Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ГЕОТЕРМИИ ДНЦ РАН

УДК 620.9
Рег. № НИОКТР 01201360108
Рег. № ИКРБС 0204-2018-0004

УТВЕРЖДАЮ

Врио Директора Института
д-р техн. наук

_____Д.К. Джаватов
«____»_____2019 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по теме:

РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ МАЛОЙ МОЩНОСТИ НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИЭ

(промежуточный)

Руководитель темы,
зав. лаб. КОВИЭ,
к.т.н. _____ Д.А. Алхасова
(подпись, дата)

Махачкала 2019

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы, зав. лаб. КОВИЭ, к.т.н.	Д.А. Алхасова (введение, раздел 2, подраздел 2.2, заключение)

Исполнители темы:

в.н.с., д.ф-м.н.	М.А. Абдуллаев (раздел 1 , подраздел 1.1)
в.н.с., д.т.н.	Г.Я. Ахмедов (раздел 2, подраздел 2.1)
в.н.с., к.т.н.	М.И. Ахмедов (раздел 2, подраздел 2.3)
с.н.с., к.б.н.	У.М. Гусейнов (раздел 2, подраздел 2.3)
в.н.с., д.т.н.	Б.Д. Бабаев (раздел 2, подраздел 2.4)
в.н.с., к.ф-м.н.	А.А. Абдуллаев (раздел 2, подраздел 2.1)

РЕФЕРАТ

Отчёт 37 с., 14 рис., 1 табл., 44 ист.

ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА, КОМБИНИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, КОМПЛЕКСНОЕ ОСВОЕНИЕ, ОПТИМИЗАЦИЯ, ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ, СОЛНЕЧНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ, ПЕТРОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ, ЭКОЛОГИЯ, ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ ВОДЫ, ПОПУТНЫЕ ГОРЮЧИЕ ГАЗЫ

Объектом исследований являются энергосистемы на основе ВИЭ.

Цель работы: проведение исследований по разработке комбинированных систем на основе ВИЭ.

Метод или методология проведения работы: в процессе работы проводились исследования энергетических систем путем проведения теоретических и экспериментальных исследований, выполнения многовариантных оптимизационных расчетов.

Результаты работы: при T=4,2 K и в магнитных полях до 28 T, в диапазоне энергий фотона, соответствующих оптическим переходам в зону проводимости, измерены спектры поглощения тонких ориентированных поликристаллических слоев $CuInSe_2$, перспективных для использования в солнечной энергетике; разработана методика эксплуатации геотермальных энергетических систем в режиме без солеотложения при утилизации попутных с геотермальной водой горючих газов; изучены процессы тепломассопереноса в скважинных теплообменниках по съему тепла сухих горных пород низкого потенциала с проведением многовариантных оптимизационных расчетов и предложены режимы их эксплуатации по оптимальному съему тепла с горной породы; разработаны принципы многокритериальной оптимизации комбинированных схем энергоснабжения автономного потребителя на основе ВИЭ методом «Паук-ЦИС» диаграмм; изучено влияние продуктов реакции каталитического разложения сероводорода на различные конструкционные материалы, проведена разработка рекомендаций по охране труда и промышленной безопасности при реализации технологии.

Область применения результатов: результаты проведенных исследований могут быть применимы при разработке и практической реализации различных энергетических систем на основе ВИЭ и будут способствовать увеличению их доли в общем энергобалансе.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение ……5

1 Теоретические и экспериментальные исследования монолитных интегральных солнечных элементов ……...…7

1.1 Изучение зонной структуры тонких поликристаллических слоев $CuInSe_2$ ……7

2 Технологические и экологические аспекты создания энергетических систем на основе ВИЭ……...……...…11

2.1 Разработка режимов эксплуатации геотермальных энергетических систем без солеотложения при утилизации попутных горючих газов…….....…11

2.2 Оптимизация параметров контура комбинированной солнечно-геотермальной системы с отбором тепла сухих горных пород низкого потенциала …….…..16

2.3 Изучение влияния продуктов реакции каталитического разложения сероводорода на различные конструкционные материалы. Разработка рекомендаций по охране труда и промышленной безопасности при реализации технологии…….....20

2.4 Разработка математической модели и программы расчета поступления ВИЭ и оптимизация энергоснабжения потребителя по многим критериям……..…23

Заключение……...……30

Список использованных источников……32

Список опубликованных научных работ……..……36

ВВЕДЕНИЕ

Проблема разработки эффективных технологических решений по освоению ВИЭ актуальна в наши дни. Благоприятные условия для эффективного использования ВИЭ имеются во многих регионах России [1-3], прежде всего, удаленных от систем центрального энергоснабжения. Разработка эффективных технологических систем энергоснабжения потребителей на основе возобновляемых энергоресурсов с учетом их поступления и нагрузки потребителя, а также решение фундаментальных задач по созданию энергоемких материалов, конструкций и способов аккумулирования энергии является актуальной задачей на сегодняшний день.

Доказано, что высокая эффективность геотермальных ресурсов достигается при комплексном их освоении, однако в настоящее время потенциал геотермальных ресурсов используется не полностью [4]. Большие перспективы по строительству комплексных систем геотермального энергоснабжения имеются на большинстве месторождений термальных вод РФ. Одной из сложных технических проблем, препятствующих широкому использованию геотермальных вод для энергетических нужд, является проблема с твердыми отложениями в теплоэнергетическом оборудовании. Разработка новых энергетических устройств и технологических решений на основе изучения особенностей защиты оборудования от солеотложения и новых методов эксплуатации геотермальных систем приведет к повышению эффективности использования термальных вод и введению в эксплуатацию многих простаивающих гидротермальных месторождений из-за агрессивности раствора их воды.

На сегодняшний день масштабы практического использования геотермальной энергии определяются величиной гидрогеотермальных ресурсов. Освоение петротермальной энергии имеет огромное значение для энергетики будущего. Дальнейшее эффективное освоение ресурсов геотермальной энергии связано с освоением петротермальных ресурсов, на долю которых приходится до 99 % из пригодных для использования геотермальных ресурсов [4]. Петротермальная энергетика является энергетикой будущего [5]. Для масштабного освоения петротермальной энергии необходимы новые энергоэффективные технологии. Разработка эффективных технологий освоения тепла сухих горных пород низкого энергетического потенциала позволит обеспечить тепловой энергией децентрализованных потребителей малой мощности.

Решение проблемы утилизации высокотоксичного сероводорода, основными источниками которого являются геотермальные флюиды, брожение биомассы, добыча и переработка углеводородов позволит одновременно решить и экологическую проблему и получать экологически чистый энергоноситель, водород.

В общем комплексе исследований по ВИЭ изучение солнечных фотоэлементов занимает важное место. В последнее время большое внимание уделяется получению фотоэлементов на базе тройных полупроводниковых соединений. Соединения этой группы и их твёрдые растворы благодаря прямозонной структуре энергетических зон, высоким значениям коэффициента оптического поглощения, устойчивости к различного рода внешним воздействиям могут быть хорошими абсорберами для эффективных и недорогих солнечных фотоэлементов. Одним из способов практического осуществления эффективного преобразования солнечной энергии является использование каскадных солнечных элементов на основе нескольких полупроводниковых материалов с соответствующим образом подобранными зонами, значительно отличающимися по ширине.

К настоящему времени в мире достигнуты успехи в освоении возобновляемой энергии, однако более эффективное освоение требует дальнейших исследований. Представленные в отчете результаты исследований представляют научный интерес, будут способствовать дальнейшему эффективному освоению ВИЭ и созданию на их основе новых высокоэффективных технологий.

1 Теоретические и экспериментальные исследования монолитных интегральных солнечных элементов

1.1 Изучение зонной структуры тонких поликристаллических слоев $CuInSe_2$

К соединению $CuInSe_2$ в последние годы обращено пристальное внимание в связи с перспективами его использования в солнечной энергетике (КПД до 20%). Это делает актуальным изучение фотоэлектрических и фундаментальных свойств $CuInSe_2$. В достаточно и совершенных полупроводниковых кристаллах, в сильном магнитном поле образуются уровни Ландау и диамагнитные экситоны (ДЭ), к ним привязанные, с помощью которых получают наиболее информативные и взаимосогласованные наборы параметров зонной структуры полупроводниковых кристаллов. Полный набор параметров, при помощи которых возможно адекватное описание зонной структуры $CuInSe_2$, следует из последовательного рассмотрения уравнения Шредингера в сильном магнитном поле. В некотором упрощаемом приближении задача для $CuInSe_2$ может быть рассмотрена как «квазикубическая», со сведением системы основных зонных параметров к «кубической» системе. Возможность «квазикубического» описания свойств кристаллов $CuInSe_2$ основывается на том, что валентная зона халькопирита рассматривается как эквивалент таковой для деформированного бинарного кубического аналога.

Образцы $CuInSe_2$ порядка 1мкм толщиной были выращены на стеклянной подложке при помощи вакуум-термического дозированного нанесения составляющих металлов (Cu и In) с дальнейшей двухступенчатой термообработкой в запаянной ампуле в среде паров селена. Образцы имели стехиометрический состав, близкий к идеальному и представляли собой, судя по рентген-дифракционным исследованиям, сильно текстурированный поликристалл.

На рисунке 1 приводится спектр края поглощения без включения магнитного поля. Он демонстрирует крутой рост поглощения, двойной экситонный максимум, принадлежащий слабо разрешаемым в эксперименте «прямым» экситонам A и B, далее пологий рост поглощения со ступенькой на размытом максимуме экситона C.

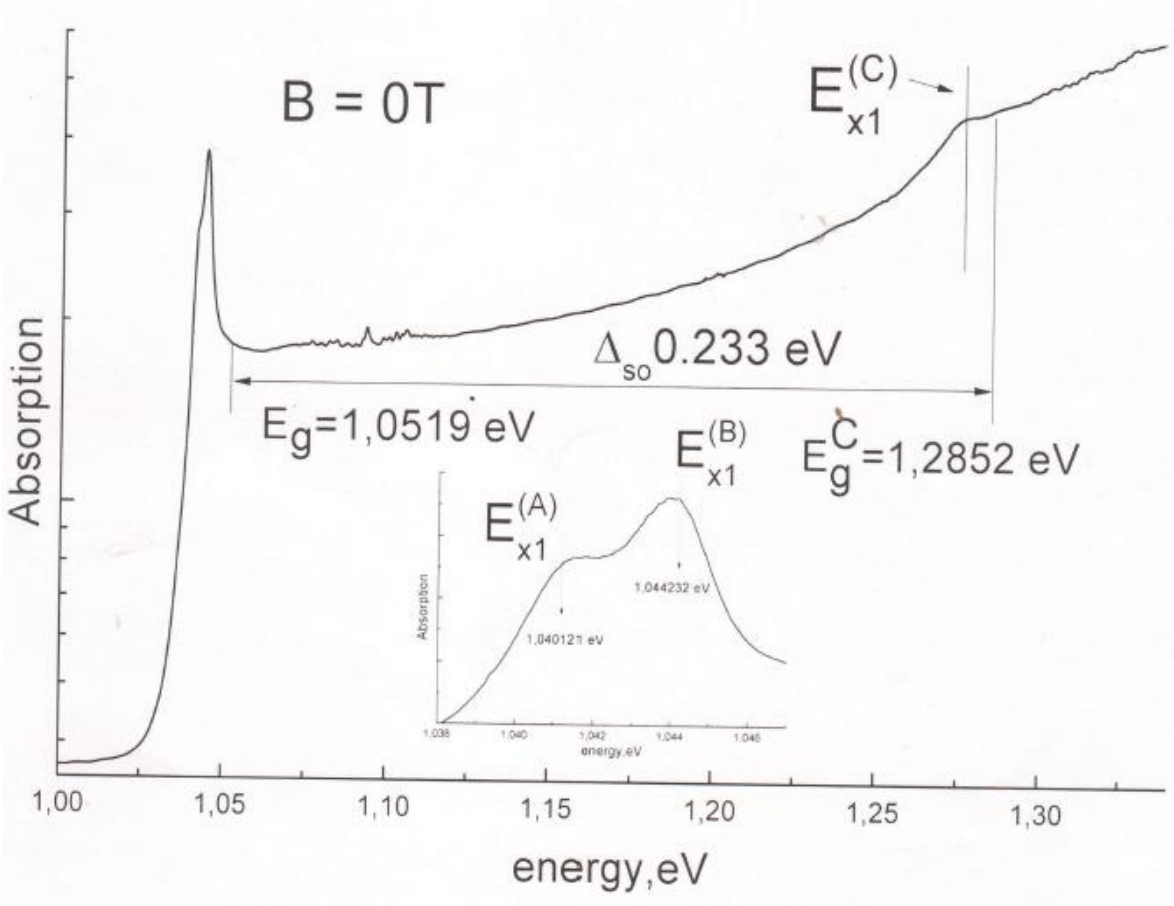

Рисунок 1 - Спектр края поглощения без магнитного поля

На вставке к рисунку 1 приводится вид краевого экситонного максимума при увеличенном разрешении, позволяющий определить точные энергетические положения краевых экситонов A и B, и для вычисленных водородоподобном приближении из экспериментального спектра энергий связи R^*_A =8,5meV и R^*_B=8,4 meV определить положение краев зон E^A_g =1,0502eV и E^B_g =1,0537eV и соответственно положение края зоны C как $E^{SO}_g - R^*_{SO}$ =1,2763 eV.

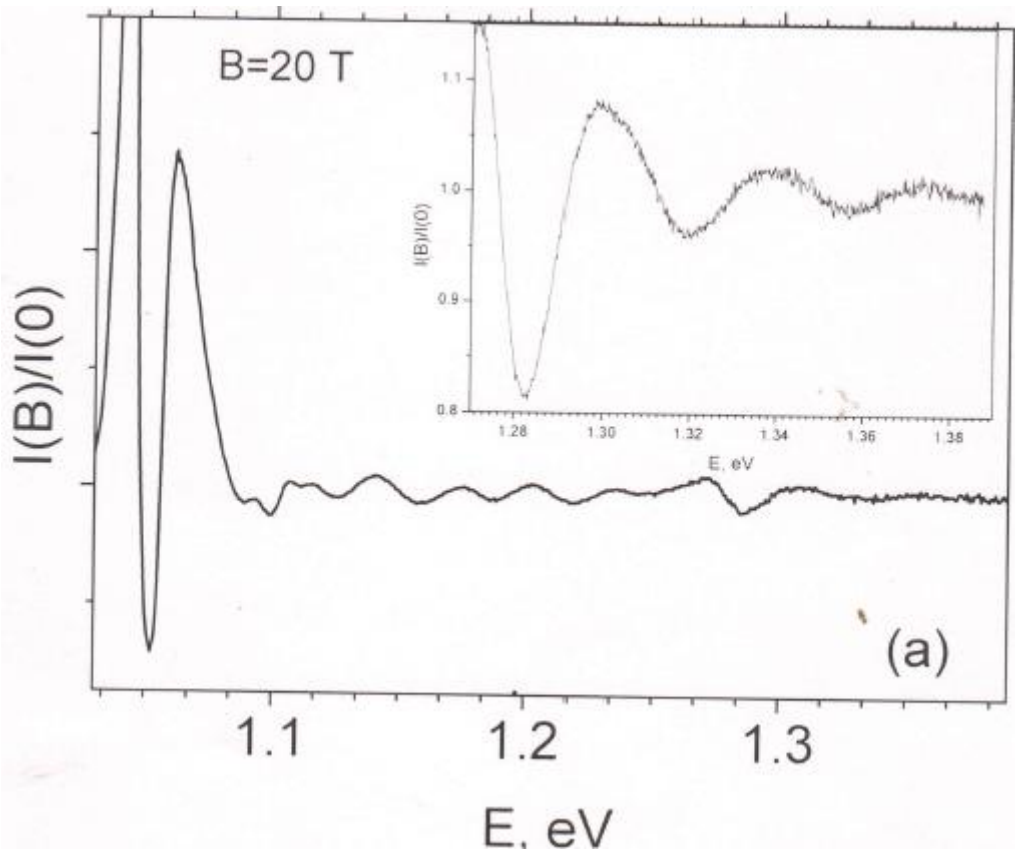

Рисунок 2 - Спектр поглощения в магнитном поле B=20 T

При T=4,2 K и в магнитном поле до 28 T, в диапазоне энергий фотона, соответствующих оптическим переходам в зону проводимости, происходит «возгорание» всех экситонных уровней и становится видной осциллирующая структура неполяризованного спектра (рисунок 2).

На рисунке 3 показаны спектры поглощения в области C экситона в магнитном поле 29 T, записанные при лево-циркулярной (LCP,σ^+) и право-циркулярной (RCP,σ^-) поляризациях.

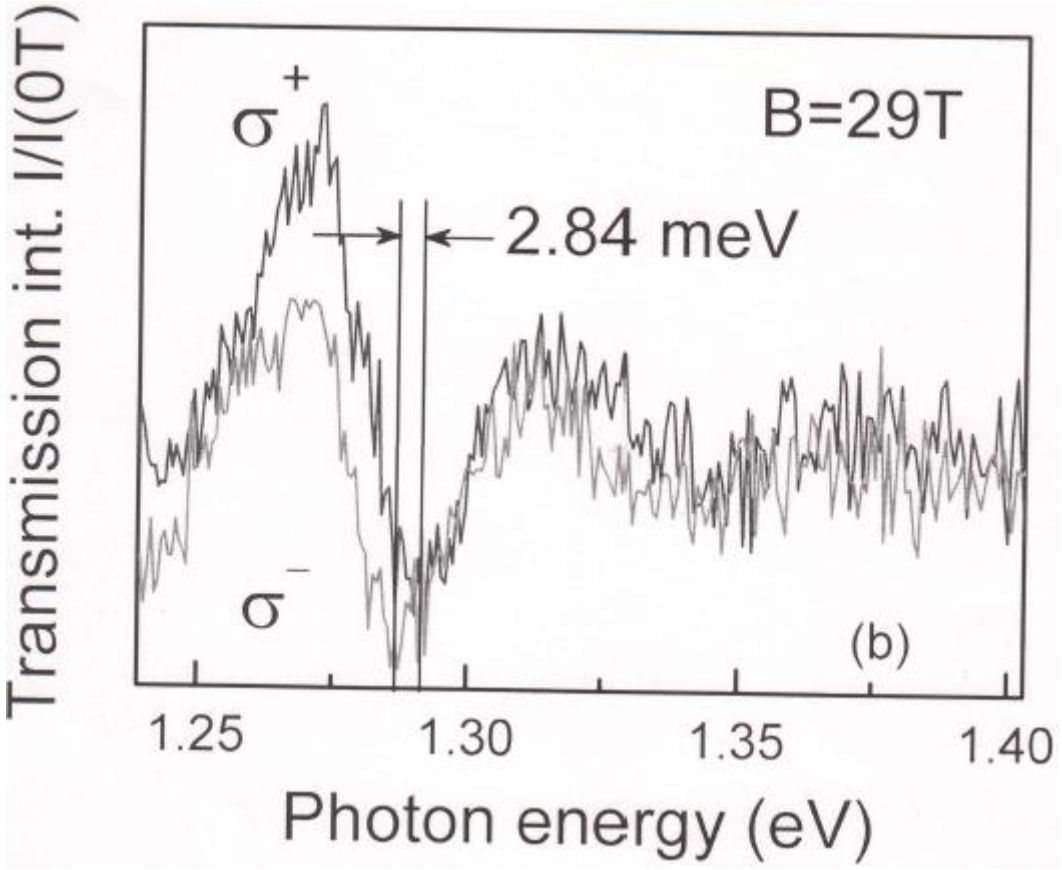

Рисунок 3 - Спектр поглощения в магнитном поле B=29 T

Поскольку данные для поляризованных спектров для C экситона более зашумлены, для анализа уровней Ландау использовались данные из неполяризованных спектров. Анализ результатов в рамках «квазикубического» приближения позволил установить набор зонных параметров, адекватно описывающих электронную структуру $CuInSe_2$. Впервые получен предварительный набор основных параметров, обеспечивающих квази-кубическое описание и дальнейшую интерпретацию спектров поглощения $CuInSe_2$ в сильном магнитном поле: E_g =1,0519eV-ширина зоны, Δ_{SO} =0233eV-отщепленная зона, γ_1 =3,22, γ=1, χ=0, m_e=0,09 m_o, g_e=1,27, m_{so}=0,41m_o, g_{so}= -0,4.

2 Технологические и экологические аспекты создания энергетических систем на основе ВИЭ

2.1 Разработка режимов эксплуатации геотермальных энергетических систем без солеотложения при утилизации попутных горючих газов

В результате проведенных исследований разработана методика эксплуатации геотермальных энергетических систем в режиме без солеотложения при утилизации попутных с геотермальной водой горючих газов. Установлено, что для ускорения растворения углекислого газа в воде для ее стабилизации перед вводом в теплообменное оборудование целесообразно увеличить парциальное давление углекислого газа до значений, превышающих на порядок равновесное при данной температуре. При этом перед закачкой отработанной воды обратно в водоносный горизонт избыток углекислого газа выводится из воды. Получена оценка возможности сохранения равновесной концентрации углекислого газа в воде, при которой не будет нарушено карбонатно-кальциевое равновесие. Представлены данные по методике стабилизации раствора геотермальной воды в возможно короткие сроки при вводе в него кристаллической затравки. Процесс выделения газов становится особенно интенсивным при резких перепадах давления в наземном оборудовании геотермальных систем, к примеру, в дегазаторах, расширителях, что сопровождается выделением твердой фазы карбоната кальция как в растворе воды, так и на поверхности оборудования.

Из-за большого разнообразия химического состава подземных термальных вод и содержания в них различных газов соблюдать нормы проектирования геотермальных объектов представляется не всегда возможным. В частности, на скважинах месторождений Кизляр и Махачкала-Тернаир с температурой воды около 100 ºС имеет место образование отложений карбоната кальция как в дегазаторах, так и на поверхности оборудования. Реализацию процесса интенсификации дегазации геотермальной воды и ускоренной стабилизации ее непосредственно на геотермальных скважинах можно осуществить на энергетическом устройстве по схеме, представленной на рисунке 4.

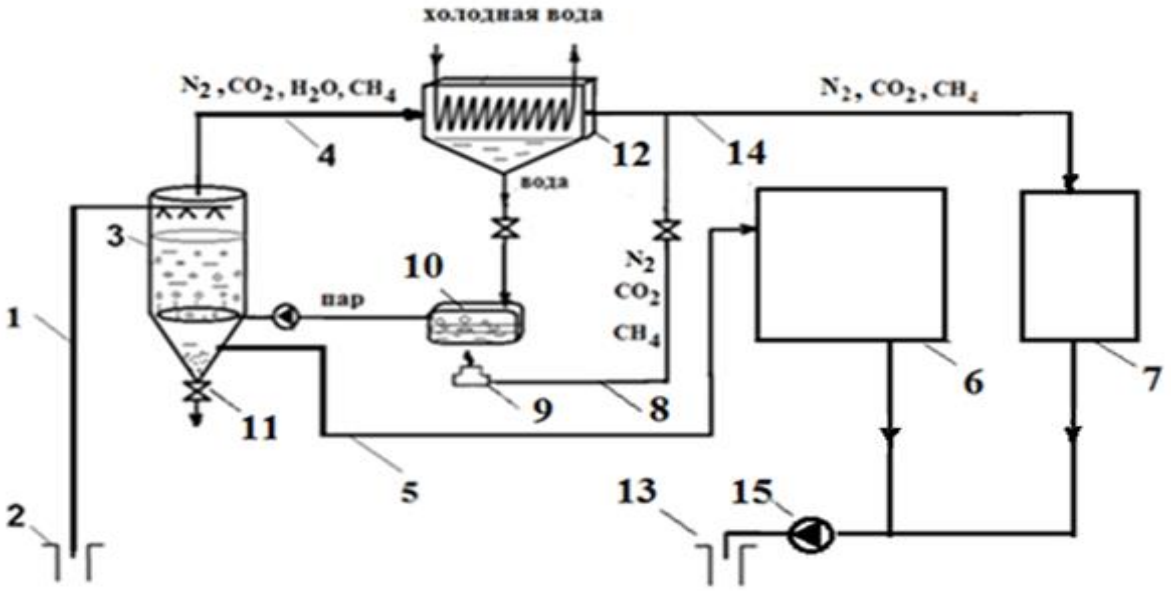

Рисунок 4 - Схема энергетической установки с возможностью увеличения выхода метана из геотермальной воды

Вода из скважины 2 через линию 1 поступает в газоотделитель 3, давление в котором может опускаться ниже давления насыщения воды, что увеличивает выход из нее горючих газов. Выделившиеся газы отводят из газоотделителя 3 по линии 4 через осушитель газа 12 по линии 14 к потребителю 7. Воду из газоотделителя 3 по трубопроводу 5 отводят к системам отопления и горячего водоснабжения 6. В осушителе 12 пар, содержащийся в смеси газов, конденсируется и собирается в нижней его части и далее поступает в парогенератор 10. Продукты сгорания смешиваются с отработанной водой из системы отопления и горячего водоснабжения 6 и закачиваются с помощью насоса 15 в скважину 13. При этом, использованная для конденсации паров водопроводная вода, в дальнейшем идет на дополнительный нагрев для систем отопления и горячего водоснабжения. Наличие незначительного количества азота (3-7%) и углекислого газа (5-10%) в воде не препятствует использованию его для хозяйственных нужд. Одновременно, в дегазаторе 3 осуществляется рециркуляция затравочных кристаллов, способствующих ускоренной стабилизации воды. Для защиты самого дегазатора 3 от карбонатных отложений предлагается, исследованная экспериментально, система охлаждения его стенок, приводящая к стабилизации геотермальной воды в пристеночном слое 1. Одновременно для неразрушающего контроля по определению на стенках оборудования слоя отложений целесообразно использовать, исследованные и прошедшие испытания на теплообменных пунктах месторождений Кизляр и

Махачкала-Тернаир, датчики солеотложения. Работа датчиков основана на определении сопротивления материала отложений и раствора воды в пристенном слое. Барботаж геотермальной воды парами воды приводит к уменьшению времени достижения необходимой концентрации того или иного газа в растворе воды. Однако, при этом возможно нарушение карбонатно-кальциевого равновесия в растворе используемой геотермальной воды. В случае нарушения этого состояния, как показали исследования на скважинах геотермальных вод месторождений Махачкала-Тернаир (скв.27Т) и Кизляр (скв.4Т), стабилизационную обработку воды целесообразно проводить кристаллической затравкой. Присутствие в воде при ее дегазации кристаллической затравки создает дополнительную площадь S_1 поверхности раздела жидкой и газообразной среды, что ускоряет процесс достижения необходимой концентрации газов в воде. Так, при концентрации кристаллической затравки в воде 24 г/л для частиц размером 50 -63 мкм эта поверхность составляет 1 м^2/л, а для частиц размером 0-400 мкм - 1,6 м^2/л, что существенно интенсифицирует процесс дегазации. Так, скорость кристаллизации $CaCO_3$ в присутствии кристаллической затравки определяется, как показали исследования, проведенные на геотермальных скважинах г. Кизляра в виде

$$\frac{dC}{d\tau} = -k_p S (C - C_s)^2 \qquad (1)$$

где C и C_s - соответственно текущее и равновесное значение концентрации $CaCO_3$ в растворе в данный момент времени, кг/м^3; S – площадь поверхности затравочных кристаллов, м^2; k_p– коэффициент массопереноса к поверхности осаждения, зависящий от числа *Re*. На рис. 5 представлены экспериментальные зависимости концентрации Ca^{2+} в растворе воды скв. 4Т (месторождение Кизляр) от концентрации и дисперсности кристаллической затравки. Эти данные получены при вводе кристаллической затравки в геотермальную воду с момента достижения в ней концентрации CO_2, соответствующей максимальному пересыщению раствора воды по $CaCO_3$ для данной температуры воды и давления в ней.

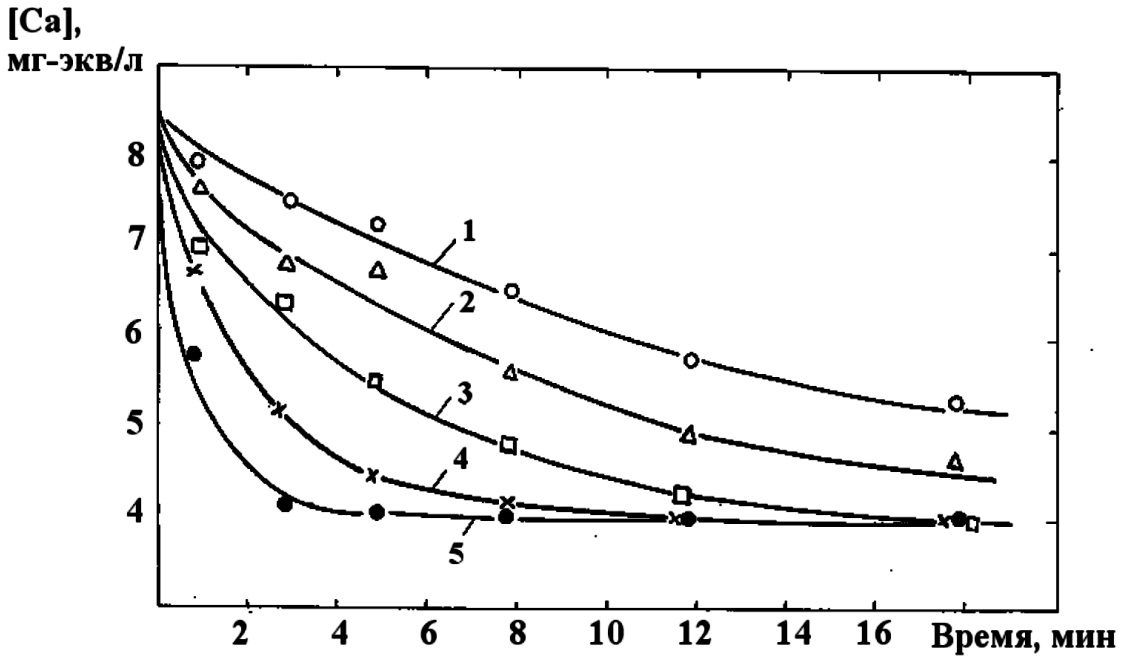

Рисунок 5 - Кинетика изменения концентрации ионов Ca^{2+} в воде скв. 4Т в присутствии кристаллической затравки: 1, 2, 3, 4, 5 – концентрация затравки 1, 3, 6, 12, 24 г/л; дисперсность частиц затравки 0 ÷ 400 мкм

На практике в процессе дегазации нарушение карбонатно-кальциевого равновесия в воде начинается с нуля и процесс выделения в ней твердой фазы карбоната кальция из воды осуществляется при постепенном росте величины пересыщения по $CaCO_3$, а не по достижении ее максимальной величины, как показано на рисунке 5. Так, в интегральной форме (1) имеет вид

$$C - C_s = \frac{1}{kS\tau + 1/(C_o - C_s)} \qquad (2)$$

Таким образом, величина C-C_s, от которой зависит скорость кристаллизации $CaCO_3$ из раствора согласно (1), зависит от концентрации CO_2 в растворе, которая, в свою очередь, изменяется во времени согласно зависимости (5). Следовательно, в момент сброса давления в системе до конечного значения величина C_s для уравнения (2) начинает плавно снижаться согласно изменению концентрации углекислого газа в воде во времени. Ниже на рисунке 6 представлены кинетические зависимости концентрации углекислого газа (линия 1) и содержания карбоната кальция (линия 2) в воде в зависимости от времени в процессе дегазации воды в присутствии в ней кристаллической

затравки. Уровень 3 представляет собой концентрацию CO_2, соответствующую границе перехода раствора воды из равновесного в пересыщенное по $CaCO_3$ состояние. Этот уровень достигается к моменту времени τ_1. А уровень 4 соответствует концентрации CO_2 по максимальному пересыщению воды по $CaCO_3$, который достигается к моменту времени τ_2. Таким образом, уровень 4 для CO_2 (C_S^*) достигается в момент τ_2, соответствующий моменту падения давления до конечного значения, в то время как для $CaCO_3$ этот уровень (пунктирная линия C_S) достигается за более длительное время $\tau > \tau_2$. Это приводит к снижению величины $C - C_s$ что снижает скорость кристаллизации $CaCO_3$ с самого начала его выделения в растворе. Однако наличие затравочных частиц в растворе воды ускоряет процесс дегазации и, соответственно, процесс выделения твердой фазы карбоната кальция из раствора воды.

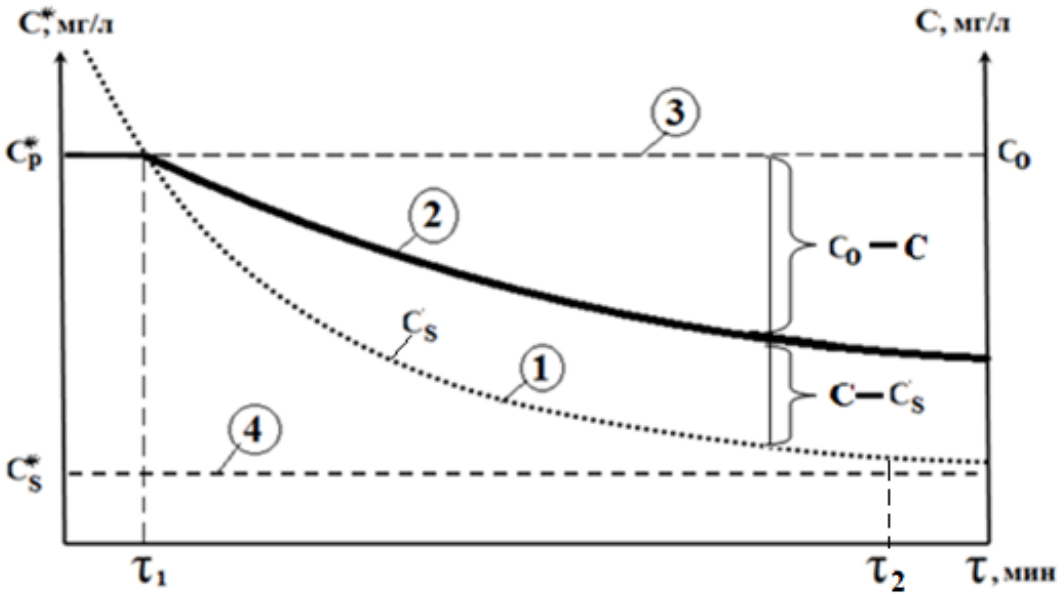

Рисунок 6 - Концентрация углекислого газа и содержание карбоната кальция в воде в зависимости от времени в процессе ее дегазации

Таким образом, проведенные исследования на геотермальных скважинах г. Кизляра и Махачкалы показали целесообразность комплексного использования энергетического потенциала геотермальных вод, включая как тепловую энергию воды, так и теплоту сгорания сопутствующих горючих газов. В результате проведенных исследований установлено, что для ускорения дегазации воды и установления равновесной концентрации $CaCO_3$ в геотермальной воде целесообразно провести барботаж геотермальной воды парами конденсата, освобожденного из газовой среды путем ее

охлаждения. Одновременно обработку геотермальной воды целесообразно вести путем ввода кристаллической затравки, ускоряющей как процесс дегазации воды, так и процесс ее стабилизации. При этом установлено, что для ускорения растворения углекислого газа в воде для ее стабилизации перед вводом в теплообменное оборудование целесообразно увеличить парциальное давление углекислого газа до значений, превышающих на порядок равновесное при данной температуре. При этом перед закачкой отработанной воды обратно в водоносный горизонт избыток углекислого газа выводится из воды.

2.2 Оптимизация параметров контура комбинированной солнечно-геотермальной системы с отбором тепла сухих горных пород низкого потенциала

Полное и экономически эффективное использование низкопотенциального геотермального тепла в системах теплоснабжения практически не осуществимо без применения теплонасосных установок (ТНУ) [7]. Для широкой реализации теплонасосных систем теплоснабжения с скважинными теплообменниками (СТО) необходимо разработать оптимальные конструкции теплообменников, исследовать вопросы взаимного влияния теплового насоса и скважинного теплообменника и оптимизировать режимы эксплуатации всей установки. Для оценки тепломассопереноса в скважинном теплообменнике для съема тепла горной породы низкого потенциала, конструкция которого подобна той, что представлена в приведенной ранее разработанной системе (рисунок 7), разработана математическая модель, описывающая процесс тепломассопереноса в таких теплообменниках. В приведенной системе глубину скважинного теплообменника предложено брать равной 100-200 м, при проведении оптимизационных расчетов глубина бралась равной от 100 до 500 метров.

Система включает два контура: первичный контур с циркуляцией теплоносителя в солнечных коллекторах (1) и вторичного контура, представляющего собой теплонасосную установку, источником низкопотенциального тепла в которой служит извлекаемое с помощью скважинного теплообменника (9) тепло сухих горных пород.

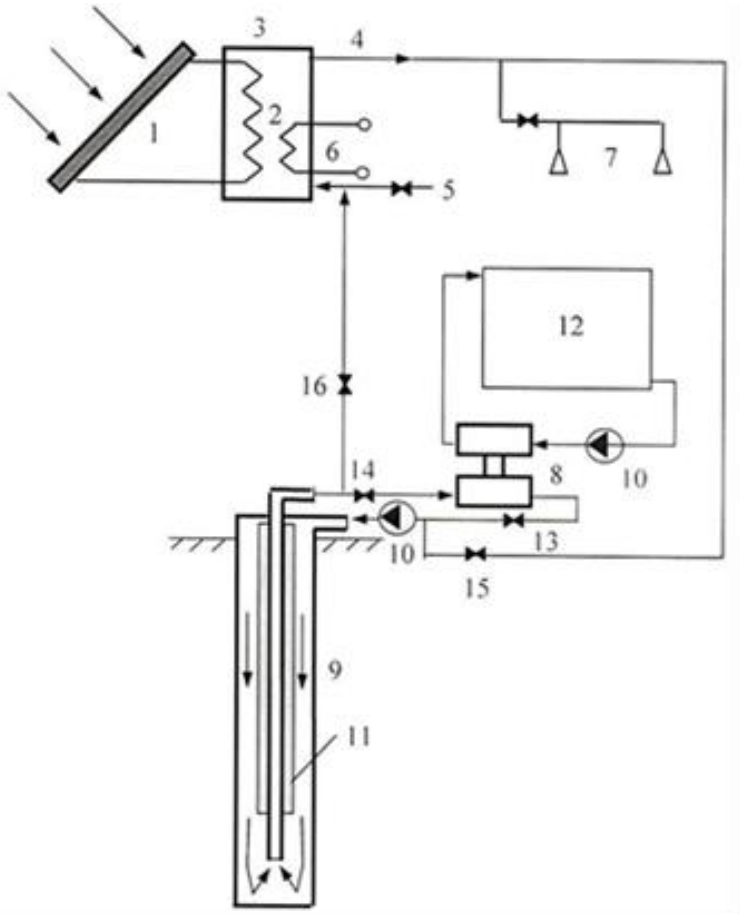

Рисунок 7 - Принципиальная схема комбинированной солнечно-геотермальной системы отопления и горячего водоснабжения

Теплоноситель нагревается в солнечных коллекторах (1) энергией солнца и отдает затем тепловую энергию воде через теплообменник (2), вмонтированный в теплоизолированный бак-аккумулятор (3). В первом контуре, где расположены солнечные коллекторы, может использоваться естественная или принудительная циркуляция теплоносителя. В бак-аккумулятор вмонтирован и электрический нагреватель (6) для нагревания воды до задан-ной температуры в случае понижения температуры в баке-аккумуляторе ниже установ-ленной. Холодная вода по трубе (5) подается в бак-аккумулятор, а нагретая вода из бака по трубе (4) отводится к водоразборным устройствам контура горячего водоснабжения (7). В цикле теплового насоса холодная вода опускается в межтрубном пространстве скважины-теплообменника (9) и отбирает низкопотенциальное тепло с окружающей гор-ной породы. Далее нагретая в зависимости от глубины скважины вода поднимается по центральной теплоизолированной колонне труб (11) на поверхность. На поверхности вода из скважины поступает в испаритель теплового насоса (8), где происходит нагрев и испа-рение низкокипящего рабочего агента. После испарителя охлажденная вода вновь направляется в скважину. В конденсаторе

теплового насоса тепловая энергия высокого потенци-ала передается в систему напольного отопления (12). В летний период избыток тепловой энергии в виде горячей воды из бака-аккумулятора направляется в скважину для полного восстановления температуры в горной породе вокруг скважины, так как за отопительный период при постоянной циркуляции воды в скважине происходит постепенное охлажде-ние горной породы вокруг скважины. В межотопительный период вентили (13) и (14) за-крыты, и при открытых вентилях (15) и (16) горячая вода из бака аккумулятора циркуля-ционным насосом закачивается в межтрубное пространство скважины, где по мере спуска происходит теплообмен с окружающей скважину горной породой. Далее охлажденная во-да по цен-тральной теплоизолированной колонне направляется обратно в бак-аккумулятор. В отопительный период, наоборот, вентили (13) и (14) открыты, а вентили (15) и (16) закрыты.

В таблице 1 приведены рассчитанные значения прироста температуры по высоте СТО и извлекаемой тепловой мощности от расхода теплоносителя (вода) для различных глубин СТО. При проведении многовариантных оптимизационных расчетов принимались следующие значения величин: Тзк=5 ºС; $\delta_{ИЗ}$=8 мм; R(t)=5 м; $\lambda_Г$=2,5 Вт/(м•К), R_1^i,=100,5 мм; R_1^e =109,5 мм; R_2^i,=39,5 мм; R_2^e =44,5 мм. Здесь R_1^i, R_1^e - внутренний и внешний радиусы обсадной колонны; R_2^i, R_2^e - внутренний и внешний радиусы лифтовой теплоизолированной колонны; R(t) – условный радиус температурного влияния скважин; $\lambda_Г$ – коэффициент теплопроводности горной породы; $\delta_{ИЗ}$ – толщина изоляции.

Таблица 1 - Прирост температуры и извлекаемая мощность в неглубоких СТО

H, м	Q, м³/сут									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	ΔT, ºC N, кВт									
100	6,2 2,97	3,8 3,61	2,7 3,86	2,1 3,99	1,7 4,08	1,4 4,13	1,2 4,17	1,1 4,2	0,9 4,23	0,8 4,24
200	10,3 4,95	7,3 7,01	5,5 7,94	4,4 8,47	3,7 8,80	3,1 9,03	2,7 9,20	2,4 9,33	2,2 9,43	2,0 9,51
300	13,4 6,43	10,6 10,16	8,4 12,11	6,9 13,27	5,8 14,03	5,0 14,56	4,4 14,96	4,0 15,26	3,6 15,50	3,3 15,70
400	15,9 7,65	13,6 13,09	11,3 16,29	9,5 18,29	8,2 19,64	7,1 20,61	6,3 21,34	5,7 21,90	5,2 22,35	4,7 22,72
500	18,1 8,70	16,4 15,83	14,1 20,41	12,2 23,43	10,6 25,53	9,4 27,07	8,4 28,23	7,6 29,15	6,9 29,88	6,3 30,48

На рисунке 8 приведены зависимости теплосъема от объемного расхода теплоносителя при значениях радиусов труб R_1^i,=51,5 мм; R_1^e =57 мм; R_2^i=18 мм; R_2^e =21 мм. Обозначение зависимостей на рис. 2 и рис. 3 цифрами от 1 до 5 соответствует глубинам внутрискважинного теплообменника Н =100, 200, 300, 400, 500 м.

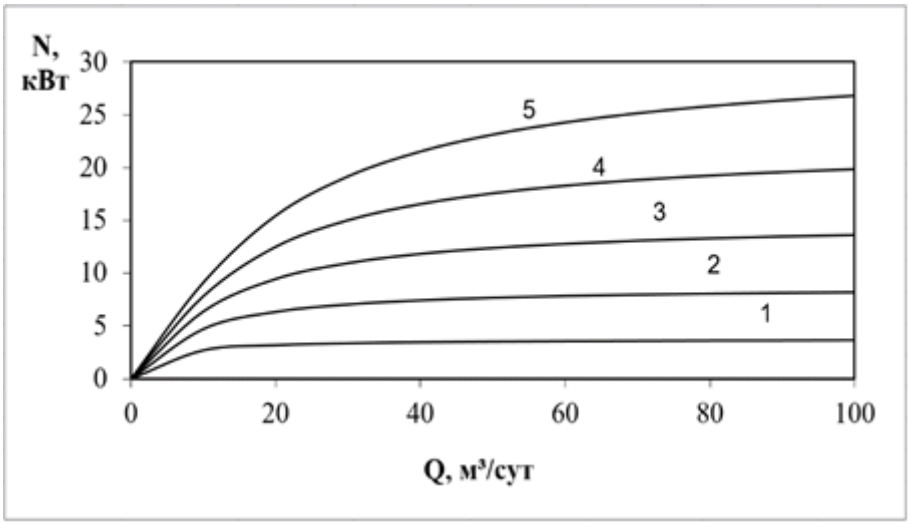

Рисунок 8 - Зависимость теплосъема от объемного расхода теплоносителя при различных значениях глубины скважинного теплообменника

Результаты проведенных многовариантных расчетов дают возможность подбора оптимальных параметров исследуемой скважинно-пластовой системы. Можно отметить, что для извлечения тепла сухих горных пород низкого потенциала целесообразно обеспечивать малые расходы теплоносителя. Для глубин теплообменника Н=100, 200 м наиболее оптимальным является расход воды G=0,5-0,6 кг/с, дальнейшее увеличение расхода не приводит к существенному росту тепловой мощности. Увеличение глубины теплообменника приводит и к увеличению значения оптимального расхода, так при Н=400 м значение оптимального расхода колеблется в пределах G=0,7-0,9 кг/с. На процесс теплосъема влияют не только конструктивные параметры теплообменника, но и теплофизические параметры горных пород, слагающих массив. На рисунке 9 показаны зависимости теплосъема при $\lambda_Г$ =3,0 Вт/(м •К).

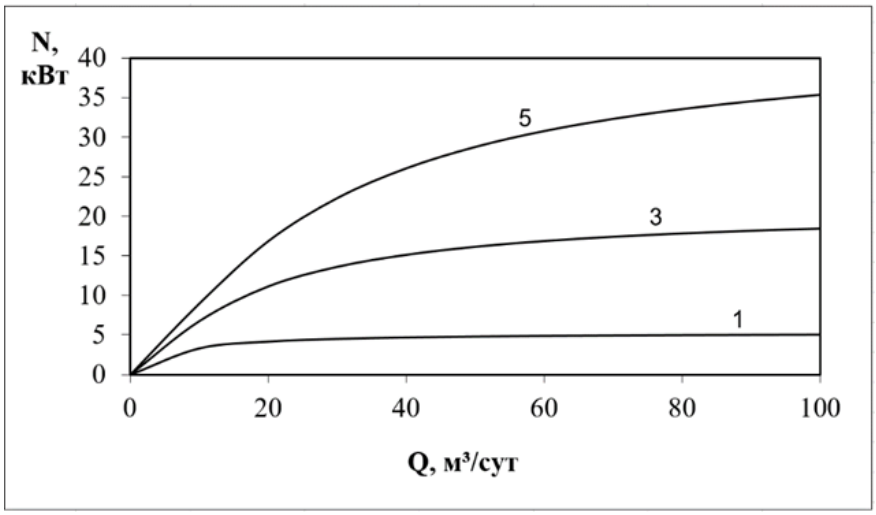

Рисунок 9 - Зависимость теплосъема от объемного расхода теплоносителя при различных значениях глубины скважинного теплообменника.
R_1^i=100,5 мм; R_1^e=109,5 мм; R_2^i=39,5 мм; R_2^e=44,5 мм; $\lambda_Г$=3,0 Вт/(м К)

Окончательный выбор эксплуатационных характеристик системы по съему низкопотенциального тепла сухих горных пород зависит от технико-экономического обоснования с учетом капитальных и эксплуатационных затрат. С увеличением глубины скважины-теплообменника одновременно с ростом извлекаемой тепловой мощности увеличиваются капитальные затраты, возрастают и эксплуатационные затраты, связанные с прокачкой теплоносителя. Разработка новых эффективных технологий освоения тепла сухих горных пород низкого потенциала позволит обеспечить тепловой энергией децентрализованных потребителей малой мощности.

2.3 Изучение влияния продуктов реакции каталитического разложения сероводорода на различные конструкционные материалы. Разработка рекомендаций по охране труда и промышленной безопасности при реализации технологии

В технологических процессах предлагаемого низкотемпературного (от 5 до 40^0С) разложения сероводорода на водород и серу, в основном, используется стандартное оборудование, традиционно применяемое на газоперерабатывающих предприятиях при очистке природного газа от сероводорода и диоксида углерода и переработке последних. Известно, что сероводород является одним из наиболее токсичных и реакционно-способных веществ. В ходе экспериментальных исследований по каталитическому разложению сероводорода обнаружено, что газообразная сера, получаемая при его разложении, также является достаточно агрессивным веществом. Газообразная сера может образовывать как твердые, так и газообразные соединения с материалами оборудования,

смазками и уплотнительными материалами. Кроме того, соединения газообразной серы являются каталитическими ядами, особенно для платиновых катализаторов.

Экспериментально было установлено, что такие материалы как вакуумные резина и смазка, силикон, полупрозрачный тефлон, витон, поливинилхлорид, использованные в качестве соединительных коммуникаций и уплотнительных материалов, химически взаимодействуют с газообразной серой. Исключение составили нержавеющая сталь с уплотнительными материалами, выполненными из белого тефлона высокого качества. Они также не подвержены воздействию водорода, сероводорода и газообразных соединений серы.

Не обнаружено воздействия газообразной серы на латунные чувствительные элементы манометров. Поэтому при изготовлении нестандартных узлов технологического оборудования и соединительных коммуникаций, уплотнительных материалов, рекомендуется использовать нержавеющую сталь, латунь и высококачественный тефлон. Материалы запорной и регулирующей аппаратуры должны быть выполнены также из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т с уплотнительными материалами, выполненными из белого тефлона высокого качества. В качестве катализатора рекомендуется использовать стружку из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т толщиной 0,1–0,2 мм и длиной 1,5-5,5 мм.

Актуальной задачей, связанной с переработкой сероводорода, является минимизация отрицательного воздействия на окружающую среду путем разработки новых экологически чистых технологий. Проведенные исследования позволяют утверждать, что внедрение данной технологии позволяет устранить причины, наносящие ущерб окружающей природной среде, путем исключения вредных газообразных продуктов, выбрасываемых в атмосферный воздух, как это происходит при использовании метода Клауса. Несмотря на экологические и технические преимущества предлагаемой технологии, рассмотрены наиболее опасные места, которые при эксплуатации установки, в случае отклонения от норм технологического режима и аварийных ситуаций, могут представлять угрозу здоровью персонала и окружающей среде.

При работе установки главную опасность представляют токсичные газообразные вещества: сероводород, газообразная сера и водород, способные создать загазованность и служить причиной образования взрывоопасных и горючих смесей с воздухом и химических отравлений. Газообразная двухатомная сера, устойчивая при обычных условиях, представляет собой неизвестную до сих пор модификацию серы. Впервые была обнаружена в качестве промежуточного вещества среди продуктов реакции при исследовании низкотемпературной каталитической конверсии сероводорода. Она по

химической активности несколько превосходит сероводород. Обладает резким тошнотворным запахом. Физико-химические свойства данного вещества во многом еще неизвестны. Поэтому все методы предосторожности, применяемые при работе с сероводородом, необходимо распространить и на газообразную серу. Вспомогательные вещества, используемые в технологии низкотемпературной каталитической переработке сероводорода (оксид алюминия и катализатор) не токсичны, не являются горючими и взрывоопасными веществами.

На предлагаемом производстве пожаро- и взрывоопасными веществами являются водород и сероводород, а в некоторых случаях и сера твердая. Поэтому производство должно обеспечиваться средствами пожаротушения и пожарной сигнализации. Наибольшую взрывоопасность водород имеет при объёмном отношении водорода и воздуха приближённо 2:5, так как в воздухе примерно 21% кислорода. Смесь сероводорода с воздухом (4,3-45,5% сероводорода) при комнатной температуре и обычном давлении также сгорает со взрывом. Опасными узлами установки являются абсорберы и десорберы, содержащие алканоламин, сероводород и водород, а также трубопроводы и арматура, которые находятся под давлением столба агрессивных жидкостей и газа. Так при резком повышении давления в системе выше 7МПа и аварийной разгерметизации трубопроводов, емкостей возможны выбросы вредных веществ в рабочее помещение. Поэтому для снижения риска последствий от возможных аварийных случаев, необходимо предусмотреть отсечку подачи сероводорода в каталитический реактор, подачу смеси сероводорода и водорода в абсорберы и другие емкости. Помещения, должны быть оборудованы эффективной приточно-вытяжной вентиляцией. В тех же целях в помещениях необходимо предусмотреть установку датчиков для фиксации возможных аварийных утечек сероводорода и водорода, а также аварийного отключения узлов. Вытяжная вентиляция должна быть устроена таким образом, чтобы при аварийных случаях выброса сероводорода и водорода, воздух после вытяжки проходил через емкости, заполненные химическим реагентом для немедленного количественного поглощения сероводорода.

С целью устранения вредных выбросов в атмосферу предусмотрено: применение герметичного оборудования, арматуры, трубопроводов из материалов, стойких в обращаемых средах; очистка и поглощение технологических сдувок от аппаратов и воздуха аварийной вентиляции химическими поглотителями. Для исключения попадания в канализационную сеть растворов амина и других вредных жидкостей предусматривается устройство поддонов, содержимое которых возвращается в производство. Для исключения нештатных ситуаций, обеспечения непрерывности процесса переработки

сероводорода в технологии предусмотрено наличие двух абсорберов и десорберов, из которых один - рабочий, а второй - резервный.

2.4 Разработка математической модели и программы расчета поступления ВИЭ и оптимизация энергоснабжения потребителя по многим критериям

Российский и зарубежный опыт показывает, что комбинированное применение установок на основе ВИЭ в децентрализованных системах энергоснабжения является эффективным способом энергообеспечения потребителей, как с экономической, так и с экологической точек зрения. Такой способ энергообеспечения позволит существенно сократить потребление жидкого топлива, увеличит надежность системы энергоснабжения, а также снизить стоимость произведенной единицы электроэнергии. При проведении исследований была разработана математическая модель и программа оптимизации комбинированного энергоснабжения автономных потребителей малой мощности на основе возобновляемых энергоресурсов с учетом их поступления и нагрузки потребителя. Для достижения этой цели решены следующие задачи:

1. Смоделированы сезонный и суточный хода солнечной энергии на наклонную поверхность с учетом широты местности.
2. Смоделирована зависимость ветровой энергии от высоты расположения ветроколеса и рельефа местности.
3. Разработана программа автоматизированного расчета поступления солнечной, ветровой и других видов ВИЭ.
4. Разработаны методики автоматизированного сравнительного анализа разных комбинированных систем энергоснабжения на основе ВИЭ по многим критериям методом «Паук-ЦИС».
5. Разработана методика и программа оптимизации режима эксплуатации энергоустановок на основе ВИЭ в зависимости от изменения нагрузки потребителя.
6. Апробирована разработанной программа в реальных условиях.

Для поиска оптимальной конфигурации, параметров и режимов работы автономного энергокомплекса на основе ВИЭ в реальных условиях разработана методология, представляющая последовательную реализацию 3–х этапов, программно объединенных в единое многоуровневое и многокритериальное оптимизационное пространство.

При включении программы оптимизации энергокомплекса появляется окно (рисунок 10), где имеются схемы подключения потребителя электрической (ПЭЭ) и тепловой (ПТЭ) энергии, кнопки определения ресурсов ВИЭ и «оптимизация».

Рисунок 10 - Окно программы расчета поступления возобновляемых энергоресурсов и оптимизации режимов работы ЭУ комплексного энергоснабжения потребителя по динамике его нагрузки

2.4.1 Расчет поступления возобновляемых энергоресурсов

Использование возобновляемых источников энергии для нужд энергоснабжения потребителей немыслимо без оценки их ресурсов, выявления тенденций развития, определения масштабов использования и обоснования рациональных областей применения для каждой рассматриваемой местности.

Рисунок 11 - Определение ресурса СР и выработки ФЭС и ССТ с указанными параметрами

При нажатии кнопки «Ресурс солнечной энергии» появляется окно (рисунок 11), где требуются внести текущую дату, широту и долготу местности, декретный полдень, максимальную мощность солнечной радиации за год, характерную для данной местности, облачность и альбедо местности, где установлены солнечные модули. При вводе лишь этих данных программа определяет оптимальный угол наклона приемной площадки, продолжительность солнечного дня и мощности солнечной радиации (СР) с учетом облачности, диффузной и отраженной составляющих на горизонтальную и наклонную (согласно оптимального угла наклона) площадки для каждого часа от восхода до заката Солнца, согласно известной методике [12].

При вводе площадей солнечных модулей и коллекторов, их КПД программа вычисляет выработки фотоэлектрической станцией (ФЭС) электрической и солнечной станцией теплоснабжения (ССТ) тепловой энергии по часам (рисунок 11).

Для определения ресурса ветровой энергии в окне на рисунке 10 нажимают кнопку «Ресурс ветровой энергии». При этом появляется окно (рисунок 12), где требуются вводить высоту расположения флюгера и класс открытости по Милевскому местной метеостанции (МС). При этом программа приводит скорости ветра по данным МС к условиям открытой местности и на указанную высоту расположения ветроколеса.

Поправочный коэффициент скорости ветра на открытость Kотк определяется формулой:

$$K_{\text{отк}}=0{,}2113\cdot K+0{,}155 \qquad (3)$$

где K – класс открытости рассматриваемой метеостанции по Милевскому (таблица появляется при нажатии кнопки «Классификация по Милевскому»).

Скорость ветра на определенной интересующей нас высоте h определяется формулой [10]:

$$v_h=v_{\text{ф}}\cdot(h/h_{\text{ф}})^m \qquad (4)$$

где v_h - скорость ветра на высоте h; $v_{\text{ф}}$ – скорость ветра на высоте флюгера; $h_{\text{ф}}$ – высота флюгера; m – коэффициент, зависящий от скорости ветра на высоте флюгера.

Исследовав график зависимости коэффициента m от скорости ветра на высоте флюгера, построенный авторами по данным [10], выведено уравнение, по которому можно определить m в зависимости от скорости ветра на высоте флюгера. Это уравнение имеет следующий вид.

$$m_i=0{,}5551\cdot v_{\text{ф}i}^{-0{,}7275} \qquad (5)$$

В конечном итоге, приведенная к условиям открытой местности и на высоту h в каждый час суток будет определяться формулой:

$$v_{\text{пр } i}=v_{\text{ф}i}\cdot K_{\text{отк}}\cdot(h/h_{\text{ф}})^m \qquad (6)$$

Рисунок 12 - Определение ресурса ветровой энергии и выработки ветропарка с указанными параметрами

При вводе диаметра ветроколеса, количества и КПД ветроэнергетической установки (ВЭУ) определяется выработка ветропарком электрической энергии по часам в кВт.ч.

Для определения ресурса биомассы в окне на рисунке 10 нажимают кнопку «Ресурс биомассы». При этом появляется окно (рисунок 13), где требуется вводить имеющиеся отходы хозяйств, количество домашних животных и их суточный выход сухой массы, а также растительные сухие отходы, теплотворную способность метана в МДж/м3, так как получаемый биогаз переведен на содержание метана в нем. Указав КПД биогазовой установки (БГУ) и нажав на кнопку «Рассчитать», программа рассчитывает выработку БГУ в кВт.ч.

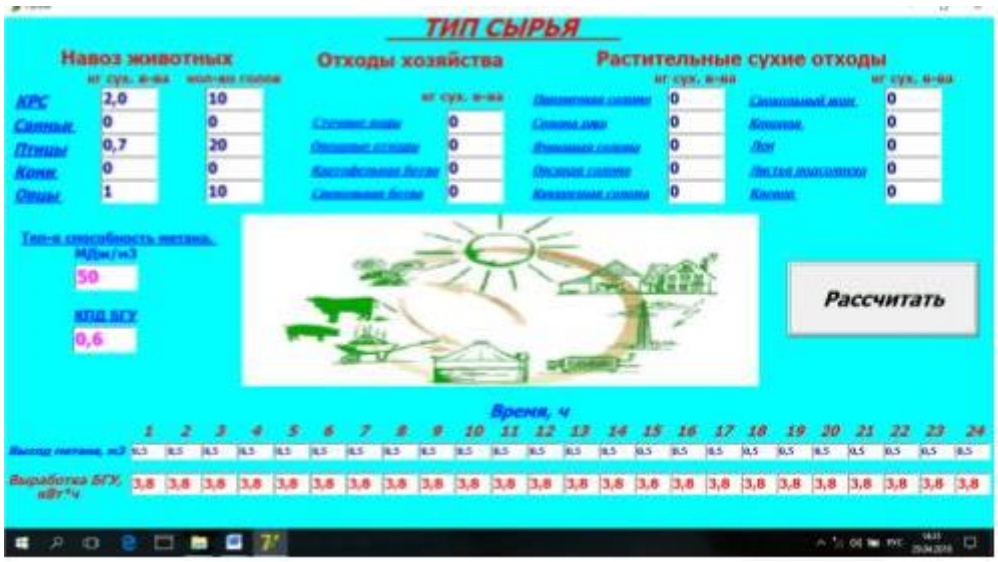

Рисунок 13 - Определение ресурса получения биомассы и выработки БГУ при КПД 0,6

2.4.2 Составление иерархии ЭУ по оптимальности

Оптимизация производится по многим технико-экономическим, энергетическим, экологическим и социальным критериям методом «Паук-ЦИС» диаграмм.

Нажав в окне на рисунке 10 кнопку «Оптимизация» появляется окно, приведенное на рисунке 14, где показываются выработки всеми ЭУ по часам.

Рисунок 14 - Окно программы оптимизации с указанием себестоимости и иерархии по площади «паук-ЦИС» диаграммы и режим работы каждой ЭУ по часам

Необходимо вводить показатели, по которым производится сравнение, для разных используемых ЭУ. При нажатии на «Вычислить себестоимость» определяется себестоимость вырабатываемой энергии каждой ЭУ. При нажатии «Вычислить площадь» определяются площади «паук-ЦИС» диаграмм для каждой ЭУ согласно методике приведенной в работе [13]. Составляется иерархия ЭУ по увеличению площади диаграммы, т.е. самую оптимальную эффективную ЭУ располагают первой далее по мере снижения эффективности и самую неэффективную ЭУ располагают последней.

Для обеспечения потребителя используют самую эффективную первую ЭУ, при нехватке энергии от первой ЭУ для обеспечения потребителя включается вторая ЭУ. Если и при включении второй ЭУ потребитель не обеспечивается полностью, включается третья ЭУ, и т.д.

2.4.3 Оптимизация режимов работы ЭУ

При нажатии «Оптимизация» появляются данные использования каждой ЭУ в каждый час дня и их доли при обеспечении потребителя энергией. Приводятся оптимальные сочетания ЭУ и их доли для полного обеспечения потребителя. При нажатии кнопки «Графики» на рисунке 14 программа выдает графики, показывающие режимы работы каждой ЭУ (рисунок 15).

Рисунок 15 - Графики, показывающие режимы работы каждой ЭУ на примере конкретного потребителя

Разработанная программа апробирована для оптимизации энергоснабжения конкретного автономного потребителя. Результаты оптимизации приводятся в виде

графиков, показывающие оптимальные сочетания установок и их доли при обеспечении энергией потребителя в каждый момент времени в течение суток. Программа апробирована для оптимизации энергоснабжения конкретного автономного потребителя – среднего села, расположенного в горной части Республики Дагестан, и апробация показывает, что для энергоснабжения автономных потребителей эффективным вариантом является энергоснабжение за счет местных ВИЭ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных в 2018 году исследований сотрудниками лаборатории получены следующие результаты:

- При T=4,2 K и в магнитных полях до 28 T, в диапазоне энергий фотона, соответствующих оптическим переходам в зону проводимости, измерены спектры поглощения тонких (d=1,0 мкм) ориентированных поликристаллических слоев $CuInSe_2$, перспективных для использования в солнечной энергетике (КПД до 20%). Из вычисленных в водородоподобном приближении экспериментального спектра энергий связи экситонов R^*_A =8,5meV и R*в=8,4meV определены положения краев зон E^A_g =1,0502 eV и E^B_g =1,0537 eV. Анализ результатов в рамках квазикубического приближения позволяет установить набор зонных параметров, адекватно описывающих электронную структуру $CuInSe_2$. Получен предварительный набор основных параметров, обеспечивающих квазикубическое описание $CuInSe_2$ и дальнейшую интерпретацию спектров поглощения $CuInSe_2$ в сильном магнитном поле: Eg=1,0519 eV -ширина зоны, Δ_{SO} =0,233 eV- отщепленная зона, $\gamma 1$ =3,22, γ=1, χ=0, m_e=0,09m_o, g_e=1,27, m_{so}=0,41m_o, g_{so}= -0,4.

- Разработана методика эксплуатации геотермальных энергетических систем в режиме без солеотложения при утилизации попутных с геотермальной водой горючих газов. Установлено, что для ускорения растворения углекислого газа в воде для ее стабилизации перед вводом в теплообменное оборудование целесообразно увеличить парциальное давление углекислого газа до значений, превышающих на порядок равновесное при данной температуре. При этом перед закачкой отработанной воды обратно в водоносный горизонт избыток углекислого газа выводится из воды. Получена оценка возможности сохранения равновесной концентрации углекислого газа в воде, при которой не будет нарушено карбонатно-кальциевое равновесие. Представлены данные по методике стабилизации раствора геотермальной воды в возможно короткие сроки при вводе в него кристаллической затравки.

- Приведена технологическая схема комбинированной солнечно-геотермальной системы для эффективного бесперебойного обеспечения теплом и горячей водой децентрализованных потребителей с отбором тепла сухих горных пород низкого потенциала во вторичном контуре. Изучены процессы тепломассопереноса в скважинных теплообменниках по съему тепла сухих горных пород низкого потенциала с проведением многовариантных оптимизационных расчетов и предложены режимы их эксплуатации по оптимальному съему тепла с горной породы. Получены зависимости теплосъема при различных значениях параметров системы. Можно отметить, что для извлечения тепла

сухих горных пород низкого потенциала целесообразно обеспечивать малые расходы теплоносителя. Так для глубин теплообменника H=100, 200 м наиболее оптимальным является расход воды G=0.5-0.6 кг/с, дальнейшее увеличение расхода не приводит к существенному росту тепловой мощности. Увеличение глубины теплообменника приводит и к увеличению значения оптимального расхода, так при H=400 м значение оптимального расхода может колебаться в пределах G=0.7-0.9 кг/с. Полученные результаты проведенных многовариантных расчетов дают возможность подбора оптимальных параметров исследуемой скважинно-пластовой системы.

- По результатам проведенных исследований в качестве катализатора, обеспечивающего низкотемпературное (от 5 до 40^0С) протекание процесса конверсии сероводорода с получением водорода и серы, рекомендовано использовать стружку из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т толщиной до 0,1–0,2 мм. При выборе материалов, пригодных для изготовления опытной установки низкотемпературной каталитической конверсии сероводорода с получением водорода и серы, установлено, что такие материалы как вакуумные резина и смазка, силикон, полупрозрачный тефлон, витон, поливинилхлорид, использованные в качестве соединительных коммуникаций и уплотнительных материалов, химически взаимодействуют с газообразной серой. Исключение составили латунь и нержавеющая сталь с уплотнительными материалами, выполненными из белого тефлона высокого качества, рекомендованные к использованию для изготовления установки.

- За отчетный период проведен анализ динамики развития и состояние энергетики в мире и Российской Федерации, стимулирования развития возобновляемой энергетики в Европейских странах. Основываясь на опыте этих стран и данных опроса населения, проведенного сотрудниками, предлагаются эффективные механизмы стимулирования развития возобновляемой энергетики в стране. Показано, что развитие автономной энергетики с использованием возобновляемых источников во многом будет определяться инициативой региональных и местных властей, а также частного бизнеса. Разработаны принципы многокритериальной оптимизации комбинированных схем энергоснабжения автономного потребителя на основе местных ВИЭ методом «Паук-ЦИС» диаграмм. Разработан численный метод для анализа и оптимизации параметров и режима работы энергокомплекса с максимально точным учетом графика изменения нагрузки потребителя. Для автоматизирования данного процесса разработано программное обеспечение в среде Delphi 7. Программа апробирована для оптимизации энергоснабжения конкретного автономного потребителя – среднего села, расположенного в горной части Республики

Дагестан, и апробация показывает, что для энергоснабжения автономных потребителей эффективным вариантом является энергоснабжение за счет местных ВИЭ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Фортов В.Е., Шпильрайн Э.Э. Возобновляемые источники энергии на энергетической сцене мира / Труды Межд. Конф. «Возобновляемая энерегетика: проблемы и перспективы». Т.1. 2005г. С.14-30.

2 Шпильрайн Э.Э. Возобновляемые источники энергии и их перспективы для России / Энергетика России: проблемы и перспективы: Тр. Научн. Сессии РАН. М.:Наука, 2006. С. 284-292.

3 Алхасов А.Б. Возобновляемая энергетика. М.: Физматлит. 2010. 256с.

4 Алхасов А.Б. Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технологии. М.: Физматлит, 2008.- 376 с.

5 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.

6 Попель О.С., Тарасенко А.Б. Состояние и перспективные направления развития технологий фотоэлектрических преобразователей энергии. // Материалы IX Школы молодых ученых «Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов» имени чл.-корр. РАН Э. Э. Шпильрайна. 2018. С. 4-19.

7 Алхасов А.Б., Алишаев М.Г., Алхасова Д.А., Каймаразов А.Г., Рамазанов М.М. Освоение низкопотенциального геотермального тепла. // М.:Физматлит. 2012 г. 276 с.

8 Коутс Т., Микин Д. Современные проблемы полупроводниковой фотоэнергетики. М. Мир, 1988. 365с.

9 Ariezo M. and Loferski J.J. Proc. 13 th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Washington, DC (1975), p.1290.

10 Бурмистров А. А., Виссарионов В.И., Г. В. Дерюгина и др.; Методы расчета ресурсов возобновляемых источников энергии. Под ред. В.И. Виссарионова – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 144 с.

11 Велькин В. И. Методология расчета комплексных систем ВИЭ для использования на автономных объектах. Екатеринбург: УРФУ –2015. – 226 с.

12 Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А, Малинин Н.К. Солнечная энергетика. Под ред. В.И. Виссарионова – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 276 с.

13 Бабаев Б. Д. Критерии выбора альтернативных комбинированных систем энергоснабжения // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. -2003. -Приложение N 1. - С. 49 – 50.

14 Чанг Р. Физическая химия с приложениями к биологическим системам. М.: Мир. 1989.

15 Цундер Г. Гидратация и межмолекулярное взаимодействие. М.: Мир, 1972.

16 Давыдов А.С. Квантовая механика. М.: Физматлит. 1963. 714 с.

17 Геотермальное теплохладоснабжение жилых и общественных зданий и сооружений. ВСН 56-87. Нормы проектирования. – М.: Стройиздат, 1989. – 50 с.

18 Акулинчев Б.П., Панченко А.С., Пугачева М.Ф. Водорастворенные газы Предкавказья и проблемы их использования в народном хозяйстве //Ресурсы нетрадиционного газового сырья и проблемы его освоения. Ленинград, 1990 г. С. 138-144.

19 Султанов Ю.И., Завьялов С.Ф., Бадавов Г.Б. Возможности использования горючих газов на термоводозаборе Махачкала I –Тернаир /Ежегодник: Геотермия. М.: Наука, 1991.- С. 47 – 53.

20 SanjaMrazovac, Djordje Basic. Methane-rich geothermal waters in the Pannonian Basin of Vojvodina (northern Serbia) //Geothermics, September 2009.- Volume 38.-Issue 3.- Pages 303-312.

21 Ganjdanesh, Reza; Hosseini, SeyyedAbolfazl. Potential assessment of methane and heat production from geopressured-geothermal aquifers//Geothermal Energy; Heidelberg4.1 (Nov 2016): 1-25.

22 Абдуллаев М.А., Ахмедов А.К., Магомедова Дж.Х., Хохлачев П.П. Свойства пленок $AgInSe_2$, полученных методом магнетронного распыления // Неорганические материалы. 2012. Т.48. N10. С.1114-1117.

23 Абдуллаев М.А., Амирханова Д.Х., Гаджиева Р.М., и др. Получение и исследование кристаллов и пленок $CuInSe_2$ // Неорганические материалы. 1992. Т.28. N5. С. 961-964.

24 Абдуллаев М.А., Алхасов А.Б., Магомедова Дж.Х. Получение и свойства каскадного преобразователя солнечной энергии с двумя гетеропереходами $CuInSe_2$-$AgInSe_2$-CdS // Неорганические материалы. 2014. Т.50. N3. С. 250-255.

25 Палчаева Ф.Д., Абдуллаев М.А., Магомедова Дж.Х., Хохлачев П.П. Локализация электронов в диспергированных кристаллах $AgInSe_2$ при отжиге и компенсации. Сборник трудов международной конференции «Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах», Махачкала, Россия, 2012. С.105-108.

26 Данилин Б.С. Применение низкотемпературной плазмы для нанесения тонких пленок. М. Энергоатомиздат, 1989. 328с.

27 Абдуллаев М.А., Алхасова Д.А. Получение и свойства пленок AgInS2.Юг России: Экология, развитие.2016.т.11. - N2. - С.199 -204.

28 Абдуллаев М.А., Алхасова Д.А. Оптоэлектронные свойства солнечных элементов CdS –AgInS2. Юг России: Экология, развитие.2016.т.11. -N2 -С.192 -198

29 Абдуллаев М.А., Алхасов А.Б. Солнечные элементы AgInS2 – CdS - CuInSe2 с двусторонней спектральной чувствительностью. Известия РАН. Энергетика. 2017. N 6. с.135-141.

30 Абдуллаев А.Н. Предотвращение образования отложений твердой фазы CaCO3 в скважине/Ежегодник: Геотермия. М.: Наука, 1991.- С. 81 – 84.

31 Ахмедов Г.Я. К вопросу об эксплуатации энергетических систем в условиях декарбонизации геотермальных вод //Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2013. N 28. С. 63-69.

32 Pat. US 9121259 B2, C10L3/06, C07C1/00, B01J19/00, E21B43/295, C07C7/10. Storing carbon dioxide and producing methane and geothermal energy from deep saline aquifers /Steven L. Bryant, Gary A. Pope. Pub. 01.09.2015 (режимдоступа: https: //www.google.ch/patents/US9121259)

33 Ахмедов Г.Я. К вопросу о влиянии теплопередачи на отложение твердой фазы карбоната кальция на теплообменной поверхности //Энергосбережение и водоподготовка.- 2011.- N 6.- С. 6 – 8.

34 Ахмедов Г.Я. К вопросу об использовании внутрискважинных теплообменников в геотермальной энергетике//Промышленная энергетика.- 2011.- N 9.- С. 13-17.

35 Ахмедов Г.Я. Об обеспечении работы геотермальных энергетических систем в режиме без карбонатных отложений// Альтернативная энергетика и экология.- 2014.- N13.- С. 20 – 32.

36 Ахмедов Г.Я., Курбанисмаилова А.С., Эфендиев К.А., Ахмедова Л.М. К вопросу о перспективах утилизации попутных с геотермальной водой горючих газов и режимах эксплуатации энергетического оборудования // Альтернативная энергетика и экология, 2015. N21. С.30-35.

37 Ахмедов Г.Я., Курбанисмаилова А.С. Об оценке стабильности геотермальных вод и защите оборудования от твердых отложений при утилизации попутных горючих газов // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки,2017. N 4.

38 Ахмедов Г.Я., Гаджимурадов Р.А., Камалутдинова И.А., Курбанисмаилова А.С. Об отложении твердой фазы карбоната кальция на теплообменной поверхности / Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы. Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов // Материалы V Международной конференции

«Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы» и X школы молодых ученых «Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов» имени чл.-корр. РАН Э. Э. Шпильрайна. Том 2. 23-26 октября 2017 г. / Под ред. д.т.н. Алхасова А. Б. – Махачкала: ИП Овчинников (АЛЕФ), 2017. – С. 277-282.

39 Крылов, О.В. Промышленные методы получения водорода // Катализ в промышленности. – 2007. – N 2. – С. 13-29

40 Пармон, В.Н. Сероводород как сырье для получения водорода // Журнал общей химии. – 1992. – Т.62. – N 8. – С.1703-1709.

41 Сероводород как источник получения водорода при низкой температуре: термодинамическая возможность каталитического разложения и перспектива практического использования./М.И. Ахмедов, О.В. Круглякова, А.Н. Старцев, В.Н. Пармон / X111междун. конф. «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр», Тбилиси 15-21 сентября 2014 г.

42 Ахмедов М.И., Старцев А.Н. Низкотемпературная каталитическая конверсия сероводорода и перспективы его практического использования при утилизации ВИЭ, в нефте- и газохимии. / Материалы IV Международной конференции «Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы» и VII Школы молодых ученых «Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов» им. Э.Э. Шпильрайна. Том 2. 2015. С. 249-253.

43 Ахмедов М.И. Технология очистки метанолсодержащих сточных вод нефтегазоконденсатных месторождений// Нефтяное хозяйство.N5. 2016. С. 2-4.

44 Ахмедов М.И., Бариева Д.И., Омардибиров О.М., Рабаданов Г.А. Переработка попутных вод уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения // Мат. V Межд.конф. «Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы». Т. 2, 2017. С.219-224.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ НАУЧНЫХ РАБОТ

1 Ахмедов Г.Я., Курбанисмаилова А.С. Разработка методики эксплуатации геотермальных систем при извлечении попутных газов // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2018. - N3.

2 Курбанисмаилова А.С. , Ахмедов Г.Я.,Темиров А.Т., Рабжабов Р.Г. Об особенностях защиты энергетического оборудования от солеотложения при утилизации метана из геотермальных вод // Мониторинг. Наука и технологии.- 2018. - N4. - С.69-74.

3 Алхасов А.Б., Алхасова Д.А. Теплообменники для утилизации тепла высокотемпературных геотермальных рассолов // Теплоэнергетика. - 2018.- N3. - С. 36-41.

4 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.

5 Алхасов А.Б., Алхасова Д.А. Оценка эффективности создания бинарных геотермальных энергоустановок с использованием отработанных нефтяных и газовых скважин на Юге России // Теплоэнергетика. - 2018.- N2. - С. 24-32.

6 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.

7 Алхасова Д.А., Алхасов Б.А. Освоение тепла сухих горных пород высокого энергетического потенциала // Материалы XI Школы молодых ученых «Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов» им. Э.Э. Шпильрайна. - 2018. - С.250-258.

8 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.- С. 78.

9 Алхасов А.Б., Алхасова Д.А., Алхасов Б.А., Рамазанов А.Ш., Попель О.С. Перспективные технологии освоения геотермальных ресурсов // Материалы IV

Международного Конгресса REENCON-XXI «Возобновляемая энергетика XXI век: энергетическая и экономическая эффективность».- Москва. - 2018. - С. 16-20.

10 Алхасова Д.А., Алхасов Б.А. Энергоэффективная технология освоения геотермальных ресурсов // Материалы XI Школы молодых ученых «Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов» им. Э.Э. Шпильрайна. - 2018. - С.115-118.

11 Алхасов А.Б., Алхасова Д.А., Рамазанов А.Ш. Проблемы и перспективы освоения гидрогеотермальных ресурсов Северного Кавказа // Материалы XI Школы молодых ученых «Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов» им. Э.Э. Шпильрайна. - 2018. - С.47-58.

12 Абдуллаев А.А., Рабаданов Г.А. Расчет параметров димерной ассоциации молекул воды и их зависимость от температуры // Химическая физика. - Т.37.- N3.-2018. - С.3-7.

13 Abdullaev A.A., Rabadanov G.A. Calculation of the parameters of the dimeric association of water molecules and determination of their temperature dependence // Russian Journal of Physical Chemistry B. Vol.12,No2,pp. 192-195.

14 Абдуллаев А.А. Исследование ассоциаций молекул воды с учетом влияния ядерного спина молекул // Материалы XI Школы молодых ученых «Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов» им. Э.Э. Шпильрайна. - 2018.- С. 361-364.

15 Ахмедов М.И. , Гусейнов У.М. , Омардибиров О.М. Способы разделения продуктов реакции низкотемпературной каталитической конверсии сероводорода // Материалы Междун. научно-практич. конф. и Школы молодых ученых «Химия, химические технологии и экология: наука, производство, образование».- ДГУ. - 2018.

16 Ахмедов М.И., Гусейнов У.М, Омардибиров О.М. Новая замкнутая технология гидродесульфуризации жидких углеводородов // Материалы Междун. научно-практич. конф. и Школы молодых ученых «Химия, химические технологии и экология: наука, производство, образование». - ДГУ. - 2018.

17 Бабаев Б. Д., Волшаник В. В. Программа многокритериальной оптимизации системы комплексного энергоснабжения автономного потребителя на основе местных возобновляемых энергоисточников // Возобновляемые источники энергии: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием и XI научной молодежной школы: Москва. - 2018.- С. 383 – 393.

18 Бабаев Б. Д. Программа расчета поступления возобновляемых энергоресурсов и оптимизации режимов эксплуатации энергокомплексов по динамике нагрузки потребителя // Проблемы совершенствования топливно-энергетического комплекса. Материалы XIV Международной научно-технической конференции. Том. Выпуск 9.

Издательство: Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А. Саратов: - 2018. - С. 55-60.

19 Бабаев Б. Д., Шевердиев Р. П. Расчет местных энергоресурсов и оптимизация режимов эксплуатации установок комплексной энергосистемы на их основе // Сборник статей по материалам Международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2018». Севастополь: СевГУ. - 2018. - С. 111 - 115.