**Федеральная целевая программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы»**

**Разработка отечественного массового кориолисового расходомера для нефтегазовой промышленности с функцией измерения расхода многофазных потоков**

**Соглашение № 14.578.21.0191 от 03.10.2016**

**Руководитель д.т.н., проф. А.Л. Шестаков.**

**Этап 1**

**Выбор направления исследований и теоретические исследования**

**(03.10.2016–30.12.2016)**

1. **Цель проекта**

**Задача, на решение которой направлен проект**

Повышение экономичности и эффективности измерения расхода нефтеводогазовой смеси, непосредственно добываемой из нефтяных скважин, путем снижения расходов на сепарацию на основе разработки отечественного массового кориолиосового расходомера с функцией измерения многофазных потоков.

**Цель реализуемого проекта**

Конечным продуктом, создаваемым с использованием результатов, полученных при выполнении проекта, является кориолиосовый расходомер с функцией измерения многофазных потоков.

Кориолисовый расходомер является одним из самых востребованных приборов в сфере коммерческого учета потребления жидких и газообразных материалов, что в первую очередь, связано с высокой точностью их работы и возможностью измерения как объёмного, так и массового расхода. Однако эти качества кориолисового расходомера в полной мере проявляются лишь при работе с однородной (однофазной) средой. Появление в измеряемой среде возмущающей компоненты, в частности газа в жидкой среде, приводит резкому росту погрешности измерения, вплоть до выхода прибора из строя.

Это приводит к необходимости каким-либо образом, например, с помощью предварительной сепарации, контролировать содержание возмущающей фракции. Применение дополнительных операций повышает стоимость самого прибора и его эксплуатации, а также приводит к ограничениям при измерении расхода.

Это существенно ограничивает возможности использования прибора в таких ключевых применениях, как измерение газового конденсата, сжиженных склонных к вскипанию технологических газов. Особую актуальность такая задача приобрела в связи с необходимостью измерять поток нефтеводогазовой смеси, непосредственно добываемой из нефтяных скважин. Такие измерения, осуществляемые автоматизированными групповыми замерными установками (АГЗУ), во-первых, дают информацию, позволяющую качественно эксплуатировать скважину, а, во-вторых, обязательны для целей контроля за недропользованием и исчисления соответствующих налоговых выплат. Требования к таким измерениям сформулированы в ГОСТ Р 8.615-2005.

Цель проекта: подготовка научно-технологического задела для создания и, в перспективе, серийного выпуска отечественных кориолисовых расходомеров, позволяющих обеспечить работу в соответствии с ГОСТ Р 8.615-2005 при измерении объемно-массовых параметров сложных газо-жидкостных смесей.

1. **Основные результаты проекта**

1) Проведены патентные исследования.

2) Выполнен аналитический обзор литературы в области исследования гидродинамических моделей многофазных и многокомпонентных сред.

3) Выполнен аналитический обзор литературы в области исследования возможных конструктивных решений, снижающих влияние параметров возмущающей фазы на показания расходомера

4) Выполнен аналитический обзор литературы в области исследования алгоритмических методов компенсации влияния возмущающей фазы.

5) Проведен анализ методов контроля метрологического состояния кориолисова расходомера.

6) Предложены методы экспериментального исследования кориолисовых расходомеров в условиях многофазных сред.

7) Разработан бизнес-план.

8) Разработаны требования к алгоритму управления колебательной системой расходомера и цифровым измерительным каналам.

9) Разработаны технические требования к электронному блоку и элементной базе расходомера

10) Разработаны технические требования к экспериментальному проливочному стенду

Нефтегазовая отрасль является одним из основных источников пополнения бюджета Российской Федерации, что делает эффективность ее работы принципиально важной для страны. Основными приборами, способными измерять массовый расход нефти и нефтепродуктов, являются кориолисовы расходомеры, обладающие высокой точностью. За высокую точность однофазных массовых кориолисовых расходомеров приходится платить их уязвимостью по отношению к механическому шуму, изменениям термодинамических параметров потока и окружающей среды, несовершенствам в изготовлении механических, сенсорных и управляющих систем. К настоящему времени найдены пути к устранению этих недостатков на уровне конструкции прибора или их компенсации за счет адекватного учета соответствующих факторов при обработке опытных данных. Основной целью исследования является совершенствование конструкции и алгоритмов обработки информации массового кориолисового расходомера с целью повышения устойчивости его показаний к наличию газовой фазы. Единственной причиной, по которой точный и надежный однофазный массовый кориолисовый расходомер теряет свои качества при измерениях расхода двухфазного потока жидкость-газ, является разница в физико-химических свойствах смеси и любой из составляющих ее фаз. Эта разница проявляется затем и при механическом движении одно- и двухфазных текучих систем. Основными особенностями, снижающими точность показаний расходомера, являются следующие:

1) Двухфазные потоки жидкость-газ, с которыми имеют дело в нефтегазовой промышленности, не обладают устойчивостью ни в термодинамическом ни в механическом отношении.

2) Существование разных режимов течения, различающихся размерами областей дискретной фазы.

3) Флуктуации массовой плотности и, следовательно, кориолисовых сил в каждой точке внутри измерительных трубок.

В современных исследованиях, как правило, рассматривают только два предельных случая: модель полностью перемешанного однородного потока; модель целиком раздельного течения. Хотя такие точки зрения в анализе играют важную роль при оценке предельного поведения, они приносят мало пользы для обеспечения достаточной детализации свойств потока при разработке конкретных устройств.

Поставленные вопросы предполагается решать с использованием комплекса экспериментальных и теоретических методов

1) Численное решение связанной упругогидродинамической задачи течения многофазного потока по деформируемым трубкам расходомера с целью получения количественных оценок влияния объемной доли газовой фазы на амплитуды колебаний измерительных катушек. Выявление физических эффектов, приводящих к снижению точности измерения расхода при увеличении доли газовой фазы.

2) Разработка и изготовление экспериментального проливочного многофазного стенда для исследовательских испытаний макетов кориолисовых расходомеров

3) Проведение натурных испытаний макетов расходомеров на проливочном стенде с целью выявления экспериментальных зависимостей между колебаниями измерительных катушек и параметрами потока (расход, давление, скорость, температура, объемная доля газовой фазы). Построение соответствующих корреляционных зависимостей с целью их использования в электронике расходомера.

4) Разработка эквивалентных динамических моделей расходомера, основанных на результатах модальных испытаний (экспериментальных частотных передаточных функциях), предназначенных для отработки и совершенствования алгоритмов управления и обработки сигналов с измерительных катушек.

5) Разработка средств полунатурного моделирования расходомера с целью отработки и настройки в режиме реального времени параметров системы управления колебаниями расходомера.

6) Разработка современных методов синтеза оптимального управления прибором по опытным данным с использованием нейронных сетей.

7) Обеспечение надежности управления прибором и контроля его состояния с помощью интеллектуальных систем измерений.

Учитывая перспективы использования многофазных расходомеров, ведущие мировые производители (Foxboro, Emerson, Yokogawa) активно ведут работы по их созданию. Основными направлениями зарубежных исследований являются оптимизация конструкции расходомера с целью снижения его чувствительности к наличию газовых фракций и многопараметрическая компенсация влияющих факторов (давление, температура, наличие газовой фазы) с целью коррекции показаний расходомера. Проблемными сторонами предлагаемых конструкций является нетехнологичность измерительной колебательной системы, ведущая к высокой стоимости, и ряд эксплуатационных недостатков, например, отсутствие самодренирования.

В предлагаемой разработке многопараметрическая компенсация влияющих факторов будет дополнена контролем собственного состояния на основе спектрального анализа первичных выходных параметров сенсора расходомера. Последнее будет обеспечено интеллектуальной системой управления возбуждением измерительной колебательной системы, что позволит обеспечить устойчивость работы расходомера при наличии посторонних фракций в измеряемой среде, не прибегая к кардинальному усложнению конструкции и ухудшению остальных эксплуатационных свойств.

1. **Назначение и область применения результатов проекта**

В рамках проекта создается научно-технический задел, необходимый для создания и серийного выпуска линейки отечественных массовых кориолисовых расходомеров (МКР) для измерения объемно-массовых параметров сложных газожидкостных смесей:

– в нефтедобывающей промышленности – нефтеводогазовой смеси на скважинах в соответствии с ГОСТ Р 8.615-2005;

– в газовой промышленности – стабильного и нестабильного газового конденсата в соответствии с требованиями правил технологического и коммерческого учета;

– в химической промышленности - сжиженных технологических газов.

Разрабатываемые расходомеры планируется применить в перспективных групповых замерных установках (АГЗУ) сырой нефти ведущих отечественных производителей. Применение разрабатываемых расходомеров в АГЗУ имеет следующие перспективы.

1) Снижение стоимости изготовления АГЗУ за счет снижения требований к сепарации с возможностью перехода к бессепарационным методам при использовании кориолисового расходомера с повышенной устойчивостью к наличию газовых фракций.

2) Повышение эффективности функционирования АГЗУ за счет перехода к бессепарационным методам контроля дебита отдельных нефтедобывающих скважин и куста в целом и увеличения межрегламентного периода.

3) Массовые кориолисовые расходомеры с функцией измерения многофазных потоков перспективны для учета газового конденсата и сжиженных углеводородных газов.

1. **Эффекты от внедрения результатов проекта**

1) Повышение качества сырья для нефтеперерабатывающей промышленности за счет оперативного управления работой скважин.

2) Уменьшение затрат на обслуживание автоматических групповых замерных установок, повышение автономности (увеличение межрегламентного периода).

3) Замещение импорта изделий приборостроения в нефтедобывающей отрасли, вывод на рынок новой научно-технической продукции и технологий мирового уровня.