2.6), followed by checking the physical accuracy of the result, in particular, the obtained values of $\tau_0, \eta_0, \gamma, k, b$, b should be greater than zero (Figure A.2).

Graphs of shear stress versus shear rate and dependence of particle radius on shear rate are shown in Figures A.3 and A.4.

Thus, this method allows one to determine the parameters of the approximating function and the dependence of shear stress and / or viscosity on shear rate.

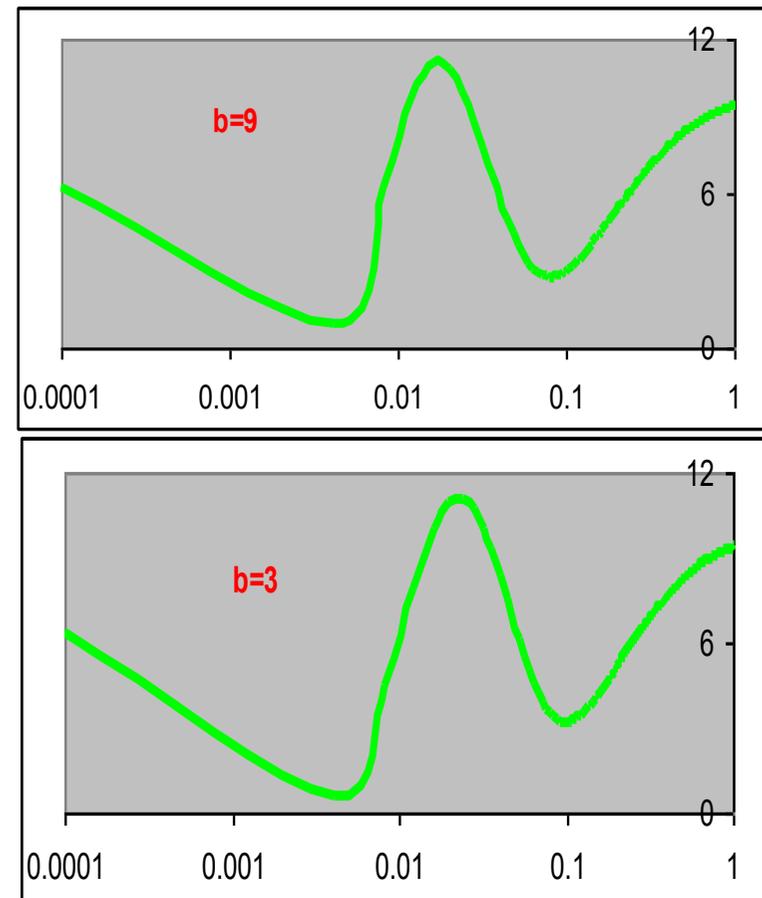
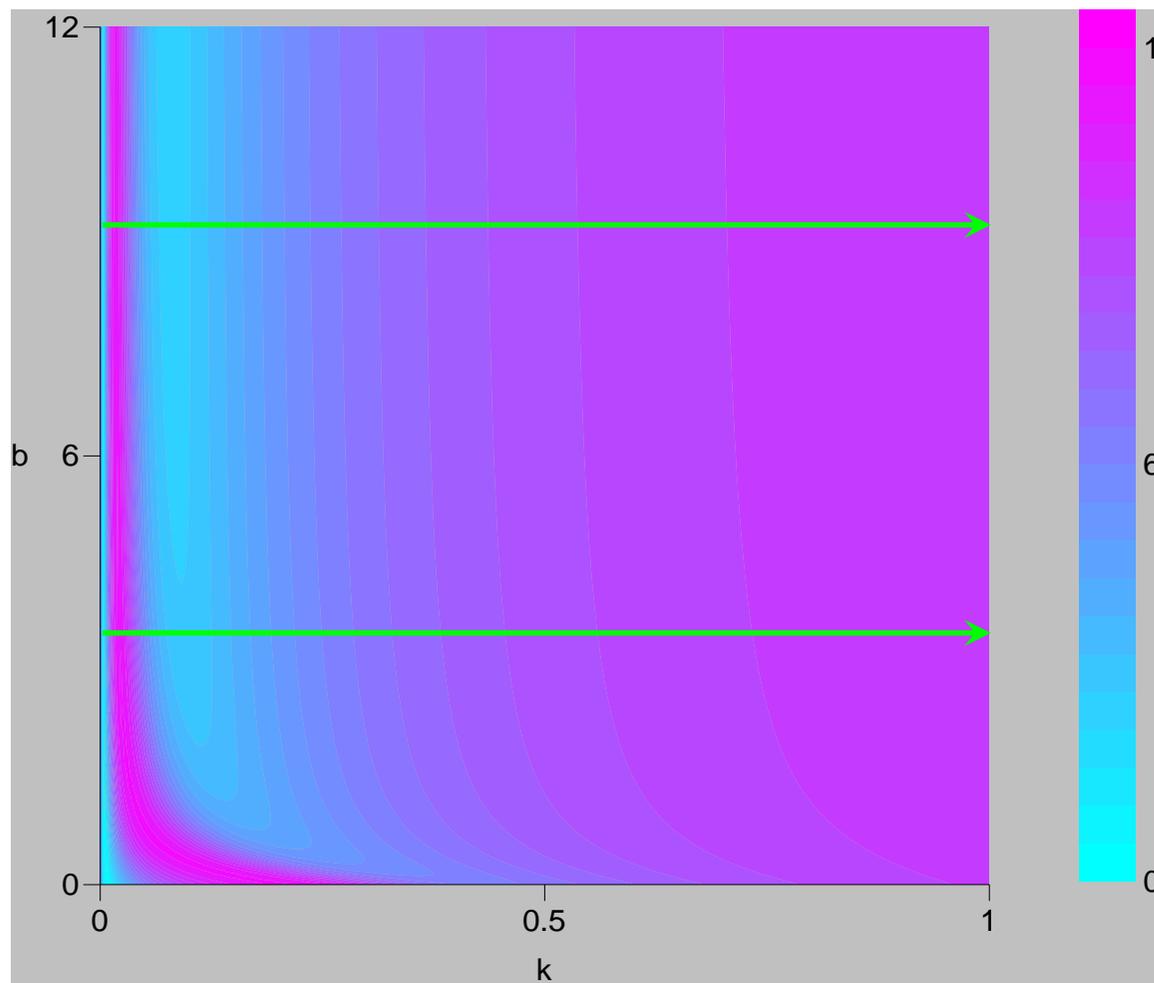


Figure A.1 - Function $S(b, k)$

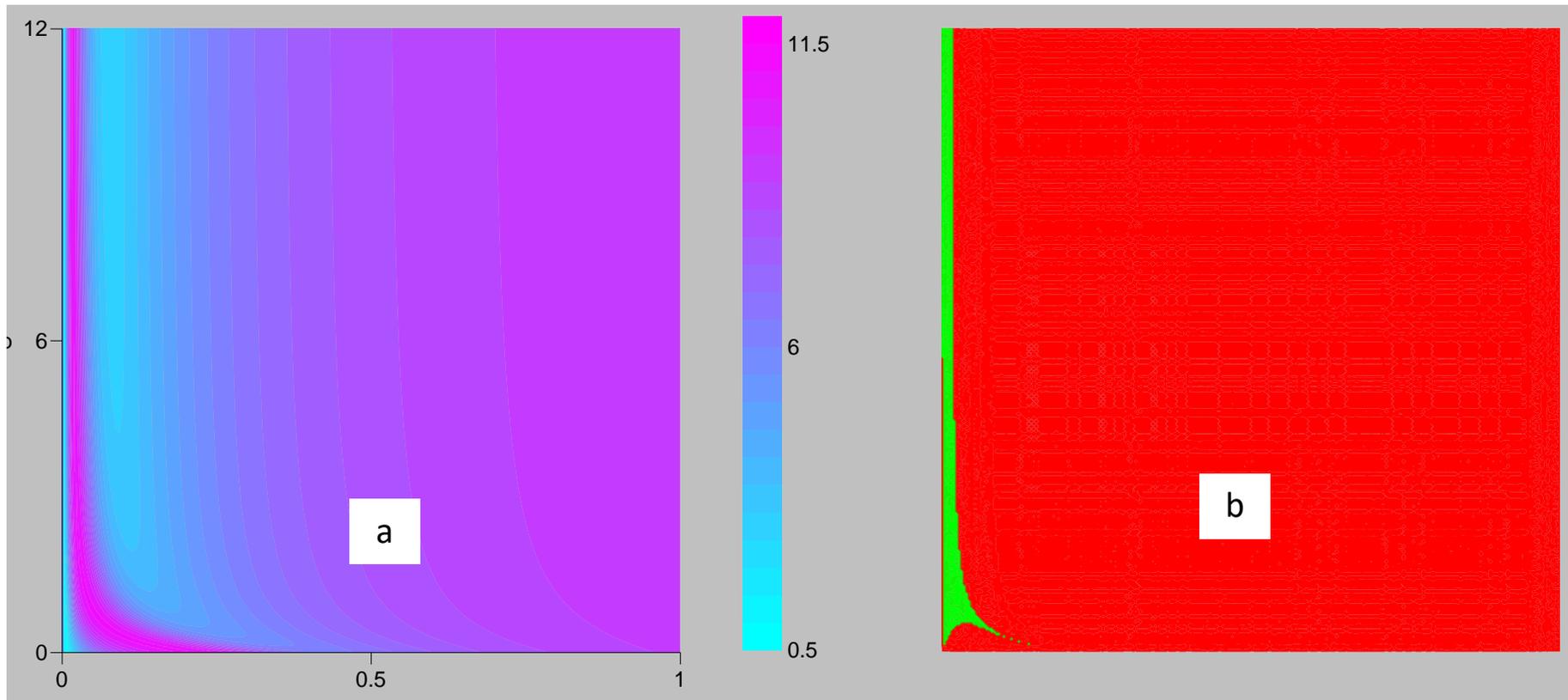


Figure A.2 - Selection of initial values b , k :

a - minimized function $S(b, k)$; b - minimized function $S(b, k)$ with a selected range of valid values

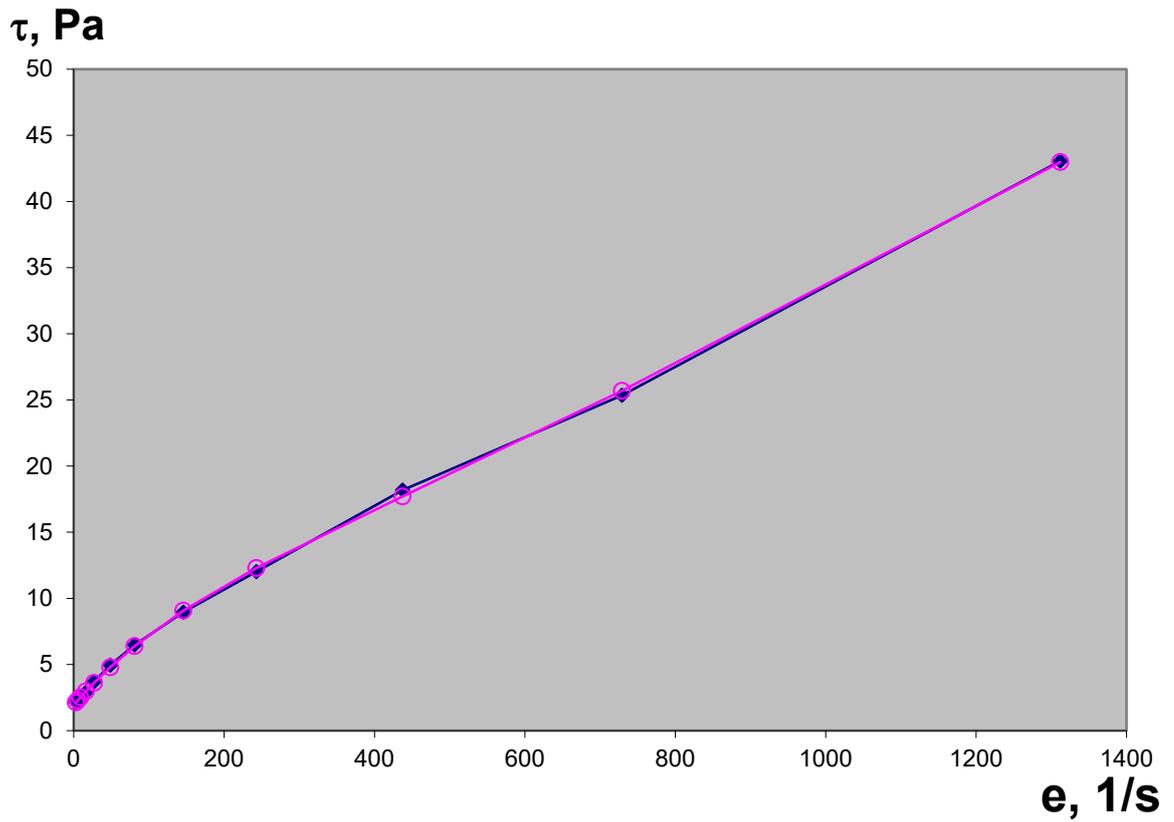


Figure A.3 - dependence of shear stress on shear rate

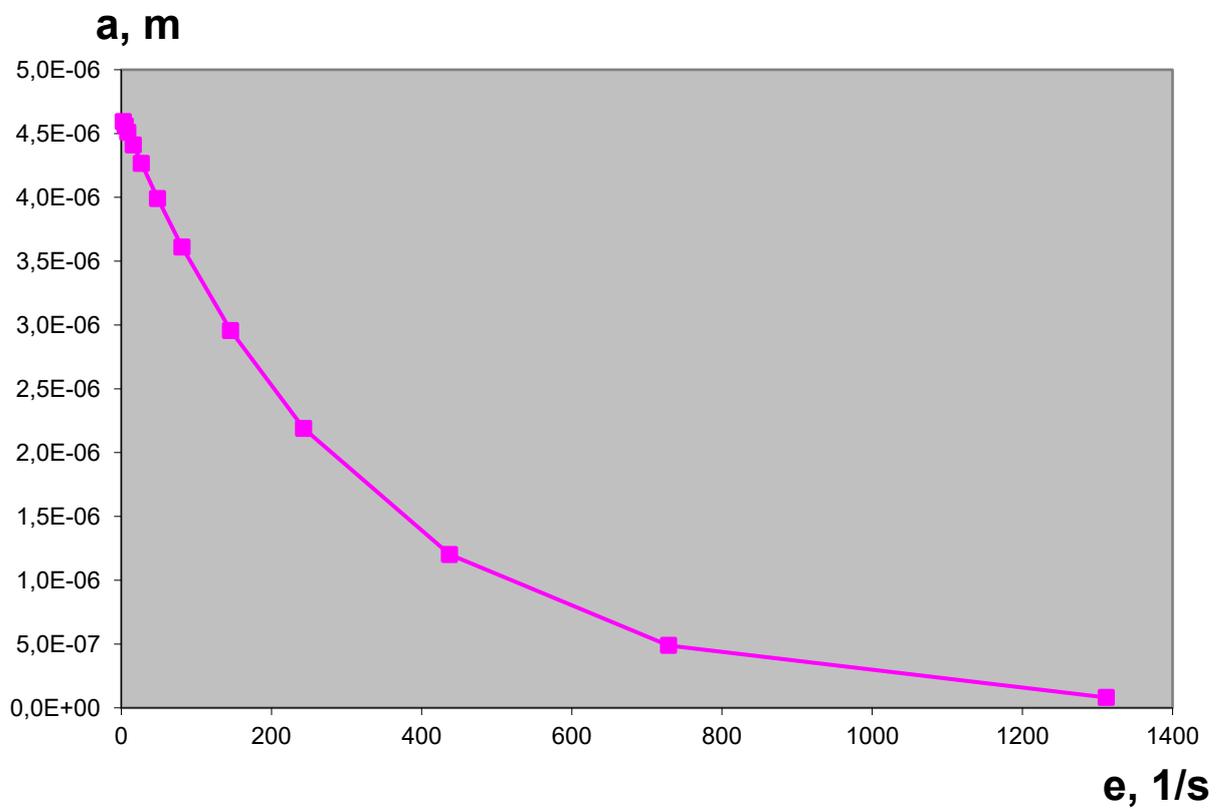


Figure A.4 - dependence of particle radius on shear rate

A simplification was also introduced, in view of which the search consisted in defining four parameters instead of five. This approach is proposed on the basis that the radius of the particles reduces to zero at infinity. Below is the decision procedure for defining four parameters (τ_0, η_0, y, k) .

Einstein's formula:

$$\eta = \eta_0 \left(1 + \frac{10}{3} \pi a^3 n \right)$$

Newton's Law:

$$d\tau = \eta de$$

Integration (3.8):

$$\int_{\tau_0}^{\tau} d\tau = \int_0^e \eta de$$

Result:

$$\tau = \tau_0 + \eta_0 e + \eta_0 \frac{10}{3} \pi n \int_0^e a^3 de$$

The radius depends on the shear rate, as suggested in the main work [1]:

$$a = a_0 \exp(-ke) + a_\infty (1 - \exp(-ke)) \quad (2.7)$$

The condition $a_0 > a_\infty$ is fulfilled. Therefore, we confine ourselves in (2.7) only to the first summand:

$$a \approx a_0 \exp(-ke)$$

Then the integral takes the form:

$$\int_0^e (a_0 \exp(-ke))^3 de = \frac{a_0^3}{3k} (1 - \exp(-3ke))$$

$$f(e) = \tau(\tau_0, \eta_0, y, k, e) = \tau_0 + \eta_0 e + y(1 - \exp(-3ke)) \quad (2.8)$$

Where

$$y = \eta_0 \frac{10}{3} \pi n \frac{a_0^3}{3k} = \eta_0 \frac{10}{9k} \pi n a_0^3 \quad (2.9)$$

Then

$$a_0 = \left(\frac{9yk}{10\eta_0\pi n} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2.10)$$

A function is introduced that is equal to the sum of the squares of the deviations of the approximating function from the experimental data $\{(e_i, \tau_i)\}_{i=1}^N$:

$$S(\tau_0, \eta_0, y, k) = \sum (f(e_i) - \tau_i)^2 \quad (2.11)$$

From the necessary minimum condition of the function S, we find the formulas relating τ_0, η_0, y, k at the minimum point.

$$1. \frac{\partial S}{\partial \tau_0} = 0$$

$$\frac{\partial S}{\partial \tau_0} = \frac{\partial \sum (f(e_i) - \tau_i)^2}{\partial \tau_0} = 2 \sum \left[(f(e_i) - \tau_i) \frac{\partial f(e_i)}{\partial \tau_0} \right] = 0 \quad (2.12)$$

or

$$\sum \left[f(e_i) \frac{\partial f(e_i)}{\partial \tau_0} \right] = \sum \left[\tau_i \frac{\partial f(e_i)}{\partial \tau_0} \right] \quad (2.13)$$

Partial derivative

$$\frac{\partial f}{\partial \tau_0} = \frac{\partial (\tau_0 + \eta_0 e + y(1 - \exp(-3ke)))}{\partial \tau_0} = 1 \quad (2.14)$$

Denote

$$f_{ki} = 1 - \exp(-3ke_i)$$

From (3.8), (3.13) and (3.14) we get

$$\tau_0 N + \eta_0 \sum [e_i] + y \sum [f_{ki}] = \sum [\tau_i] \quad (2.15)$$

$$2. \frac{\partial S}{\partial \eta_0} = 0$$

$$\frac{\partial S}{\partial \eta_0} = \frac{\partial \sum (f(e_i) - \tau_i)^2}{\partial \eta_0} = 2 \sum \left[(f(e_i) - \tau_i) \frac{\partial f(e_i)}{\partial \eta_0} \right] = 0 \quad (2.16)$$

Or

$$\sum \left[f(e_i) \frac{\partial f(e_i)}{\partial \eta_0} \right] = \sum \left[\tau_i \frac{\partial f(e_i)}{\partial \eta_0} \right] \quad (2.17)$$

Partial derivative

$$\frac{\partial f(e)}{\partial \eta_0} = \frac{\partial (\tau_0 + \eta_0 e + y[1 - \exp(-3ke)])}{\partial \eta_0} = e \quad (2.18)$$

From (3.8), (3.17) and (3.18) we get

$$\tau_0 \sum [e_i] + \eta_0 \sum [e_i^2] + y \sum [f_{ki} e_i] = \sum [\tau_i e_i] \quad (2.19)$$

$$3. \frac{\partial S}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial S}{\partial y} = \frac{\partial \sum (f(e_i) - \tau_i)^2}{\partial y} = 2 \sum \left[(f(e_i) - \tau_i) \frac{\partial f(e_i)}{\partial y} \right] = 0 \quad (2.20)$$

Or

$$\sum \left[f(e_i) \frac{\partial f(e_i)}{\partial y} \right] = \sum \left[\tau_i \frac{\partial f(e_i)}{\partial y} \right] \quad (2.21)$$

Partial derivative

$$\frac{\partial f}{\partial y} = \frac{\partial (\tau_0 + \eta_0 e + y[1 - \exp(-3ke_i)])}{\partial y} = 1 - \exp(-3ke_i) \quad (2.22)$$

From (3.8), (3.21) and (22) we get

$$\tau_0 \sum [f_{ki}] + \eta_0 \sum [e_i f_{ki}] + y \sum [f_{ki}^2] = \sum [\tau_i f_{ki}] \quad (2.23)$$

4. Solving a linear system of three equations.

Linear system of three equations:

$$\begin{aligned} \tau_0 N + \eta_0 a_{12} + y a_{13} &= L_1 \\ \tau_0 a_{12} + \eta_0 a_{22} + y a_{23} &= L_2 \\ \tau_0 a_{13} + \eta_0 a_{23} + y a_{33} &= L_3 \end{aligned} \quad (2.24)$$

Where

$$\begin{aligned}
a_{12} &= \sum [e_i], & a_{13} &= \sum [f_{ki}], & L_1 &= \sum [\tau_i] \\
a_{22} &= \sum [e_i^2], & a_{23} &= \sum [e_i f_{ki}], & L_2 &= \sum [\tau_i e_i] \\
a_{33} &= \sum [f_{ki}^2], & L_3 &= \sum [\tau_i f_{ki}], & f_{ki} &= 1 - \exp(-3ke_i)
\end{aligned}$$

Parameters τ_0, η_0, y are found by the formulas:

$$y = \left(\frac{\left(\frac{L_2}{a_{12}} - \frac{L_1}{N} \right)}{\left(\frac{a_{22}}{a_{12}} - \frac{a_{12}}{N} \right)} - \frac{\left(\frac{L_3}{a_{13}} - \frac{L_1}{N} \right)}{\left(\frac{a_{23}}{a_{13}} - \frac{a_{12}}{N} \right)} \right) : \left(\frac{\left(\frac{a_{23}}{a_{12}} - \frac{a_{13}}{N} \right)}{\left(\frac{a_{22}}{a_{12}} - \frac{a_{12}}{N} \right)} - \frac{\left(\frac{a_{33}}{a_{13}} - \frac{a_{13}}{N} \right)}{\left(\frac{a_{23}}{a_{13}} - \frac{a_{12}}{N} \right)} \right) \quad (2.25)$$

$$\eta_0 = \frac{L_2 N - L_1 a_{12} - y(a_{23} N - a_{13} a_{12})}{a_{22} N - a_{12}^2} \quad (2.26)$$

$$\tau_0 = \frac{L_1 - \eta_0 a_{12} - y a_{13}}{N} \quad (2.27)$$

$$5. \frac{\partial S}{\partial k} = 0$$

$$\frac{\partial S}{\partial k} = \frac{\partial \sum (f(e_i) - \tau_i)^2}{\partial k} = 2 \sum \left[(f(e_i) - \tau_i) \frac{\partial f(e_i)}{\partial k} \right] = 0 \quad (2.28)$$

Or

$$\sum \left[(f(e_i) - \tau_i) \frac{\partial f(e_i)}{\partial k} \right] = 0 \quad (2.29)$$

Partial derivative

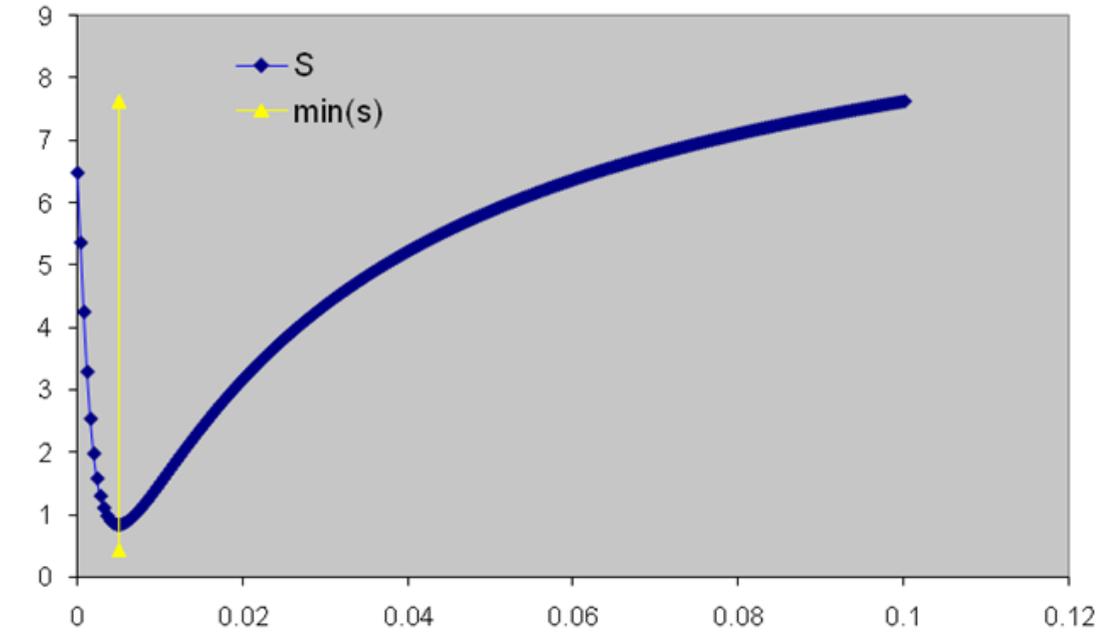
$$\frac{\partial f}{\partial k} = \frac{\partial (\tau_0 + \eta_0 e + y(1 - \exp(-3ke)))}{\partial k} = 3ye \exp(-3ke) \quad (2.30)$$

Nonlinear relationship with k:

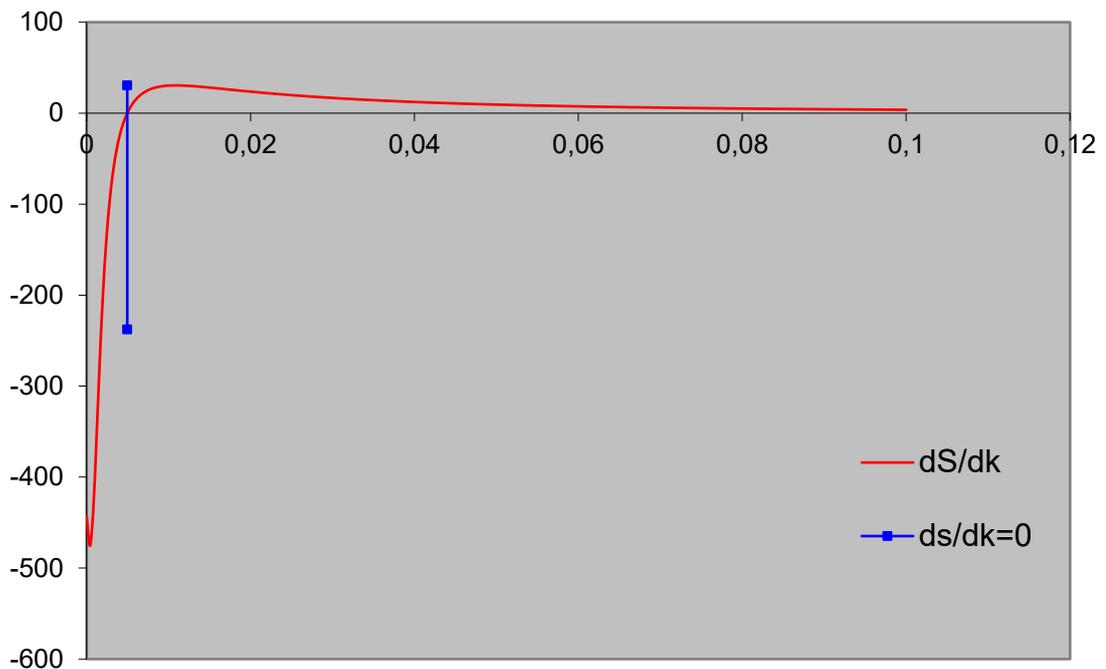
$$y \sum [\{\tau_0 + \eta_0 e_i + y(1 - \exp(-3ke_i)) - \tau_i\} e_i \exp(-3ke_i)] = 0 \quad (2.31)$$

The variables τ_0, η_0, y are defined above and are functions of k. The parameter k, corresponds to the extremum point.

Figure 5 shows the graphical display of finding the parameter k.



a



b

Figure A.5 - Search for the minimum parameter k

a - function $S(k)$; b - function $\frac{\partial S}{\partial k}$

Thus, the proposed technique has shown its efficiency, except in cases where the experimental data are nonmonotonic.

REFERENCES

1. Giniyatullin V.M., Telyashev E.G., Urmancheev S.F. On the question of the mechanism of changing the viscosity of oil disperse systems. Oil refining and petrochemistry. - 1997. - №8. - pp. 18–20;
2. Syuneyev S.I. Oil y, Lerod. M.: Chemistry, 1980 - 270 pp. .;
3. Unrer FG, Andreeva N.G. Fundamental aspects of petroleum chemistry. Novosibirsk, Science, 1995 - 185 p;
4. Abdulmanov RG, Serikov P.Yu., Smidovich EV, Syunyaev S.I. Aggregative stability of heavy distillate feedstock in the presence of adjuvants. Chemistry and technology of fuels and oils, 1985, No. 1, pp. 28–29;
5. Gilyazetdinov LP, Al-Dzhoma A. Determination of the parameters of dark particles of the dispersed phase in oil systems. Chemistry and technology of fuels and oils, 1994, No. 3, pp. 27-29;