

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ГЕОТЕРМИИ ДНЦ РАН

УДК 550.361, 621.482

Рег.№ НИОКТР 01201360109

Рег.№ ИКРБС 0204-2018-0003

УТВЕРЖДАЮ

Врио директора
д-р техн. наук

_____ Д.К.Джаватов
«____» _____ 2019 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по теме:

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИЙ ЭФФЕКТИВНОГО
ОСВОЕНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ И СОПУТСТВУЮЩИХ ВИДОВ ЭНЕРГИИ
(промежуточный)

Руководитель темы,
зав.лаб. энергетики
д.т.н., проф.

_____ А.Б.Алхасов
подпись, дата

Махачкала 2019

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы,
зав.лаб. энергетики
д.т.н., проф.

А.Б.Алхасов (главы 1-5)

Исполнители темы:
г.н.с., д.т.н.

М.Г.Вердиев (глава 3)

в.н.с., д.т.н.

Д.К.Джаватов (глава 2)

зав.лаб., к.т.н.

Д.А.Алхасова (глава 1)

в.н.с., к.х.н.

Г.А.Рабаданов (глава 4)

в.н.с., к.ф-м.н.

С.А.Ниналалов (глава 3)

с.н.с., к.т.н.

Г.М.Абасов (глава 5)

с.н.с.

Г.Б.Бадавов (глава 5)

вед. спец.

Б.А.Алхасов (глава 4)

вед. спец.

А.А.Азизов (глава 2)

РЕФЕРАТ

Отчет 69 с., 5 г., 14 рис., 14 табл., 68 источн., 1 прил.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ, ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ СКВАЖИНА, ПЕТРОТЕРМАЛЬНАЯ ЦИРКУЛЯЦИОННАЯ СИСТЕМА, ГЕОТЕРМАЛЬНО-ПАРОГАЗОВАЯ ЭНЕРГОУСТАНОВКА, КОНУС ТЕЙЛОРА, ПОТЕНЦИАЛ, СОРБЦИОННЫЙ МЕТОД, ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ.

Объектом исследования являются геотермальные ресурсы.

Цель работы - разработка технологий эффективного освоения геотермальной и сопутствующих видов энергии.

В процессе работы проводились исследования по следующим направлениям темы: оптимизация термодинамических циклов реализуемых геотермально – парогазовой энергоустановки; разработка эффективных технологий освоения петротермального тепла для получения электрической энергии; расчет эффективности технологической схемы ГеоЭС с горизонтальными скважинами; исследования эффективности процесса обогащения геотермальной и морской воды путем проведения процессов ее испарения и конденсации в высокопотенциальном электрическом поле; исследования Волго-Уральской тяжелой высоковязкой нефти, как образца воздействия биотехнологического реагента из растительной биомассы; проведение зонирования региона по показателю энергетического потенциала ВИЭ (на примере Республики Дагестан).

В результате исследования: разработана технология, позволяющая с высокой эффективностью использовать термальные воды низкого энергетического потенциала с температурой 80 – 100 °С для выработки электроэнергии; разработана технология петротермальной циркуляционной системы (ПЦС) с горизонтальными скважинами, позволяющая более эффективно осваивать колоссальные запасы петротермальной энергии; разработана математическая модель одиночной горизонтальной скважины телескопической конструкции; разработана модель процесса образования конуса Тейлора на конце капилляра, которая подтверждена экспериментально; изучен генетический тип исследуемой нефти, а также определены физикохимические характеристики. Установлено, что использование реагента в 10 раз увеличивает степень извлечения металлов (V, Al, Ni) из нефти; выполнено физико-географическое районирование и зонирование территории Республики Дагестан по показателю энергетического (технического) потенциала ВИЭ.

Геотермальные ресурсы, освоенные с использованием разработанных технологий, могут быть использованы как для нужд электроэнергетики, так и для нужд теплофикации.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
Глава 1. Разработка технологий эффективного освоения термальных вод низкого энергетического потенциала для выработки электроэнергии.....	8
1.1. Оптимизация термодинамических циклов реализуемых геотермально – парогазовой энергоустановки	8
1.2. Разработка эффективных технологий освоения петротермального тепла для получения электрической энергии.....	9
Глава 2. Расчет эффективности технологической схемы ГеоЭС с горизонтальными скважинами.....	12
Глава 3. Исследование эффективности процесса обогащения геотермальной и морской воды путем проведения процессов ее испарения и конденсации в высокопотенциальном электрическом поле.....	20
3.1. Условия формирования конуса Тейлора на конце капилляра в электрическом поле.....	21
3.2. Явление возникновения конуса Тейлора на конце капилляра и процессов, протекающих в пространстве между электродами.....	22
3.3. Модель процесса возникновения неустойчивости на вершине конуса Тейлора.....	23
3.4. Неустойчивости конуса Тейлора.....	28
3.5. Экспериментальные результаты и их анализ.....	31
Глава 4. Исследование Волго-Уральской тяжелой высоковязкой нефти, как образца воздействия биотехнологического реагента из растительной биомассы.....	35
Глава 5. Проведение зонирования региона по показателю энергетического потенциала ВИЭ (на примере Республики Дагестан).....	38
Заключение	58
Список использованных источников.....	61
Приложение 1.....	67

ВВЕДЕНИЕ

Энергетика на современном этапе характеризуется увеличением доли ресурсосберегающих экологически эффективных технологий, к которым относятся и технологии на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Со временем роль возобновляемой энергии будет все время возрастать, что позволит решить многие проблемы в будущем.

Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов представляет собой одну из глобальных мировых проблем, успешное решение которой будет иметь определяющее значение не только для дальнейшего развития мирового сообщества, но и для сохранения среды обитания. Одним из перспективных путей решения этой проблемы является применение новых энергосберегающих технологий, использующих нетрадиционные возобновляемые источники энергии.

Несмотря на то, что современная энергетика в основном базируется на невозобновляемых источниках энергии (около 80% в мировом энергетическом балансе составляют нефть, газ и каменный уголь), интерес к возобновляемым источникам энергии неуклонно растет. Главными аргументами для использования ВИЭ являются высокая цена традиционного топлива, энергетическая безопасность для стран-импортеров нефти и газа и проблемы охраны окружающей среды.

В настоящее время в мире заметно повысилось внимание к использованию возобновляемых источников энергии. Вклад ВИЭ в глобальное потребление энергии приблизился к 10%. Доля ВИЭ в энергобалансе отдельных стран уже сегодня достигает заметных уровней. Так в Германии она равна 25%, в США, Китае и Индии - 12%, а в Дании только одна ветровая энергетика обеспечивает 26% потребностей страны. В России доля ВИЭ в энергобалансе остается пока ничтожной и не превышает 0,8%. Госпрограмма по энергоэффективности ставит задачу к 2020 г. довести эту долю до 2,5%.

Одним из перспективных видов ВИЭ является геотермальная энергия. Энергетические технологии с использованием геотермальных ресурсов отличаются экологической чистотой и по эффективности приближаются к традиционным. На современном этапе развития техники и технологий освоения геотермальной энергии масштабы ее практического использования определяются величиной гидрогеотермальных ресурсов. Дальнейшее эффективное освоение ресурсов геотермальной энергии связано с освоением петротермальных ресурсов, на долю которых приходится около 99 % из пригодных для использования геотермальных ресурсов. Практическое использование их огромных запасов связано с необходимостью решения ряда сложных научно-технических

проблем. Решение этих проблем связано с созданием в горных породах искусственных систем извлечения тепла - циркуляционных систем, тепловых котлов повышенной проницаемости. Глобальное освоение геотермальных ресурсов возможно лишь при освоении колоссальных запасов петротермальной энергии. Создание технологий, сочетающих в себе условия для эффективного освоения тепла сухих горных пород, позволит более эффективно осваивать огромные запасы петротермальной энергии. Освоение тепла сухих горных пород низкого потенциала с небольших глубин возможно с использованием скважинного теплообменника (СТО) в комбинации с тепловыми насосами. Эффективное освоение тепла сухих горных пород высокого потенциала возможно с использованием геотермальной циркуляционной системы (ГЦС). Для более интенсивного и экономически выгодного извлечения петротермального тепла в горной породе необходимо создать большую площадь теплоотдачи, а также обеспечивать закачку, циркуляцию и извлечение теплоносителя. Применение геотермальных циркуляционных систем (ГЦС) с горизонтальными скважинами и гидроразрывом горной породы позволит более эффективно осваивать запасы петротермальной энергии. ГЦС такого типа можно создавать практически повсеместно.

В ходе проведения исследований разработана технология, позволяющая с высокой эффективностью использовать термальные воды низкого энергетического потенциала с температурой 80 – 100 °С для выработки электроэнергии. В предлагаемой технологии электроэнергия вырабатывается в бинарной геотермальной электростанции (ГеоЭС), где одновременно используется тепло термальной воды и выхлопных газов газотурбиной энергоустановки. Оптимизированы термодинамические циклы Ренкина и Брайтона, реализуемые в предложенной геотермально-парогазовой энергетической системе. В зависимости от энергетических характеристик геотермальной скважины и мощности газотурбинного блока возможны следующие варианты нагрева и испарения низкокипящего рабочего агента в контуре ГеоЭС: нагрев рабочего агента до определенной температуры за счет геотермального теплоносителя и дальнейший его нагрев, испарение и перегрев за счет выхлопных газов газотурбинного блока; нагрев рабочего агента до температуры испарения за счет геотермального теплоносителя и дальнейшее его испарение и перегрев за счет выхлопных газов; нагрев и частичное испарение рабочего агента за счет геотермального теплоносителя и его дальнейшее испарение и перегрев за счет выхлопных газов. Предлагаемая технология наиболее эффективна для тепло- и электроснабжения объектов нефтегазовых промыслов.

Одной из глобальных проблем современного человеческого общества является проблема получения питьевой и технической воды. Практически во всех регионах

имеются достаточные запасы: речной, артезианской, геотермальной, и морской воды, но она, зачастую включая речную, не пригодна для употребления в быту, для использования во многих промышленных технологиях и на объектах агропромышленного комплекса. Кроме того, во всем мире все больше и больше ощущаются проблемы, связанные с истощением природных запасов полезных ископаемых, тогда как морская, геотермальная и артезианская вода практически содержит все элементы таблицы Менделеева. Такое положение дел требует объединения и совместного решения этих проблем путем разработки: экологически чистых, высокопроизводительных, энергосберегающих, промышленных технологий очистки: артезианской, геотермальной и морской воды, путем извлечения из нее составных компонентов в том числе органической составляющей.

Поэтому проблема очистки: геотермальной, артезианской и морской воды останется актуальной во все времена, мало того, она будет обостряться с ростом: населения планеты, степени истощения природных запасов полезных ископаемых и ежегодным ухудшением экологической ситуации из-за катастрофического повышения вредных выбросов в окружающую среду. В работе описывается метод интенсификации и снижения энергоемкости процесса очистки воды путем ее испарения и конденсации в электрическом поле. Для этого используется метод диспергирования жидкостей в высокопотенциальном электрическом поле. Разработана модель процесса образования конуса Тейлора на конце капилляра с экспериментальным подтверждением порядка величины радиуса мениска его вершины, исходя из которой, получены аналитические соотношения для критического значения вектора напряжённости электрического поля – потенциала, как функция высоты конуса или его радиуса основания, свойств жидкости и окружающей среды. Установлены условия возникновения режима неустойчивости – режима распада исходного конуса в зависимости от потенциала капилляра при заданном его радиусе.

Россия обладает значительными трудно извлекаемыми запасами нефти. Их объем составляет около 55 % в общем объеме запасов российской нефти. Нефть с вязкостью 35 мм²/с и выше считается высоковязким. В связи с этим актуальным становится вопрос об использовании закрытых месторождений с битуминозной породой для выделения металлов. С этой целью исследована казахстанская нефть и в качестве реагента для выделения металлов был использован реагент, полученный спиртовым брожением патоки (мелассы).

Раздел 1. Разработка и оптимизация технологических решений по добыче геотермальной и сопутствующих видов энергии

Глава 1. Разработка технологий эффективного освоения термальных вод низкого энергетического потенциала для выработки электроэнергии

1.1 Оптимизация термодинамических циклов реализуемых геотермально – парогазовой энергоустановки

Разработана технология, позволяющая с высокой эффективностью использовать термальные воды низкого энергетического потенциала с температурой 80 – 100 °С для выработки электроэнергии. В предлагаемой технологии электроэнергия вырабатывается в бинарной геотермальной электростанции (ГеоЭС), где одновременно используется тепло термальной воды и выхлопных газов газотурбинной энергоустановки. Оптимизированы термодинамические циклы Ренкина и Брайтона, реализуемые в предложенной геотермально-парогазовой энергетической системе. В зависимости от энергетических характеристик геотермальной скважины и мощности газотурбинного блока возможны следующие варианты нагрева и испарения низкокипящего рабочего агента в контуре ГеоЭС: нагрев рабочего агента до определенной температуры за счет геотермального теплоносителя и дальнейший его нагрев, испарение и перегрев за счет выхлопных газов газотурбинного блока; нагрев рабочего агента до температуры испарения за счет геотермального теплоносителя и дальнейшее его испарение и перегрев за счет выхлопных газов; нагрев и частичное испарение рабочего агента за счет геотермального теплоносителя и его дальнейшее испарение и перегрев за счет выхлопных газов. Предлагаемая технология наиболее эффективна для тепло- и электроснабжения объектов нефтегазовых промыслов.

1.2 Разработка эффективных технологий освоения петротермального тепла для получения электрической энергии

Одним из перспективных видов возобновляемой энергии является геотермальная энергия, основным преимуществом которой перед другими видами ВИЭ является постоянство во времени, что позволяет круглогодично эксплуатировать энергоустановки на ее основе. Современные энергетические технологии с использованием геотермальной энергии по эффективности приближаются к традиционным, коэффициент использования мощности на геотермальных электростанциях достигает 90 % [1].

До 99% из всех пригодных для использования геотермальных ресурсов приходится на петротермальные ресурсы. Петротермальная энергетика является энергетикой будущего. Петротермальной энергией принято называть тепло, сосредоточенное в скелетах водовмещающих горных пород и в практически непроницаемых горных породах [2]. Для освоения этих ресурсов необходимы энергоэффективные технологические решения. Для извлечения тепла сухих горных пород низкого энергетического потенциала предложено использование грунтовых теплообменников [3,4]. Проведена оценка тепломассопереноса в таких теплообменниках путем проведения многовариантных оптимизационных расчетов. Отмечено, что эффективное освоение тепла сухих горных пород низкого потенциала грунтовыми теплообменниками практически невозможно без применения тепловых насосов. Использование теплонасосных установок, в которых в качестве источника теплоты используется тепло сухих горных пород низкого потенциала, позволит обеспечить децентрализованных потребителей малой мощности необходимой тепловой энергией. В мире более половины общей мощности геотермальных тепловых систем приходится на системы с использованием низкопотенциальной геотермальной воды или верхних слоев земной коры [1].

Эффективное освоение тепла сухих горных пород высокого потенциала возможно с использованием геотермальной циркуляционной системы (ГЦС). Для более интенсивного и экономически выгодного извлечения петротермального тепла в горной породе необходимо создать большую площадь теплоотдачи, а также обеспечивать закачку, циркуляцию и извлечение теплоносителя. Применение геотермальных циркуляционных систем (ГЦС) с горизонтальными скважинами и гидроразрывом горной породы позволит более эффективно осваивать запасы петротермальной энергии. ГЦС такого типа можно создавать практически повсеместно. На протяжении многих лет в Ленинградском горном университете под руководством профессора Дядькина Ю.Д. велись работы по изучению теории гидроразрыва горной породы, была разработана методика определения параметров гидравлического разрыва массива горной породы,

которая давала расчетные значения, вполне сопоставимые с данными проводимых на тот момент зарубежных натурных экспериментов [5]. На рисунке 1.1 приведена разработанная схема петротермальной циркуляционной системы (ПЦС), состоящая из нагнетательной и добычной скважин, пробуренных с одной площади. Циркуляция теплоносителя в такой системе происходит по контуру: нагнетательная скважина - трещины гидроразрыва - добычная скважина.

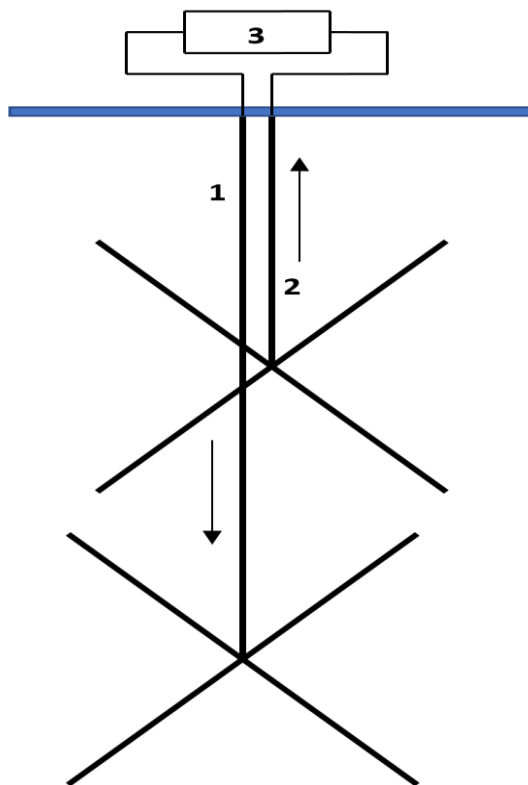


Рисунок 1.1 - Петротермальная циркуляционная система с горизонтальными скважинами. 1 – нагнетательная скважина; 2 – добычная скважина; 3-потребитель тепла

Увеличением количества горизонтальных стволов скважин ПЦС можно добиться расширения зоны фильтрации теплоносителя в пласте, тем самым увеличивая количество отбираемой от горной породы теплоты. При количестве горизонтальных стволов равном четырем, можно ожидать отбора до 60 % теплоты, сосредоточенной в горном массиве. Аналитические выкладки позволяют определить количество теплоты, сосредоточенное в горном массиве, охваченном фильтрацией теплоносителя. Согласно проведенным оценочным расчетам приблизительные значения извлекаемой тепловой мощности при различных значениях параметров системы приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Извлекаемая тепловая мощность ГЦС N, МВт

Температура горной породы, °С	Толщина коллектора, с которого отбирается тепло, м	Длина горизонтального ствола скважины, м		
		150	200	300
130	300	4,37	7,76	17,47
	400	5,82	10,36	23,30
150	300	5,04	8,96	20,16
	400	6,72	11,95	26,88

Время работы циркуляционной системы равно 30 годам. Необходимо учесть, что до 30% извлекаемой тепловой мощности в таких системах будет расходоваться на циркуляцию теплоносителя в системе. При проведении расчетов длины горизонтальных стволов брались равными от 150 до 300 метров, дальнейшее увеличение их длины нецелесообразно, так как при современных методах бурения обеспечить циркуляцию больших объемов теплоносителя в ПЦС достаточно проблематично. С развитием и внедрением новых методов бурения скважин с большими диаметрами станет возможным закачка больших объемов теплоносителя, значительно увеличив зону фильтрации в осваиваемом коллекторе, за счет чего значения извлекаемой тепловой мощности будут расти и освоение огромных запасов петротермальной энергии выйдет на новый уровень.

Представленная система может выступать в качестве первичного циркуляционного контура в бинарной ГеоЭС с отбором тепла сухих горных пород. Такая ГеоЭС будет состоять из первичного циркуляционного контура с отбором тепла горных пород и вторичного контура, в котором реализуется термодинамический цикл с использованием низкокипящего рабочего агента. При создании ГеоЭС главной целью является получение максимальной полезной электрической мощности при оптимальных экономических показателях. В опубликованных за отчетный период работах приведены результаты оптимизации термодинамического цикла, реализуемого во вторичном контуре бинарной ГеоЭС, и параметров первичного контура.

Глава 2. Расчет эффективности технологической схемы ГЕОЭС с горизонтальными скважинами

Был проведен сравнительный анализ горизонтальной одноразмерной скважины и горизонтальной телескопической скважины, с целью показать эффективность использования горизонтальных телескопических скважин. Построена математическая модель одиночной горизонтальной скважины телескопической конструкции. Используя полученную математическую модель одиночной горизонтальной скважины телескопической конструкции, проведены расчеты для геотермальных месторождений, которые показали эффективность использования горизонтальных телескопических скважин.

На сегодня, при разработке геотермальных месторождений, использование горизонтальных скважин приобретает особую актуальность. Интенсификация добычи термальной воды является одним из основных способов улучшения технико-экономических показателей геотермального производства и повышения конкурентоспособности геотермальной отрасли по сравнению с традиционными энергетическими отраслями. Разработка месторождений с помощью горизонтальных скважин позволяет решить целый комплекс задач, которые были не под силу при разработке месторождений вертикальными скважинами. Горизонтальная скважина имеет очевидные преимущества, связанные со значительным увеличением зоны дренирования, что особенно сильно проявляется в пластах малой продуктивной толщины. Практика использования горизонтальных скважин показала их высокую эффективность [14, 19-21]. Продуктивность горизонтальной скважины растет с её длиной, причем ее производительность может быть многократно выше производительности вертикальной скважины [15, 18].

В настоящее время используются конструкции скважины с одноразмерной эксплуатационной колонной в горизонтальном стволе. Такая конструкция горизонтального ствола, на наш взгляд, не является оптимальной. Для горизонтальной скважины характерно наличие переменного, накапливающегося по длине горизонтального ствола притока флюида из пласта. Поэтому применение ступенчатой конструкции горизонтального ствола, с увеличением диаметра колонны от конечного забоя (рисунок 2.1) позволит сократить потери давления на трение в стволе. При этом существенно снижается вес эксплуатационной колонны, обеспечивается доводка колонны до конечного забоя при креплении скважины за счет снижения сил трения, оптимизируются параметры режима спуска колонны [22].

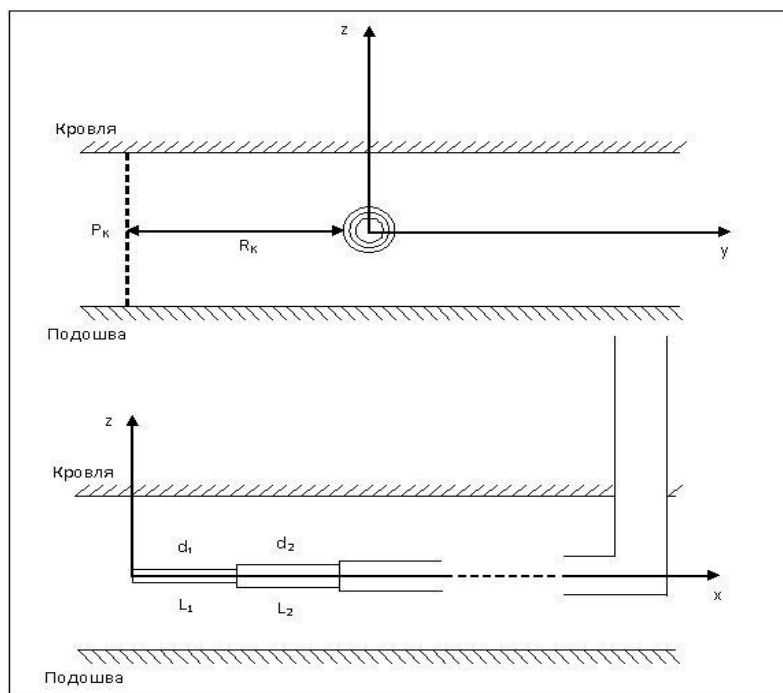


Рисунок 2.1- Схема расчета телескопической скважины

Рассмотрим стационарный приток жидкости к горизонтальной скважине длины L в анизотропном пласте с вертикальной и горизонтальной проницаемостью k_v , k_h – соответственно, с продуктивной толщиной h и непроницаемой кровлей и подошвой.

Для простоты будем полагать, что скважина расположена на оси пласта, причем система координат выбрана так, что начало отсчета по оси x , совпадает с конечным забоем скважины.

Контур питания считаем двусторонним с радиусом R_k .

Считая справедливым закон Дарси, будем полагать, что на забойной поверхности скважины поддерживается постоянное рабочее давление P_0 , а на удаленном круговом контуре питания – постоянное давление P_k ($P_k > P_0$).

Воспользуемся уравнением притока жидкости к горизонтальной скважине [17]:

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot k_h \cdot h \cdot \rho \cdot \Delta P}{\mu \cdot B_0 \cdot \left(\ln \frac{4 \cdot R_k}{L} + \frac{\beta \cdot h}{L} \cdot \ln \frac{\beta \cdot h}{\pi \cdot d} \right)} \quad (2.1)$$

где Q – массовый дебит горизонтальной скважины, кг/с; k_h – горизонтальная проницаемость пласта, м^2 ; h – мощность продуктивного пласта, м; ρ – плотность термальной воды, кг/м^3 ; ΔP – перепад давления на границе кругового контура питания и на стенке скважины, Па; μ – вязкость термальной воды, Па·с; B_0 – пластовый объемный

фактор; R_k – радиус кругового контура питания, м; L – длина горизонтального ствола, м; d – диаметр скважины, м; $\beta = \sqrt{\frac{\kappa_z}{\kappa_g}}$; k_g – вертикальная проницаемость пласта, м².

Будем полагать, что горизонтальный ствол, имеющий телескопический характер, состоит из n – секций.

Обозначим через d_i , L_i – диаметр и длина соответственно i –й секции горизонтального ствола.

С учетом гидравлических потерь давления по стволу, накопленный дебит в произвольной точке x i –й секции горизонтального ствола определяется по формуле:

$$Q_i(x) = \frac{2 \cdot \pi \cdot \kappa_z \cdot h \cdot \rho \cdot (\Delta P - \Delta P_{TPi}(x))}{\mu \cdot B_0 \cdot \left(\ln \frac{4 \cdot R_k}{x} + \frac{\beta \cdot h}{x} \cdot \ln \frac{\beta \cdot h}{\pi \cdot d_i} \right)} \quad (2.2)$$

где $\Delta P_{TPi}(x)$ – общие гидравлические потери в горизонтальном стволе до точки x в i –й секции; $\Delta P_{TP0}=0$; d_i – диаметр ствола i –й секции.

Для $\Delta P_{TPi}(x)$ имеем:

$$\Delta P_{TPi}(x) = \sum_{j=0}^{i-1} \Delta P_{TP}^j + \Delta P_{TP}^i(x) = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi^2 \cdot \rho} \sum_{j=0}^{i-1} \frac{Q_j^2 \cdot L_j}{d_j^5} + \frac{2 \cdot \lambda \cdot (Q_i(x))^2}{\pi^2 \cdot \rho \cdot d_i^5} \cdot \left(x - \left(\sum_{j=0}^{i-1} L_j \right) \right) \quad (2.3)$$

где $\Delta P_{TP}^i(x)$ – гидравлические потери в i –й секции ствола; λ – коэффициент гидравлических сопротивлений. Полагаем, что $Q_0=0$; $\Delta P_{TP}^0=0$.

Подставляя выражение (3) в формулу (2) и решая полученное квадратное уравнение, относительно $Q_i(x)$ находим соответствующее значение дебита в точке x i –й секции.

Для дебита окончательно получаем формулу:

$$Q_i(x) = \frac{\sqrt{F^2(x) + 4 \cdot m_1 \cdot S_1(x)} - F(x)}{2 \cdot S_1(x)} \quad (2.4)$$

где

$$m_1 = \frac{2 \cdot \left(\Delta P - \sum_{j=0}^{i-1} \Delta P_{TP}^j \right) \cdot \pi \cdot \kappa \cdot h \cdot \rho}{\mu \cdot B_0},$$

$$S_1(x) = \frac{4 \cdot \lambda \cdot \kappa \cdot h \cdot \left(x - \sum_{j=0}^{i-1} L_j \right)}{\pi \cdot \mu \cdot B_0 \cdot d_i^5},$$

$$F(x) = \ln \frac{4 \cdot R_k}{x} + \frac{\beta \cdot h}{x} \cdot \ln \frac{\beta \cdot h}{\pi \cdot d_i}$$

Расчет дебита ведем последовательно по секциям от конечного забоя скважины. В результате последовательных вычислений получим значения дебитов: $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ и значения соответствующих гидравлических потерь: $\Delta P_{TP1}, \Delta P_{TP2}, \dots, \Delta P_{TPn}$.

Гидравлические потери давления на трение в стволе имеют сильную зависимость от скорости потока v .

$$\Delta P_{TPi} = \frac{\lambda \cdot v^2 \cdot L_i}{8 \cdot d_i \cdot \rho} \quad (2.5)$$

где v – средняя скорость движения потока в стволе, м/с.

Среднюю скорость движения флюида в стволе определяем по формуле:

$$v = \frac{4 \cdot Q_i}{\pi \cdot d_i^2 \cdot \rho} \quad (2.6)$$

На основе разработанной методики были проведены расчеты для Тарумовского месторождения (таблица 2.1).

Расчеты проводились для разных вариантов горизонтальной одиночной скважины:

«а» – одиночная скважина с одноразмерным горизонтальным стволом ($d=0,147$ м);

«б» – одиночная скважина с горизонтальным стволом телескопической конструкции, состоящим из 2-х секций, каждая по 500 м ($d_1=0,147$ м, $d_2=0,159$ м);

«в» – одиночная скважина с горизонтальным стволом телескопической конструкции, состоящим из 4-х секций, каждая по 250 м ($d_1=0,147$ м, $d_2=0,159$ м, $d_3=0,175$ м, $d_4=0,199$ м);

«г» – одиночная скважина с горизонтальным стволом телескопической конструкции, состоящим из 5-х секций, каждая по 200 м ($d_1=0,147$ м, $d_2=0,159$ м, $d_3=0,175$ м, $d_4=0,199$ м, $d_5=0,222$ м.).

Таблица 2.1 - Параметры Тарумовского месторождения

№	Параметр	Единица измерения	Скважина №2
1	Эффективная мощность	м	2,5
2	Проницаемость пласта	м ²	$1,23 \cdot 10^{-12}$
3	Минерализация вода	г/л	191
4	Пластовая температура	°С	198
5	Пластовое давление	ат	715
6	Глубина скважины	м	5500

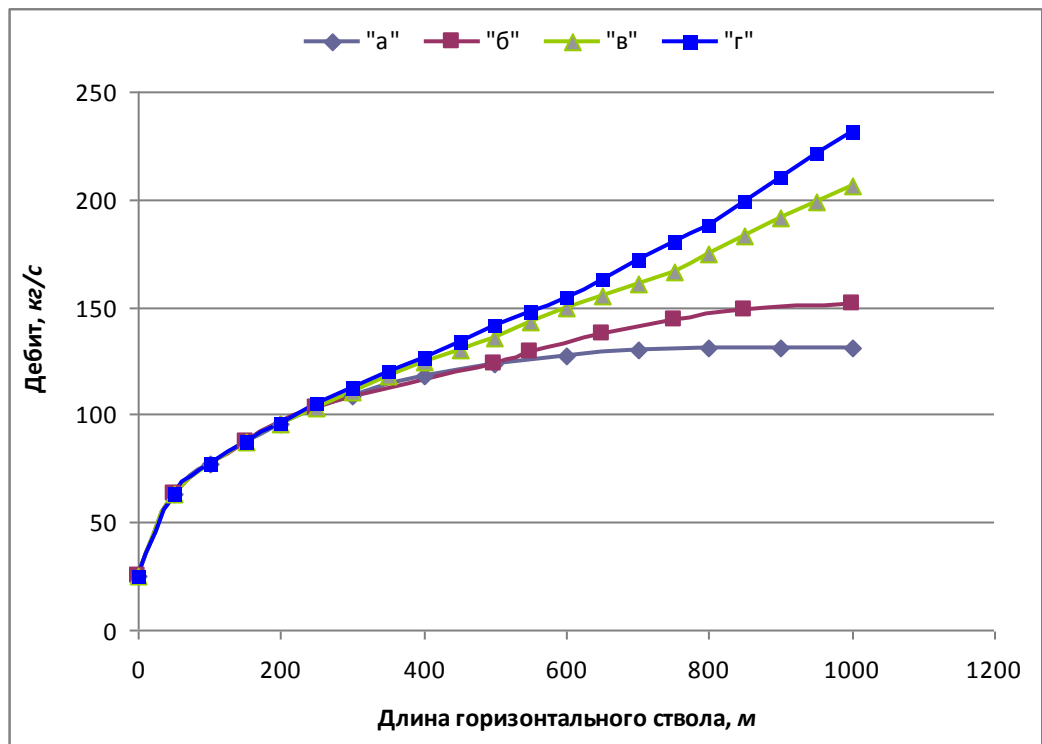


Рисунок 2.2- Значения дебита в горизонтальном стволе

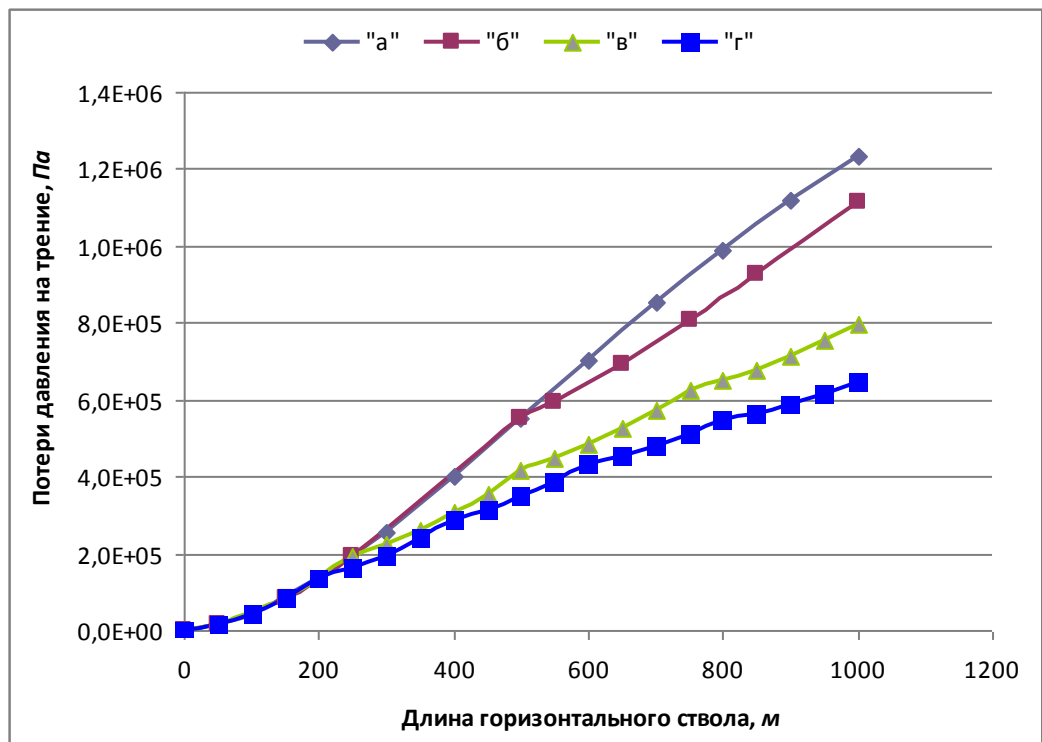


Рисунок 2.3 - Значения гидравлических потерь давления в горизонтальном стволе

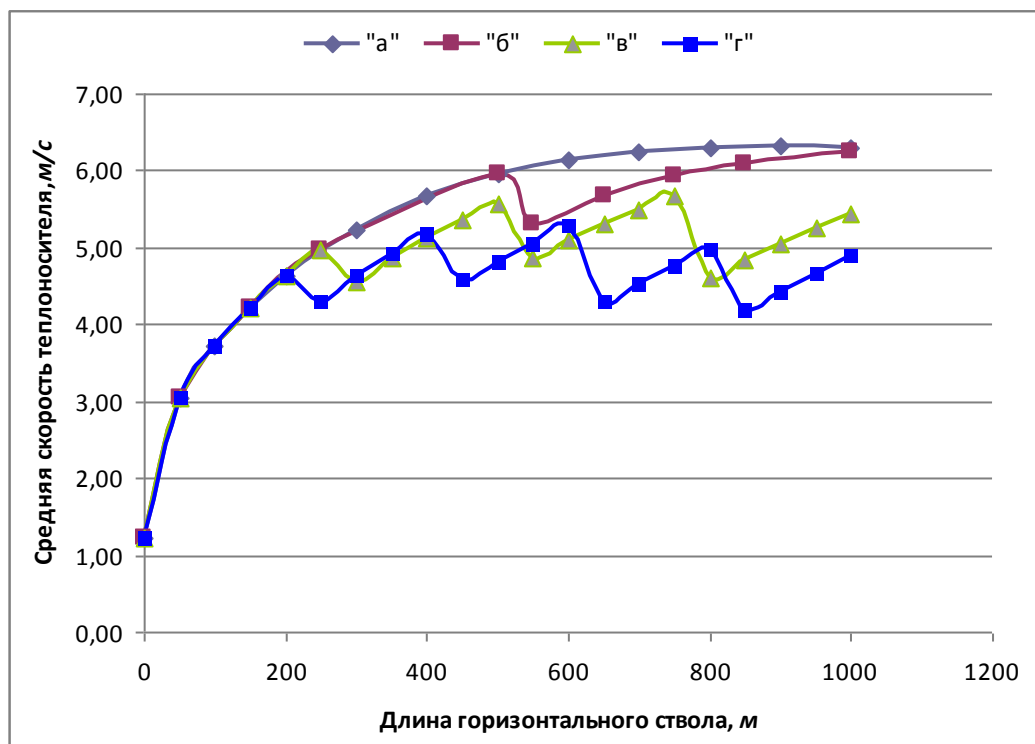


Рисунок 2.4 - Значения средней скорости движения теплоносителя в горизонтальном стволе

Как видно из графиков, преимущество горизонтальной скважины телескопической конструкции по сравнению с одноразмерной горизонтальной скважиной очевидно. Использование горизонтальной скважины телескопической конструкции позволяет добиться больших значений дебита, меньших значений потерь давления на трение и средней скорости движения теплоносителя. Увеличение количества секций в горизонтальной скважине телескопической конструкции приводит к росту дебита скважины.

Проведены расчеты с соблюдением условия, что переход от секции одного диаметра эксплуатационной колонны к другому (с большим диаметром) происходит при достижении скорости движения флюида некоторого критического значения. Максимально допустимое значение скорости течения теплоносителя примем равным 3 м/с. Расчеты проводились для месторождения Кизляр с разными вариантами одиночной горизонтальной скважины телескопической конструкции.

Таблица 2.2 - Результаты расчета одиночной горизонтальной скважины телескопической конструкции для месторождения Кизляр

Диаметр ствола, м	Длина секции, м	Длина по горизонтальному стволу, м	Массовый дебит, кг/с	Потер и давления, МПа
Вариант 1				
0,1471	87	87	48	0,019
0,157	19	106	55	0,023
0,1719	36	142	66	0,030
0,1987	85	227	88	0,044
0,2245	107	334	112	0,059
0,2527	138	472	142	0,076
Вариант 2				
0,157	106	106	55	0,021
0,1719	35	141	66	0,028
0,1987	85	226	88	0,042
0,2245	107	333	112	0,057
0,2527	138	471	142	0,074

Использование горизонтальной скважины телескопической конструкции подразумевает увеличение диаметра каждой последующей секции, а это влияет на стоимость скважины. Поэтому необходимо провести расчеты, учитывающие экономическую составляющую.

Для определения стоимости бурения вертикальной скважины, было получено аналитическое выражение:

$$C_H = 2,1244 \cdot H^4 - 13,164 \cdot H^3 + 36,844 \cdot H^2 + 89,393 \cdot H - 1,5119 \quad (2.7)$$

где H – глубина скважины, м.

Тогда стоимость бурения горизонтального участка, определяем по формуле:

$$C_L = \alpha \cdot (2,1244 \cdot L^4 - 13,164 \cdot L^3 + 36,844 \cdot L^2 + 89,393 \cdot L - 1,5119) \quad (2.8)$$

где L – длина горизонтального ствола, м; α – коэффициент, учитывающий увеличение стоимости горизонтального участка скважины ($\alpha=1,3 - 1,6$).

Зависимость стоимости бурения скважины от диаметра, можно определить по формуле [3]:

$$C_d = C \cdot 10^{3,5 \cdot d - 0,5} \quad (2.9)$$

где

$$C = C_H + C_L \quad (2.10)$$

где C – общая стоимость бурения одиночной скважины с горизонтальным стволом.

Капитальные затраты на 1 кг извлекаемого теплоносителя составят:

$$F = \frac{C \cdot 10^{3,5 \cdot d - 0,5}}{t \cdot Q} \quad (2.11)$$

где t – время эксплуатации скважины, с.

Также в расчетах учитывались потери давления на трение на вертикальном участке скважины.

Таблица 2.3 - Значения дебита (Q), гидравлических потерь давления (ΔP_H – потери давления на вертикальном участке скважины; ΔP – общие потери давления), стоимости бурения и удельных капитальных затрат.

Вариант	Q , кг /с	ΔP_H , МПа	ΔP , МПа	C_L , тыс.долл.	C_d , тыс.долл.	F , отн.ед./кг
А	32	0,86	2,1	164,70	1570	47,65
Б	33	0,61	1,7	155,11	1707	50,41
В	54	0,52	1,3	161,82	2292	42,17
Г	71	0,51	1,1	172,23	2749	38,54

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

1. Использование горизонтальной скважины телескопической конструкции по сравнению с одноразмерной горизонтальной скважиной позволит добиться больших значений дебита и меньших значений потерь давления на трение и средней скорости движения теплоносителя.
2. Увеличение количества секций в горизонтальной скважине телескопической конструкции приводит к дальнейшему росту значений дебита за счет снижения потерь давления на трение.
3. Не смотря на увеличение стоимости бурения горизонтальной скважины телескопической конструкции, по сравнению с одноразмерной горизонтальной скважиной, применение такой конструкции оправдано, т.к. это приводит к значительному улучшению эксплуатационных параметров (таблица 2.3).
4. Использование начальной секции с меньшим диаметром, при соблюдении условия, что переход от секции одного диаметра эксплуатационной колонны к другому происходит при достижении скорости движения флюида некоторого критического значения, приводит к росту общего количества секций в горизонтальной скважине телескопической конструкции (таблица 2.2).

Глава 3. Исследование эффективности процесса обогащения геотермальной и морской воды путем проведения процессов ее испарения и конденсации в высокопотенциальном электрическом поле

В настоящих исследованиях проблема разработки модели процесса возникновения жидкого конуса Тейлора на вершине капилляра в электрическом поле возникла в при попытке экспериментального подтверждения физической теории кривой кипения Широ Нукияма [23]. При разработке модели процессов тепломассопереноса для всего интервала тепловых нагрузок было установлено, что под растущим на поверхности теплоподвода зародышем пара образуется метастабильная нано - микроплёнка и, что максимум плотности теплового потока при кипении жидкости обусловлен её выпариванием [24]. Для экспериментального подтверждения этого утверждения теории кипения жидкости потребовалось получить стабильные нано – микроплёнки жидкостей на поверхности теплоподвода и оценить порядок величины теплового потока при их выпаривании.

Как оказалось экспериментальное получение стабильных во времени плёнок жидкостей таких толщин в условиях их непрерывного выпаривания является проблематичным. Их получить удалось путём использования известных капиллярных сил и пористых структур и методом диспергирования жидкости в высокопотенциальном электрическом поле [24 - 27].

Начало XI-го века связано с бурным развитием нано технологической области науки с масштабными внедрениями её результатов. Внедрение результатов этой области науки наблюдается даже в таких, казалось бы, далёкие от нанотехнологий области человеческой деятельности как: технологии интенсификации тепломассопереноса [28, 29], холодильная техника, строительство, технологии нефтепереработки, дорожное строительство, медицина, фармакология, технологии получения горючей смеси в двигателях внутреннего сгорания, агропромышленность и другие, не говоря уже о таких традиционных областях науки как: энергетика, химическая промышленность, солнечная энергетика, микроэлектроника, порошковая металлургия, технологии струйных принтеров, революционные технологии повышения качества струйной печати, приборостроение, машиностроение, космическая техника, технологии перерабатывающей и лёгкой промышленности и многие другие области промышленности, где необходимо переводить исходные материалы и сырьё в нано-микроструктурные состояния с требуемыми техническими характеристиками частиц для

интенсификации процессов их дальнейшей переработки [30 - 33]. Эти разработки связаны также с зарождением новых направлений науки и производства.

Все известные экспериментальные и теоретические результаты в этой области науки посвящены изучению неустойчивости структур капель, струй и поверхностей [34 – 40] в интенсивных электрических полях и в основном опираются на теории неустойчивости капли, разработанной Релеем ещё 1882 году [41]. Из сопоставительного анализа известных теоретических и экспериментальных результатов следует, что в конечном итоге процесс диспергирования жидкости в любом случае протекает с вершин конусов Тейлора возникающих на плоской поверхности, поверхности капли и на конце капилляра. Следовательно, первостепенной задачей в этой области науки должно быть изучение динамики процессов образования и развития конуса Тейлора со всеми его проявлениями, в том числе его критических состояний в монотонно возрастающем электрическом поле.

Цель работы: Разработать модель процесса образования конуса Тейлора на конце капилляра с экспериментальным установлением величины радиуса мениска его вершины. Определить режимы возникновения критерия неустойчивости на вершине конуса, получить аналитические соотношения для критического значения вектора напряжённости электрического поля – потенциала. Определить условия возникновения режима неустойчивости – режима перехода исходного конуса в неустойчивое состояние. Экспериментально подтвердить поставленные цели.

3.1 Условия формирования конуса Тейлора на конце капилляра в электрическом поле

Процесс диспергирования жидкости в интенсивных электрических полях является сложной функцией: структуры электрического поля в зоне формирования дисперсного потока, скорости её истечения из капилляра, свойств диспергируемой жидкости и окружающей среды, температуры и проявления размерных эффектов касательно сил поверхностного натяжения и диэлектрической проницаемости. Для однозначного определения условий возникновения критерия неустойчивости на вершине конуса в работе влияние расхода жидкости через капилляр практически сведён к нулю путём установления нулевого её уровня в ёмкости относительно конца капилляра. Этот режим на капилляре устанавливается для сокращения технологических параметров обуславливающих критерий неустойчивости на вершине конуса Тейлора, и технологические режимы процессов, протекающих в межэлектродном пространстве.

Кроме того настоящие результаты относятся к упрощенной структуре электрического поля возникающего в пространстве между капилляром подключённым к положительному полюсу регулируемого компьютером источника питания марки ПЛАЗОН ИВН – 50/0.05 и вторым заземлённым через микроамперметр марки М 134 с пределом измерения $1\text{ }\mu\text{A}$ и классом точности 2.5 дисковым электродом. Этим исключается искажение структуры электрического поля в зоне формирования дисперсного потока жидкости. Так как наличие любых других элементов конструкции вблизи электродов таких как: проволока, вставленная внутрь капилляра, наличие фокусирующего диска на капилляре и др. приводят к деформации структуры электрического поля. Однозначный учёт влияния любых других факторов на динамику процессов протекающих между электродами при монотонном росте потенциала капилляра может быть осуществлён путём последовательного установления их индивидуальных влияний.

Для измерения потенциала капилляра используется электростатический вольтметр типа С 96 с классом точности 1,5 и пределами измерений 7,5, 15, и 30 кВ.

3.2 Явление возникновения конуса Тейлора на конце капилляра и процессов, протекающих в пространстве между электродами

Если наблюдать за динамикой процессов, протекающих в пространстве между концом капилляра и вторым электродом в указанных выше условиях, то до режима возникновения устойчивого конуса Тейлора на конце капилляра режимы истечения жидкости последовательно пребывают в следующих состояниях. При напряжённости электрического поля капилляра порядка $12 \cdot 10^4\text{ В/м}$ в зависимости от свойств диспергируемой жидкости из него вытягивается жидкость в форме полусферы и при незначительном увеличении его потенциала (50 – 100 В) от конца отрываются капли. В последующем частота отрыва капель растёт и при напряжённости электрического поля порядка $18 \cdot 10^4\text{ В/м}$ их поток переходит в режим тонкой струйки жидкости. Далее струйка начинает распадаться вблизи второго электрода на частицы с большим разбросом размеров, достигающим интервала значений порядка 10^{-3} м .

Затем точка распада струйки приближается к капилляру до точки соответствующей точке максимума значения вектора напряжённости электрического поля. При этом жидкость на конце капилляра скачкообразно переходит в форму конуса Тейлора с острой вершиной, максимальной высотой и еле заметным дисперсным потоком частиц с его вершины, как это показано на фотографии, приведённой на рисунке 3.1. При неизменных режимах этот процесс диспергирования протекает в стационарном режиме с исключением

каких - либо колебательных процессов. Такая последовательность процессов протекающих между электродами при монотонном росте потенциала капилляра характерна для жидкостей, изученных в ходе проведённых работ.

Модельными экспериментально исследуемыми жидкостями при оптимизации режимных параметров процесса являются: амиловый и бутиловый спирты, чернила струйных принтеров марки "«Hi color ink Epson»" если это не оговорено.



Рисунок 3.1- Фотография конуса Тейлора на конце капилляра со стационарным дисперсным потоком чернил струйного принтера марки "chameleon" при 500 кратном увеличении. Наружный диаметр капилляра составляет 0,38 мм.

3.3 Модель процесса возникновения неустойчивости на вершине конуса Тейлора

Для определения условия возникновения критерия неустойчивости на вершине конуса Тейлора, рассматриваем силы, действующие на воображаемую сферическую заряженную частицу, находящуюся на вершине жидкого конуса Тейлора в таком положении, что её поверхность касается образующих конуса. Таким образом, конус Тейлора на вершине завершается мениском - поверхностью сферического сегмента отсекаемым плоскостью проходящей по линии касания поверхности воображаемой частицы с образующими конуса. Естественно, что от вершины конуса отрываются заряженные сферические частицы с заданным распределением их размеров около оптимального радиуса r_0 , аккумуляровавшие в себя предельный заряд при заданном потенциале вершины конуса.

Оптимальный заряд сферической частицы, покидающей вершину конус Тейлора, определяем по известному соотношению:

$$q_0 = 4\pi\epsilon_0\epsilon_l r_0 \varphi_b \quad (3.1)$$

Здесь ε_0 , ε_l , и φ_e соответственно; электростатическая постоянная, диэлектрическая проницаемость жидкости и потенциал вершины капилляра.

Как известно точка максимума вектора напряжённости электрического поля на оси электрозаряженного кольца – образующего конца капилляра расположена от него на расстоянии, определяемом его радиусом по соотношению [44]:

$$l = r_k / \sqrt{2} \quad (3.2)$$

где l и r_k соответственно высота и радиус основания конуса или капилляра в нашем случае.

Для однозначной интерпретации условия возникновения дисперсного потока на вершине конуса Тейлора рассмотрим структуру электрического поля возникающего на конце электрозаряженного капилляра (кольца). Эта структура электрического поля касательно величины и направления вектора напряжённости подобна структуре, образующейся при выталкивании центра резиновой плёнки натянутой на конец капилляра проволокой вставленной в него. Плёнка сил поверхностного натяжения натянутая и фиксированная на конце капилляра при его выталкивании по оси капилляра, заряженными сферическими частицами тоже принимает форму конуса с мениском на вершине. Предельно электрозаряженные частицы при заданном потенциала капилляра выталкивающие плёнку поверхностного натяжения, отталкиваются от конца одноимённо заряженного капилляра кулоновской силой, определяемой максимальным значением вектора напряжённости электрического поля на оси капилляра и формируют конус Тейлора. Схематическое изображение жидкого конуса Тейлора на вершине капилляра приведено на рисунке 3.2.

Для наглядности, на рисунке 3.2 изображена единичная условная воображаемая частица, оттягивающая плёнку из-за действия кулоновской силы, и она изображена в сильно увеличенном масштабе по отношению к размерам мениска вершины конуса Тейлора. В действительности размеры частиц, вырывающихся из мениска вершины конуса, на порядки величин должны быть меньше радиуса мениска, так как объём воображаемой частицы равен суммарному объёму частиц выталкивающих мениск вершины конуса.

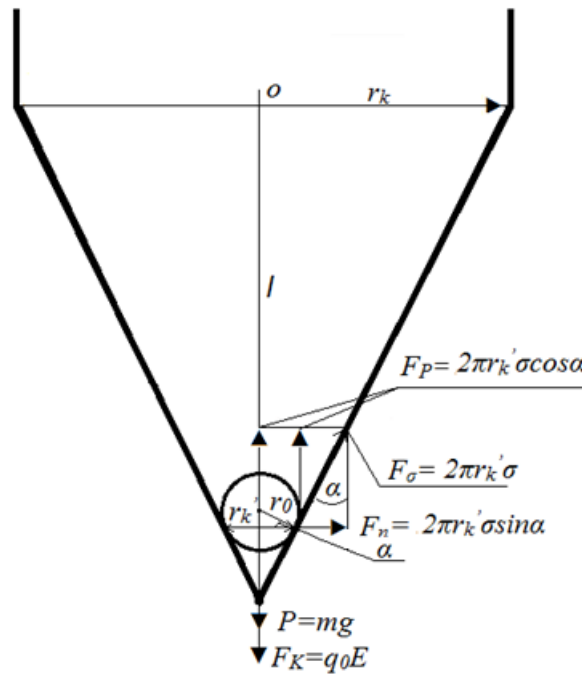


Рисунок 3.2- Схематическое изображение конуса Тейлора с указанием области поверхности мениска, с которой начинается стационарный процесс диспергирования при выполнении условия равновесия сил, действующих на заряженные частицы жидкости находящиеся в наиболее удалённой от конца капилляра области на его оси.

Процесс эмиссии частиц из мениска вершины конуса обусловлен несколькими механизмами. Это механизмы; полевой эмиссии однозарядных атомарных ионов, двухзарядных ионов, молекулярных ионов, возбуждённых атомов и электронейтральных частиц, которые были установлены на основе спектрометрического анализа дисперсных потоков [45, 46].

При вертикальном положении капилляра с жидкостью критическое значение вектора напряжённости электрического поля на вершине конуса Тейлора, при котором возникает режим неустойчивости на его мениске и процесс диспергирования жидкости, как это следует из рисунка 3.2, определяем из неравенства:

$$\vec{F}_K + \vec{P} + \vec{F}_p + F_{от} = 0 \quad (3.3)$$

Здесь F_K – кулоновская сила отталкивания воображаемой (гипотетической) электрозаряженной частицы от контура конца капилляра направленная по внешней нормали к поверхности мениска вершины конуса, P - сила тяжести, действующая на частицу, F_p – нормальная составляющая силы поверхностного натяжения диспергируемой жидкости, удерживающая частицу на вершине конуса и $F_{от}$ - сила отдачи диспергируемых частиц.

Усреднённая за единицу времени сила отдачи частиц, преодолевающих силу поверхностного натяжения жидкости, на вершине конуса практически равна нулю при минимальной начальной скорости их выхода.

С учётом этого условия для определения критерия неустойчивости на вершине конуса Тейлора, в случае ориентации капилляра вертикально вниз в «условном вакууме» получаем неравенство:

$$q_0 E + m_0 g \geq 2\pi r_k' \sigma \cos \alpha \quad (3.4)$$

где E , m_0 , g , σ , r_k' и α – соответственно; максимальное значение вектора напряжённости электрического поля на вершине конуса Тейлора, направленный по оси дисперсного потока от его вершины ко второму электроду, усреднённая масса частицы потока, покидающей конус, ускорение свободного падения, коэффициент поверхностного натяжения, радиус мениска плёнки поверхностного натяжения по линии касания мениска с образующими конуса и половина угла раствора при его вершине.

В системе, состоящей из капилляра, второго дискового электрода и жидкости вакуум в полном смысле этого слова создать практически не возможно, так как в любом случае будет присутствовать паровая фаза жидкости испаряющейся при вакуумировании.

Одной из проблем исследования дисперсных потоков жидкостей является определение усреднённой массы частицы дисперсного потока. Массу осевой частицы потока покидающей вершину конуса оцениваем по расчётной и экспериментальной величине её отклонения в гравитационном и электрическом поле при горизонтальном её движении от вершины конуса ко второму электроду исходя из очевидных составляющих по осям x и y уравнений её перемещения:

$$m_0 a_x = F_K - F_{cx} \quad (3.5)$$

$$m_0 a_y = P - F_{cy} - F_A + F_K \quad (3.6)$$

где a_x , a_y , F_{cx} , F_{cy} , F_A , - соответственно; составляющие по осям ускорения, силы трения и силы Архимеда.

Для расчётной оценки порядка величины массы частицы из этих уравнений получаем очевидное соотношение:

$$m_0 = q_0 E \Delta y / g L \quad (3.7)$$

где Δy и L – соответственно; отклонение центральной частицы по оси y - ов, и расстояние между вершиной конуса Тейлора и вторым электродом ($L=s-l$, s – расстояние между концом капилляра – первым и вторым дисковым электродами.). При получении этого соотношения привлечённой массой пренебрегаем.

Исходя из (3.1) - (3.7), для критерия неустойчивости мениска конуса Тейлора - критического значения вектора напряжённости электрического поля на вершине конуса окончательно получаем:

$$E_{\text{в}} \geq \sqrt{\sqrt{3} k \sigma / 6 \varepsilon_0 \varepsilon_l l (1 + \Delta y / L)} \quad (3.8)$$

где k , – безразмерный корректирующий коэффициент $k \leq 1$. Безразмерный коэффициент - величина, характеризующая привлечённую массу [47].

В случае произвольной окружающей среды с диэлектрической проницаемостью ε_c , соотношение (3.7) принимает вид:

$$E_{\text{в}} = \sqrt{\sqrt{3} k \sigma \varepsilon_c / 6 \varepsilon_0 \varepsilon_l l (1 + \Delta y / L)} \quad (3.9)$$

Экспериментально измеряемой величиной является потенциал капилляра φ_k , при котором диспергируется жидкость с вершины конуса Тейлора для которого получаем:

$$\varphi_k \geq \sqrt{\sqrt{3} k \sigma \varepsilon_c L^2 / 4 \varepsilon_0 \varepsilon_l l (1 + \Delta y / L)} \quad (3.10)$$

При этом потенциал вершины конуса Тейлора считаем равным потенциалу вершины дисперсного потока жидкости.

Для экспериментальной корректировки величины критерия неустойчивости мениска конуса предварительно экспериментальным путём определяем осевое смещение горизонтального дисперсного потока вдоль гравитационного поля. В работе расчётное значение радиуса отрывающейся осевой частицы дисперсного потока теоретически оценивается по величине его массы (3.7) и отклонения Δy в нормальном гравитационном силовом поле.

Результаты экспериментальных исследований показали, что величина отклонения Δy частиц по оси y - ов при направлении потока по горизонтали практически равна нулю при расстояниях между электродами, достигающими несколько сантиметров. Расчётные значения массы частицы при различных расстояниях между электродами приведены в таблице. Как следует из таблицы при радиусах частиц дисперсного потока заключённых в интервале 10^{-8} – 10^{-9} м величина отклонения Δy частиц по оси y - ов оценивается значением порядка 10^{-10} – 10^{-11} м, которая не может быть определена экспериментально. Эти данные хорошо согласуются с экспериментальными значениями для размеров частиц и их отклонений по оси y – ов в частности для парафина и чернил струйных принтеров, для которых экспериментально определённые значения диаметров частиц составили величину, заключённую в интервале значений $(2-20) \cdot 10^{-9}$ м [24, 28].

Как следует из соотношения (3.10) критическое значение потенциала капилляра при котором возникает режим неустойчивости на вершине конуса Тейлора прямо пропорционально корню квадратному из произведения; коэффициента поверхностного натяжения жидкости, диэлектрической проницаемости окружающей среды, квадрата расстояния между вершиной конуса и вторым электродом и обратно пропорционально произведению: электростатической постоянной, диэлектрической проницаемости жидкости, высоты конуса и скобки, величина которой ничтожно отличается от единицы. Вклад скобки обусловлен расчётной оценкой массы частицы по её отклонению по вертикали.

Таким образом, из полученного соотношения следует, что высота конуса и, следовательно, радиус его основания (3.2) должны убывать с ростом потенциала капилляра. В работах [24, 25, 26, 28, 30, 31, 43, 44] экспериментально доказано, что потенциал диспергирования жидкостей растёт с ростом расстояния между электродами, следовательно, высота конуса и его радиус основания (3.2) должны убывать с ростом расстояния между электродами. Для высоты конуса из (3.9) получаем:

$$l = \sqrt{3} k \sigma \epsilon_c / 4 \epsilon_0 \epsilon_l E_{\text{в}}^2 (1 + \Delta y / L) \quad (3.11)$$

Как видно, геометрические размеры конуса Тейлора определяются: максимальной величиной вектора напряжённости электрического поля и физическими свойствами диспергируемой жидкости и окружающей среды. Последние в свою очередь являются функциями температуры и степени проявления размерных эффектов, влияние которых в работе не рассматривается.

3.4 Неустойчивости конуса Тейлора

Из классического соотношения (3.2) для структуры электрического поля электростатического кольца следует, что оптимальное значение расстояния от конца капилляра до точки максимума вектора напряжённости электрического поля - высота конуса жидкости должно однозначно определяться радиусом капилляра (радиусом электростатического кольца) [45]. Однако из соотношения (3.11) для стационарного процесса диспергирования жидкости из капилляра следует, что эта величина обратно пропорционально квадрату вектора напряжённости электрического поля на вершине конуса и определяется свойствами диспергируемой жидкости и окружающей среды. Это означает, что при любом изменении величины потенциала капилляра геометрические размеры конуса жидкости должны изменяться в соответствии с соотношением (3.2).

На самом деле при диспергировании жидкости из капилляра основание конуса (конуса плёнки поверхностного натяжения), что то же самое начало силовых линий, его образующих фиксированы на конце капилляра, а его высота как это следует из (3.11) должна убывает с ростом величины вектора напряжённости электрического поля – потенциала капилляра. Поэтому конус Тейлора с фиксированным на конце капилляра основанием и убывающей его высотой переходит в неустойчивое состояние при любых изменениях значения вектора напряжённости электрического поля - потенциала капилляра. И при некотором предельном увеличении потенциала капилляра - уменьшении высоты конуса он скачкообразно распадается на несколько штук, переходя в другие состояния с размерами основания более близкими к толщине стенки капилляра как это должно быть согласно соотношению (3.11) и следует из рисунка 3.3. При этом основания конусов фиксируются на стенках торца капилляра и конусы так же могут появиться на боковой поверхности его конца.

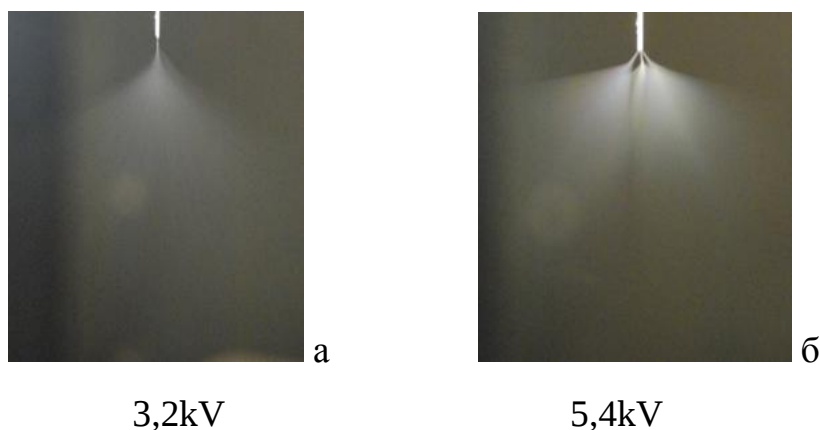


Рисунок 3.3 - Зависимости структуры дисперсного потока бутилового спирта от потенциала диспергирования при расстоянии между капилляром радиусом $3 \cdot 10^{-4}$ м. и вторым электродом равном $9 \cdot 10^{-2}$ м.

В действительности оптимальная точка, где значение вектора напряжённости электрического поля достигает максимума, расположена на расстоянии, определяемом из (3.2) и является функцией определяемой соотношением (3.11). Следовательно, более корректно будет ввести в расчётные соотношения радиус основания конуса как функцию его высоты при оценке критерия неустойчивости конуса Тейлора в общем случае. В случае сферической и плоской поверхностей и при отсутствии, каких либо элементов фиксации основания конуса как в случае капилляра или капиллярной структуры его оптимальные геометрические размеры устанавливаются автоматически в зависимости от потенциала капилляра согласно соотношениям (3.2) и (3.11). При заданном расстоянии между электродами оптимальные размеры конуса устанавливаются при разности потенциалов между ними соответствующему началу процесса диспергирования.

Как известно [24, 25, 34, 35, 44] конус Тейлора образующегося на конце капилляра устойчив в определённом интервале изменения его потенциала. Из соотношения (3.2) следует, что высота конуса однозначно определяется радиусом его основания и в случае заданного капилляра она должна быть постоянной величиной, а из (3.11) вытекает, что она должна линейно уменьшаться с ростом потенциала капилляра. Следовательно, на первый взгляд можно сделать вывод, что соотношение (3.11) полученное исходя из изложенной модели неустойчивости мениска конуса, не соответствует действительности. Однако, как будет показано далее, в разделе экспериментальных результатов, высота конуса в действительности убывает с ростом потенциала капилляра, как это следует из (3.11) и как показано на фотографиях, приведённых на рисунке 3.4.

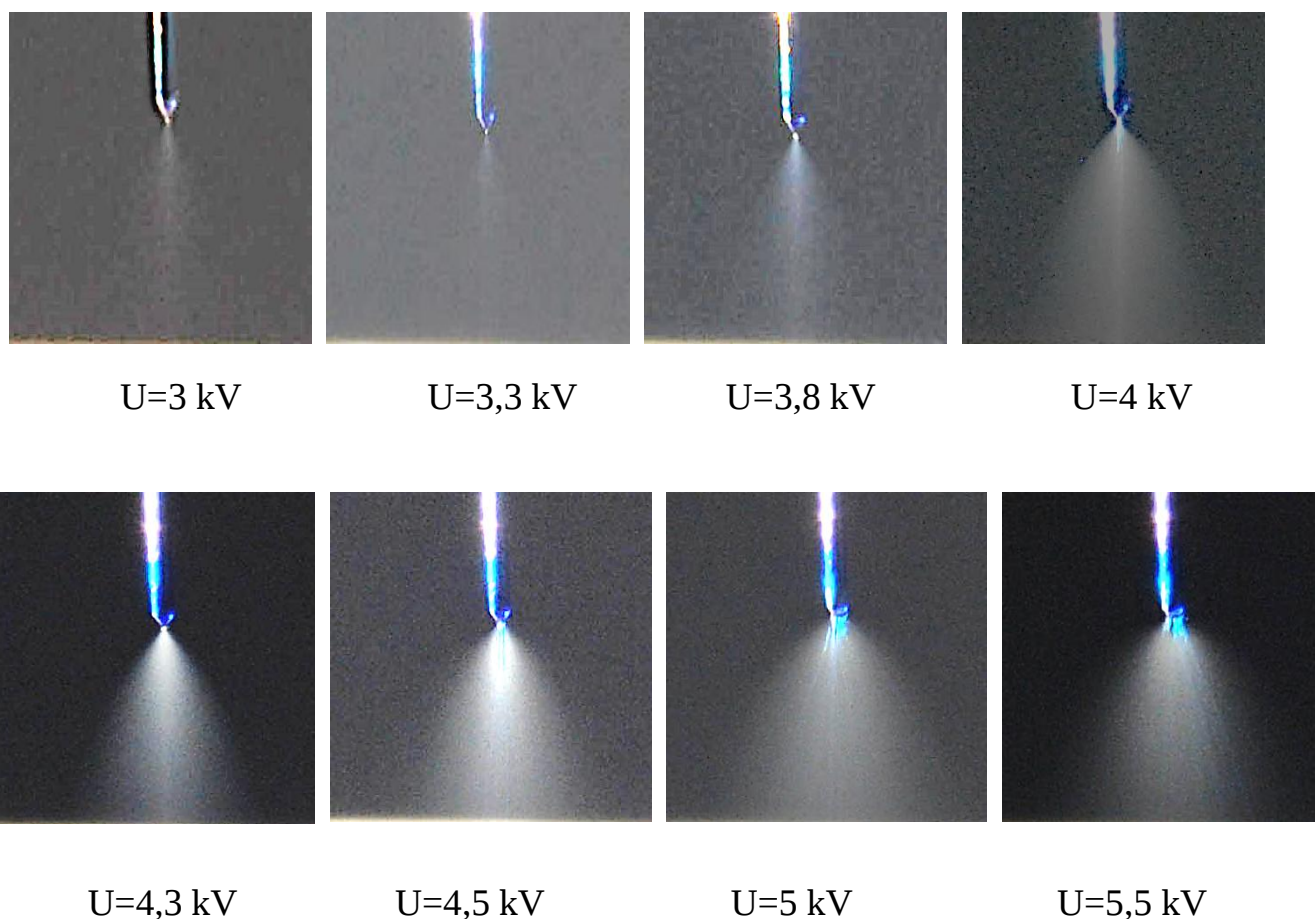


Рисунок 3.4- Экспериментальные значения зависимости высоты конуса Тейлора от потенциала диспергирования капилляра. Наружный радиус капилляра составляет $3 \cdot 10^{-4}$ м. Диспергируемой жидкостью является чернила струйных принтеров марки "«Hi color ink Epson»".

3.5 Экспериментальные результаты и их анализ

Стационарный процесс диспергирования жидкости в электрическом поле с минимальным интервалом разброса размеров частиц возникает только на мениске вершины конуса Тейлора с максимальной его высотой при заданном радиусе его основания - радиусе капилляра и минимальном расстоянии между электродами при достижении критического значения его потенциала. Интервал разброса размеров частиц растёт с уменьшением высоты конуса при фиксированном его основании, что то же самое с ростом потенциала диспергирования капилляра [24, 25, 34, 35, 44]. Расход жидкости в этом режиме оценивается порядком $10^{-6} - 10^{-7}$ кг/с.

На рисунке 3.3 приведены фотографии устойчивого (а) и неустойчивого (б) потоков бутилового спирта. При потенциале равном 3,2 кВ из капилляра радиусом $3 \cdot 10^{-4}$ м диспергируется жидкость в непрерывном устойчивом режиме. При росте потенциале капилляра до 5,4 кВ конус Тейлора скачкообразно срывается с конца капилляра на торец его трубки с распадом на несколько конусов меньших радиусов оснований, и переходят в нестационарные состояния, перемещаясь вдоль его образующей. В интервале (3,2 – 5,4) кВ изменения потенциала капилляра конус Тейлора сохраняет своё устойчивое состояние.

Последовательный процесс убывания высоты устойчивого конуса Тейлора с ростом потенциала капилляра для чернил струйных принтеров представлен на фотографиях, приведённых на рисунке 3.4. Графики расчётных зависимостей высоты конусов Тейлора от потенциала диспергирования капилляра для различных жидкостей приведены на рисунке 3.5. Как видно на фотографиях и следует из графиков, высота конуса Тейлора убывает с ростом потенциала капилляра. Этот процесс хорошо согласовывается с аналитическим выражением (3.11) для высоты конуса от потенциала капилляра, которая получена исходя из описанной выше модели возникновения неустойчивости на мениске конуса. Дальнейший рост потенциала приводит к срыву конуса с конца капилляра и переходу в неустойчивое состояние.

Как известно соотношение (3.2) получено для структуры электрического поля образующегося на конце капилляра для вакуума, т.е. для случая, когда диэлектрические проницаемости диспергируемой жидкости и окружающей среды равны единице. Как известно интенсивность электрического поля в любой среде падает обратно пропорционально величине диэлектрической проницаемости среды. Это следствие однозначно подтверждается полученными расчётными результатами, приведёнными на рисунке 3.5.

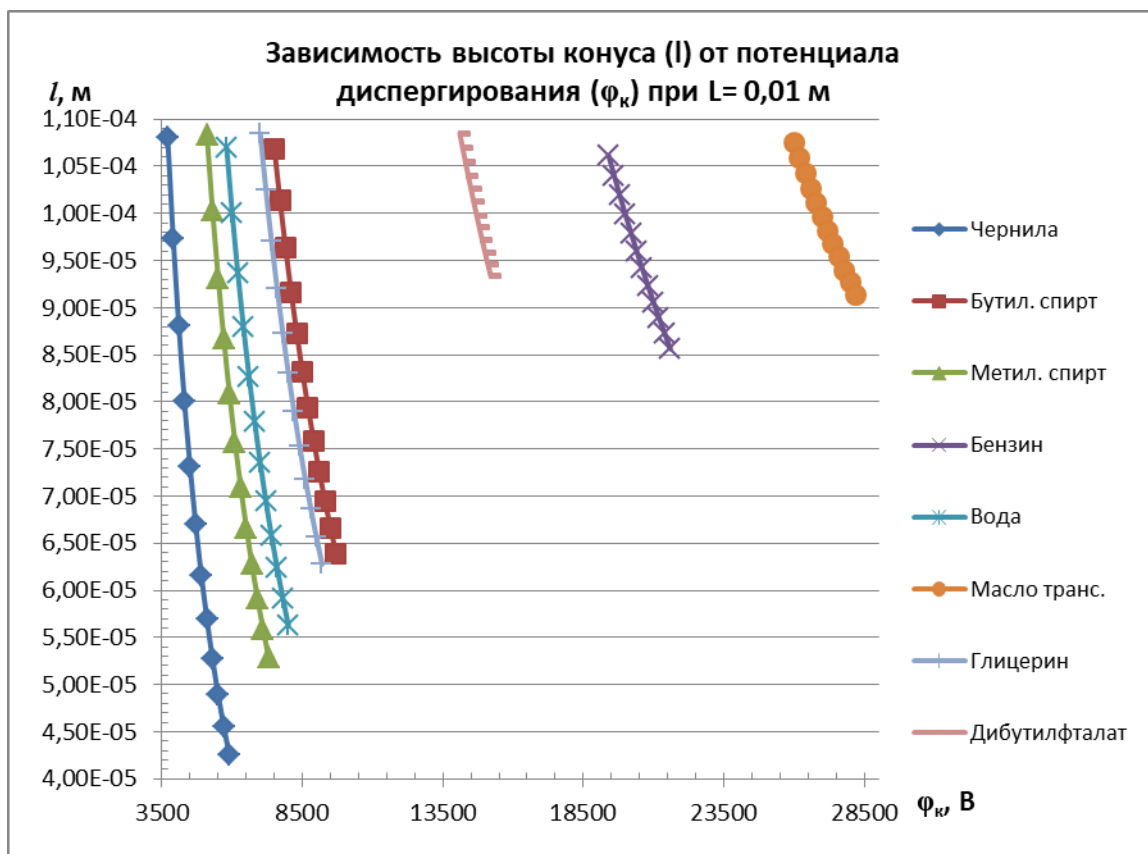


Рисунок 3.5 - Расчётные зависимости высоты конуса Тейлора от потенциала диспергирования капилляра.

Расчётные зависимости потенциала диспергирования различных жидкостей от расстояния между электродами приведены на рисунке 3.6. Для наглядности начальные области этих зависимостей проведены отдельно в увеличенном масштабе. Как следует из графиков и соотношений (3.10) и (3. 11), высота конуса Тейлора падает с ростом расстояния между электродами.

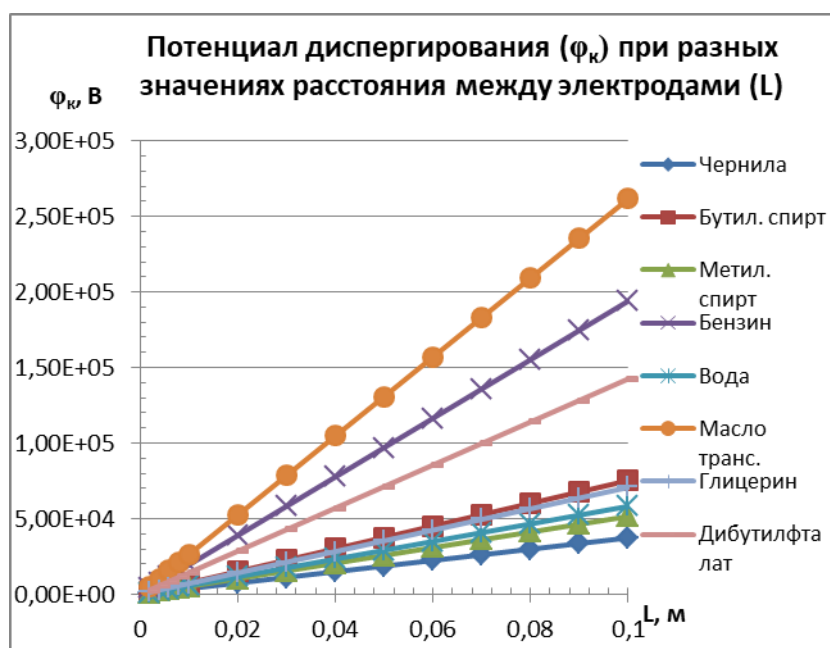
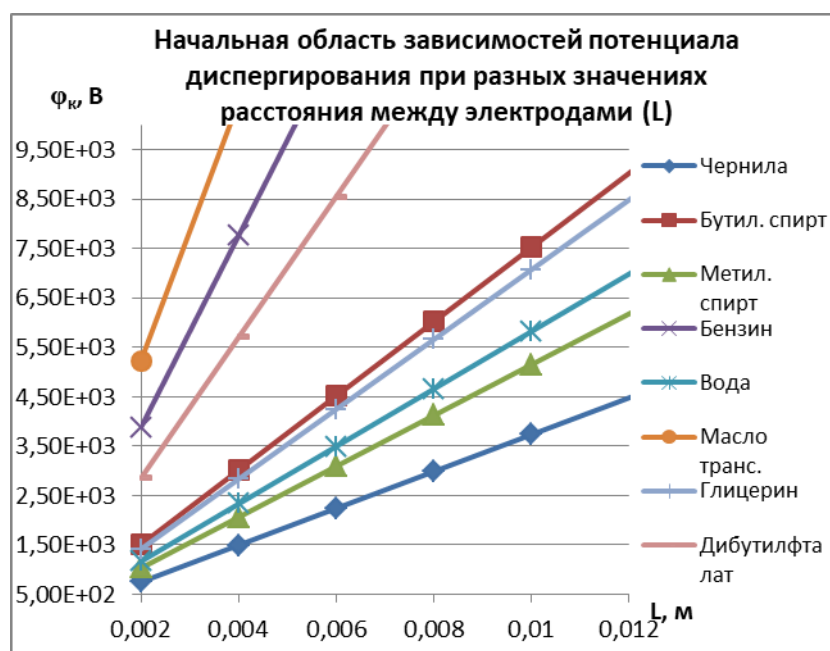


Рисунок 3.6 - Расчётные зависимости потенциала диспергирования различных жидкостей от расстояния между электродами. Для наглядности начальные области зависимостей проведены отдельно в увеличенном масштабе.

Выводы

Разработана модель процесса образования конуса Тейлора на конце капилляра, которая подтверждена экспериментально. Порядок радиуса частиц дисперсных потоков жидкостей и мениска вершины конуса составляет величину порядка 10^{-8} - 10^{-9} м, т.е. находится на нанометровом уровне. Получены соотношения для вектора напряжённости электрического поля - потенциала капилляра, при котором возникает режим неустойчивости на вершине конуса Тейлора. Установлено, что процесс срыва исходного

устойчивого конуса Тейлора с конца капилляра обусловлен достижением потенциала капилляра критического значения, что то же самое уменьшением высоты конуса ниже его оптимального значения для данного радиуса капилляра. Качественно эти результаты подтверждаются и данными других исследователей как, например [38]. Количественное сравнение этих данных не представляется возможным в связи с существенными расхождениями условий их экспериментов.

Глава 4. Исследование Волго-Уральской тяжелой высоковязкой нефти, как образца воздействия биотехнологического реагента из растительной биомассы

К минеральным компонентам нефти относятся вода, соли, растворенные в ней соли щелочных и щелочноземельных металлов: NaCl, CaCl₂, MgCl₂, Na₂SO₄ и т. д., сероводород и его соли. Кроме того в нефти содержатся различные металлы в виде солей органических кислот (нафтеновых, жирных, асфальтеновых) и комплексных соединений. Всего в нефтях обнаружено более 50 элементов. Интересно отметить, что ванадий и никель, являясь микроэлементами в земной коре, по содержанию в нефтях занимают основное место среди металлов. В золе некоторых нефтей содержание никеля может достигать до 36, а ванадия – до 60 мг/л. Причем ванадий содержится преимущественно в сернистых и смолистых нефтях [57, 58].

Россия обладает значительными трудно извлекаемыми запасами нефти, их объем составляет около 55 % в общем объеме запасов российской нефти. Нефть с вязкостью 35 мм²/с и выше считается высоковязким [59]. В связи с этим актуальным становится вопрос об использовании закрытых месторождений с битуминозной породой для выделения металлов. С этой целью в данной работе исследована казахстанская нефть и в качестве реагента для выделения металлов был использован реагент, полученный спиртовым брожением патоки (мелассы).

Основными инспектируемыми показателями, характеризующими качество нефти, являются: фракционный состав, плотность, кинематическая вязкость, температура вспышки, содержание серы, хлористых солей и воды. Фракционный состав определяли по методике [60] с помощью аппарата «АРНС-3». Полученные данные при перегонке нефти приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1. Материальный баланс фракционной перегонки казахстанской нефти

Выход фракции нефти, %	5	10	20	30	40	50	55	60	78
T, °C	143	200	263	284	316	341	351	355	360

Исследуемый образец нефти относится к тяжелой нефти с температурой начала кипения 78⁰C и максимальным выходом светлых фракций до 60 %. Плотность нефти определяли при температуре 20⁰C по методике, описанной в работе [61]. Кинематическую вязкость определяли по методике [62]. Для данной нефти кинематическая вязкость составила 74,06 мм²/с. Такой параметр, как вязкость, определяет подвижность нефтепродуктов в условиях эксплуатации двигателей, машин и механизмов, существенно

влияет на расход энергии при транспортировании, фильтрации, перемешивании. Для нефтей и нефтепродуктов, представляющих собой сложные смеси, вязкость является функцией их химического состава, молекулярной массы и определяется силами межмолекулярного взаимодействия. Чем выше температура кипения нефтяной фракции, тем больше ее вязкость. Органические соединения нефти являются природными компонентами сырой нефти. При термическом воздействии в процессе переработки нефти сера и ее соединения попадают в нефтепродукты в различных концентрациях. Соединения серы отравляют дорогостоящие катализаторы переработки нефти, выделяя в атмосферу оксиды серы при сгорании, создают экологические проблемы. Присутствие этих соединений нежелательно, т. к. они придают нефтепродуктам неприятный запах, вызывают коррозию оборудования и загрязняют атмосферу при сгорании [63]. Выброс в атмосферу соединений серы, образующихся при сгорании нефтепродуктов, является предметом экологического контроля во всех развитых странах. Содержание серы в исследуемой нефти определяли при помощи рентгенофлуоресцентного спектрометра «ASOMA300 T» по методу, приведенному в ГОСТ Р 51947-2002 [64]. Данные, полученные при определении содержания серы и хлористых солей (определение содержания хлористых солей проводилось в соответствии с ГОСТ 21534-76 [65]). Образец нефти и ее фракции использовали для определения металлов. Измерения проводили на атомно-абсорбционном спектрометре «SavantAAS» в режиме электротермической атомизации. Полученные результаты представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2. Состав металлов в исходной и в фракциях вакуумного отгона нефти, описанной в работе авторов [66], , мг/дм³.

Показатель	Al	Ni	V
Нефть	111,6	15,6	199,2
Бензин	0,013	3	4
Сред. Фракция	1	8,4	1
Суммарное содержание	1,013	11,4	5
%, извлечения	0,9	73,07	2,5

Нами было определено содержание этих же металлов в водной, бензиновой и среднестиллятной фракциях, отогнанных вакуумной перегонкой с использованием реагента (таблица 4.3).

Таблица 4.3. Состав металлов в фракциях вакуумного отгона нефти с реагентом, мг/дм³.

Показатель	Al	Ni	V
Бензин	10,72	8,8	78,4
Водная фракция	100	6,32	114,4
Сред. Фракция	0,19	0,11	0,8
Суммарное содержание	1,013	11,4	5
%, извлечения	99,37	97,6	97,19

В литературе имеется множество работ [67, 68], посвященных изучению проблемы повышения качества извлечения металлов из различных объектов, в том числе и из нефти. Наши исследования по извлечению Al, Ni и V из бензиновой фракции сорбционным методом, с использованием сорбента $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/5\%\text{ZnCl}_2$, который имеет как электронодонорные так и протонодонорные (кислотные, основные) центры. Для извлечения металлов подготовлена колонка диаметром 1 см и длиной 30 см заполненная сорбентом, через которую пропустили бензиновую фракцию в количестве 15 мл с объемной скоростью 1,35 мл/мин. Результаты исследований показали, что извлечение по алюминию проходит на 98 %, по никелю – на 73 %, а по ванадию – на 63 %.

Изучен генетический тип исследуемой нефти, а также определены физикохимические характеристики. Установлено, что использование реагента в 10 раз увеличивает степень извлечения металлов (V, Al, Ni) из нефти. Реагент может быть рекомендован для извлечения металлов (V, Ni, Al) из битуминозных пород тяжелых нефтей и нефтяных отходов с целью предотвращения отравления дорогостоящих катализаторов, используемых в нефтяной промышленности.

Раздел 2. Оценка перспектив использования ресурсного потенциала возобновляемых источников энергии регионов Юга России.

Глава 5. Проведение зонирования региона по показателю энергетического потенциала ВИЭ (на примере Республики Дагестан)

В настоящее время в республике ведётся работа по разработке Стратегии социально-экономического развития Республики Дагестан до 2035 года, проводятся стратегические сессии, а также формируются проектные группы по приоритетным направлениям развития экономики, науки, технологий и техники. Одним из важных направлений этой работы является определение энергетического потенциала и возможного вклада имеющихся в регионе возобновляемых источников энергии в экономику региона.

Под энергетическим потенциалом региона обычно подразумеваются природные топливно-энергетические ресурсы территории (ТЭР), а именно - классические виды органического топлива (уголь, нефть, газ), и возобновляемые источники энергии (ВИЭ), такие, как солнце, ветер, гидро- и геотермальная энергия, а также механизмы их вовлечения в народнохозяйственный оборот в настоящее время или в будущем.

В международной практике выделяют пять видов потенциалов ВИЭ, расположенных по нарастанию различных ограничений: теоретический, потенциал преобразования, технический, экономически доступный, социально-экологический. Для целей настоящей работы мы ограничимся только техническим потенциалом ВИЭ, т. е. той частью потенциальных энергоресурсов, которая может быть эффективно использована для получения электроэнергии в промышленных масштабах с применением известных технологий и при соблюдении требований по охране окружающей среды.

Стратегические планы многих стран включают проекты использования ВИЭ. Это связано с ростом цен на нефть, текущими проблемами энергетической безопасности и озабоченностью все большего числа людей планеты проблемой изменения климата. В Дагестане, как и в России в целом, пока нет прорывов в этой области, так как к ВИЭ здесь относятся с предубеждением или как к некоей экзотике.

Дагестан – это субъект Российской Федерации, состоящий из 757 муниципальных образований: 41 муниципального района, 10 городских округов, 706 поселений (8 городских, 698 – сельских). Численность постоянного населения составляет 2,92 млн. чел.

В результате анализа основных направлений развития республики, а также природно-климатических (рисунок 5.1) и экономико-географических условий выделены 5

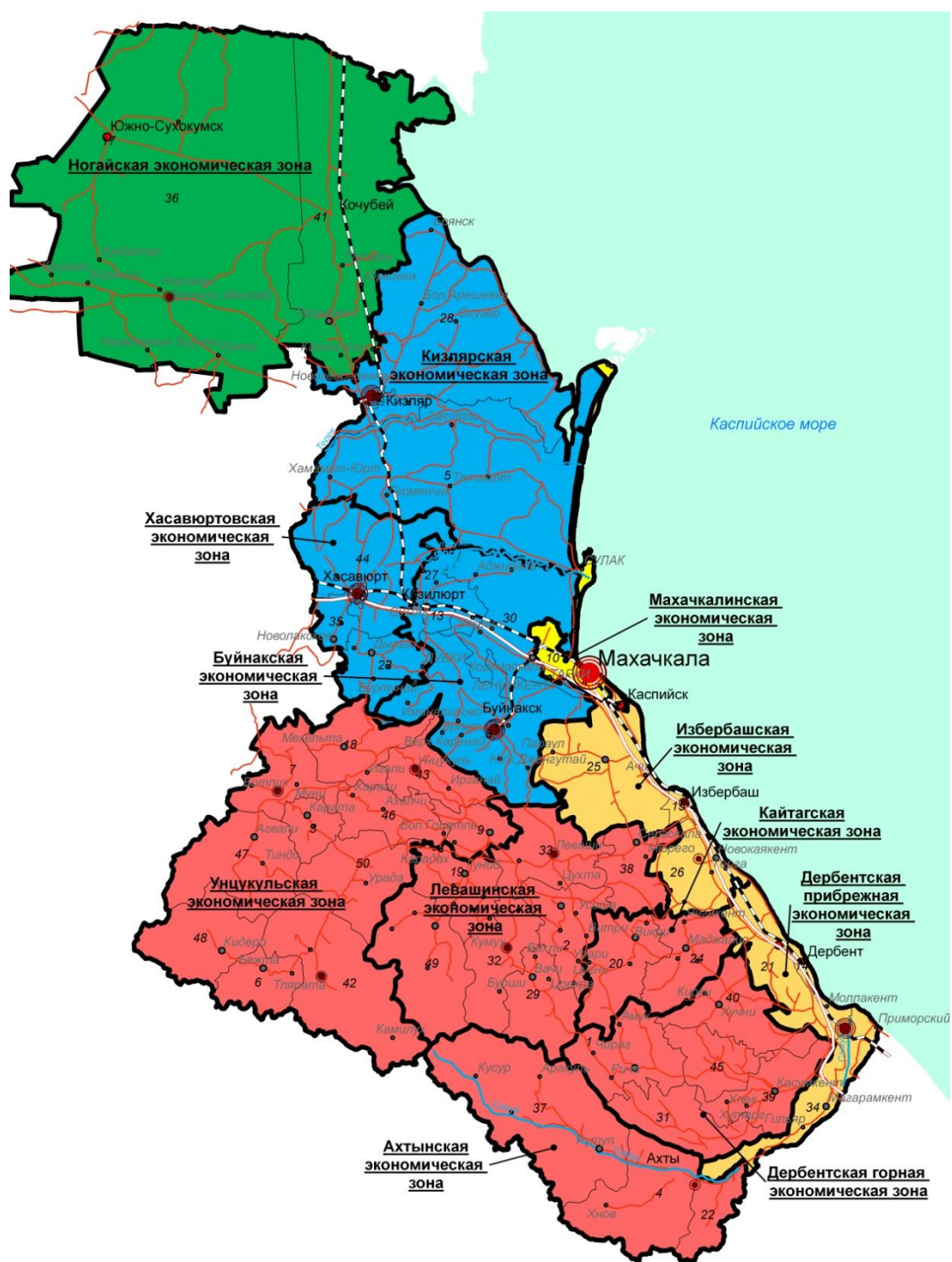
крупных территориальных зон, 12 экономических зон, 51 административная единица (10 городских округов и 41 административный муниципальный район) [48].

По характеру рельефа и погодных условий регион разделён на 5 климатических зон: Низменная, Предгорная, Внутригорная, Высокогорная, Приморская (рисунок 5.2):

- равнинная - от -27 до 150 м над уровнем моря (2,22 млн. га или 44,3%);
- предгорная - от 150 до 850 м над уровнем моря (площадь 0,94 млн. га или 18,7%);
- горная - выше 850 м (площадь 1,86 млн. га или 37% территории).

Климат в Низменной части Дагестана умеренно тёплый, континентальный, отличается сухим и жарким летом и прохладной зимой (таблица 5.2).

Неблагоприятной особенностью климата весной являются сильные ветры преимущественно северо-западные, юго-восточные и северные. При средней месячной скорости 6-7 м/с, максимальная скорость северо-западного ветра достигает 31 м/с, юго-восточного - 28 м/с. В Махачкале сильные юго-восточные ветры наблюдаются около 200 дней в году. В прибрежной зоне ветры дуют почти ежедневно в течение всего года.



Территориальное зонирование

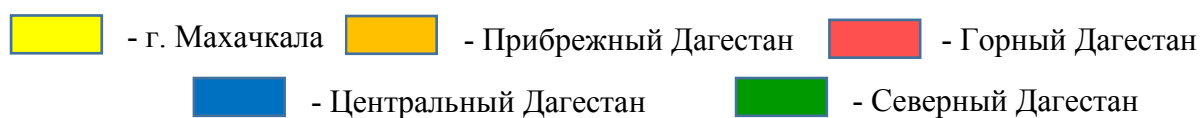


Рисунок 5.1 - Территориальное и экономическое зонирование Дагестана для размещения объектов социально-экономического развития

Таблица 5.1 - Территориальное и экономическое зонирование Республики Дагестан для размещения объектов социально-экономического развития

№ на карте	Территориальные зоны	Население, чел.	Площадь земель, км ²	Плотность, чел./км ²	Население / Площадь, %	Адм. центр (Округ)
	Всего по республике	2 920 115	50 271,6	58		
	Городские округа	1 227 535	809,8	1515	42% / 1,6%	
	Муниципальные районы	1 692 580	49 461,8	34	58% / 98%	
	ТЗ: Махачкала	712696	501,1		24,4% / 1%	
	ЭЗ: Махачкалинская	712696	501,1			
10	Город Махачкала	759 356	468,2	1273		г. Махачкала (Центр)
10	Город Каспийск	116 340	32,9	3536		г. Каспийск (Центр)
	ТЗ: Северный Дагестан	62453	12071,8		2,1% / 24%	
	ЭЗ: Ногайская	62453	12071,8			
17	Город Южно-Сухокумск	10 611	91,7	115		г. Южно-Сухокумск (Север)
36	Ногайский район	18 759	8871,1	2		с. Терекли-Мектеб (Север)
41	Тарумовский район	33 083	3109,0	11		с. Тарумовка (Север)
	ТЗ: Центральный Дагестан	831168	12251,4		28,5% / 24,3%	
	ЭЗ: Кизлярская	170670	6334,9			
12	Город Кизляр	48 907	32,3	1514		г. Кизляр (Север)
28	Кизлярский район	73 354	3047,4	24		г. Кизляр (Север)
5	Бабаюртовский район	48 409	3255,2	15		с. Бабаюрт (Север)
	ЭЗ: Хасавюртовская	379675	2265,2			
16	Город Хасавюрт	141 259	38,5	3669		г. Хасавюрт (Север)
44	Хасавюртовский район	156 024	1423,6	109		г. Хасавюрт (Север)
23	Казбековский район	47 918	585,1	82		с. Дылым (Север)
35	Новолакский район	34 474	218,0	158		с. Новолакское (Север)
	ЭЗ: Буйнакская	280823	3651,3			
11	Город Буйнакск	65 080	21,0	3099		г. Буйнакск (Центр)
13	Город Кизилорт	37 171	23,7	1568		г. Кизилорт (Центр)
Продолжение таблицы 5.1						
8	Буйнакский район	80 767	1826,5	44		г. Буйнакск (Центр)
27	Кизилюртовский район	70 929	524,0	135		г. Кизилорт (Центр)
30	Кумторкалинский район	26 876	1256,1	21		с. Коркмаскала (Центр)
	ТЗ: Прибрежный Дагестан	514924	3694,9		17,6% / 7,3%	
	ЭЗ: Избербашская	198013	2140,3			
15	Город Избербаш	58 690	22,6	2597		г. Избербаш (Центр)
25	Карабудахкентский район	83 249	1426,6	58		с. Карабудахкент (Центр)
26	Каякентский район	56 074	691,1	81		с. Новокаякент (Центр)
	ЭЗ: Дербентская прибрежная	316911	1554,6			
14	Город Дербент	123 720	69,6	1777		г. Дербент (Юг)
21	Город Дагестанские Огни	29 401	9,3	3161		г. ДагОгни (Юг)
21	Дербентский район	102 025	821,0	124		г. Дербент (Юг)
34	Магарамкентский район	61 765	654,7	94		с. Магарамкент (Юг)
	ТЗ: Горный Дагестан	798874	21752,4		27,3% / 43,2%	
	ЭЗ: Дербентская горная	153276	3433			
40	Табасаранский район	50 707	803,1	63		с. Хучни (Юг)
39	Судейман-Стальский район	56 219	666,3	84		с. Касумкент (Юг)
31	Курахский район	14 759	698,7	21		с. Курах (Юг)
45	Хивский район	21 130	471,4	45		с. Хив (Юг)
1	Агульский район	10 461	793,5	13		с. Тпиг (Юг)
	ЭЗ: Унцукульская	289046	8110,2			
43	Унцукульский район	31 080	559,9	55		с. Унцукуль (Горный)
Продолжение таблицы 5.1						
18	Гумбетовский район	22 891	676,2	34		с. Мехельта (Горный)
7	Ботлихский район	58 467	687,9	85		с. Ботлих (Горный)
3	Ахвахский район	24 430	291,1	84		с. Карата (Горный)
47	Цумадинский район	25 372	1178,5	21		с. Агвали (Горный)
9	Гергебильский район	21 409	341,9	62		с. Гергебиль (Горный)
46	Хунзахский район	32 211	551,9	58		с. Хунзах (Горный)
50	Шамилский район	29 291	892,2	33		с. Хебда (Горный)
42	Тляртинский район	23 964	1611,5	15		с. Тлярата (Горный)
48	Цунтинский район	19 931	1319,1	15		с. Цунта (Горный)
	ЭЗ: Кайтагская	69272	1438,6			
24	Кайтагский район	32 891	678,2	48		с. Маджалис (Юг)
20	Дахадаевский район	36 381	760,4	48		с. Уркарах (Юг)
	ЭЗ: Левашинская	219900	5085,2			
33	Левашинский район	76 610	813,2	94		с. Левашин (Горный)
19	Гунибский район	26 899	609,5	44		с. Гуниб (Горный)
2	Акушинский район	53 104	622,8	85		с. Акуша (Горный)
49	Чародинский район	12 813	1156,8	11		с. Цуриб (Горный)
32	Лакский район	11 841	703,9	17		с. Кумух (Горный)
29	Кулинский район	10 971	650,6	17		с. Вачи (Горный)

Продолжение таблицы 5.1						
38	Сергокалинский район	↘27 662	528,4	52		с. Сергокала (Центр.)
	<i>ЭЗ: Ахтынская</i>	<i>67380</i>	<i>3685,4</i>			
4	Ахтынский район	↘31 230	1120,0	28		с. Ахты (Юг)
22	Докузпаринский район	↘15 097	376,9	40		с. Усуччай (Юг)
37	Рутульский район	↘21 053	2188,5	10		с. Рутул (Юг)

1-50 – Номера городов и районов на политико-административной карте Дагестана

Таблица 5.2 - Характеристика климатических условий и распределение территорий Дагестана по отдельным климатическим зонам

Климатическая зона (высота над уровнем моря)	Территории, входящие в климатическую зону (численность населения, площадь территории)	Физико-географическая характеристика климатической зоны						Природно-климатические факторы, обусловленные рельефом местности и высотным положением над уровнем моря	Особые физико-геологические условия
		Средне-годовая сумма осадков	Средне-месячная температура воздуха в январе	Средне-годовая скорость ветра в зимний период	Средняя температура		Продолжительность периода со средней суточной температурой ≤ 8°C		
					наиболее холодного периода	наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I зона Низменный Дагестан (-28÷ 200 м)	Северный Дагестан Центральный Дагестан Приморский Дагестан Всего: 9 городских округов и 10 муниципальных районов (1 831 237 чел.) (25213 км²)	200 - 300 мм	0,2÷ -3,1 °C	4,5- 6,5 м/сек	-3,3 °C	-9 (Дербент) ÷ -19 °C (Южно-Сухокумск)	161÷178 суток	Отличается умеренно-теплым, сухим континентальным климатом. Средняя температура холодного периода составляет 0-3°C, большие годовые амплитуды температур 25-28°C, продолжительность безморозного периода 230-250 дней, зима сопровождается сильными продолжительными муссонными ветрами юго-восточного и северо-западного направлений.	Превалирует засоление и заболачивание, затопление и подтопление береговой территории из-за подъема уровня Каспия. Большая часть территории характеризуется сейсмичностью 7-9 баллов, часть территории подвержена оползневым процессам.
II зона Предгорный Дагестан (300-1000 м)	Всего: 1 городской округ и 9 муниципальных районов (478613 чел.) (6452,7 км²)	500 - 800 мм	-1,9÷ -6,0 °C	до 2 м/сек	-3,6 °C	-15 °C	159÷166 суток	Отличается умеренно-теплым, континентальным климатом с заметно выраженной зависимостью всех климатообразующих элементов от высоты над уровнем моря. Зимний период сопровождается фёнами.	Превалирует выветривание, обвально-осыпные, оползневые и карстовые процессы, опасность образования селей. Сейсмичность зоны 8-10 баллов.
III зона Внутренний горный Дагестан (1000-3500 м)	Всего: 14 муниципальных районов (450344 чел.) (8860,2 км²)	400 - 600 мм	-3÷ -5 °C	до 3 м/сек	-6,3 °C	-14 °C	160÷190 суток	Отличается умеренно-холодным, относительно сухим полувлажным климатом с теплой, ясной зимой. Годовые амплитуды температур 20-23 °, безморозный период длится 130-160 дней, на высоте 2000 м заморозки начинаются в конце августа.	Имеются участки проявления водокаменных селей, значительная часть территории характеризуется сейсмичностью 8-9 баллов.
IV зона Высокогорный Дагестан (более 3500 м)	Всего: 8 муниципальных районов (159921 чел.) (9744,8 км²)	1200 мм и более	-3,9÷ -11 °C	до 1,5 м/сек	-5,8 °C	-16 °C	170÷189 суток	Отличается суровой длительной зимой с влажным климатом и резкими суточными колебаниями температур. Безморозный период длится всего 60-65 дней.	Сильная расчлененность рельефа, способствующая формированию оползней, селей и лавин. Сейсмичность территории 9 баллов.



Рисунок 5.2 - Физико-географическое районирование территории Республики Дагестан для размещения объектов возобновляемой энергетики

Зимние месяцы отличаются большой облачностью, солнечные дни возможны около 10 дней в месяц. Среднегодовая продолжительность солнечного сияния составляет 2020 часов. В летние месяцы продолжительность солнечного сияния около 10 часов в сутки, наименьшая отмечается в декабре и составляет 1,5 часа.

Внутренний горный Дагестан также отличается сухостью и континентальностью климата, почти 3-4 месяца температура воздуха здесь держится ниже нуля.

Климат Высокогорного Дагестана отличается холодной и длительной зимой и коротким летом. На высоте 3500 м и выше средняя температура воздуха летом составляет +5°C и даже ниже нуля. Годовое количество осадков здесь значительно больше, чем в других районах республики и достигает 1100 и более миллиметров. Продолжительность безморозного периода на высоте 3000 м и выше составляет всего 2 месяца в году [50].

Зима в Дагестане отличается сухостью, безоблачностью, снеговой покров незначителен и крайне неустойчив. Продолжительность отопительного периода в Дагестане колеблется от 150 дней на низменности до 300 дней – в горах.

Дагестан обладает значительными ресурсами ВИЭ [51], технический потенциал которых на порядок превышает современные потребности экономики региона (таблица 5.3).

В настоящее время в Дагестане преимущественное применение находит гидро- и геотермальная энергия. Начинает активно развиваться солнечная энергетика. Достаточно высоким потенциалом обладает ветер, особенно в низменных районах (таблица 5.7).

Гидроэнергетические ресурсы сосредоточены в основном во Внутреннем горном Дагестане. Общие годовые потенциальные ресурсы гидроэнергии составляют 55,2 млрд. кВтч [52]. 17 крупных и малых ГЭС ежегодно вырабатывают 5 млрд. кВтч экологически чистой энергии. Их доля в электробалансе составляет 98,6%, а вклад в экономику - 1,8 млн. т у.т. Строительство и эксплуатацию ГЭС ведет Дагестанский филиал ПАО "РусГидро", который планирует сооружение еще 30 малых и средних ГЭС.

В группу ВИЭ входят также малые ГЭС мощностью от 0,5 до 17,8 МВт – Агульская, Амсарская, Ахтынская, Гергебильская, Курушская, Гунибская и др. Суммарная мощность всех малых ГЭС составляет 50,3 МВт. Имеются возможности по сооружению новых малых ГЭС на горных реках с большой скоростью течения и значительными уклонами, таких как, Терек, Сулак, Самур, которые относятся к бассейну Каспийского моря.

В целом, потенциальные ресурсы малой гидроэнергетики Дагестана по данным работы [6] составляют 16,45 млрд. кВтч/год. Технический потенциал, определяющий реальную возможность использования энергии этого вида, составляет 4,27 млрд. кВтч/год,

а экономический потенциал, дающий возможность сооружения рентабельных малых ГЭС в существующих условиях, 2,25 млрд. кВтч/год.

Геотермальные ресурсы сосредоточены в основном в Низменном Дагестане. Геотермальные ресурсы наряду с гидроэнергией, солнечной и ветровой энергией являются практически неисчерпаемым, возобновляемым и экологически чистым источником энергии, который в перспективе может занять значительное место в ТЭБ Дагестана.

По нашим оценкам [54], геотермальная энергия имеет достаточно весомый экономический (0,4 млн. тут.) и технический потенциал (2,34 млн. т у.т.), сопоставимый с ресурсами малой гидроэнергетики, что является хорошим подспорьем для решения задач энергообеспечения региона. Валовый потенциал геотермальных вод для теплоснабжения составляет 50 млн. Гкал/год. Используется лишь 100 тыс. Гкал или 5% от разведанных запасов (2 млн. Гкал). При полной реализации разведанных запасов возможный объем замещения газа может возрасти на порядок и достигнуть 15% регионального потребления.

Ресурсы солнечной энергии сосредоточены в основном во Внутригорном и Высокогорном Дагестане. Солнечная энергетика – одно из наиболее перспективных направлений развития ВИЭ. По оценкам специалистов к 2100 г. солнце станет доминирующим источником энергии на планете. А аналитики Международного энергетического агентства (IEA) прогнозируют, что уже к 2050 г. солнечная энергия будет обеспечивать 40–50% мировых потребностей в электроэнергии.

Таблица 5.3 - Оценка ресурсного потенциала ВИЭ в Республике Дагестан

ВИЭ	Валовый потенциал, млн. т у.т.			Технический потенциал, млн. т у.т.			Экономический потенциал, млн. т у.т.		
	Справочник по ресурсам ВИЭ России, 2007 г. [3]	Атлас ресурсов ВИЭ России, 2015 г. [5]	Оценка ИПГ ДНЦ РАН, 2017 [2]	Справочник по ресурсам ВИЭ России, 2007 г. [3]	Атлас ресурсов ВИЭ России, 2015 г. [5]	Оценка ИПГ ДНЦ РАН, 2017 [2]	Справочник по ресурсам ВИЭ России, 2007 г. [3]	Атлас ресурсов ВИЭ России, 2015 г. [5]	Оценка ИПГ ДНЦ РАН, 2017 [2]
Геотермальная энергия	10,0 ³ 3,0 млн.м /сутки 50 млн.Гкал	10,0 ³ 3,0 млн.м /сутки 50 млн.Гкал	10,0 ³ 3,0 млн.м /сутки 50 млн.Гкал	2,34 ³ 513 тыс.м /сутки 11,7 млн.Гкал	2,34 ³ 513 тыс.м /сутки 11,7 млн.Гкал	3,10 ³ 513 тыс.м /сутки 11,7 млн.Гкал 2,25 млрд.кВтч	0,40 ³ 86,2тыс.м /сутки 2 млн.Гкал	0,40 ³ 86,2тыс.м /сутки 2 млн.Гкал	0,40 ³ 86,2тыс.м /сутки 2 млн.Гкал
Малая гидроэнергетика	1,768 5,2 млрд.кВтч	5,593 16,45 млрд.кВтч	18,76 55,2 млрд.кВтч	0,578 1,7 млрд.кВтч	1,453 4,27 млрд.кВтч	1,453 4,27 млрд.кВтч	0,306 0,9 млрд.кВтч	0,768 2,25 млрд.кВтч	0,768 2,25 млрд.кВтч
Энергия ветра	7 182,84 21 126 млрд.кВтч	590,76 1737,5 млрд.кВтч	85,5 250 млрд. кВтч	17,957 52,815 млрд.кВтч	140,6 413 млрд.кВтч	8,5 20-25 млрд.кВтч	0,0898 0,264 млрд.кВтч	0,703 2,06 млрд.кВтч	1,02 3 млрд.кВтч
Солнечная энергия	8 600 1770 млрд.кВтч 39990 млн.Гкал	8376,88 н/д н/д	832,5 693 млрд.кВтч 2984 млн.Гкал	52,8 10,58 млрд.кВтч 246 млн.Гкал	630,6 525 млрд.кВтч 2259 млн.Гкал	78,1 65 млрд.кВтч 280 млн.Гкал	0,0877 0,0017млрд.кВтч 0,4355 млн.Гкал	1,046 0,02 млрд.кВтч 3,05 млн.Гкал	40,8 34 млрд.кВтч 146 млн.Гкал
Биомасса, всего, в т. ч.: - отходы растениеводства - отходы животноводства - потенциал ТБО и ОСВ - потенциал отходов ЛПК - низкопотенциаль. тепло	3,689 н/д 0,222 0,950 0,218 0,100 2,199	1,716 н/д 0,319 1,067 0,281 0,049 н/д	н/д	2,347 н/д 0,222 0,950 0,149 0 1,026	1,66 3,772 млрд.кВтч 7,750 млн.Гкал 0,319 1,067 0,268 0,006 н/д	н/д 0,095 0,343 0,093 0,001 0,440	0,972 н/д н/д н/д н/д н/д н/д	0,687 0,14 млрд.кВтч 3,19 млн.Гкал 	н/д
Итого	15798 млн.т у.т.	8985 млн.т у.т.	946 млн. т у.т.	76 млн.т у.т.	776 млн. т у.т.	91 млн. т у.т.	1,85 млн.т у.т.	3,6 млн.т у.т.	43 млн. т у.т.
	22 901 млрд.кВтч	1753 млрд.кВтч	999 млрд.кВтч	65,1 млрд.кВтч	780 млрд.кВтч	96 млрд.кВтч	1,16 млрд.кВтч	4,47 млрд.кВтч	39 млрд.кВтч
	40 040 млн.Гкал	50 млн.Гкал	3034 млн.Гкал	257,7 млн.Гкал	2278 млн.Гкал	291 млн.Гкал	2,43 млн.Гкал	8,24 млн.Гкал	148 млн.Гкал

Дагестан обладает значительным потенциалом в области солнечной энергетики, который только начинает реализовываться [54, 55, 56]. Общий потенциал солнечной энергии оценивается в 8,6 млрд. т у.т. Суммарная величина этого потенциала существенно превышает все актуальные и перспективные уровни потребления ТЭР вплоть до 2050 г. и позволяет решать проблемы энергоснабжения региона на качественно новом уровне.

Годовой приход солнечной радиации на поверхность, наклоненную к горизонту под углом, равным широте местности, может составлять до 2000...2500 кВтч/м². Доля Республики Дагестан в потенциале солнечной энергии Северного Кавказа – 32,6%.

В среднем на каждый квадратный метр территории Дагестана за год падает около 5000 МДж солнечной энергии (1,2 Гкал), что эквивалентно 170 кг у.т. Годовые же значения солнечной радиации на территории Дагестана составляют [56]:

- валовой потенциал - 69343 млрд. кВтч/год
- технический потенциал - 693,4 млрд. кВтч/год
- экономический потенциал - 34,7 млрд. кВтч/год.

С 2013 г. в Дагестане начало разворачиваться строительство крупных солнечных фотоэлектрических станций. Первая СЭС мощностью 5 МВт в настоящее время действует в г. Каспийске в режиме мощности 1 МВт. Еще две станции 20 и 25 МВт планируется построить в высокогорном Хунзахском районе.

В таблицах 5.4-5.6 приведены осреднённые за последние 22 года значения солнечной радиации для характерных районов Дагестана по данным наблюдений Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства (NASA) [54].

Таблица 5.4 - Среднесуточные суммы солнечной радиации для г. Дербент, кВтч/(м²·сутки)

Дербент	Янв.	Фев.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Окт.	Нояб.	Дек.	Сред.
Рассеян.	0.72	1.01	1.38	1.71	1.97	1.95	1.85	1.48	1.05	1.10	0.73	0.63	1.30
Угол 27°	2.07	2.69	3.77	4.88	5.85	6.21	6.33	5.98	4.89	3.47	2.23	1.77	4.19
Угол 42°	2.29	2.84	3.83	4.72	5.43	5.66	5.80	5.68	4.91	3.66	2.43	1.98	4.11
Угол 57°	2.38	2.86	3.69	4.33	4.76	4.83	5.00	5.11	4.68	3.65	2.51	2.07	3.83
Опт. угол	2.38	2.87	3.83	4.89	5.98	6.55	6.54	6.01	4.94	3.68	2.51	2.08	4.36

Таблица 5.5 - Среднесуточные суммы солнечной радиации для г. Махачкала, кВтч/(м²·сутки)

М-кала	Янв.	Фев.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Окт.	Нояб.	Дек.	Сред.
Рассеян.	0.64	0.95	1.33	1.80	2.05	2.28	2.21	1.88	1.39	1.01	0.65	0.58	1.40
Угол 27°	3.50	3.94	5.09	5.65	6.40	6.27	6.14	5.93	5.61	4.74	4.09	3.12	5.04
Угол 42°	4.02	4.29	5.26	5.49	5.95	5.71	5.64	5.65	5.68	5.12	4.67	3.63	5.09
Угол 57°	4.30	4.40	5.14	5.05	5.20	4.89	4.88	5.08	5.44	5.20	4.96	3.93	4.87
Опт. угол	4.35	4.40	5.26	5.65	6.54	6.60	6.33	5.96	5.70	5.20	5.00	4.00	5.42

Таблица 5.6 - Среднесуточные суммы солнечной радиации для г. Кизляра, кВтч/(м²·сутки)

Кизляр	Янв.	Фев.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Окт.	Нояб.	Дек.	Сред.
Рассеян.	0.69	0.99	1.45	1.92	2.24	2.39	2.29	2.01	1.58	1.13	0.78	0.61	1.51
Угол 28°	2.55	3.17	3.91	4.81	5.61	5.80	5.75	5.24	4.49	3.52	2.46	2.04	4.12
Угол 43°	2.88	3.40	3.98	4.65	5.22	5.29	5.29	4.98	4.50	3.73	2.71	2.31	4.08
Угол 58°	3.04	3.45	3.85	4.27	4.58	4.55	4.58	4.49	4.28	3.74	2.82	2.44	3.84
Опт. угол	3.05	3.46	3.98	4.81	5.74	6.11	5.97	5.27	4.52	3.76	2.82	2.46	4.33

Эти данные приведены для юга Дагестана (район г. Дербента – 42,06° с.ш., 48,13° в.д.), для центральной части (район г. Махачкалы – 42,58° с.ш., 47,30° в.д.) и для севера республики (район г. Кизляра – 43,50° с.ш., 46,42° в.д.).

В таблицах 5.3-5.5 даны значения рассеянной составляющей солнечного излучения и прямой составляющей для экваторо-ориентированных солнечных модулей, монтируемых с углом наклона к горизонту, равным географической широте площадки станции $\pm 15^\circ$ для СЭС круглогодичного или сезонного действия. Эти же данные могут быть использованы и для расчета систем теплоснабжения – с плоскими или вакуумированными трубчатыми коллекторами.

Данные таблиц свидетельствуют, что суммарный приход солнечного излучения (прямая и рассеянная) лежит в диапазоне 2000-2500 кВтч/м². Это очень высокие значения, которые позволяют строить высокоэффективные СЭС на всей территории Дагестана. Эти же данные позволяют сделать вывод о том, что сооружение СЭС с концентраторами и слежением за солнцем в Дагестане не имеют смысла, поскольку годовые суммы прямой радиации для оптимизированных углов наклона на всей территории меньше сумм прямой и рассеянной радиации.

Ресурсы энергии ветра сосредоточены в основном в Низменном Дагестане и в Приморье. Построенные по данным NASA зависимости среднегодовых скоростей ветра от высоты над поверхностью земли для характерных районов Дагестана показывают, что для современных ветроэлектрических установок (ВЭУ), имеющих высоты 130-150 м, среднегодовые скорости ветра должны составить 6,8-9 м/с. При этом наиболее сильные ветры имеют место в районах, приближенных к побережью Каспийского моря. Для ВЭУ мощностью 3 МВт (SWT-3.0-113-DD Siemens) при скоростях ветра 7-8 м/с выработка электроэнергии составляет более 5 млн. кВтч/год. А на всей территории республики (50,3 тыс. км²), условно можно разместить 50300 комплектов ВЭУ по 3 МВт, которые могут обеспечить выработку 251,5 млрд. кВтч/год. Это значение выработки можно считать валовым ветропотенциалом Республики Дагестан.

Технический ветропотенциал, который может составить 8-10% валового, можно считать равным 20-25 млрд. кВтч, а экономический - равным 2-3 млрд. кВтч/год.

Ресурсы прочих возобновляемых источников энергии. Помимо рассмотренных выше природных источников возможно, но с меньшей эффективностью, использование и других ВИЭ:

низкопотенциальная тепловая энергия грунта приповерхностных слоёв Земли, тепловая энергия поверхностных и подземных вод, волновая энергия Каспийского моря, энергия биомассы, из которой можно получать биогаз или синтез-газ для работы котельных. Однако экономический потенциал этих источников, взятых вместе, не может обеспечить рентабельную выработку энергии более чем 1,5-2 млрд. кВтч/год.

Составлена таблица технических потенциалов солнечной, ветровой, гидро- и геотермальной энергии (таблица 5.7), а именно той части потенциальных энергоресурсов ВИЭ, которая может быть использована для целей получения возобновляемой энергии с помощью имеющихся в настоящее время технических средств и без ущерба окружающей природной среде.

На рисунке 5.3. показана диаграмма, дающая общее представление о полученных значениях технических потенциалов и доле каждого ВИЭ в Республике Дагестан.

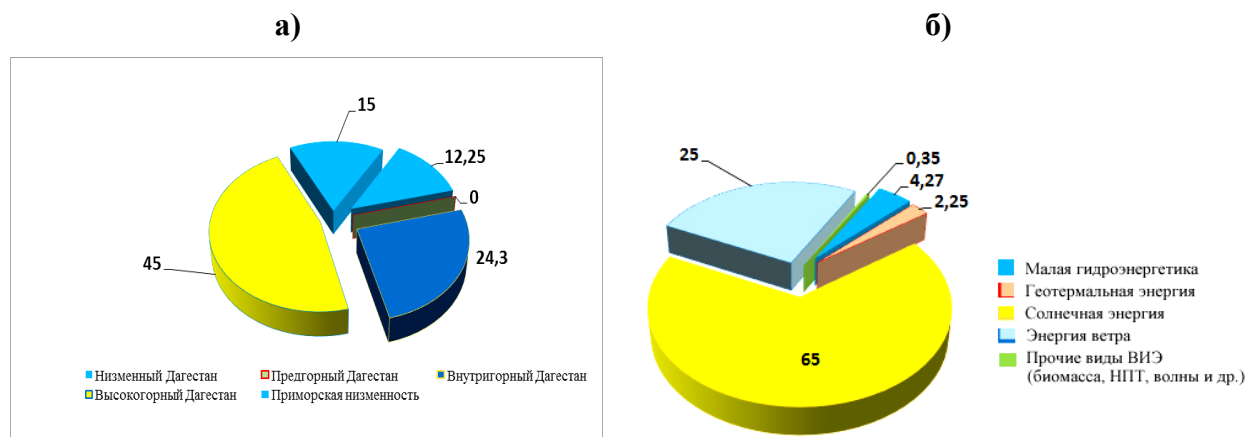


Рисунок 5.3 - Распределение ВИЭ по климатическим зонам Дагестана (а) и в суммарном техническом потенциале региона (б), в млрд. кВтч/год

Таблица 5.7 - Территориальное и физико-географическое зонирование Республики Дагестан для размещения объектов возобновляемой энергетики

№ на карте	Климатические зоны	Население, чел.	Площадь земель, км ²	Плотность, чел./км ²	Технический потенциал ВИЭ, млрд. кВтч/год				Всего		Плотность потенциала, млн. кВтч /км ²
					Солнце	Ветер	МГЭС	ГеоТЭС	млрд. кВтч	%	
	Всего по республике	2 920 115	50 271,6	58 100%	65	25	4,27	2,25	96,52	100	1,92
	Городские округа	1 227 535	809,8	1515 42%							
	Муниципальные районы	1 692 580	49 461,8	34 58%							
А	Низменный Дагестан	665 382	21672,6	22,8%/43,1%	0	10	0	2,25	12,25	12,7%	0,56
	<i>Северный Дагестан</i>	62453	12071,8	2,1% / 24%							
	<i>Центральный Дагестан</i>	602929	9600,8	20,7% / 19,1%							
17	Город Южно-Сухокумск	10 611	91,7	115							
36	Ногайский район	18 759	8871,1	2		10		2,25			
41	Тарумовский район	33 083	3109,0	11							
13	Город Кизилюрт	37 171	23,7	1568							
16	Город Хасавюрт	141 259	38,5	3669							
12	Город Кизляр	48 907	32,3	1514							
30	Кумторкалинский район	26 876	1256,1	21							
27	Кизилортовский район	70 929	524,0	135							
44	Хасавюртовский район	156 024	1423,6	109							
5	Бабаюртовский район	48 409	3255,2	15							
28	Кизлярский район	73 354	3047,4	24							
Б	Предгорный Дагестан	719961	9391,4	24,7%/18,7%	0	0	0	0	0	0	0
11	Город Буйнакск	65 080	21,0	3099							
8	Буйнакский район	80 767	1826,5	44							
35	Новолакский район	34 474	218,0	158							
Продолжение таблицы 5.7											
23	Казбековский район	47 918	585,1	82							
25	Карабудахентский район	83 249	1426,6	58							
26	Каякентский район	56 074	691,1	81							
21	Дербентский район	102 025	821,0	124							
39	Сулейман-Стальский район	56 219	666,3	84							
24	Кайтагский район	32 891	678,2	48							
38	Сергокалинский район	27 662	528,4	52							
40	Табасаранский район	50 707	803,1	63							
45	Хивский район	21 130	471,4	45							
34	Магарамкентский район	61 765	654,7	94							
В	Внутригорный Дагестан	450344	8860,2	15,4%/17,6%	20	0	4,27	0	24,27	25,1%	2,74
2	Акушинский район	53 104	622,8	85							
3	Ахвахский район	24 430	291,1	84							
7	Ботлихский район	58 467	687,9	85							
9	Гергебильский район	21 409	341,9	62							
18	Гумбетовский район	22 891	676,2	34							
19	Гунибский район	26 899	609,5	44	20						
20	Дахадаевский район	36 381	760,4	48							
Продолжение таблицы 5.7											
29	Кулинский район	10 971	650,6	17							
32	Лакский район	11 841	703,9	17							
33	Левашинский район	76 610	813,2	94							
50	Шамилский район	29 291	892,2	33							
43	Унцукульский район	31 080	559,9	55							
46	Хунзахский район	32 211	551,9	58							
31	Курахский район	14 759	698,7	21							
Г	Высокогорный Дагестан	159921	9744,8	5,5%/19,4%	45	0	0	0	45	46,6%	4,6
1	Агульский район	10 461	793,5	13							
4	Ахтынский район	31 230	1120,0	28	45						
22	Докузпаринский район	15 097	376,9	40							
37	Рутульский район	21 053	2188,5	10							
42	Тляртинский район	23 964	1611,5	15							
48	Цунтинский район	19 931	1319,1	15							
47	Цумадинский район	25 372	1178,5	21							
49	Чародинский район	12 813	1156,8	11							
Д	Приморская низменность	924 507	602,6	31,6%/1,2%	0	15	0	0	15	15,6%	24,9
10	Город Махачкала	596 356	468,2	1273							

						15					
Продолжение таблицы 5.7											
	Город Каспийск	↗116 340	32,9	3536							
15	Город Избербаш	↗58 690	22,6	2597							
	Город Дагестанские Огни	↗29 401	9,3	3161							
14	Город Дербент	↗123 720	69,6	1777							

1-50 – Номера городских округов и районов на политико-административной карте Республики Дагестан

Выводы

1. Дагестан не располагает значительными запасами классических видов органического топлива (нефть, уголь, газ) и поэтому вынуждена до 70% потребляемых энергоресурсов ввозить из других регионов, что ложится тяжелым бременем на бюджет республики и доходы населения. Из общего объема потребляемого топлива только 35% покрывается за счет местных ресурсов. Доля электроэнергии, вырабатываемой с использованием ВИЭ в 2017 г. составила 100 млн. кВтч или 2,4%. Это почти в два раза больше, чем от Махачкалинской ТЭЦ (52,4 млн. кВтч). Удельный вес тепловой энергии, полученной на базе геотермальных источников, составил 100 тыс. Гкал или 5%.

Сегодня Дагестан импортирует 90% потребляемого природного газа, 75% нефтепродуктов и почти 100% твердого и жидкого топлива. С другой стороны, имеются большие затруднения в обеспечении сельских потребителей природным газом. Использование привозного газа, с учетом постоянного роста цен на топливо влияет на себестоимости выпускаемой продукции.

2. В тоже время Дагестан относится к перспективным регионам для непрерывного использования солнечной и ветровой энергии, создания гибридных проектов с целью получения синергетического эффекта. Однако, чтобы свести к минимуму риски при реализации подобных проектов необходимо провести предварительную оценку ВИЭ. В связи с этим нами проанализированы основные климатические зоны Дагестана, в которых высока вероятность получения электроэнергии в промышленных масштабах.

3. Выполнено физико-географическое районирование и зонирование территории республики по показателю энергетического (технического) потенциала ВИЭ, что имеет большое научное и практическое значение с точки зрения размещения объектов возобновляемой энергетики и определения направлений и приоритетов использования ВИЭ. Составлена таблица потенциалов ВИЭ для каждой климатической зоны – Низменного, Предгорного, Внутригорного, Высокогорного и Приморского Дагестана.

4. По последним данным объем технически доступных ресурсов ВИЭ в Дагестане оценивается в 96 млрд. кВтч/год, что существенно превышает все актуальные и перспективные потребности республики (30 млрд. кВтч) вплоть до 2040 г.

Объем технически доступных гидроэнергетических ресурсов малых рек Дагестана оценивается в 1,453 млн. т у.т. или 4,27 млрд. кВтч/год.

Объем технически доступных ресурсов геотермальной энергии оценивается в 513 тыс. м³/сутки или в пересчете на тепло и электроэнергию - 11,7 млн. Гкал/год и 2,25 млрд. кВтч/год соответственно. Используется 100 тыс. Гкал или 0,8% от разведанных запасов.

Объем технически доступных ресурсов солнечной энергии оценивается в 65 млрд. кВтч/год и 290 млн. Гкал/год. В 2013 г. вступила в строй первая солнечная электростанция в г. Каспийске, которая в настоящее время действует в режиме мощности 1 МВт.

Объем технически доступных ресурсов ветровой энергии составляет 25 млрд. кВтч/год. Сильные ветры (10-15 м/с) особенно характерны для приморских районов Дагестана, где неделями дуют муссоны юго-восточного и северо-западного направлений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Разработана технология, позволяющая с высокой эффективностью использовать термальные воды низкого энергетического потенциала с температурой 80 – 100 °С для выработки электроэнергии. В предлагаемой технологии электроэнергия вырабатывается в бинарной геотермальной электростанции (ГеоЭС), где одновременно используется тепло термальной воды и выхлопных газов газотурбинной энергоустановки. Оптимизированы термодинамические циклы Ренкина и Брайтона, реализуемые в предложенной геотермально-парогазовой энергетической системе. В зависимости от энергетических характеристик геотермальной скважины и мощности газотурбинного блока возможны следующие варианты нагрева и испарения низкокипящего рабочего агента в контуре ГеоЭС: нагрев рабочего агента до определенной температуры за счет геотермального теплоносителя и дальнейший его нагрев, испарение и перегрев за счет выхлопных газов газотурбинного блока; нагрев рабочего агента до температуры испарения за счет геотермального теплоносителя и дальнейшее его испарение и перегрев за счет выхлопных газов; нагрев и частичное испарение рабочего агента за счет геотермального теплоносителя и его дальнейшее испарение и перегрев за счет выхлопных газов. Предлагаемая технология наиболее эффективна для тепло- и электроснабжения объектов нефтегазовых промыслов.

- Разработана технология петротермальной циркуляционной системы (ПЦС) с горизонтальными скважинами, позволяющая более эффективно осваивать колоссальные запасы петротермальной энергии. Конструктивно такая система состоит из нагнетательной и добычной скважин, пробуренных с одной площади. Каждая скважина имеет по четыре горизонтальных ствола, направленных в разные стороны. Циркуляция теплоносителя в такой системе происходит по контуру: нагнетательная скважина – трещины гидроразрыва - добычная скважина. Показано, что при количестве горизонтальных стволов равном четырем, можно ожидать отбора до 60 % теплоты, сосредоточенной в горном массиве.

- Проведен сравнительный анализ горизонтальной одноразмерной скважины и горизонтальной телескопической скважины, с целью показать эффективность использования горизонтальных телескопических скважин. Построена математическая модель одиночной горизонтальной скважины телескопической конструкции. Проведены многовариантные оптимизационные расчеты для геотермальных месторождений, которые показали эффективность использования горизонтальных телескопических скважин.

- Разработана модель процесса образования конуса Тейлора на конце капилляра, которая подтверждена экспериментально. Порядок радиуса частиц дисперсных потоков жидкостей и мениска вершины конуса составляет величину порядка 10^{-8} - 10^{-9} м, т.е. находится на нанометровом уровне. Получены соотношения для вектора напряжённости электрического поля - потенциала капилляра, при котором возникает режим неустойчивости на вершине конуса Тейлора. Установлено, что процесс срыва исходного устойчивого конуса Тейлора с конца капилляра обусловлен достижением потенциала капилляра критического значения, что то же самое уменьшением высоты конуса ниже его оптимального значения для данного радиуса капилляра.

- Изучен генетический тип исследуемой нефти, а также определены физикохимические характеристики. Установлено, что использование реагента в 10 раз увеличивает степень извлечения металлов (V, Al, Ni) из нефти. Реагент может быть рекомендован для извлечения металлов (V, Ni, Al) из битуминозных пород тяжелых нефтей и нефтяных отходов с целью предотвращения отравления дорогостоящих катализаторов, используемых в нефтяной промышленности.

- Выполнено физико-географическое районирование и зонирование территории республики по показателю энергетического (технического) потенциала ВИЭ, что имеет большое научное и практическое значение с точки зрения размещения объектов возобновляемой энергетики и определения направлений и приоритетов использования ВИЭ. Составлена таблица потенциалов ВИЭ для каждой климатической зоны – Низменного, Предгорного, Внутригорного, Высокогорного и Приморского Дагестана.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алхасов А.Б. Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технологии. М.: Физматлит, 2008. 376 с.
2. Алексеенко С.В., Низовцев М.И. Особенности развития петротермальной энергетики // Материалы IV Междун. конф. «Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы», Махачкала, 2015. Том 1. С.29-39.
3. Алхасов А.Б., Алишаев М.Г., Алхасова Д.А., Каймаразов А.Г., Рамазанов М.М. Освоение низкопотенциального геотермального тепла. М.: Физматлит, 2012. 276 с.
4. Алхасова Д.А., Алхасов Б.А. Освоение тепла сухих горных пород низкого потенциала. // Материалы V Межд. Конф. «Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы». Т.1, Махачкала, 2017. С.220-226.
5. Дядькин Ю.Д. Основные направления развития геотермальной технологии // Труды сборника «Геотермия». Выпуск 1. Москва. 1991г. С. 10-17.
6. Рыженков В.А., Мартынов А.В., Кутько Н.Е., Никифорова Д.В. О возможности использования тепла глубинных пород земли для электро- и теплоснабжения обособленных потребителей // Энергосбережение и водоподготовка. 2009. №1. С. 12-16.
7. Алишаев М.Г. Предельные мощности извлечения тепла сухих горячих горных пород // Известия РАН. Энергетика. 2012. №4. С.71-85.
8. Гнатусь Н.А., Хуторский М.Д. Тепло «сухих» горных пород - неисчерпаемый возобновляемый источник энергии // Материалы II Междун. конф. «Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы», Махачкала, 2010. С. 76-80.
9. Морозов Ю.П. Эффективность извлечения теплоты горного массива путем использования буровой скважины // Межд. Научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». 2014. №23. С.49-52.
10. Алхасова Д.А. Разработка энергоэффективных технологий извлечения и использования петротермальной энергии для электроэнергетических нужд // Материалы Международного Конгресса REENCON XXI «Возобновляемая энергетика XXI век: энергетическая и экономическая эффективность», Москва, 2016. С. 86-90.
11. Алхасов А.Б., Алхасова Д.А. Электроэнергетическое освоение геотермальных ресурсов осадочных бассейнов // Теплоэнергетика. 2011. №2. С.59-66.
12. Алхасов А.Б., Алхасова Д.А. Теплообменники для утилизации тепла высокотемпературных геотермальных рассолов // Теплоэнергетика. 2018. №3. С. 36-41.
13. Алхасов А.Б., Алишаев М.Г., Исрапилов М.И., Бадавов Г.Б. Перспективы использования на выработанных нефтяных месторождениях скважинных

теплообменников и вод артезианских горизонтов для тепло- и горячего водоснабжения // Теплоэнергетика. 2008. №12. С. 20-26.

14. Алиев З.С., Шеремет В.В. Определение производительности горизонтальных скважин, вскрывших газовые газонефтяные пласты. М: Недра, 1995, 121 с.

15. Алхасов А.Б. Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технологии. М., ФИЗМАТЛИТ, 2008, 376 с.

16. Амирханов Х.И., Ятров С.Н. Проблемы геотермальной энергетики Дагестана. М.: Недра, 1980, 208 с.

17. Григулецкий В.Г. Основные допущения и точность формул для расчета дебита горизонтальных скважин. Нефтяное хозяйство, № 12, 1992, с. 5–6.

18. Джаватов Д.К. Математическое моделирование геотермальных систем и проблемы повышения их эффективности. Махачкала: Институт проблем геотермии ДНЦ РАН. 2007, 248 с.

19. Евченко В.С., Захарченко Н.П., Каган Я.М. и др. Разработка нефтяных месторождений наклонно – направленными скважинами. М.: Недра, 1986, 278 с.

20. Магомедов К.М., Алиев Р.М., Азизов Г.А. Сравнительный анализ расчета производительности горизонтальной скважины. Геотермия. Геотермальная энергетика. Сб. науч. тр. ИПГ ДНЦ РАН, Махачкала. 1994, с. 50–58.

21. Черных В.А. Гидрогазодинамика горизонтальных газовых скважин. М.: ВНИИГАЗ, 2000, 190 с.

22. Юдин А.В. Оптимизация конструкции телескопической эксплуатационной колонны для скважин с большой протяженностью горизонтального участка. Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. М.: ОАО "ВНИИОЭНГ". 2012, с. 27–29.

23. Nukiya S. Soc. Mech. Engine. Japan 37, 206, 267 (1934)

24. Вердиев М.Г., Набиев Ш.Ш. Исследование процесса диспергирования чернил струйных принтеров // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. №2 (25), 2012. 9 с.

25. Вердиев М.Г. Теплофизические основы и методы расчёта систем обеспечения тепловых режимов преобразователей энергии. Автореф. дис. док. техн. наук – Махачкала: Институт проблем геотермии ДНЦ РАН, 1997. – 44 с.

26. Вердиев М.Г. Получение тонких плёнок жидкостей путём их диспергирования в электрическом поле. Электронная обработка материалов. – 1991. – №4. – С. 36 – 41.

27. Вердиев М.Г., Иванов О. П., Ниналалов С.А. Радиус сухого пятна и толщина микроплёнки под паровым пузырьём.// Инженерно - физический журнал. – 1991. – Т. 61. №1. – С. 92 – 97.

28. Verdiyev M.G., Nabiev Sh.Sh., Kamnev N.A. The research of the technological parameters effect on the shape and structure of the disperse dye flow of the inkjet printers produced in the electric field // Journal of Physics: Conference Series 345. (2012).

29. Вердиев М.Г. Экспериментальное исследование процессов тепломассообмена в системах обеспечения тепловых режимов преобразователей энергии . Рукопись, депонированная во ВИНТИ № 3995-B88. №10211-555/779-0-27 от 01.06.1988, Москва.

30. Вердиев М.Г. Физическая и математическая модели процессов тепломассообмена при кипении жидкости. Рукопись, депонированная во ВИНТИ №5124-B88, № 10211-555/101-0-27 от 01.07.1988, Москва.

31. Вердиев М.Г., Алиев М.Р., Вердиев М.М. Интенсивность теплопереноса при испарении микроплёнок жидкостей, полученных методом монодисперсных потоков //Применение электронной технологии в народном хозяйстве: сб. тез. докл. 11 - ой Всесоюзной конфер. – М: МЭИ, 1992. – С. 171 – 176.

32. Вердиев М.Г., Юсуфов Б. С. Исследование монодисперсных потоков жидкостей для обеспечения тепловых режимов элементов микроструктур. // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2000. – Вып. №4. – С. 41- 46.

33. Вердиев М.Г., Абидова М. Ш. Способ получения монодисперсных композитов с размерами частиц в интервале от 10^{-6} до 10^{-4} м. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2002. – Вып. №5. – С. 29 – 31.

34. Вердиев М.Г. Перспективы разработки бензогазовых систем получения горючей смеси в ДВС. Сб. тез. докл. XXV итоговой научно-технич. конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов ДГТУ. – Махачкала: ДГТУ, 2004. – С. 402.

35. Григорьев А.И., Ширяева С.О. Классификация режимов электродиспергирования жидкостей // ЖТФ. – 2012. – Т. 82. - № 10. – С. 7 – 17.

36. В.И. Коженков, Н.А. Фукс. Электродинамическое распыление жидкости. // Успехи химии. 1976 г., Т. XLV, вып. 12. С. 2274 – 2284.

37. Аметистов Е.В., Блаженков В.В., Городов А.К., Дмитриев А.С., Клименко А.В. Монодиспергирование вещества: принципы и применение. М.: Энергоатомиздат, 1991. – 331 с.

38. Васютин Е.В., Погосов В.В. О кулоновской неустойчивости заряженных кластеров. // Физика твёрдого тела, том 46, вып.10, 2004, С. 1861-1865.
39. Семкин Н.Д., Шепелев С.М. Исследование потоков микрочастиц при электростатическом диспергировании жидкости. // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. № 3, 2006, С. 44 – 52.
40. Сасин В.А. Ветвление равновесных форм капель в электрическом поле. //ЖТФ, 2000, том 70, вып. 4 С. 128 – 129.
41. Хоган Дж. Дж., Хендрикс К.Д. Исследование отношения заряда к массе электрически распыляемых частиц жидкости // Ракетная техника и космонавтика. 1965. Т. 3, N-º 2. С. 140–147.
42. Rayleigh, L. On the equilibrium of liquid conducting masses charged with electricity, Phil. Mag. 14,184 (1882).
43. Жакин А.И. Электродинамика заряженных поверхностей. // Успехи физических наук. 2013 г., Том 183, № 2, С. 153 – 177.
44. Волькенштейн В.С. Сборнику задач по общему курсу физики. СПб.: 3-е, исп. и доп. 2006, 328 с.
45. Габович М.Д. Жидкометаллические эмиттеры ионов. Успехи физических наук. 1983. Т. 140, вып. 1, с.137-151.
46. Лоусон Дж. Физика пучков заряженных частиц.-М.: Мир, 1980.
47. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика сплошных сред.- М.: Гостехиздат, 1957.
48. Стратегия социально-экономического развития Республики Дагестан до 2025 года. Материалы проекта документа. Министерство экономики Республики Дагестан, AV Investment Consulting Company LLC. 2011.
49. Атлас Республики Дагестан. География. 9 класс. С комплектом контурных карт. – М.: Издательство ГНОМ и Д. 2005. – 32 с.
50. Эльдаров М.М. География Дагестанской АССР // Учебное пособие для 7-8 классов дагестанской школы. Махачкала: Дагучпедгиз, 1985. 94 с.
51. Алхасов А.Б., Чернявский А.А., Бадавов Г.Б., Алиев Р.М., Ниналалов С.А. О создании центра научно-технологического мониторинга потенциалов возобновляемых источников энергии в Республике Дагестан // Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы: Материалы V Международной конференции, 23-26 октября 2017 г. Т.1. Махачкала: АЛЕФ, 2017. С. 99-197.
52. Муслимов В.М. Водноэнергетические ресурсы Дагестана. – Махачкала. Дагестанское книжное издательство, 1964. 105 с.

53. Атлас ресурсов возобновляемой энергии на территории России: науч. издание / Т.И. Андреевко, Т.С. Габдерахманова, О.В. Данилова и др. - РХТУ им. Д.И. Менделеева. Москва, 2015. 160 с.
54. Алхасов А.Б., Алиев Р.М., Бадавов Г.Б., Чернявский А.А. Возможности использования возобновляемых источников энергии в Республике Дагестан // Матер. IV междунар. конф. "Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы". Том 1. Махачкала: ИП Овчинников (АЛЕФ), 2015. С. 78-90.
55. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива. /показатели по территориям / Под ред. П.П. Безруких. - М.: "ИАЦ Энергия", 2007. - 272 с.
56. Гамзатов Г.М., Магомедов К.Г. Современное состояние и перспективы развития солнечной энергетики в Дагестане // Межотраслевой альманах "Славица". 2014, № 1 (44). С.48-50.
57. Рябов В.Д. Химия нефти и газа. – М.: Техника, 2004. –С.161–162.
58. Нефти и нефтепродукты. – СПб: АНО ИПО «Мир и семья», 2003. – С.904.
59. Полищук Ю.М., Яценко И.Г. Высоковязкие нефти: анализ пространственных и временных изменений физико-химических свойств // Нефтегазовое дело. – 2005.– № 2. – С. 105–133.
60. ГОСТ 2177-82. Методы определения фракционного состава. Официальное издание.
61. ГОСТ 3900-85. Метод определения плотности ареометром.
62. ГОСТ 33-82. Метод определения кинематической и расчет динамической вязкости.
63. Петров А.А. Углеводороды нефти: учебник. – М.: Наука, 1984. – С. 247.
64. ГОСТ Р 51947-2002. Определение серы методом энергодисперсионной рентгено-флуоресцентной спектроскопии.
65. ГОСТ 21534-76. Метод определения хлористых солей.
66. ГОСТ 2177-82. Метод определения фракционного состава.
67. Дияров И.Н., Батулева Ю. Химия нефти. – М., 1984.– С.92–97.
68. Насиров Р.Н., Вельк О.Д. Извлечение соединений ванадия из высоковязких нефтей с помощью сульфанафтохинона // Изв. АН.Сер.хим.– 1996.– № 1.– С. 72.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

По материалам исследований сотрудниками лаборатории опубликовано:

Труды в центральной печати

1. Алхасов А.Б., Алхасова Д.А. Теплообменники для утилизации тепла высокотемпературных геотермальных рассолов. // Теплоэнергетика, 2018, № 3, с. 36-41. DOI: 10.1134/S0040363618030037.

2. Алхасов А.Б., Алхасова Д.А. Оценка эффективности создания бинарных геотермальных энергоустановок с использованием отработанных нефтяных и газовых скважин на Юге России // Теплоэнергетика, 2018, № 2, с. 24-32. DOI: 10.1134/S0040363618020017.

3. Алхасов А.Б. Технологии комплексного освоения геотермальных ресурсов Северокавказского региона // Теплоэнергетика, 2018, № 3, с. 31-35.

4. Абдулагатов И.М., Алхасов А.Б., Догеев Г.Д., Тумалаев Н.Р., Алиев Р.М., Бадавов Г.Б., Алиев А.М., Салихова А.С. Микроводоросли и их технологические применения в энергетике и защите окружающей среды // Юг России: экология, развитие. 2018. Т.13, N1. С.166-183. DOI: 10.18470/1992-1098-2018-1-166-183.

5. Джаватов Д.К., Азизов А.А. ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ СКВАЖИНАМИ. //ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ. СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ РЕГИОН. СЕРИЯ: ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. 2018. №1. С. 45-49.

6. Джаватов Д.К., Азизов А.А., Алхасова Д.А. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИХ СКВАЖИН. // ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ. СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ РЕГИОН. СЕРИЯ: ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. 2018. №3. С. 56-60.

7. Джаватов Д.К., Азизов А.А. О МОДЕЛЕ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ СТВОЛОМ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОЙ КОНСТРУКЦИИ. // ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ. СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ РЕГИОН. СЕРИЯ: ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. 2018. №4.

Труды в международной печати

1. Alkhasov A.B., Alkhasova D.A. HEAT EXCHANGERS FOR UTILIZATION OF THE HEAT OF HIGH-TEMPERATURE GEOTHERMAL BRINES // Thermal Engineering. 2018. Vol. 65, No. 3, pp. 155–159. DOI: 10.1134/S0040601518030035.

2. Alkhasov A.B., Alkhasova D.A. EVALUATING THE EFFECT FROM CONSTRUCTING BINARY GEOTHERMAL POWER UNITS BASED ON SPENT

PETROLEUM AND GAS BOREHOLES IN THE SOUTH REGIONS OF RUSSIA // Thermal Engineering. 2018. Vol. 65, No. 2, pp. 98–105. DOI: 10.1134/S0040601518020015.

3. Alkhasov A.B. Technologies for the Comprehensive Exploitation of the Geothermal Resources of the North Caucasus Region // Thermal Engineering. 2018. Vol. 65, No. 3, pp. 151–154.

4. Ilmutdin M. Abdulagatov, Alibek B. Alkhasov, Gasan D. Dogeev, Nariman R. Tumulayev, Rasul M. Aliyev, Gasan B. Badavov, Aslan M. Aliev. Microalgae as a renewable raw material for agriculture, biofuel production and purification of geothermal water from phenols // PROCEEDINGS, 43rd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, February 12-14, 2018, 1461-1470. (CD).

Труды в монографиях, сборниках научных трудов, в региональных изданиях.

Доклады конференций, совещаний, симпозиумов, школ и другие.

Международные конференции

1. Алхасов А.Б., Алхасова Д.А., Алхасов Б.А., Рамазанов Ш.А., Попель О.С. Перспективные технологии освоения геотермальных ресурсов // Материалы IV Международного конгресса REENCON-XXI «Возобновляемая энергетика XXI век: Энергетическая и экономическая эффективность» / Под ред. к.ф.-м.н Д.О. Дуникова, д.т.н. О.С. Попеля - Москва: ОИВТ РАН, 2018, С.16-20.

2. Джаватов Д.К., Азизов А.А., Алхасова Д.А. ОПТИМИЗАЦИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОЙ СКВАЖИНЫ НА ПРИМЕРЕ ГЕОТЕРМАЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ // Материалы IV Международного конгресса REENCON-XXI «Возобновляемая энергетика XXI век: Энергетическая и экономическая эффективность» / Под ред. к.ф.-м.н Д.О. Дуникова, д.т.н. О.С. Попеля - Москва: ОИВТ РАН, 2018, с.10-15.

3. Алхасов А.Б., Алиев Р.М., Бадавов Г.Б. Перспективы освоения геотермальных ресурсов Дагестана // Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы. Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов: Материалы XI Школы молодых ученых имени чл.-корр. РАН Э.Э. Шпильрайна. 15-18 октября 2018 г / Под ред. д.т.н. Алхасова А.Б. Махачкала: АЛЕФ, 2018. С. 77-87.

4. Алхасов А.Б., Алхасова Д.А., Рамазанов А.Ш. Проблемы и перспективы освоения гидрогеотермальных ресурсов Северного Кавказа // Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы. Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов: Материалы XI Школы молодых ученых имени чл.-корр. РАН Э.Э. Шпильрайна. 15-18 октября 2018 г / Под ред. д.т.н. Алхасова А.Б. Махачкала: АЛЕФ, 2018. С. 47-57.

5. Алхасова Д.А., Алхасов Б.А. Освоение тепла сухих горных пород высокого энергетического потенциала. // Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы. Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов: Материалы XI Школы молодых ученых имени чл.-корр. РАН Э.Э. Шпильрайна. 15-18 октября 2018 г / Под ред. д.т.н. Алхасова А.Б. Махачкала: АЛЕФ, 2018. С. 250-258.

6. Алхасова Д.А., Алхасов Б.А. Энергоэффективная технология освоения геотермальных ресурсов. // Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы. Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов: Материалы XI Школы молодых ученых имени чл.-корр. РАН Э.Э. Шпильрайна. 15-18 октября 2018 г / Под ред. д.т.н. Алхасова А.Б. Махачкала: АЛЕФ, 2018. С. 115-118.

7. Джаватов Д.К., Азизов А.А. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИХ СКВАЖИН // Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы. Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов: Материалы XI Школы молодых ученых имени чл.-корр. РАН Э.Э. Шпильрайна. 15-18 октября 2018 г / Под ред. д.т.н. Алхасова А.Б. Махачкала: АЛЕФ, 2018. С. 197-202.

8. Джаватов Д.К., Азизов А.А. ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКАЯ СКВАЖИНА И ЕЁ МОДЕЛЬ // Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы. Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов: Материалы XI Школы молодых ученых имени чл.-корр. РАН Э.Э. Шпильрайна. 15-18 октября 2018 г / Под ред. д.т.н. Алхасова А.Б. Махачкала: АЛЕФ, 2018. С. 203-208.

9. Ахмедов К.М. Ресурсы теплоэнергетических вод Дагестана,. Современное состояние и перспективы их освоения. // Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы. Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов: Материалы XI Школы молодых ученых имени чл.-корр. РАН Э.Э. Шпильрайна. 15-18 октября 2018 г / Под ред. д.т.н. Алхасова А.Б. Махачкала: АЛЕФ, 2018. С. 228-231.

10. Вердиев М.Г., Ниналалов С.А. Использование термоэлектрических охлаждающих батарей для преобразования низкопотенциальной геотермальной энергии. // Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы. Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов: Материалы XI Школы молодых ученых имени чл.-корр. РАН Э.Э. Шпильрайна. 15-18 октября 2018 г / Под ред. д.т.н. Алхасова А.Б. Махачкала: АЛЕФ, 2018. С. 289-293.

11. Вердиев М.Г., Ниналалов С.А., Джаватов Д.К., Азизов А.А. Исследование неустойчивости структуры жидкости при диспергировании в электрическом поле. // Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы. Актуальные проблемы освоения

возобновляемых энергоресурсов: Материалы XI Школы молодых ученых имени чл.-корр. РАН Э.Э. Шпильрайна. 15-18 октября 2018 г / Под ред. д.т.н. Алхасова А.Б. Махачкала: АЛЕФ, 2018. С. 293-303.

12. Алхасова Д.А. Извлечение тепла сухих горных пород с использованием скважин горизонтальной конструкции. / Тезисы докладов II Междун. научно-практической конференции «Актуальные вопросы исследования нефтегазовых пластовых систем». Москва. 2018 г. С. 78.

Патенты

1. Алхасов А.Б., Алхасова Д.А., Алхасов Б.А. Способ комплексной утилизации геотермальных вод. / Патент РФ на изобретение RU 2650447 C2, 2018. Бюл. №11.

2. Алхасов А.Б., Вердиев Н.Н., Магомедбеков У.Г., Дворянчиков В.И. Теплоаккумулирующий состав / Патент РФ на изобретение RU 2655002 C1, 2018, Бюл. № 15.

3. Алхасов А.Б., Вердиев Н.Н. Теплоаккумулирующий состав / Положительное решение по заявке № 2017146965 на патент.