

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

Номер Соглашения о предоставлении субсидии: №14.577.21.0132 от 31.10.2014 г.

Тема: «Разработка эффективного способа добычи нефти с использованием энергии многофазных потоков и создание экспериментального образца силового блока для автономных технологических объектов (платформ) в Арктической и шельфовой зонах».

Приоритетное направление: Рациональное природопользование

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

Период выполнения: 31.10.2014 г.-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: Открытого акционерного общества "Татойлгаз"

Ключевые слова: добыча нефти; производство и преобразование энергии; многофазные потоки; экспериментальной образец; Арктическая и шельфовая зоны

Научный руководитель: Сазонов Юрий Апполоньевич

1. Цель прикладного научного исследования и экспериментальной разработки

1) Исследование и разработка комплекса научно-технических и технологических решений, направленных на создание эффективного способа добычи нефти с использованием энергии многофазных потоков с переменной плотностью для Арктических регионов.

2) Создание экспериментального образца силового блока для подготовки и перекачки нефти с автономных технологических объектов (платформ) в Арктической и шельфовой зонах.

2. Основные результаты проекта

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) обобщение и выводы по результатам ПНИ.

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

2.3 Технические и технологические принципы производства и преобразования кинетической энергии в многофазных средах с переменной плотностью:

2.3.1 экспериментальный образец силового блока для производства и преобразования кинетической энергии в многофазных средах при добыче нефти с автономных технологических объектов;

2.3.2 экспериментальный образец стендовой установки для подготовки и перекачки нефти с автономных технологических объектов;

2.3.3 лабораторный технологический регламент на технологию добычи нефти с использованием энергии многофазных потоков;

2.3.4 лабораторный технологический регламент получения газожидкостной смеси.

2.4 Результаты исследования и оптимизации рабочих процессов производства и преобразования энергии при движении многофазных сред в многопоточной системе добычи и подготовки нефти и газа.

2.5 Программа для ЭВМ по оптимизации технологических параметров работы стендовой установки для подготовки и перекачки нефти с автономных технологических объектов.

2.6 Программа для ЭВМ по оптимизации технологических параметров работы силового блока для производства и преобразования кинетической энергии в многофазных средах при добыче нефти с автономных технологических объектов.

2.7 Эскизная конструкторская документация на экспериментальный образец силового блока для производства и преобразования кинетической энергии в многофазных средах при добыче нефти с автономных технологических объектов.

2.8 Эскизная конструкторская документация на стендовую установку для подготовки и перекачки нефти с автономных технологических объектов

2.9 Методические рекомендации по подбору параметров силового блока с учетом режима работы технологической системы при добыче и подготовке нефти, газа и воды.

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

2.11 Технико-экономическая оценка рыночного потенциала полученных результатов.

2.12 Проект технического задания на проведение ОТР по теме: Разработка энергоэффективной технологии и многопоточной турбинной системы для добычи нефти с использованием энергии многофазных потоков для автономных технологических объектов (платформ) в Арктической и шельфовой зонах.

В 2014 году проведены следующие исследования:

1. Подготовлен аналитический обзор современной научно-технической литературы, затрагивающей научно-техническую проблему, исследуемую в рамках проекта. Обзор научно-технической информации позволил сделать промежуточные выводы о перспективности применения активных турбин и динамических (центробежных) сепараторов для решения поставленных задач ПНИ. Вместе с тем,

вопросы о работе активных турбин на газожидкостных смесях изучены слабо, а особенности работы динамического сепаратора в сочетании с активной многопоточной турбиной не рассмотрены и остаются пока неизученными.

2. Проведены патентные исследования по технологии и технике для добычи углеводородов, в соответствии ГОСТ Р 15.011-96. По исследуемым объектам просмотрен патентный массив в объеме более 1300 документов. Из них отобраны 63 документа с описаниями объектов, наиболее близкими к предмету поиска.

3. Обоснован выбор направления исследований, в том числе: разработаны возможные направления проведения исследований; выполнена сравнительная оценка эффективности возможных направлений исследований; обоснован выбор оптимального варианта направления исследований. Обзор научно-технической литературы и результаты патентных исследований позволили выделить два возможных направления для проведения исследований: 1 - исследование силового блока, содержащего лопастную турбину и динамический сепаратор, и разработка эффективного способа добычи нефти; 2 - исследование силового блока, содержащего гибридную турбину и динамический сепаратор, и разработка эффективного способа добычи нефти. Выполнена сравнительная оценка эффективности возможных направлений исследований.

4. Выполнены теоретические исследования рабочих процессов производства и преобразования кинетической энергии при движении многофазных сред в многопоточной системе добычи и подготовки нефти и газа. Рассматривая многопоточные системы в рамках ПНИ важно выделить процессы, протекающие в каналах лопастных машин. Известная модель Эйлера описывает силовое воздействие лопасти на жидкость. В результате такого силового воздействия формируется один поток жидкости, направленный от входа рабочего колеса к выходу рабочего колеса. Вместе с тем для многорежимных машин разработана специальная математическая модель, где в результате такого силового воздействия формируются в общем случае три потока. Один поток формируется в соответствии с моделью Эйлера. Второй поток формируется под силовым воздействием на жидкость со стороны входной кромки лопасти.

5. Обоснованы технические и технологические принципы производства и преобразования энергии в многофазных средах с переменной плотностью. Вопросы производства и преобразования энергии в многофазных средах с переменной плотностью, в рамках ПНИ, связаны с технологией добычи и подготовки нефти и газа, и в первую очередь рассматривается проблема сепарации нефти и газа. При обосновании технических и технологических принципов следует учесть опыт проводимых в настоящее время исследовательских работ. Наиболее перспективными признают следующие принципы и направления развития техники и технологий: повышение эффективности аппаратов и технологии подготовки нефти и воды за счет использования коалесцеров; технологии совместного применения гравитационных сепараторов, гидроциклонов и центрифуг; повышение эффективности процесса отстоя эмульсии за счет обеспечения надежного контроля и регулирования уровня раздела фаз нефть-вода. Выделенные технические и технологические принципы должны быть

использованы в ходе производства и преобразования энергии в многофазных средах.

6. Проведены исследования и оптимизация рабочих процессов производства и преобразования кинетической энергии при движении многофазных сред в многопоточной системе добычи и подготовки нефти и газа, в том числе: выбраны конструктивные особенности разрабатываемых технических средств; выбраны оптимальные технологические параметры работы; решены задачи по профилированию каналов в рабочих камерах силового блока. Разрабатываемый силовой блок имеет конструктивные особенности, новизна запатентованных технических решений отражена в формуле на полезную модель [149]. В состав экспериментального образца силового блока войдут, согласно техническому заданию, специальная турбина для работы на многофазных газожидкостных смесях; динамический сепаратор для моделирования условий подготовки нефти, газа и воды; уплотнительное устройство; блок трубопроводов; рама. В состав стендовой установки для испытаний силового блока войдут силовой блок; система измерительных приборов; блок трубопроводов; система управления. Экспериментальный образец силового блока для подготовки и перекачки нефти должен обеспечить преобразование кинетической энергии многофазных потоков в механическую энергию на валу для дальнейшего использования энергии при сепарации и перекачке смесей нефти, воды и газа. Экспериментальный образец силового блока для подготовки и перекачки нефти, в отличие от известных технических решений, должен обеспечить условия для одновременного использования пластовой энергии от нескольких скважин с различными характеристиками потоков добываемой продукции.

7. Исследованы процессы движения многофазного потока при различных термобарических условиях для компьютерного моделирования работы системы сбора и подготовки нефти. В ходе исследований получены результаты численных экспериментов, для различных термобарических условий. Проведена серия численных экспериментов для изолированной группы выступов на роторе силового блока. Для изучения рабочего процесса, при скорости движения потока выше, чем $M=1$, разработана трехмерная модель и выполнены численные эксперименты. Исследован рабочий процесс при взаимодействии потока жидкости с твердыми стенками выступов на роторе. Результаты исследований используются для разработки конструкторской документации на силовой блок и стендовую установку.

В 2015 году проведены следующие исследования:

1. Проведено компьютерное моделирование процессов энергопреобразования для оптимизации системы сбора и подготовки нефти и создание Программы для ЭВМ по оптимизации технологических параметров работы стендовой установки для подготовки и перекачки нефти с автономных технологических объектов. Результаты расчета показали, что природная энергия может быть эффективно использована для оптимизации системы сбора и подготовки нефти, а параметры силового блока позволяют реализовать процесс

динамической сепарации нефти и процесс перекачки рабочих сред на нефтяной платформе. В ходе компьютерного моделирования дана количественная оценка функциональным взаимосвязям геометрических и гидродинамических параметров. В том числе дана оценка для многопоточных систем, включая такие функции как крутящий момент $M=M(Q, P_0, P_1, \rho, D_t, n)$, КПД силового блока и его отдельных энергетических подсистем $\eta=\eta(Q, P_0, P_1, \rho, D_t, n)$, мощность силового блока и его отдельных энергетических подсистем $N=N(Q, P_0, P_1, \rho, D_t, n)$.

2. Создана программа для ЭВМ по оптимизации технологических параметров работы силового блока для производства и преобразования кинетической энергии в многофазных средах при добыче нефти с автономных технологических объектов. Программа для ЭВМ позволяет провести сравнительный анализ различных режимов работы стендовой установки и входящего в ее состав силового блока, а также различных конструктивных исполнений, что дает возможность смоделировать работу всех основных узлов стендовой установки, с преимущественным выполнением численных экспериментов, которые во многом заменяют дорогостоящие физические эксперименты.

3. Проведена интерпретация результатов расчетов и выбор системы обустройства надводного комплекса с учетом создаваемого силового блока для автономных технологических объектов. Расчеты показали, что силовой блок сохраняет работоспособность и пригоден для эффективного использования в широком диапазоне изменений свойств газожидкостных смесей, при значениях газосодержания от 0 до 1.

4. Разработана эскизная конструкторская документация на создание стендовой установки для подготовки и перекачки нефти с автономных технологических объектов в составе: схема гидравлическая, чертеж общего вида, инструкция по эксплуатации.

5. Разработана эскизная конструкторская документация на экспериментальный образец силового блока для производства и преобразования энергии в многофазных средах при добыче нефти с автономных технологических объектов. Эскизная конструкторская документация представлена в составе: схема гидравлическая, чертеж общего вида, инструкция по эксплуатации. В состав силового блока входят: гидравлическая машина для многофазных сред, для преобразования пластовой энергии смеси жидкости и газа в механическую энергию на валу силового блока; уплотнительное устройство; блок трубопроводов; рама.

6. Разработаны Программа и методики проведения исследовательских испытаний стендовой установки для подготовки и перекачки нефти с автономных технологических объектов.

7. Разработаны Программы и методики проведения исследовательских испытаний экспериментального образца силового блока для производства и преобразования энергии при движении многофазных сред в многопоточной системе.

8. Изготовлен экспериментальный образец стендовой установки для подготовки и перекачки нефти с автономных технологических объектов.

В составе стендовой установки, в силовом блоке на валу ротора установлена специальная турбина, работающая за счет кинетической энергии трех потоков, подведенных к силовому блоку через краны. Специальная турбина в силовом блоке обеспечивает преобразование кинетической энергии многофазных потоков в механическую энергию на валу силового блока. Работоспособность разработанной турбины проверена при тестовых лабораторных испытаниях микромоделей.

В соответствии с техническим заданием в силовом блоке размещен динамический сепаратор, работающий за счет кинетической энергии многофазных потоков. Лабораторные опыты с микромоделями динамического сепаратора, подтвердили перспективность выбранного направления исследовательских работ, а патентные исследования показали на патентоспособность разрабатываемых технических решений и в части динамических сепараторов.

9. Изготовлен экспериментальный образец силового блока для производства и преобразования энергии в многофазных средах при добыче нефти с автономных технологических объектов.

При изготовлении силового блока предусмотрены возможности для регулирования параметров динамического сепаратора. С увеличением длины сепарационного барабана можно увеличивать время пребывания газожидкостной смеси в корпусе под воздействием центробежных сил. Добиваясь при этом повышения эффективности процесса сепарации. Вместе с тем можно отметить, что сепарационный барабан выполняет и функции коалесцера.

Для изготовления силового блока разработана рабочая конструкторская документация. Для уменьшения массы ротора при изготовлении деталей используется алюминиевый сплав. Выполнены требования ТЗ по составу. В состав экспериментального образца силового блока должны входить: гидравлическая машина для многофазных сред, для преобразования пластовой энергии смеси жидкости и газа в механическую энергию на валу силового блока; уплотнительное устройство; блок трубопроводов; рама. Экспериментальный образец силового блока согласно ТЗ содержит: специальную турбину для работы на многофазных газожидкостных смесях; динамический сепаратор.

10. Разработан лабораторный технологический регламент на технологию добычи нефти с использованием энергии многофазных потоков, в том числе: получены экспериментальные данные движения газожидкостного потока с применением сопла Ловаля для уточнения структуры потока.

11. Разработан лабораторный технологический регламент получения газожидкостной смеси, в том числе: проведены экспериментальные исследования получения газожидкостной смеси с помощью Микроскопа Carl Zeiss Stemi 2000c с целью оценки ее дисперсности.

В 2016 году проведены следующие исследования:

1) Проведено обобщение и оценка полученных результатов, в том числе:

1.1 обобщение результатов исследований;

1.2 сопоставление анализа научно-информационных источников и результатов теоретических и экспериментальных исследований;

1.3 оценка эффективности полученных результатов в сравнении с современным научно-техническим уровнем;

1.4 анализ выполнения требований ТЗ на ПНИ;

1.5 оценка полноты решения задач и достижения поставленных целей ПНИ.

Выполненные научные исследования позволили разработать конструкцию новой гидравлической машины для рационального использования пластовой энергии при добыче нефти и газа. Решен ряд вопросов о практическом применении технологий, связанных с преобразованием энергии при взаимодействии потока газа (жидкости) с проницаемой стенкой. Уникальность рассматриваемого метода преобразования энергии заключается в применении специальной турбины, в которой допускается движение основного потока газа и жидкости непосредственно сквозь лопатку или сквозь ротор. Для условий добычи нефти и газа разработана конструкция гидравлической машины, содержащей специальную турбину и динамический сепаратор, которые работают за счет пластовой энергии.

2) Разработаны методические рекомендации по подбору параметров силового блока с учетом режима работы технологической системы при добыче и подготовке нефти, газа и воды.

Выполненные теоретические исследования позволили разработать принципиальную схему и конструкцию новой гидравлической машины. Изучены отдельные вопросы о практическом применении технологий, связанных с преобразованием энергии при взаимодействии потока с проницаемой стенкой. Разработана конструкция гидравлической машины, содержащей турбину и динамический сепаратор, которые работают за счет энергии нефти и газа. Созданы действующие модели гидравлической машины для проверки её работоспособности, при использовании энергии жидкости и газа. Результаты проведенных исследований использовали при разработке конструкторской документации на экспериментальный образец новой гидравлической машины. Простота конструкции и низкая стоимость подобной техники делают её перспективной для решения разнообразных производственных задач на морских месторождениях нефти и газа.

3) Разработаны технические требования и предложения по разработке, производству и эксплуатации продукции с учетом технологических возможностей и особенностей индустриального партнера-организации реального сектора экономики.

Техническим результатом является усовершенствование геометрии проточных каналов и оптимизация кинематической схемы насоса. Указанный технический результат достигается тем, что насос герметичный содержит

проточные лопастные каналы, выполненные в насосной рабочей камере, оснащенной входным каналом и выходным каналом, выполненную в сборе с валом и установленную в опорах ведущую полумуфту с постоянными магнитами, ведомую полумуфту и неподвижный экран, установленный между ведущей и ведомой полумуфтами. Ведомая полумуфта выполнена в виде набора подвижных роликов, при этом неподвижный экран и подвижные ролики размещены в насосной рабочей камере. Проточные лопастные каналы выполнены между подвижными роликами и сообщаются с входным каналом и с выходным каналом, обеспечивая возможность силового воздействия подвижных роликов на жидкость с созданием потока жидкости в направлении от входного канала к выходному каналу. В насосной рабочей камере выполнены кольцевые беговые дорожки для обеспечения орбитальной траектории движения у подвижных роликов. Заявляемое техническое решение обеспечивает повышение надежности работы муфты и насоса в загрязненных жидкостях и газах. Совокупность существенных признаков заявляемого технического решения может быть многократно использована в производстве разработанного силового блока, а также магнитных муфт и герметичных насосов.

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

5) Разработан проект ТЗ на ОТР «Разработка энергоэффективной технологии и многопоточной турбинной системы для добычи нефти с использованием энергии многофазных потоков для автономных технологических объектов (платформ) в Арктической и шельфовой зонах».

Цели выполнения таких ОТР: 1 - разработка энергоэффективной технологии для добычи нефти с использованием энергии многофазных потоков для автономных технологических объектов (платформ) в Арктической и шельфовой зонах; 2 - создание опытного образца многопоточной турбинной системы для добычи нефти с использованием энергии многофазных потоков. Разрабатываемая технологии и многопоточная турбинная система для добычи нефти с использованием энергии многофазных потоков для автономных технологических объектов (платформ) в Арктической и шельфовой зонах предназначена для получения и использования дополнительной энергии за счет пластовой энергии от многофазных потоков, поступающих из нефтяных и газовых скважин.

6) Разработан заключительный отчет о ПНИ.

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

1) Патент на полезную модель №160288 от 27.07.2015 г. "Двигатель, РФ;

2) Патент на полезную модель заявка №2016123072 от 10.06.2016г. "Двигатель", РФ;

3) Патент на полезную модель заявка №2016123073 от 10.06.2016г. "Двигатель", РФ;

4) Патент на полезную модель заявка №2016143406 от 03.11.2016г. "Герметичный насос", РФ.

4. Назначение и область применения результатов проекта

Результаты, полученные в ходе выполнения работ по разработке эффективного способа добычи нефти с использованием энергии многофазных потоков и созданию экспериментального образца силового блока для автономных технологических объектов (платформ) в Арктической и шельфовой зонах, могут быть использованы для создания энергосберегающих и экологически чистых технологий в нефтеперерабатывающей и химической отрасли промышленности.

В проекте будут представлены новые запатентованные технические решения, которые могут активизировать развитие научно-технических и технологических направлений. Полученные результаты открыли доступ к новой области знаний, что может представлять большой интерес для молодого поколения ученых и инженеров, практически создается оригинальная платформа для развития международного сотрудничества.

5. Эффекты от внедрения результатов проекта

При внедрении результатов исследований открываются возможности для создания высокотехнологичного недорогого оборудования с коротким сроком окупаемости, что, в свою очередь, является базой для создания новых эффективных технологий преобразования энергии при добыче полезных ископаемых и в промышленном производстве.

6. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта

Результаты проекта ориентированы на решение проблем для автономных технологических объектов (платформ) в Арктической и шельфовой зонах.

В качестве объекта коммерциализации при строительстве и эксплуатации новых нефтяных платформ выступает силовой блок для подготовки и перекачки нефти с автономных технологических объектов (платформ) в Арктической и шельфовой зонах путем замены группы гравитационных сепараторов на новые компактные силовые блоки, с использованием пластовой энергии для подготовки и перекачки углеводородов.

Вместе с тем возможны и другие формы коммерциализации полученных результатов, так с применением разработанных принципов может быть освоен выпуск нового оборудования для широкого круга отраслей производства и транспорта. Может быть рассмотрен и вопрос о создании новых машиностроительных предприятий.