

Основные научные достижения ИПГВЭ ОИВТ РАН в 2020 г.

АЛХАСОВ А.Б.



Административно-лабораторный корпус (3227м²) с прилегающим земельным участком (1.42 га)

Общее количество работников – 117

Научных работников – 80

Научных сотрудников – 56

Кандидатов наук – 25

Докторов наук – 18

НАУЧНЫЕ ЛАБОРАТОРИИ:

1. Энергетики (д.т.н., профессор Алхасов А.Б.)

2. Геотермомеханики (д.ф-м.н. Рамазанов М.М.)

3. Физико-химии термальных вод и экологии (д.х. н., профессор Рамазанов А. Ш.)

4. Теплофизики возобновляемой энергетики (д.т.н., профессор Абдулагатов И.М.)

5. Комплексного освоения возобновляемых энергоресурсов (к.т.н. Алхасова Д.А.)

6. Аккумуляции низкопотенциального тепла и солнечной энергии (к.х.н. Вердиев Н.Н.)

Темы НИР

1. Исследования по разработке технологий комплексного освоения геотермальной и других видов возобновляемой энергии (**Научный руководитель – к.т.н. Алхасова Д.А.**).

3. Создание комбинированных экологически безопасных технологий с получением ценных неорганических материалов, высококалорийных топлив и продуктов жизнеобеспечения (чистая вода) при комплексном использовании геотермальных ресурсов (**Научный руководитель – д.х.н. Рамазанов А.Ш.**).

3. Моделирование процессов тепломассопереноса и теплофизических свойств структурированных соединений в широком диапазоне состояний, включая экстремальные, присущие внешнему ядру Земли (**Научный руководитель – д.ф.-м.-н. Аливердиев А.А.**).

4. Исследование теплофизических свойств рабочих веществ при высоких температурах и давлениях, используемых в энергетических системах на основе ВИЭ (**Научный руководитель – д.т.н. Абдулагатов И.М.**).

5. Исследования по разработке технологий эффективного освоения геотермальной и сопутствующих видов энергии (**Научный руководитель - д.т.н. Алхасов А.Б.**).

6. Исследования по тепломассопереносу и их приложения в геотермии, генезис и прогноз геоэнергетических ресурсов осадочной толщи (**Научный руководитель - д.ф.-м.-н. Рамазанов М.М.**).

ТЕХНОЛОГИЯ ГИДРООЧИСТКИ ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ

Для удаления серы из жидких углеводородов (ЖУВ) в нефтегазовой отрасли используют водород, ежегодный прирост которого составляет до 4%. Водород получают паровой конверсией из метана. Разработана новая технология гидроочистки ЖУВ, где сероводород с установки гидроочистки направляют в реактор НТКК с получением серы и водорода. Полученный водород после очистки от следов сероводорода поступает на стадию гидроочистки ЖУВ. Такая технология снижает количество метана, необходимого для получения водорода, до 90 % и позволяет получать основное количество водорода из сероводорода – отхода процесса гидроочистки ЖУВ. В известной технологии конверсия сероводорода происходит по методу Клауса при температуре 1400 оС, что связано с дополнительными энергетическими затратами и загрязнением окружающей среды вредными выбросами.

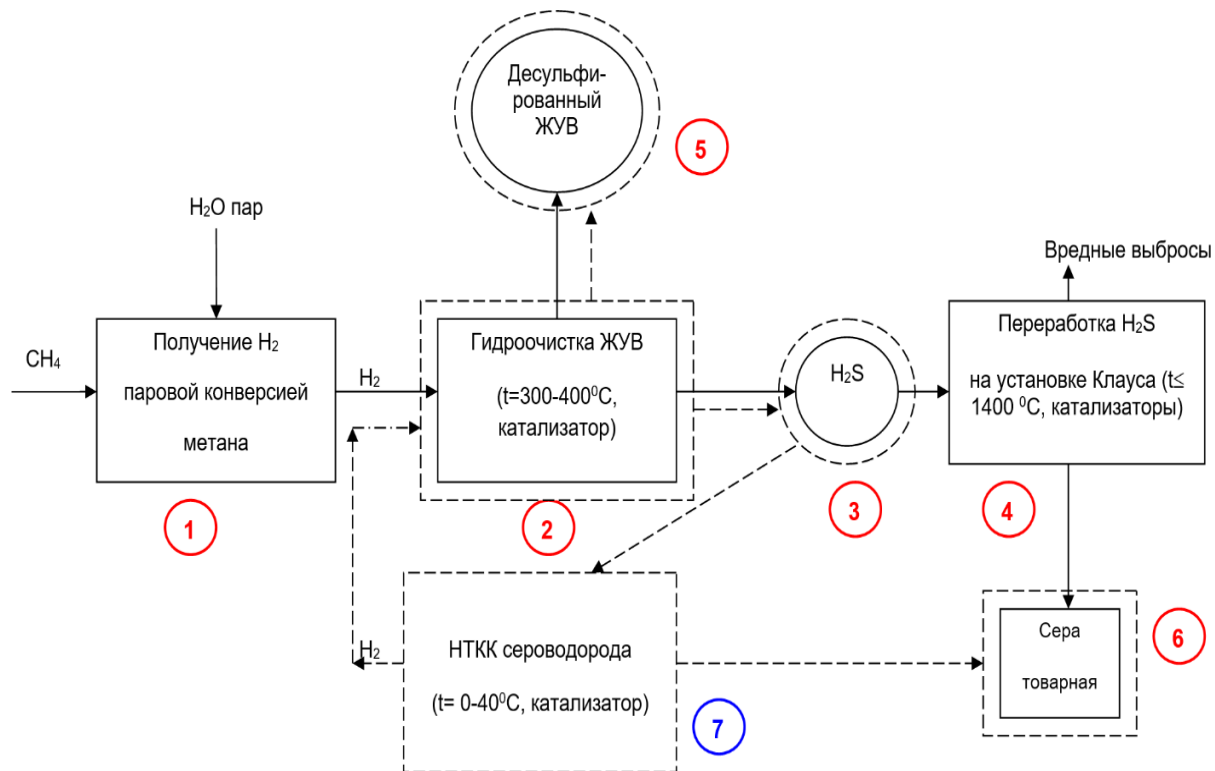
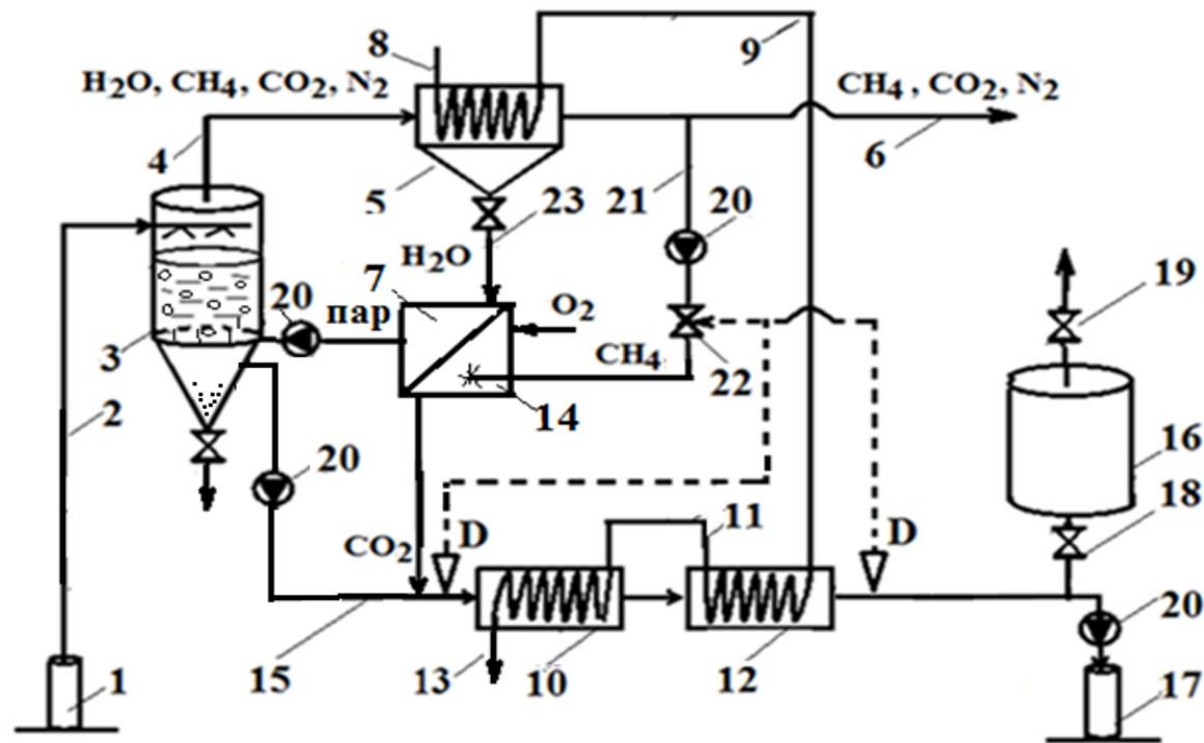


Схема гидроочистки ЖУВ по базовому (варианту и новой технологии) с использованием низкотемпературной каталитической конверсии (НТКК) сероводорода.

1-паровая конверсия метана; 2- гидроочистка жидкого углеводорода (ЖУВ); 3- сероводород; 4- переработка сероводорода методом Клауса; 5- десульфированный ЖУВ; 6- товарная сера; 7- установка по НТКК сероводорода

Лаборатория комплексного освоения возобновляемых энергоресурсов, в.н.с., к.х.н. Ахмедов М.И.

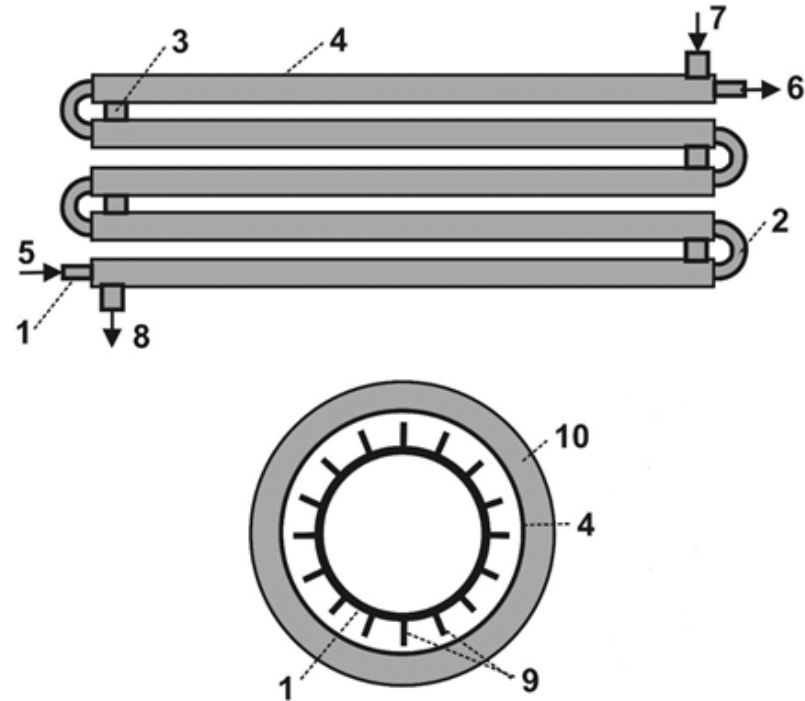
Разработана технология эксплуатации геотермальных энергетических систем без солеотложения при утилизации попутных горючих газов, в которой предусмотрена защита газоотделителя, теплообменников и скважины закачки отработавшей воды обратно в водоносный горизонт от карбонатных отложений. В разработанной схеме также предусмотрена закачка продуктов горения метана в геотермальную воду перед теплообменниками и автоматический контроль на наличие образовавшихся в теплообменниках твердых отложений карбоната кальция, что способствует работе энергетического оборудования в режиме без карбонатных отложений.



Технологическая схема по стабилизационной обработке термальной минерализованной воды
1 и 17 – добычная и нагнетательная скважины; 3 – газоотделитель; 5 – осушитель газов; 7 – парогенератор; 8 – холодная вода; 10 и 12 – теплообменники;

Повышение энергетической эффективности геотермального оборудования путем интенсификации процесса теплообмена

Для интенсификации процесса теплопередачи в геотермальных скважинных теплообменниках (СТО) предлагается продольное оребрение теплопередающей поверхности. Разработана методика расчета влияния количества и размера продольных ребер на процесс теплообмена. Расчеты показали, что оребрением поверхности можно добиться значительного увеличения теплового потока, но в то же время приводит к значительному росту перепада давления при большом количестве ребер. Сформулирован критерий оптимальности выбора числа ребер и их параметров. В качестве одного из возможных критериев принят максимум отношения приведенного теплового потока к приведенному дебиту скважины. Исследования показали, что оптимальная высота ребер колеблется от 5 до 15 мм, их число – от 16 до 32. Анализ вариантов с продольным оребрением и без оребрения показал, что массогабаритные характеристики теплообменника улучшаются при его оребрении.



Теплообменник типа «труба в трубе с продольным оребрением теплопередающей поверхности

1 – внутренняя труба; 2 – калач; 3 – патрубков; 4 – теплоизолированная наружная труба; 5 – подвод геотермального теплоносителя; 6 – отвод охлажденного теплоносителя; 7 – подвод нагреваемого теплоносителя; 8 – отвод нагретого теплоносителя; 9 – продольные ребра; 10 – теплоизоляция

Разработка комбинированной солнечной энергетической установки

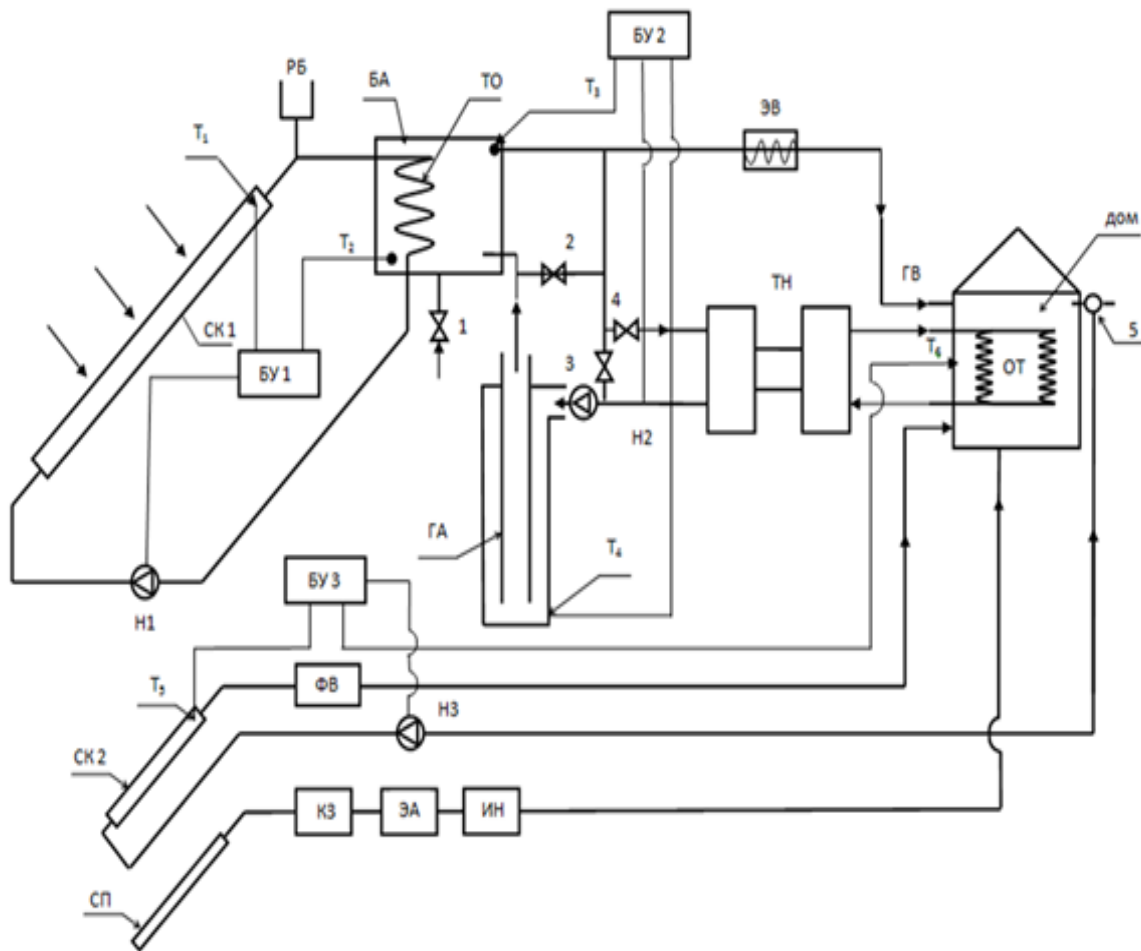


Схема солнечной установки с тепловым насосом и грунтовым аккумулятором
СК 1 - солнечные коллекторы – водонагреватели; ГА - грунтовой аккумулятор; БА - бак-аккумулятор; ТО – теплообменник; ТН - тепловой насос; ОТ – отопление; ГВ - горячее водоснабжение; ЭВ - водонагреватель – дублер; Н1 и Н2 - циркуляционные насосы; 1,2,3,4 – краны; РБ - расширительный бак; Т1, Т2, Т3, Т4, Т5, Т6 – точки измерения температур; Н3- вентилятор; 5 - воздушная заслонка; СК 2 - солнечные коллекторы – воздухонагреватели; ФВ - фильтр воздушный; КЗ - контролер заряда; ЭА - электрические аккумуляторы; ИН – инвертор; БУ 1 и БУ 2 - блоки управления; СП-солнечные фотоэлектрические панели

Одновременное использование водонагревательных и воздухонагревательных коллекторов для отопления дома является новым способом повышения экономической эффективности солнечных установок. Разработан новый солнечный воздухонагревательный коллектор, обладающий функцией преобразования солнечной энергии в тепловую и функцией аккумуляции тепла, максимально подходящий для отопления дома в зимний период года и сушки фруктовой продукции в летний период.

Лаборатория комплексного освоения возобновляемых энергоресурсов, с.н.с. Дибиров М.Г.



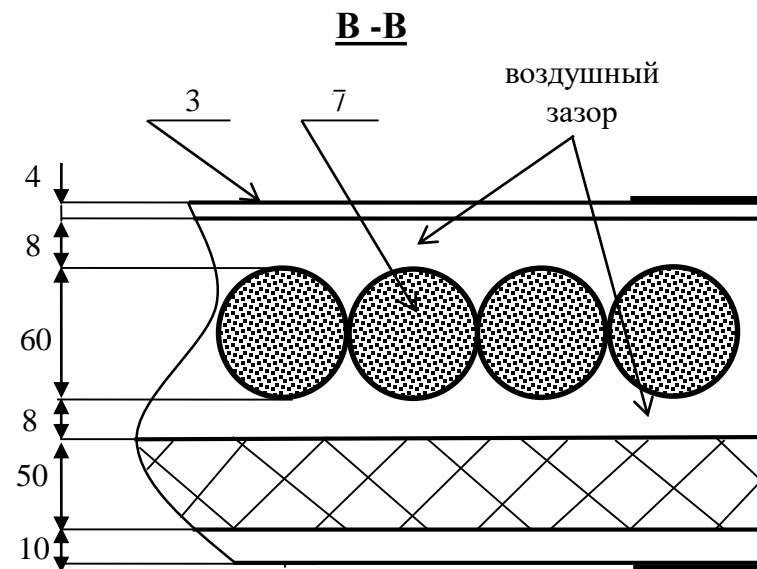
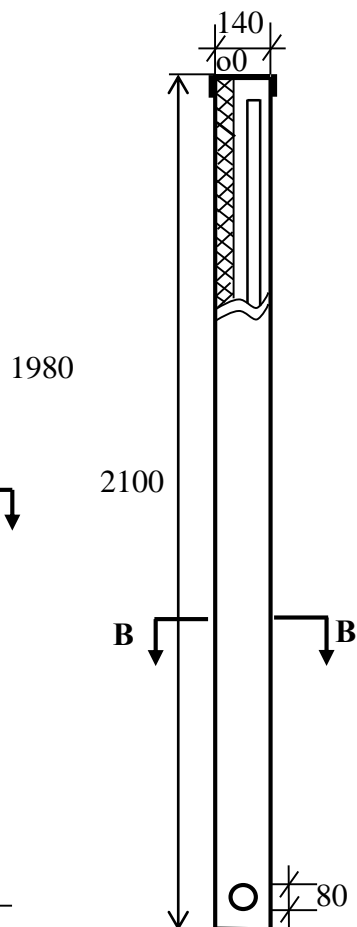
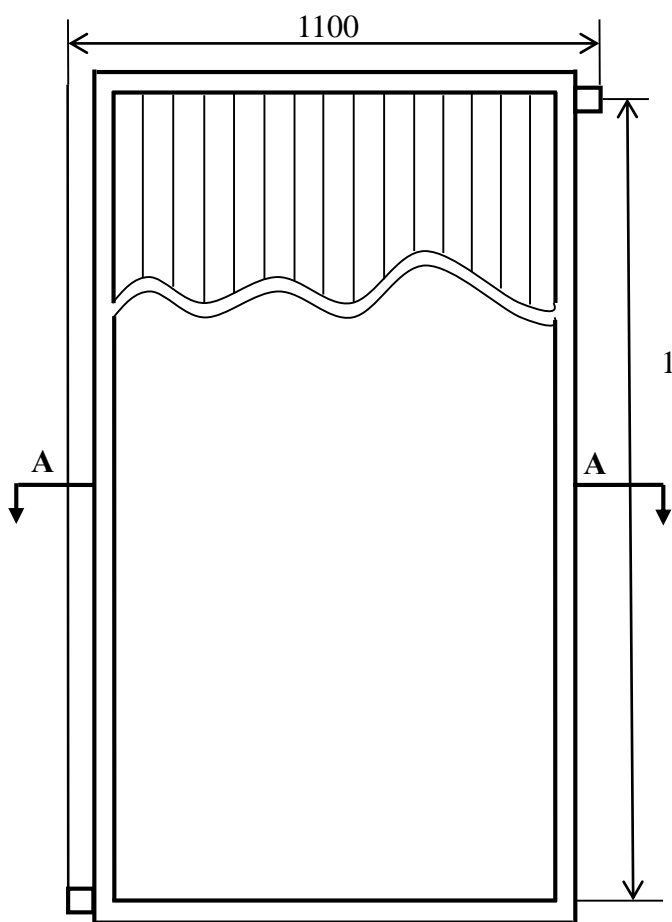
Проведены лабораторные испытания опытного образца солнечного коллектора-воздухонагревателя с фазопереходным тепловым аккумулятором.

Построена экспериментальная комбинированная солнечная энергетическая установка для теплоснабжения жилого дома в горной зоне Дагестана. Выполнены технико-экономические оценки целесообразности использования солнечных энергетических установок в климатических условиях Дагестана с разбивкой по климатическим зонам (равнина, предгорья и горы). Результаты исследований могут быть использованы при создании комбинированных энергетических установок для теплоснабжения индивидуальных жилых домов на Юге России

Общий вид приемника солнечной энергии

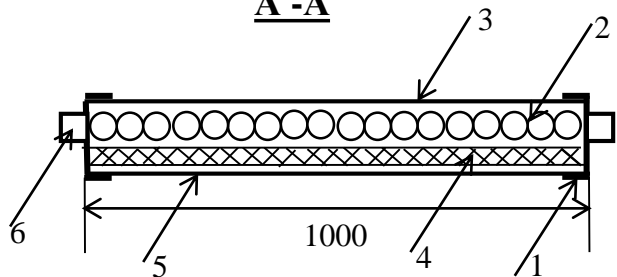
Лаборатория комплексного освоения возобновляемых энергоресурсов, с.н.с. Дибиров М.Г.

КОЛЛЕКТОР - ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЬ



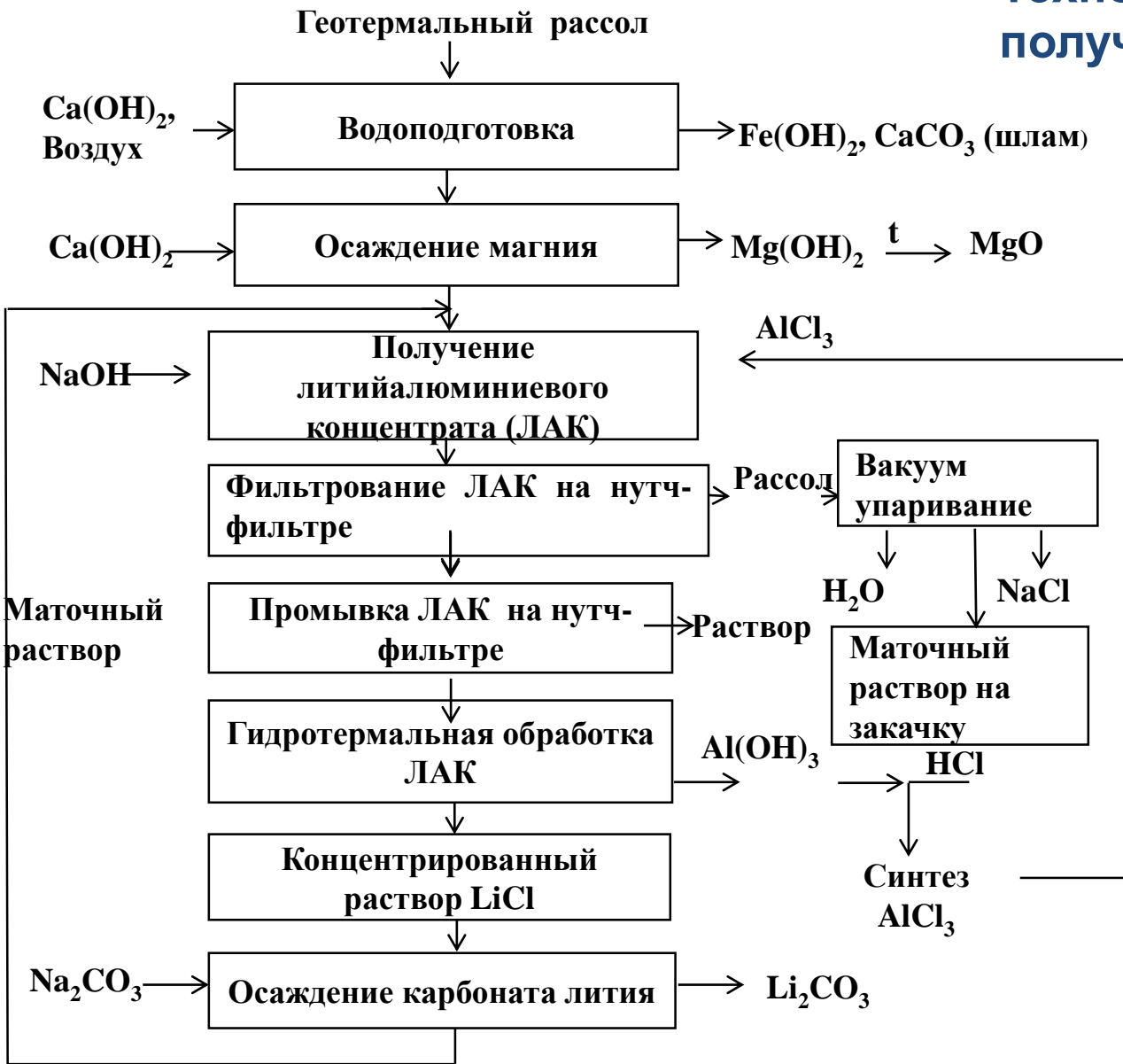
1-корпус; 2 – тепловоспринимающая панель; 3 - светопрозрачное покрытие; 4 - теплоизоляция; 5 - защита теплоизоляции; 6 - патрубки для подачи и отбора воздуха; 7 - теплоаккумулирующий состав

A-A



Теплоаккумулирующим материалом является эвтектическая смесь ацетамида (CH_3CONH_2) и стеариновой кислоты ($\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$) с температурой плавления 65°C , теплотой плавления 141 кДж/кг и теплоемкостью при 25°C (C_p) $1,351 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$.

Технологическая схема получения карбоната лития



Разработана новая технология получения карбоната лития из низкопотенциальных термальных вод. Для разделения Li^+ от макроколичеств Na^+ , Ca^{2+} и концентрирования использовали свежесозажденный Al(OH)_3 . Концентрированный раствор LiCl , полученный после десорбции с литий-алюминиевого концентрата, очищали от примесей Ca^{2+} обработкой насыщенным раствором Li_2CO_3 . Из очищенного от примесей кальция водного раствора LiCl осаждали Li_2CO_3 путем дозирования в него раствора Na_2CO_3 . Осадок карбоната лития отделяли от маточного раствора, промывали раствором Li_2CO_3 . В высушенном продукте содержание Li_2CO_3 составляет не ниже 99.6 %.

Разработана технология переработки геотермальных рассолов с получением **карбоната лития, магнeзии жженной, карбоната кальция и пищевой соли** потребность, в которых в стране достаточно высокая. Основные операции этой технологии проверены в укрупненном масштабе, получены представительные партии продуктов.

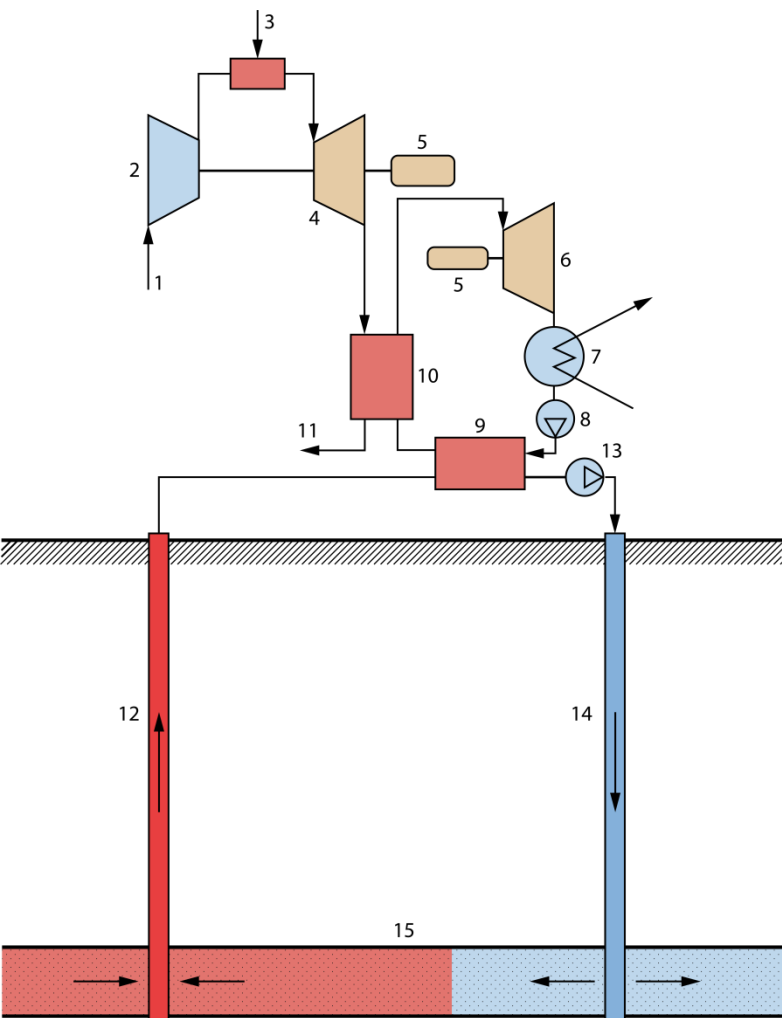
Сущность технологии заключается в следующем. Вначале исходную воду очищают от механических примесей, ионов железа, HCO_3^- -ионов, мешающих процессу селективного извлечения ценных компонентов. После операции водоподготовки геотермальная вода становится несклонной к солеотложению и коррозионно неактивной. После извлечения лития, магния и кальция геотермальная вода представляет собой рассол хлористого натрия. Важнейшей стадией технологии комплексной переработки геотермальной воды является вакуум-упаривание рассола с получением хлористого натрия (пищевой соли, технической соли), других твердых и жидких продуктов.

В России не налажено литиевое производство. Весь литий, используемый в различных отраслях, импортируется из Чили.

Берикейское месторождение литийсодержащих геотермальных вод расположено в 100 километров к югу от г. Махачкала на берегу Каспийского моря.

Полное освоение месторождения позволит производить до 2000 т/год карбоната лития, что обеспечить потребности России в литиевой продукции. Попутно будет получено: магнeзия жженная – 4850 т/год; карбонат кальция – 25000 т/год; пищевая соль – 560000 т/год.

МОДУЛЬНАЯ ГЕОТЕРМАЛЬНО-ПАРОГАЗОВАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ (ГПЭС)



Предложена технологическая схема модульной ГПЭС, состоящей из одной добычной и одной нагнетательной скважин с привязкой к Тернаирскому геотермальному месторождению (г.Махачкала). ГПЭС включает газотурбинный блок электрической мощностью 4 МВт и блок ГеоЭС мощностью 1.5 МВт.

В модульной ГПЭС первичный теплоноситель циркулирует по замкнутому контуру «геотермальный пласт – добычная скважина – теплообменник – нагнетательный насос – нагнетательная скважина – геотермальный пласт»

Исследования, проведенные на основе теплообменных, гидродинамических, фильтрационных и оптимизационных расчетов подтвердили высокую эффективность такой технологии, где удастся максимальным образом использовать тепловой потенциал термальной воды, температура отработанной воды снижается от 100 до 40 оС.

При мощности блока ГеоЭС менее 1.5 МВт первичный геотермальный циркуляционный контур может работать в режиме самоциркуляции.

На Тернаирском месторождении простаивают 8 скважин, где можно реализовать 4 модульных блока с суммарной мощностью 22 МВт.

Лаборатория энергетики, д.т.н. Алхасов А.Б.

2 - компрессор; 3-камера сгорания; 4- газовая турбина; 5- генератор; 6- паровая турбина; 7- конденсатор; 8 , 13- насосы; 9, 10 – теплообменники; 11-сброс отработанных газов; 12, 13 –скважины; 15-термальный пласт

Продолжены исследования оценки энергетического потенциала и уровня технологического развития Дагестана на длительный период, в частности, вклада геотермальных вод в общие потребности республики в энергии. Показано, что Дагестан выделяется значительными разведанными и прогнозными гидрогеотермальными ресурсами (3-7 млн.м³/сут) для производства 50-100 млн. Гкал тепла с замещением 10-20 млн. т у.т. Этого количества тепла достаточно для обогрева 2000 га теплиц.

Показано, что Дагестан обладает значительным теплоэнергетическим потенциалом для развития **солнечной и ветровой энергетики**, как в отдельности, так и в сочетании с гидро- и геотермальными ресурсами.

Наиболее благоприятными для промышленного применения **солнечной энергии** являются территории, примыкающие к горным районам с высоким уровнем инсоляции. Определены площади первоочередного освоения солнечной энергии (Ахтынский, Хунзахский, Цумадинский, Унцукульский районы).

Использование **ветроэлектрических станций (ВЭС)** может представлять интерес, прежде всего, для прибрежных территорий Каспийского моря и для населённых пунктов, расположенных на Прикаспийской низменности при условии оснащении их накопителями энергии. По многолетним данным метеостанций «Махачкала» и «Дербент» выполнено исследование по оценке изменений частотных характеристик скорости и направления ветра в Приморском Дагестане.

Проведено сравнительное исследование эффективной теплопроводности ряда образцов гранитов из различных месторождений в P - T -условиях, близких к условиям естественного залегания. Результаты хорошо согласуются с малопараметрическим эмпирическим уравнением (1), что позволило сделать вывод об общности входящих в него характеристических величин (см. рис. 1,2). Для объяснения полученных результатов о влиянии степени кристаллизации на эффективную теплопроводность проведён анализ температурно-барических зависимостей эффективной теплопроводности ряда полупроводниковых соединений фиксированного химического состава и разной степени.

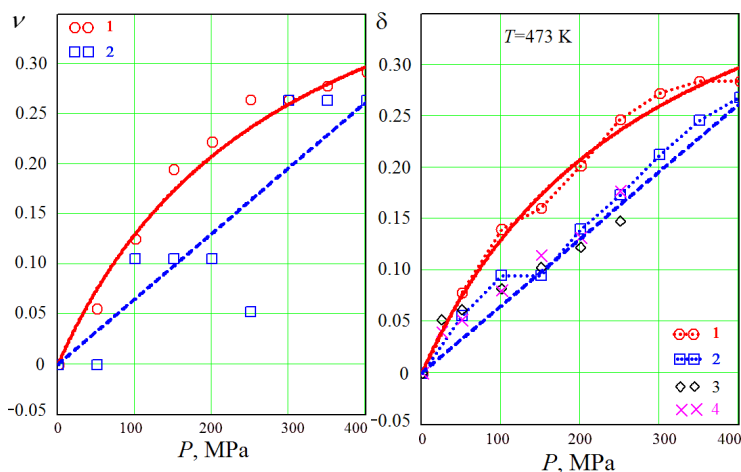


Рис. 1. $\delta_T(T) = v(T)$ для разных гранитов.

С. Н. Эмиров, А. А. Аливердиев, В. Д. Бейбалаев и др.
 // Известия РАН: серия физическая, № 9, том 84,
 2020, С. 1341-1343
S. Emirov, A. Aliverdiev, V. Beybalaev, et al. // Thermal
 Science. 2020. DOI: 10.2298/TSCI200408176E

$$\lambda(T, P) = \lambda(T_0, 0) \cdot \left(1 + \delta_{T_0}(P)\right) \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^{n_0 \cdot (1 - v(P))} \quad (1)$$

$$v(P) = 1 - \frac{n(P)}{n_0}$$

$$\delta_{T_0}(P) = \frac{\lambda(T_0, P)}{\lambda(T_0, 0)} - 1$$

} часто коррелированы, см. рис. 1-2

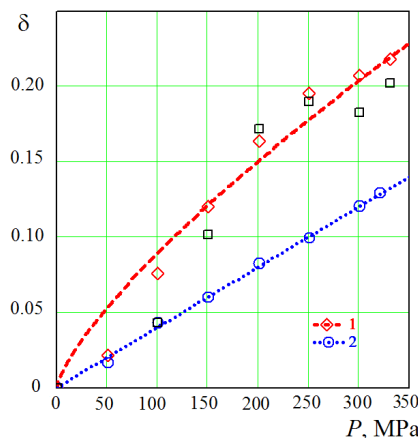


Рис. 2. Зависимость δ ($T_0=423\text{K}$) поликристаллической (1) и аморфной (2) модификаций As_2Se_3 ($\delta_{423\text{K}} \approx v$ для образца 1).

Проведён анализ температурно-барической зависимости ряда песчаников из различных месторождений, различной пористости и степени упорядоченности в том числе при наличии флюидонасыщения. На рисунке представлены данные для образцов с превалирующим кристаллическим упорядочением (1, $n_0 < 0$) и со структурой, близкой к аморфной (2 и 3, $n_0 > 0$).

Различие в упорядоченности приводит к радикальному изменению влияния совокупного повышения температуры и давления. И если при более распространённом поликристаллическом характере этим совокупным воздействием часто можно пренебречь ввиду взаимной компенсации, что отмечалось рядом авторов, то при аморфном характере зависимости, этого делать нельзя.

Можно также сделать вывод о сближении величины эффективной теплопроводности различных образцов песчаника при флюидонасыщении без существенного изменения общего характера ее температурной зависимости.

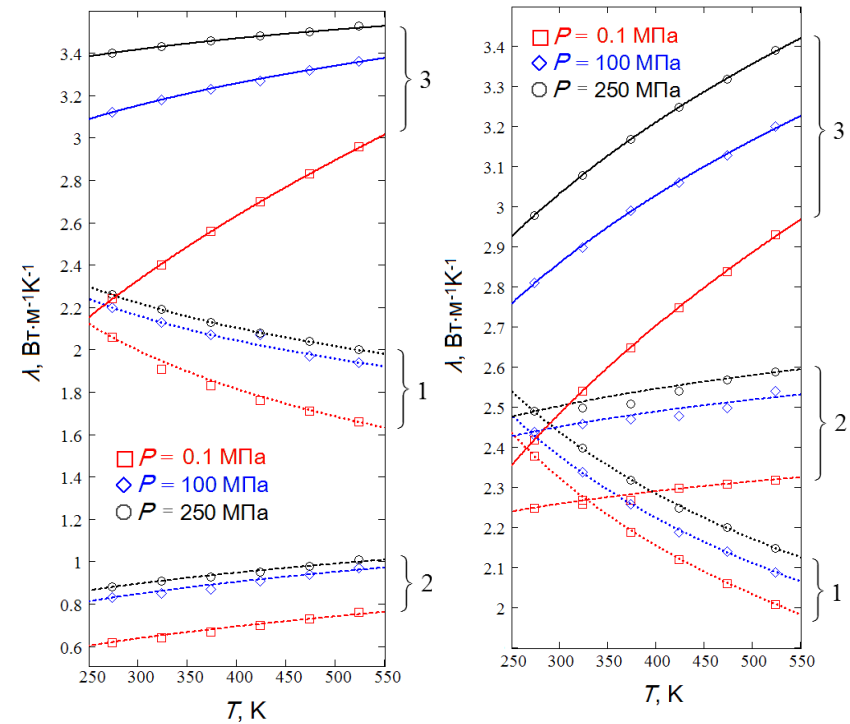


Рис. 3. Температурная зависимость эффективной теплопроводности трёх образцов (указано справа) песчаников. Справа – с водонасыщением.

Для построения надежной модели Земли и для изучения изменения свойств минералов с глубиной залегания необходимо иметь обоснованные зависимости теплофизических свойств как от давления (P), так и от температуры (T). В связи с этим разработана аналитическая методика для расчета уравнения состояния и теплофизических свойств как однокомпонентного металла, так и бинарного сплава при высоких P - T -условиях. Методика позволяет рассчитывать барические и температурные зависимости как для макрокристалла, так и для нанокристалла. Методика показала хорошее согласие с экспериментальными данными.

С помощью данной методики были впервые рассчитаны изотермические производные по давлению для коэффициента теплового расширения, для изохорной и изобарной теплоемкостей, для коэффициента Пуассона. Также впервые были рассчитаны поверхностные свойства различных кристаллов при высоких P - T -условиях: удельная поверхностная энергия, ее изохорная и изобарная производные по температуре, и изотермические производные поверхностной энергии по плотности и по давлению. Впервые были рассчитаны свойства как для различных полиморфных модификаций железа, так для тугоплавких металлов (Mo, W, Ta, V, Nb, Pt, Rh) и изотопно чистых кристаллов алмаза: C-12 и C-13.

Разработанная методика единственная в мире, которая позволяет изучить изменение свойств как при изоморфном уменьшении размера нанокристалла, так и при изомерной деформации формы его поверхности. Все эти данные позволили получить оценки вклада процесса барической фрагментации железа на границе нижней мантии и внешнего ядра Земли в генерацию теплового потока, и изучить причины жидкоподобного поведения вещества при P - T -условиях внешнего ядра Земли.

Лаборатория энергетики, г.н.с., д.ф.-м.н. Магомедов М.Н.

Проведены экспериментальные исследования и моделирование тепловых свойств геотермальных, нефте- и газонасыщенных резервуарных пород при условиях близких к реальным. Результаты экспериментальных измерений температурной и барической зависимости ключевых теплофизических характеристик пластовой среды (теплоемкость, температуропроводность и теплопроводность) будут использованы при моделировании процесса переноса тепла в геотермальной и нефте-газонасыщенных резервуарах. Эти исследования позволят оценить запасы геотермальной энергии на основе измерений теплоемкости пластового материала, производительность геотермальной пласта на основе измерений теплопроводности, оптимизировать технологические параметры процесса освоения геотермальной энергии, повысить эффективность ее добычи и контролировать сам процесс производства. Особое внимание было уделено исследованию свойств резервуарного материала (пористой среды) с целью исследования процессов закачки сверхкритического CO₂ в резервуары для хранения и повышения продуктивности нефтегазовых скважин.

Тепловые свойства резервуарных пород (теплоемкость, температуропроводность и теплопроводность) входят в систему дифференциальных уравнений, контролирующую процессы переноса тепла в резервуарах. Следовательно решения этих уравнений существенно зависят от температурного поведения тепловых свойств резервуарного материала (среды).

Результаты исследований опубликованы в Международных журналах (Q1)-J. Chem. Eng. Data; Int. J. Thermophys. Эти исследования проводятся совместно с лабораторией использования глубинного тепла Земли Монаш Университета (Австралия) Prof. Ranjith Pathegama, Университетом Бохум (Германия), Институтом Прикладных Наук (Prof. Dr. Jürgen Bock). Лаборатория тесно сотрудничает с ВНИИГаз (чл.- корр. РАН Григорьев Б.А.) по изучению тепловых свойств резервуарных пород, насыщенных тяжелыми углеводородами при высоких давлениях и температурах. Цель этих исследований - повышения нефтеотдачи скважин теплофизическими методами, изучения механизма переноса тепла в нефтеносных резервуарах с целью повышения эффективности технологии вытеснения тяжелых углеводородов и контроля процессом вытеснения.

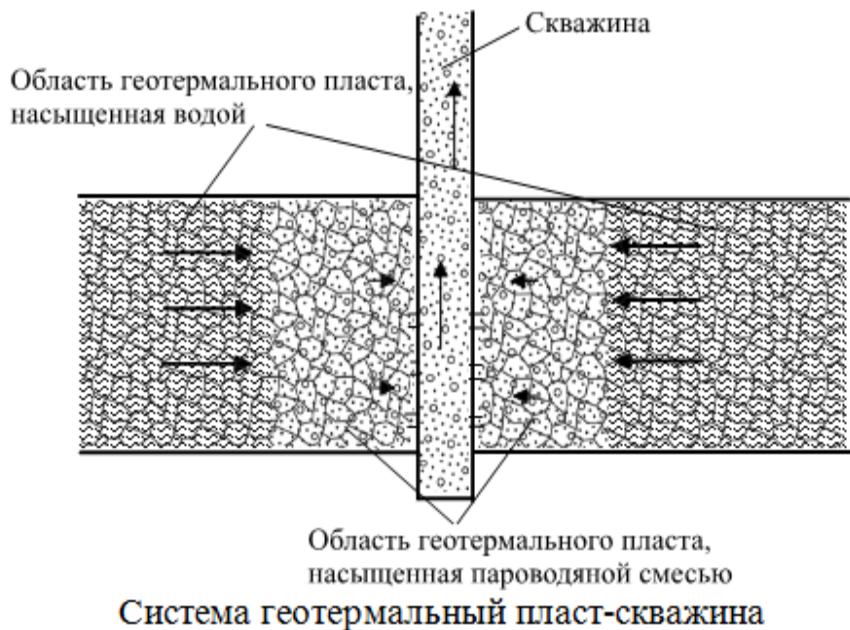
Лаборатория теплофизики возобновляемой энергетики, д.т.н. Абдулагатов И. М.

Проведены экспериментальные исследования теплоемкости, PVT свойств и давления насыщенных паров основных компонентов биотоплива (метил деканоат и метил каприлата), полученных из растительного сырья в широком диапазоне температур (от комнатной до температуры термического разложения) в одно и двухфазном состояниях. Состав биотоплив, полученных из разных типов растительного сырья разный (по концентрации), хотя ключевые компоненты одни и те же, но свойства их разные. Поскольку исследовать свойства всех биотоплив, полученных из разного растительного сырья не практично, то цель этих исследований разработка суррогатной модели биотоплива, полученного из любого растительного сырья зная свойства его основных компонентов и их концентрацию. Эти исследования проводятся совместно с Университетом Катовицы (Польша). Имеются совместные публикации в журналах Q1 (Fuel, Fluid Phase Equilibria)

Получена теплопроводность песчаника, насыщенного CO_2 , в критической области CO_2 в зависимости от давления вдоль изотермы 304.15 К. В нашем эксперименте СК CO_2 , заключенный в порах, не имеет критического увеличения (разрыва) из-за ограниченного размера пор. Это означает, что теплопроводность замкнутых в поре жидкостей вблизи критической точки не стремится к бесконечности, как в случае объемного СК CO_2 , а остается конечной

**Лаборатория теплофизики возобновляемой энергетики, д.т.н.
Абдулагатов И. М.**

Исследование тепломассопереноса при течении пароводяной смеси в системе геотермальный пласт – скважина



Предполагается, что при добыче высокотемпературных геотермальных вод глубокого залегания образование двухфазного потока происходит в стволе добычной скважины по мере падения давления. Но это не всегда так, фазовый переход нередко происходит и в пласте. Предложена математическая модель, описывающая связанные процессы тепломассопереноса в пласте вокруг добычной скважины и в стволе самой скважины. При этом предполагается, что парообразование начинается уже в пласте. Для характерных значений входных параметров численно разностным методом изучены закономерности распределения истинного объемного и массового расходного паросодержания, а также давления и температуры в пласте и скважине. Исследована зависимость полученных результатов от конкретного вида фазовых проницаемостей воды и пара в пласте. Сравнение результатов для линейной и нелинейной фазовых проницаемостей показывает в целом удовлетворительное согласие.

Получено, что падение давления на забое скважины в результате ее эксплуатации приводит к падению температуры, а это в свою очередь при интенсивном извлечении теплоносителя приводит к образованию теплового пограничного слоя. В результате наряду с конвективной составляющей, существенная часть тепла переходит из пласта в скважину путем теплопроводности, что приводит к дополнительному парообразованию в скважине в области забоя, и соответственно к тому, что массовое объемное паросодержание скачком увеличивается. Затем объёмное, а также расходное массовое паросодержания почти линейно растут в стволе скважины от забоя до устья из-за падения давления насыщения (увеличения удельного объема пара).

Лаборатория геотермомеханики, д.ф.м.н., Рамазанов М.М.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ
И ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ
И ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ
И ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ
И ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ
И ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ
И ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ



ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Материалы VII Международной конференции

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

Материалы XII Школы молодых ученых
«Актуальные проблемы освоения возобновляемых
энергоресурсов» имени Э.Э. Шенгерайца

Выпуск 8

Минский 2020

ПУБЛИКАЦИИ

Общее количество работ, индексируемые в международных и российских информационно-аналитических системах научного цитирования – **96.**

из них:

в базах цитирования – **Web of Science, Scopus – 38.**

Q1 – 15

Q2 – 5

Q3 – 16

Q4 – 2

статьи в журналах из списка ВАК – **14.**

доклады в трудах конференций, симпозиумов – **44.**

патенты – **3.**

Спасибо за внимание