

**Информация о проекте, выполняемом в рамках
ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития
научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»**

Номер Соглашения о предоставлении субсидии: №14.574.21.0129 от 28 ноября 2014г.

Тема: «Разработка экологически чистой технологии производства тепловой энергии и создание опытного образца теплового генератора, работающего за счет энергии сжатого газа в системе сбора скважинной продукции на месторождениях углеводородов».

Приоритетное направление: Рациональное природопользование

Критическая технология: 20. Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии

Период выполнения: 28.11.2014г.-30.12.2016 г.

Исполнитель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина

Индустриальный партнер: ООО "НПК "РАНКО"

Ключевые слова: тепловая энергия, тепловой генератор, энергия сжатого газа, месторождения углеводородов

Научный руководитель: Мохов Михаил Альбертович

1. Цель прикладного научного исследования и экспериментальной разработки

1) Разработка комплекса научно-технических решений производства тепловой энергии, полученной за счет энергии сжатого газа в системе сбора скважинной продукции на месторождениях углеводородов.

2) Разработка экспериментального образца генератора тепловой энергии (далее ЭО ГТЭ), работающего за счет энергии сжатого газа в системе сбора скважинной продукции на месторождениях углеводородов.

2. Основные результаты по проекту

В ходе выполнения ПНИ должны быть получены следующие научно-технические результаты:

2.1 Промежуточные и заключительный отчеты о ПНИ, содержащие:

- а) анализ научно-технической литературы, нормативно-технической документации и других материалов, относящихся к разрабатываемой теме;
- б) обоснование выбора направления исследований;
- в) результаты теоретических и экспериментальных исследований;
- г) результаты компьютерного моделирования рабочих процессов преобразования энергии сжатого газа в тепловую энергию в системе сбора скважинной продукции на месторождениях углеводородов;

д) результаты реализации технических решений в ЭО ГТЭ, работающего за счет энергии сжатого газа в система сбора скважинной продукции на месторождениях углеводородов;

е) обобщение и выводы по результатам ПНИ.

2.2 Отчет о патентных исследованиях, оформленный в соответствии с ГОСТ Р 15.011-96.

2.3 Комплекс научно-технических решений производства тепловой энергии, полученной за счет энергии сжатого газа в системе сбора скважинной продукции на месторождениях углеводородов, в том числе:

2.3.1 Математическая модель преобразования энергии сжатого газа в гидравлическую для циркуляции жидкости в замкнутом пространстве.

2.3.2 Алгоритм расчета технических параметров преобразования энергии сжатого газа в системе сбора скважинной продукции на месторождениях углеводородов.

2.4 Программа и методики экспериментальных исследований ЭО ГТЭ.

2.5 Эскизная конструкторская документация на ЭО ГТЭ.

2.6 Программная документация на ЭО ГТЭ.

2.7 Техническая документация на исследовательский стенд.

2.8 Экспериментальный образец генератора тепловой энергии (ЭО ГТЭ).

2.9 Исследовательский стенд для исследований ЭО ГТЭ.

2.10 Методика производства тепловой энергии с применением теплового генератора, работающего за счет энергии сжатого газа в системе сбора скважинной продукции на месторождениях углеводородов.

2.11 Технико-экономическая оценка рыночного потенциала полученных результатов.

2.12 Технические требования и предложения по разработке, производству и эксплуатации продукции с учетом технологических возможностей и особенностей промышленного партнера - организации реального сектора экономики.

2.13 Проект технического задания на проведение ОКР по теме: «Разработка экологически чистого теплового генератора, работающего за счет энергии сжатого газа в системе сбора скважинной продукции на месторождениях углеводородов».

В 2014 году были проведены следующие работы

1. Выполнен аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей научно-техническую проблему, исследуемую в рамках ПНИ. Одним из направлений развития энергетического комплекса страны является создание высокоэффективных компактных энергоустановок, преобразующих с минимальными потерями энергию источников различных видов в тепловую энергию. При этом они должны соответствовать самым жестким требованиям к вредным выбросам в окружающую среду. В результате сравнительного анализа было сделано заключение об уникальности термодинамических параметров газопаровых теплоносителей (смесей продуктов сгорания газового топлива и водяного пара). Газопаровые смеси (ГПС) могут вырабатываться с температурой до 800 °С при атмосферном давлении. Отсутствие поверхности теплообмена в генераторах ГПС позволяет использовать водопроводную воду, а также обеспечивает КПД порядка 99,5% даже в условиях невозврата конденсата. В то же время КПД паровых котлов и парогенераторов достигает паспортных значений 90÷95% только при условии возврата конденсата на подпитку. Критериальное обоснование

энергетической эффективности генераторов газопаровых теплоносителей показывает, что помимо высокого энергетического КПД теплотехнологических процессов за счет снижения расхода топлива и температуры уходящих газов, генераторы ГПС характеризуются меньшей массой и отсутствием расхода химически очищенной воды.

Вопросы преобразования энергии в потоке газожидкостных смесей и жидкостей рассмотрены в ряде работ, где тепловая энергия составляет значительную часть в балансе мощности, в том числе при импульсном режиме движения жидкости и газа. Струйные аппараты и струйные насосные системы на отдельных режимах функционируют как тепловые генераторы.

Особый научный и практический интерес в рамках рассматриваемой темы ПНИ представляют многопоточные гидравлические машины, где расширены возможности для регулирования гидравлической системы в целом. Интерес к изучению и практическому использованию эжекторов обусловлен уникальными свойствами этого оборудования. Обычно упоминают малые габаритные размеры и отсутствие подвижных деталей у эжектора. В нефтяной промышленности проявляется особенно ярко способность эжектора перекачивать и жидкость, и газ, и газожидкостные смеси. Но есть еще одно уникальное свойство у эжектора, которое пока остается недостаточно изученным. Один специальный эжектор способен выполнять функции двух или трех эжекторов, или струйных насосов. Теоретически показано, что это число может кратно увеличиваться, например от двух до двенадцати. При использовании эжекторов в технологическую систему добавляют дополнительные силовые насосы для перекачки рабочей жидкости и подачи этой жидкости в сопло эжектора. Также в гидравлической системе могут использовать сепараторы для подготовки рабочей жидкости. В первую очередь анализировали работу эжектора в режиме струйного насоса, вместе с тем четко просматривается и перспективное направление работ по тепловым генераторам.

2. Проведены патентные исследования в соответствии с ГОСТ Р 15.011-96. Глубина поиска составила 20 лет – с 1994 по 2014гг. для зарубежных запатентованных технических решений и 40 лет – с 1974 по 2014гг. для российских патентных документов и документов СССР (для целей ретроспективы приведены и более старые патентные документы - показатели уровня техники определенного периода). По результатам поиска рассмотрены прежде всего теплогенераторы динамического типа, в которых механическая активация рабочего тела происходит в результате воздействия на жидкость вращающихся подвижных активирующих элементов генератора. Уделено внимание как теплогенераторам фрикционного типа, в которых тепло возникает от сил трения, так и совершенствующимся конструкциям роторных генераторов, использующих для получения тепла вихревые процессы и процессы кавитации рабочего тела.

По исследуемым объектам просмотрен патентный массив в объеме более 900 документов. Из них отобраны 45 документов с описаниями объектов, наиболее близкими к предмету поиска.

В 2015 году были проведены следующие работы:

1. Выполнены выбор и обоснование направления исследований производства тепловой энергии, полученной за счет энергии сжатого газа в системе сбора скважинной продукции на месторождениях углеводородов.

В общем случае в составе теплового генератора следует рассматривать три основные подсистемы: газовая турбина, трансмиссия, гидравлическая машина. Задача по созданию нового теплового генератора носит междисциплинарный характер, поскольку необходимо совместно и в единой системе рассматривать вопросы технологии добычи, сбора и подготовки нефти и газа, вопросы создания машин и оборудования для нефтяной и газовой промышленности, вопросы технологии машиностроения. Кроме того в такой перечень следует включить отдельные вопросы проектирования турбомашин, вопросы проектирования насосов, вопросы проектирования тепловых машин, теоретические вопросы по гидродинамике и газовой динамике.

Для выбора направления исследований была выделена главная проблема, без решения которой нельзя говорить о практическом использовании альтернативных источников тепловой энергии. Главная проблема – высокие удельные капитальные вложения при использовании альтернативных источников тепловой энергии. Выбираемое направление исследований должно быть нацелено на решение этой главной проблемы.

При выборе направления исследований учтены следующие аспекты: тип используемых машин, уровень КПД применяемых машин, масштабность производства разрабатываемого изделия, технологии для изготовления деталей и узлов, вопросы экологической безопасности, уровень инноваций при производстве изделия, а также доступность применяемых технических решений.

2. Проведены теоретические исследования рабочих процессов производства тепловой энергии за счет энергии сжатого газа в системе сбора скважинной продукции на месторождениях углеводородов.

В рамках теоретических исследований используем основное уравнение турбин, выведенное Леонардом Эйлером. Теоретические исследования проведены с учетом возможностей активных и реактивных турбин. В активной ступени турбины расширение газа осуществляется только в соплах. Тепловой перепад ступени переходит в кинетическую энергию полностью в соплах. На рабочих лопатках происходит лишь преобразование кинетической энергии в механическую работу. У реактивной ступени с избыточным давлением в соплах и каналах рабочих лопаток происходит расширение потока. Отмечено, что в современных турбинах широко применяются ступени с различной степенью реакции, занимающие промежуточное положение между случаями чисто активной и реактивной ступени. Отмечено, что вентиляционные потери возникают в ступенях с парциальным подводом газа, при котором в рабочие каналы периодически поступает направленный поток. Когда направленный поток выходит из каналов, газ, находящийся в зазоре, засасывается рабочим колесом и колесо работает как вентилятор. Снизить вентиляционные потери можно закрыв рабочие лопатки защитным кожухом по дуге между сегментами сопл.

3. Разработан комплекс научно-технических решений производства тепло-

вой энергии, полученной за счет энергии сжатого газа в системе сбора скважинной продукции на месторождениях углеводородов, в том числе:

3.1 Разработана математическая модель преобразования энергии сжатого газа в гидравлическую энергию для циркуляции жидкости в замкнутом пространстве.

3.2 Разработан алгоритм расчета технических параметров преобразования энергии сжатого газа в системе сбора скважинной продукции на месторождениях углеводородов.

4. Проведено компьютерное моделирование рабочих процессов преобразования энергии сжатого газа в тепловую энергию в системе сбора скважинной продукции на месторождениях углеводородов.

Изучено влияние конструктивных особенностей новой турбины, получены результаты расчета для различных значений угла наклона лопатки на выходе, β_2 (варианты с углом β_2 - 30; 45; 60; 75; 90; 120 и 150 градусов). С увеличением угла β_2 наблюдается рост КПД и мощности системы в целом. Рассмотрены примеры с различными значениями давления газа на входе в турбину 5 МПа (а также варианты 4 МПа и 3 МПа). Увеличение давления способствует росту крутящего момента, частоты вращения и, соответственно, мощности теплового генератора.

В работе представлены результаты компьютерного моделирования с учетом влияния массового расхода газа. С увеличением расхода газа растет мощность при сохранении уровня частоты вращения ротора. Также были получены результаты компьютерного моделирования с учетом влияния радиуса ротора турбины. Уменьшение радиуса ротора приводит к снижению крутящего момента, к увеличению частоты вращения ротора при сохранении уровня мощности. Результаты компьютерного моделирования, разработанные алгоритмы используются для оптимизации работ при эскизном проектировании и при создании образца теплового генератора.

5. Разработана Программа и методики экспериментальных исследований ЭО ГТЭ.

Наименование и обозначение опытного образца продукции: экспериментальный образец генератора тепловой энергии, обозначение установки – ЭО ГТЭ. Объект испытаний предъявляется на испытания в следующей комплектности: объект испытаний; комплект эксплуатационной документации.

Объект испытаний предъявляется на испытания в сопровождении следующих документов:

- ТЗ;
- комплект ТД;
- программа и методика испытаний;
- нормативная документация, указанная в программе и методике испытаний;
- типовые стандартизированные методики испытаний (при необходимости);
- отчёт о патентных исследованиях;
- акт технической готовности объекта испытаний.

Испытания проводятся на базе Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина.

6. Разработана техническая документация, отражающая экспериментальную реализацию разработанных технических решений, в соответствии с п. 6.1.3 ТЗ, включающая:

- Эскизную конструкторскую документацию на ЭО ГТЭ в составе:

- 1) схема гидравлическая в соответствии с ГОСТ 2.701-84;
- 2) чертёж общего вида в соответствии с ГОСТ 2.102-68.

- Программную документацию на ЭО ГТЭ:

- 1) текст программы по ГОСТ 19.401-78;
- 2) описание программы по ГОСТ 19.402-78;
- 3) описание применения в соответствии с ГОСТ 19.502-78.

- Техническую документацию на исследовательский стенд в составе:

- 1) схема функциональная;
- 2) схема электрическая соединений и подключения в соответствии с ГОСТ 2.701-84;
- 3) схема гидравлическая и пневматическая соединений и подключения в соответствии с ГОСТ 2.701-84;
- 4) инструкция по эксплуатации;
- 5) формуляр в соответствии с ГОСТ 2.601-2006 и ГОСТ 2.610-2006.

В 2016 году были проведены следующие работы

- 1) Проведено обобщение результатов исследований.

При выполнении прикладных научных исследований решены поставленные задачи и достигнуты две основные цели: 1 - разработан комплекс научно-технических решений производства тепловой энергии, полученной за счет энергии сжатого газа в системе сбора скважинной продукции на месторождениях углеводородов; 2 - разработан экспериментальный образец генератора тепловой энергии, работающего за счет энергии сжатого газа в системе сбора скважинной продукции на месторождениях углеводородов. Новизна разработанных технических решений подкреплена патентами: № 160243; № 160267; № 163491; заявка на полезную модель № 2016121710, 01.06.2016. - решение о выдаче патента от 19.09.2016; заявка на полезную модель 2016121709 от 01.06.2016 – стадия рассмотрения в ФИПС – экспертиза по существу.

- 2) Проверены результаты ПНИ на соответствие требованиям ТЗ.

Выполнена проверка результатов ПНИ на соответствие требованиям ТЗ. В ходе выполнения прикладных научных исследований выполнен анализ современной научно-технической литературы, подготовлен отчет по патентным исследованиям. Выполнен выбор направления исследований, при этом отмечена главная проблема, связанная с высокими удельными капитальными вложениями при использовании альтернативных источников тепловой энергии. Разработана эскизная конструкторская документация на ЭО ГТЭ и на стендовую установку. Проведены экспериментальные исследования. Выполнены работы по подготовке заявок на охраняемые документы (патенты, свидетельства). Выполнено обобщение результатов исследований. Выполнена проверка результатов ПНИ на соответствие требованиям ТЗ. Проведено сопоставление анализа научно-информационных источников и ре-

зультатов теоретических и экспериментальных исследований. Выполнена разработка проекта технического задания на проведение ОКР по теме «Разработка экологически чистого теплового генератора, работающего за счет энергии сжатого газа в системе сбора скважинной продукции на месторождениях углеводородов». Проведены маркетинговые исследования с целью изучения перспектив коммерциализации РИД, полученных при выполнении ПНИ. Выполненная проверка показала на полное соответствие результатов ПНИ требованиям ТЗ.

3) Сопоставлен анализ научно-информационных источников и результатов теоретических и экспериментальных исследований.

4) Проведена технико-экономическая оценка рыночного потенциала полученных результатов.

5) Разработаны технические требования и предложения по созданию, производству и эксплуатации продукции с учетом технологических возможностей и особенностей индустриального партнера – организации реального сектора экономики.

Разработаны технические требования и предложения по созданию, производству и эксплуатации продукции с учетом технологических возможностей, и особенностей индустриального партнера – организации реального сектора экономики. Индустриальный партнер имеет широкие возможности в сфере трубопроводного транспорта газа и других углеводородов на предприятиях нефтяного и газового сектора экономики. Разработанный в рамках ПНИ тепловой генератор предназначен для преобразования энергии сжатого газа в тепловую энергию. Подготовлен перечень основных технических требований к подобной технике. Разработанные технические решения должны обеспечить повышение эффективности устройства для нагрева теплоносителя при использовании теплоносителя, плотность и состав которого может изменяться в процессе работы, в том числе при использовании газожидкостных смесей в качестве теплоносителя. Достигнут технический результат, создана конструкция устройства, с возможностями для бесступенчатого регулирования крутящего момента на валу турбины и насоса, с обеспечением условий для оптимального режима работы турбины. Работы в этом направлении целесообразно активнее развивать, для более полного раскрытия технического потенциала подобных машин, отдельные результаты проделанной работы могут быть использованы для решения практических задач в других отраслях производства, это к примеру энергетика, транспорт, робототехника, а подобные задачи в настоящее время также могут представлять коммерческий интерес для индустриального партнера.

6) Разработан проект технического задания на проведение ОКР по теме: «Разработка экологически чистого теплового генератора, работающего за счет энергии сжатого газа в системе сбора скважинной продукции на месторождениях углеводородов».

3. Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках прикладного научного исследования и экспериментальной разработки

1) Патент на полезную модель №160243 от 15.02.2016 "Устройство для нагрева теплоносителя", РФ;

- 2) Патент на полезную модель №160267 от 16.02.2016 "Магнитная муфта", РФ;
- 3) Патент на полезную модель №163491 от 04.07.2016 "Ротор лопаточных машин", РФ.
- 4) Заявка на полезную модель №2016121706 от 01.06.2016 "Устройство для нагрева теплоносителя", РФ;
- 5) Заявка на полезную модель №2016121710 от 01.06.2016 "Магнитная муфта", РФ.

4. Назначение и область применения результатов проекта

Разрабатываемый комплекс научно-технических решений экологически чистой тепловой энергии, полученной за счет энергии сжатого газа, предназначен для создания новых тепловых энергетических установок на месторождениях углеводородов.

Основная область применения результатов ПНИ связана с разработкой месторождений углеводородов в природоохраненных регионах, где использование новой технологии и тепловых генераторов позволит создать эффективную и экологически чистую систему добычи, сбора и подготовки углеводородного сырья. Также результаты ПНИ позволят снизить расходы на капитальное строительство и на эксплуатацию генерирующих производств.

5. Эффекты от внедрения результатов проекта

Внедрение в эксплуатацию новых технологий и техники для энергоэффективного производства тепловой энергии приведет к повышению эффективности добычи нефти и газа (в том числе в экстремальных климатических условиях):

- за счет снижения потребления энергии (не менее, чем на 20%),
- за счет снижения эксплуатационных расходов (не менее, чем на 50%),
- за счет снижения капитальных затрат при размещении технологического оборудования (не менее чем на 50%).