

*На правах рукописи*

**РУДЕНКО ВАЛЕНТИНА АЛЕКСАНДРОВНА**

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ  
СИСТЕМЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ИЗМЕРЕНИЙ И УЧЁТА ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА  
(НА ПРИМЕРЕ ОАО «САРАТОВНЕФТЕГАЗ»)**

Специальность 05.11.15 – Метрология и метрологическое обеспечение

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

**Москва-2014**

Работа выполнена в ОАО «Саратовнефтегаз» и в Федеральном Государственном унитарном предприятии «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы» Российской Федерации.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, профессор  
**Кудеяров Юрий Алексеевич,**  
Главный научный сотрудник ФГУП «ВНИИМС»

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
**Данилов Александр Александрович,**  
Заместитель директора Пензенского ЦСМ

кандидат технических наук  
**Глушнёв Владимир Дмитриевич,**  
Технический директор ЗАО «ИРВИС»

Ведущая организация: ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт расходометрии» (г. Казань)

Защита диссертационной работы состоится «\_\_»\_\_\_\_\_2014 г. в\_\_\_:\_\_\_на заседании диссертационного совета Д 308.001.01 в ФГУП «ВНИИМС» по адресу: 119361, Москва, ул. Озерная, д.46.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГУП «ВНИИМС».

Автореферат разослан «\_\_»\_\_\_\_\_2014 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
доктор технических наук, профессор

Лысенко В.Г.

## 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность диссертационной работы.** Нефть и газ играют большую роль в развитии народного хозяйства РФ. Нефть и газ как наиболее эффективные и энергоемкие из всех природных веществ имеют доминирующее положение в энергетике. Попутный нефтяной газ (ПНГ) как высококалорийное топливо является высококачественным сырьем для химической промышленности и зачастую выступает технологическим компонентом во многих производствах. Учет этого ценного природного компонента становится приоритетной задачей предприятий топливно-энергетического комплекса. Поскольку результаты учета в значительной степени зависят от используемых для этих целей средств измерений, то система метрологического обеспечения измерений характеристик ПНГ представляет собой важную область исследования.

По данным российского отделения Всемирного фонда дикой природы (WWF) наша страна занимает одно из первых мест в мире по объемам сжигания извлекаемого из недр ПНГ. Сжигание ПНГ приводит к значительным выбросам в атмосферу твердых загрязняющих веществ и ухудшению экологической обстановки в нефтепромысловых регионах, а также является одной из причин увеличения концентрации парниковых газов. Таким образом, имеет место нерациональное использование добытого природного ресурса и возможное ухудшение экологической обстановки за счет выбросов в атмосферу загрязняющих веществ.

С учетом этого на сегодняшний день учет ПНГ является насущной проблемой, общей для всех предприятий нефтегазового комплекса. В рамках решения этой задачи метрологические службы столкнулись с ситуацией отсутствия универсальных приборов учета ПНГ, полностью удовлетворяющих требованиям эксплуатации. Приборы, которые выпускаются в настоящее время, в большинстве случаев предназначены для решения узкого спектра задач.

Можно констатировать, что перед метрологическими службами нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий стоят актуальные и

сложные комплексные задачи по разработке системы метрологического обеспечения учета ПНГ, полностью отвечающей необходимым техническим, технологическим, экономическим и экологическим требованиям. При этом на первоначальном этапе наиболее остро стоит вопрос выбора оптимальных расходомеров для учета попутного газа, дающих достоверную измерительную информацию.

Из всего вышесказанного следует, что вопросы и рекомендации, рассмотренные и предложенные в представленной диссертации, являются **актуальными**, и их разработка и исследование вызваны насущными и реальными проблемами, стоящими перед производителями приборов для измерения ПНГ и предприятиями, эксплуатирующими эти средства измерений.

Таким образом, возникает важная научно-техническая задача разработки, исследования, научного обоснования, а также уточнения ряда методов и средств метрологического обеспечения измерений и учета ПНГ. Решению этих задач посвящена предлагаемая диссертационная работа.

**Целью диссертационной работы** является разработка и исследование системы метрологического обеспечения учета ПНГ, реализующей эффективный процесс получения достоверной информации о параметрах учета ПНГ с одновременным обеспечением единства и требуемой точности измерений.

**Задачи исследования.** Для достижения поставленной цели в диссертации решены следующие научные и практические задачи:

1. Собран и систематизирован материал по существующим средствам измерений для учета ПНГ российского и зарубежного производств. Проведен анализ полученного материала с целью научного обоснования выбора оптимального оборудования для учета ПНГ.

2. Проведено экспериментальное исследование методик сличения и проверки приемлемости результатов измерений и показана эффективность использования этих методик в целях выбора оптимального расходомера ПНГ.

3. Проведен эксперимент и получены результаты исследования одного из способов измерения ПНГ без предварительной сепарации жидкостно-газовой смеси. Эксперимент основан на предположении о возможности измерения расходов многофазных сред путем применения двух последовательно установленных расходомеров, измеряющих объемный и массовый расходы.

4. Вычислена погрешность результатов измерений, полученных в ходе проведения эксперимента, подтверждающая перспективность предложенного метода для решения проблемы учета ПНГ.

5. Обосновано новое решение организации системы сбора и обработки данных с узлов учёта ПНГ с позиции производственной и экономической основ метрологического обеспечения измерений характеристик ПНГ и для повышения эффективного управления производственным процессом.

6. Разработан стандарт предприятия по учету газа. Проведена метрологическая экспертиза данного нормативного документа.

7. Разработано программное обеспечение, систематизирующее информацию по учету газа.

### **Научная новизна диссертационной работы.**

1. Впервые экспериментально обоснована возможность измерения расходов многофазных сред путем применения двух последовательно установленных расходомеров, измеряющих объемный и массовый расходы. В качестве расходомеров выбраны приборы отечественного производства.

2. Предложен и обоснован выбор типа расходомера газа на основе анализа технических характеристик линейки российских и импортных расходомеров и комплексов по учету ПНГ в зависимости от требуемых параметров измерений, погрешности средств измерений, качества газа и других технических требований, что позволило составить сводный эксплуатационный ряд. В отличие от существующих эксплуатационных рядов данный ряд является независимым, поскольку составлен незаинтересованной коммерческой стороной.

3. Исследована возможность и условия применения методик сличения и проверки приемлемости результатов измерений для научного обоснования выбора расходомера для учета ПНГ на факельных установках.

4. Силами сотрудников предприятия с участием автора диссертации разработана Система сбора и обработки данных с узлов учёта ПНГ и научно обоснована эффективность ее применения на предприятиях с большим количеством разноудаленных от центрального офиса объектов.

5. Разработан Стандарт предприятия по учету газа, в котором дано научное обоснование порядка учета ПНГ на всех технологических этапах движения газа и разработана методика, позволяющая решать вопросы небаланса.

**Практическая значимость диссертации.** Все результаты диссертационной работы нашли практическое применение на предприятии.

1. Проведен выбор оптимальных расходомеров для измерения количества ПНГ, направляемого на сжигание в факельной установке. Построено и внедрено в производство 41 узел учета газа (УУГ). Узлы учета проверены и приняты в эксплуатацию в установленном порядке представителем ФБУ «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний им Б.А. Дубовикова в Саратовской области».

2. На Алексеевском месторождении ОАО «Саратовнефтегаз» смонтирована экспериментальная установка, позволяющая производить измерения массы газа в нефтегазовой смеси без предварительной сепарации. Установка позволяет получать отдельные данные по расходу газа и жидкости со скважины низконапорного коллектора.

3. Программное обеспечение, реализующее Систему сбора и обработки данных с узлов учёта ПНГ, запущено в работу на предприятии ЗАО «Управление промышленной автоматики» с 2010 года в пробном режиме, а с 2012 года на предприятии ОАО «Саратовнефтегаз» в постоянном режиме. Эксплуатация данного программного продукта позволяет получать данные по учету ПНГ в режиме реального времени.

4. Разработанное программное обеспечение прошло добровольную сертификацию в установленном порядке. Свидетельство о метрологической аттестации № 56-197-30318-09-2013 от 18.04.2013г.

5. Разработан Стандарт предприятия по учету газа на предприятии ОАО «Саратовнефтегаз» и его дочерних обществ.

6. Нормативный документ «Стандарт предприятия по учету газа» прошел метрологическую экспертизу 17.03.2013г.

**Апробация результатов диссертационного исследования.** Диссертация выполнена на предприятии ОАО «Саратовнефтегаз» и обсуждена во ФГУП «ВНИИМС».

Основные положения и выводы диссертации отражены в публикациях автора, в том числе в трех научных статьях в рецензируемых изданиях Высшей аттестационной комиссии. Диссертационная работа на разных стадиях ее выполнения докладывалась и обсуждалась на:

1. Конференции по теме: «Коммерческий учет расхода и количества попутного нефтяного газа, нефти и нефтепродуктов», Москва, 2011г.

2. Московской международной научно-практической конференции «Навстречу 15-летию президентской программы подготовки управленческих кадров: опыт и перспективы», Москва, 2011г.

3. Конференции по теме: «Проблемные вопросы организации учета, использования и утилизации попутного нефтяного газа в свете нового законодательства», Москва, 2010г.

4. Конференции по теме: «Учёт нефти и газа: Метрологическое обеспечение измерений добычи, расхода и потерь», Москва, 2010г.

5. Научно-техническом семинаре ФГУП «ВНИИМС», Москва, 2013г.

Программное обеспечение, реализующее Систему сбора и обработки данных с узлов учёта ПНГ, неоднократно выставлялось на выставках. В 2011 году один из ее разработчиков стал победителем в конкурсе «Участник Молодого Научно-Инновационного Конкурса (У.М.Н.И.К.)».

### **Основные положения, выносимые на защиту.**

1. Измерения массы нефтегазовой смеси и, в частности, ПНГ могут быть произведены без предварительной сепарации с получением отдельных данных по расходу газа и жидкости путем применения двух последовательно установленных массового и объемного расходомеров.

2. Вычисленная погрешность измерений экспериментальной установки подтверждает возможность успешного применения этой установки для измерения ПНГ в смеси бессепарационным методом.

3. Выбор оптимального расходомера для измерений и учета ПНГ на факельных установках может быть обоснован путем применения методик сличения и проверки приемлемости результатов измерений.

4. Для решения проблемы небаланса при учете ПНГ от места добычи до места реализации может быть использована разработанная методика подведения баланса по газу, в основу которой положен обратный алгоритм подсчета вместо традиционного прямого подсчета газа по лицензионному участку за отчетный период.

5. Разработанный Стандарт предприятия по учету газа образует основу подсистемы метрологического обеспечения производства и эксплуатации оборудования учета ПНГ как общей системы учета углеводородного сырья на предприятии ОАО «Саратовнефтегаз».

**Структура диссертации.** Работа состоит из введения, трех глав, основных выводов, заключения, библиографического списка в количестве 182 наименований и 9 приложений. Текст диссертации изложен на 160 страницах машинописного текста, содержит 12 таблиц, 42 иллюстрации и 37 формул.

## **2. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

Во **Введении** формулируется комплекс рассматриваемых вопросов, обосновывается актуальность выбранной проблематики, определяются объект, предмет и область исследования, излагаются цель и основные задачи диссертации, отражаются научная новизна и практическая значимость работы,



фиксируются положения, выносимые на защиту, а также представляется краткое содержание диссертации.

В представленной диссертационной работе был исследован процесс учёта ПНГ на базе предприятия ОАО «Саратовнефтегаз» и разработана соответствующая система метрологического обеспечения измерений газа. Исследования касались всего цикла добычи, подготовки и утилизации ПНГ и как итог этого цикла – подведение баланса учёта ПНГ. Придерживаясь такой концепции исследования, обобщающую структуру диссертации, состоящую из трех объемных задач, иллюстрационно можно представить следующим образом:

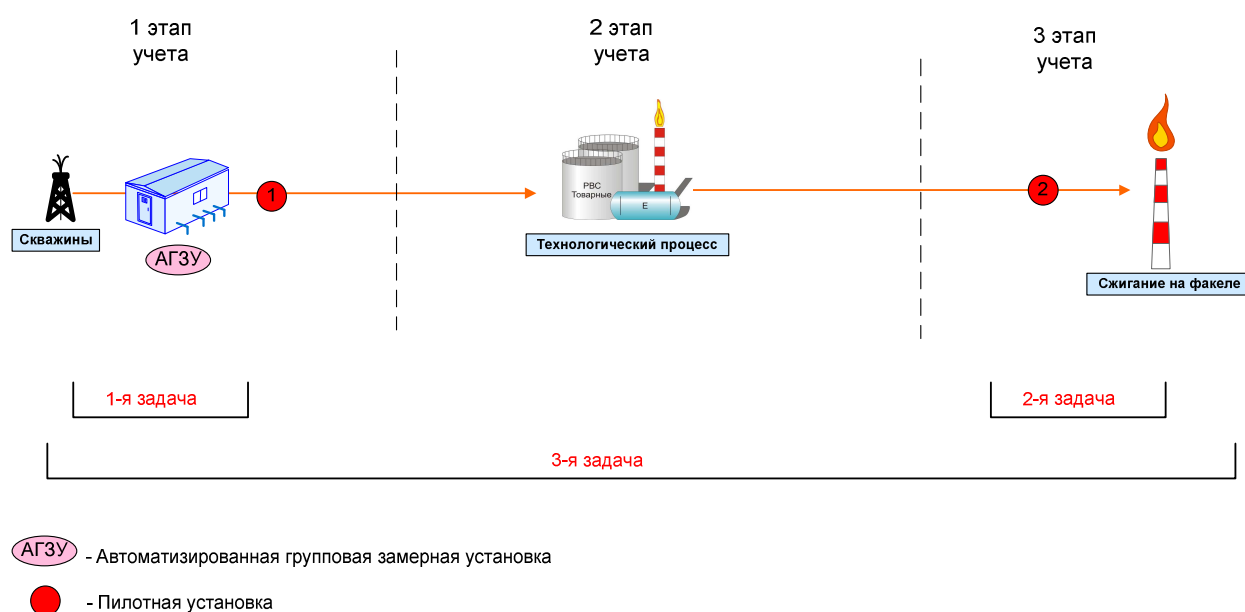


Рис. 1. Технологический цикл добычи ПНГ.

Исследованию первой задачи посвящена вторая глава диссертационной работы, в которой описывается проведенный эксперимент по измерению ПНГ на скважине (1-й этап учета) беспарационным методом. Для исследования данной задачи было реализовано строительство пилотной экспериментальной установки на производственном объекте «Алексеевский» предприятия ОАО «Саратовнефтегаз».

Исследованию второй задачи посвящена первая глава диссертационной работы, в которой приведен анализ возможности применения расходомеров различного принципа измерения для учета ПНГ на 3-м этапе производственного учета. Для исследования этой задачи было реализовано строительство

испытательного полигона на производственном объекте «Звездный» предприятия ОАО «Саратовнефтегаз», на котором была проведена опытно-промышленная эксплуатация ряда различных расходомеров.

Итоговой третьей задаче посвящена третья глава диссертационной работы, в которой представлена система метрологического обеспечения измерений ПНГ на предприятии ОАО «Саратовнефтегаз». Акцент сделан на разработанной методике подведения баланса по учёту ПНГ и разработанному обобщающему документу – Стандарту предприятия по учёту газа, в котором регламентирована данная методика.

**Первая глава** посвящена учёту ПНГ на последнем технологическом этапе – использовании ПНГ (сжигание на факельных установках, потребление на собственные нужды предприятия, сдача для внешнего потребления). В этой главе проведен анализ современного состояния системы метрологического обеспечения учёта ПНГ. Показано, что главными проблемами при учёте ПНГ выступают несостоятельность технологической базы, а именно, отсутствие качественного оборудования для учета ПНГ, недоработанность и несогласованность нормативной базы, а также наличие специфических технологических факторов, осложняющего задачу учета ПНГ. По итогам опытно-промышленной эксплуатации линейки российского и зарубежного оборудования проведена сравнительная оценка приборов учета ПНГ, сжигаемого на факельной установке и обоснован выбор оптимального расходомера. Выбор оптимального расходомера для измерений ПНГ подтвержден методиками сличения. Результаты получены на основании экспериментального исследования.

Первый параграф первой главы посвящен исследованию технологических особенностей процесса измерения ПНГ. В этом параграфе акцентируется внимание на отличии попутного нефтяного газа от природного и вытекающих из этого отличия особенностях процесса измерения. Здесь приводится анализ осложняющих факторов процесса учёта ПНГ, основными из которых являются неравномерное движение смеси по трубопроводу, пульсации давления,

разряжение в трубопроводе, постоянные изменения состава, широчайший диапазон расхода, низкая скорость потока, а также высокая влажность. Наличие в ПНГ жидких фракций углеводородов, агрессивная среда, невозможность сужения трубопровода, необходимость отсутствия запорной арматуры и другие требования к факельным системам также делают процесс выбора средства учета весьма ограниченным. В этом параграфе подробно рассмотрено влияние каждого описанного фактора.

Во втором параграфе исследуются вопросы нормативных требований к процессу измерения характеристик ПНГ. В параграфе освещаются спорные, а также специфические вопросы нормативной документации, с которыми сопряжен процесс учета ПНГ.

В третьем параграфе первой главы приведен сводный анализ технических характеристик линейки российских и импортных расходомеров и комплексов по учету ПНГ. На основании проведенных исследований на экспериментальном полигоне в данном параграфе систематизирован сводный материал и проведена сравнительная оценка приборов учета ПНГ. По итогам ряда проведенных опытно-промышленных эксплуатаций обоснован выбор типа расходомера газа в зависимости от требуемых параметров измерений и составлен сводный эксплуатационный ряд.

Четвертый параграф посвящен экспериментальному исследованию методик сличения с целью применимости результатов этого эксперимента для выбора оптимального расходомера попутного нефтяного газа, сжигаемого на факельных установках. Речь идет, в частности, о методе проверки приемлемости (правильности) результатов измерений, описанном в ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002 и о методе сличения средств измерения одинакового уровня точности, рекомендуемом МИ 1832-88.

Для проведения эксперимента на измерительном газопроводе экспериментального полигона от производственной площадки до факельной линии были последовательно установлены четыре газовых расходомера. При

пропускании объема газа фиксировались выходные сигналы (часовой объем газа при нормальных условиях) четырех последовательно включенных в газопровод расходомера. Далее вычислялись характеристики случайной  $S^2$  (дисперсия) и систематической  $\eta$  составляющих погрешности, а также относительные погрешности каждого из сличаемых приборов. Результаты экспериментальных исследований приведены в Таблице 1.

Таблица 1. Результаты группового сличения расходомеров ПНГ

Расходомер	Вычисленная систематическая погрешность $\eta_j$	Вычисленная относительная погрешность $\delta_{\Delta j}$ (%)	Допускаемая относительная погрешность, нормированная в технической документации (%)	Расхождение между $\delta_{\Delta j}$ и нормированной относительной погрешностью
ИРВИС	0,20	8,18	1,0	7,18
РГА	0,00	37,37	2,0	35,37
Dymetic	0,17	8,74	2,5	6,24
СГ-16М	0,38	13,89	1,0	12,89

На основании полученных данных можно сделать вывод, что наиболее приемлемыми для измерений ПНГ является расходомер Dymetic ультразвукового принципа измерений, а также расходомер ИРВИС вихревого принципа измерений. Аналогичные выводы были сделаны и на основании практического опыта в процессе производственной эксплуатации расходомеров различного принципа измерений для целей учёта ПНГ.

Таким образом, эксперимент по сличению показаний расходомеров и проверке правильности результатов измерений наглядно показывает практическую применимость показателей правильности и прецизионности и подтверждает возможность применения методик ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002 и МИ 1832-88 для выбора оптимального расходомера для учёта ПНГ.

**Вторая глава** посвящена учёту ПНГ на первом технологическом этапе – добычи ПНГ со скважины. Традиционным методом измерения на скважинах для всех нефтяных предприятий является сепарационный метод. В большинстве случаев для учета продукции используется автоматическая групповая замерная

установка (АГЗУ), применяемая в процессе измерения дебита нефтяных скважин, которая с помощью встроенного сепаратора позволяет разделить общий поток продукции со скважины на газовый и жидкостной потоки. После чего эти потоки измеряются раздельно каждый по своей линии. В диссертационной работе предлагается экспериментальное исследование возможности измерения расхода ПНГ без предварительной сепарации, т.е. бессепарационным способом.

В первом параграфе приведено описание экспериментальной установки, созданной на базе АГЗУ для измерения продукции нефтегазовых скважин, дооснащенной экспериментальной установкой с двумя последовательно установленными расходомерами массового и объемного принципов измерения. Эксперимент основан на предположении о возможности измерения расходов многофазных сред путем применения двух последовательно установленных различных расходомеров. На основе показаний этих расходомеров можно рассчитать содержание отдельных фаз в смеси. Так, для газожидкостных смесей предлагается последовательно установить приборы, из которых один измеряет массовый  $Q_m$ , а другой – объемный  $Q_V$  расходы.

Исходя из равенств  $Q_m = Q_{mж} + Q_{mг}$  и  $Q_V = \frac{Q_{mж}}{\rho_{жс}} + \frac{Q_{mг}}{\rho_г} Q$ , где  $Q_{mж}$ ,  $Q_{mг}$  – искомые массовые расходы жидкости и газа,  $\rho_{жс}$ ,  $\rho_г$  – плотности жидкой и газовой фаз, после математических преобразований имеем:

$$Q_{mж} = \frac{\rho_{жс}}{\rho_{жс} - \rho_г} (Q_m - Q_V \rho_г), \quad (1)$$

$$Q_{mг} = \frac{\rho_г}{\rho_{жс} - \rho_г} (Q_V \rho_{жс} - Q_m) \quad (2)$$

Эти уравнения и служат для определения  $Q_{mж}$  и  $Q_{mг}$  на основании показаний расходомеров  $Q_m$  и  $Q_V$ .

Эксперимент заключается в следующем. Многофазная продукция со скважины поступает на замерную установку, где предварительно проходит процесс сепарации. После сепаратора продукция разделяется на два потока –

жидкостной и газовой. Разделенные потоки газа и жидкости по замерным участкам трубопроводов проходят через расходомеры газа и жидкости соответственно. Измеренные отдельно жидкость и газ направляются в общий трубопровод, где после смешения снова становятся многофазной продукцией. Далее эта многофазная продукция поступает в экспериментальную установку, где происходит измерение расхода сначала массовым, а затем объемным расходомером.

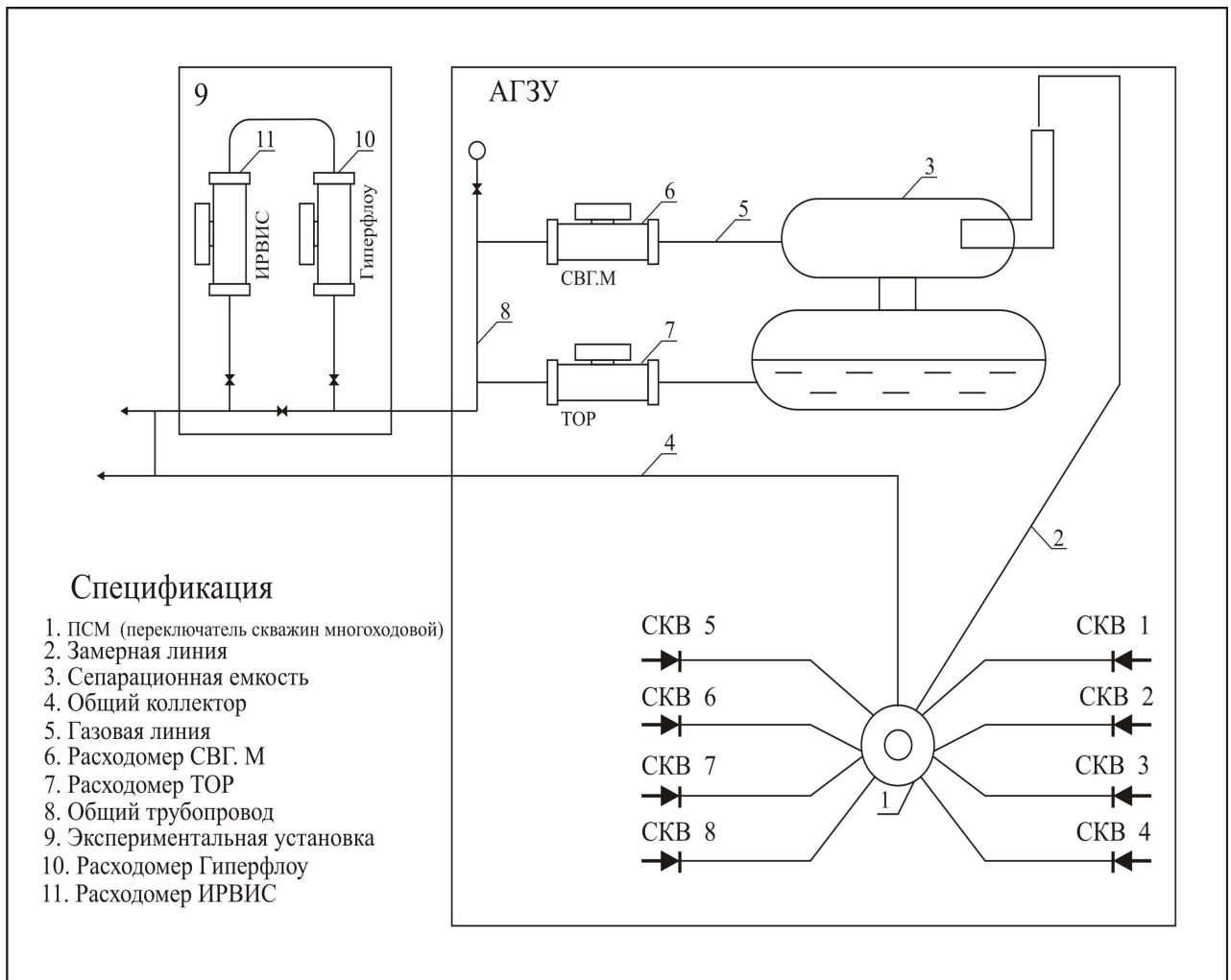


Рис.2. Принципиальная схема установки

На основании данных по расходу многофазной продукции, полученных с массового и объемного расходомеров экспериментальной установки, и путем вышеописанных математических преобразований можно получить данные о расходе газа и жидкости отдельно.

Для вычисления погрешности измерений и оценки метрологических характеристик экспериментальной установки во втором параграфе второй главы рассмотрены основные технические характеристики используемых в эксперименте расходомеров ИРВИС, СВГ. М, ГиперФлоу-3Пм и TOP. Для всех средств измерений приводятся описания идентификационных данных, областей применения, принципа действия, технических характеристик, структурного вида, погрешностей и основ проведения поверки.

Непосредственно процессу проведения эксперимента посвящен третий параграф второй главы, в котором подробно описываются метод измерений, основные условия проведения измерений, подготовительные работы перед выполнением измерений, поэтапный алгоритм проведения измерений и обработка полученных результатов.

Анализу полученных результатов и оценке погрешности проведенного эксперимента отведен четвертый параграф второй главы, где приведены результаты обработки среднечасовых архивных измеренных значений параметров смеси экспериментальной установкой. Оценка погрешности метода проводится с использованием двух нормативных документов ГОСТ Р 8.736-2011 и МИ 2083-90. Проведенные исследования показывают сопоставимость полученных данных и подтверждают возможность успешного применения экспериментальной установки для измерения ПНГ в смеси бесепарационным методом.

Заключительный пятый параграф второй главы посвящен оценке возможности измерений многофазных сред расходомерами, сертифицированными на измерение однофазных сред. На основе данных проведенного эксперимента сформулированы условия допустимости такого применения. Показано, что при содержании газа в смеси не превышающем 2%, погрешность измерений массы газа не превышает 5%. Это достаточная точность измерений для проводимых исследований.

**Третья глава** посвящена обобщающей итоговой задаче – подведению баланса учёта ПНГ. Здесь описываются ключевые моменты метрологического

обеспечения учета ПНГ как подсистемы общей системы учета углеводородного сырья в ОАО «Саратовнефтегаз». В этой главе описываются три основных разработки для обеспечения метрологической системы учета ПНГ, а именно методика подведения баланса по учету газа; Стандарт предприятия «Система учета углеводородного сырья. Газ»; программное обеспечение, позволяющее выполнить вывод данных с узлов учета газа на «верхний» уровень и проводить расчеты баланса по представленной методике.

Во втором параграфе третьей главы представлена разработанная методика порядка учёта газа с разделением по учету газа на скважинах по лицензионным участкам; учету газа по лицензионному участку недр; учету газа, используемого на собственные технологические и производственно-технические нужды; учету газа, передаваемого сторонним организациям или принимаемого от сторонних организаций; учету газа, сжигаемого на факельных установках и рассеиваемого в атмосферу; порядку определения и учета потерь. По каждому разделу приведены соответствующие формулы. В заключение определен алгоритм составления баланса.

Проведенные экспериментальные исследования и внедрение в производственный процесс результатов диссертационной работы позволили создать на предприятии программное обеспечение, позволяющее выполнить вывод данных с узлов учета газа на «верхний» уровень и проводить расчеты баланса по представленной методике.

**В заключение** диссертационной работы указаны основные предложения и выводы по материалу исследования, которые могут быть сформулированы в следующем виде:

1. Путем промышленной эксплуатации проведен сравнительный анализ газовых расходомеров различного производства для возможности измерения ПНГ. По результатам анализа систематизирован материал по применимости различного оборудования в составе УУГ, выявлены основные преимущества и



недостатки исследованных приборов учёта и предложен обобщающий результат анализа в виде сводного эксплуатационного ряда.

2. По итогам сравнительной оценки расходомеров ПНГ сформулированы основные рекомендации для строительства УУГ и выбора приборов учёта газа для различных целей использования.

3. Экспериментально проведено исследование методик сличения и проверки приемлемости результатов измерений и наглядно показана эффективность использования этих методик в целях выбора оптимального расходомера для учёта ПНГ.

4. Впервые экспериментально опробовано предположение о возможности замера расхода составляющих двухфазных сред без предварительного сепарирования путем применения двух последовательно установленных расходомера разного принципа измерения.

5. С помощью экспериментальной установки подробно исследован процесс измерения продукции скважины с получением отдельных результатов газовой и жидкостной составляющей смеси. Путем комплексного анализа множественных экспериментальных данных и проведенной оценки погрешности метода подтвердилась возможность успешного применения предложенного бессепарационного метода для решения задачи по измерению расхода ПНГ.

6. Предложенный метод может рассматриваться как отдельный независимый метод измерения количества ПНГ, либо как оценочный метод для сравнительного анализа традиционных получаемых результатов измерений расхода ПНГ.

7. Преимуществом данного подхода является снижение себестоимости замерной установки, а также возможность оперативного мониторинга работы скважины в режиме реального времени.

8. Для решения вопроса дисбаланса потоков газа разработана методика, в которой предложен и подробно исследован алгоритм учёта и подведения баланса

по ПНГ, охватывающий всю производственную цепочку от добычи до утилизации газа в разрезе предприятия.

9. По итогам исследования разработан обобщающий документ, регламентирующий порядок учёта газа в ОАО «Саратовнефтегаз» – Стандарт предприятия «Система учета углеводородного сырья. Газ», в котором подробно изложены общие положения метрологического обеспечения учета ПНГ в ОАО «Саратовнефтегаз», определяющие принципы управления системой учёта ПНГ, представляющей собой комплекс взаимосвязанных процессов.

10. Для реализации в производстве основных положений разработанной методики и стандарта по учёту газа решена задача по разработке индивидуального программного обеспечения.

11. Разработанное программное обеспечение, при соблюдении авторских прав, может быть применено и распространено в производственном цикле других нефтегазодобывающих предприятий и тиражировано для аналогичных процессов.

### **3. ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Публикации в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Министерства образования и науки Российской Федерации:**

1. Руденко В.А. Социально – экономическая обоснованность утилизации и учета попутного нефтяного газа // Вестник поволжской академии государственной службы. – 2011, №4(29), с.141-145.

2. Дронов В.И., Кудеяров Ю.А., Руденко В.А. Измерения попутного нефтяного газа бессепарационным методом // Измерительная техника. – 2013, № 7, с.61-64.

3. Dronov V.I., Kudeyarov Yu.A., Rudenko V.A. / Measurements of casing-head gas without preliminary separation // Measurement Techniques – 2013 – Vol.56 - October, Issue 7 (2013) – Page 823-826.

**Публикации в иных рецензируемых научных изданиях:**

4. Руденко В.А. Проблемы метрологического обеспечения измерений попутного нефтяного газа // Специализированный журнал о контрольно-измерительных приборах и автоматизации Кипинфо. – 2011, №4, с.7.

5. Руденко В.А. Проблемы метрологического обеспечения учета попутного нефтяного газа // Главный Метролог. – 2011, №4(61), с.28-29.

6. Руденко В.А. Проблемы внедрения в измерительную практику ГОСТ Р 8.733-2011, регламентирующего требования к измерениям количества и параметров свободного нефтяного газа // Законодательная и прикладная метрология. – 2012, №1(116), с.33-35.

7. Руденко В.А. Повышение эффективности управления от применения знаний, полученных в рамках Президентской программы, на примере личного опыта // Сборник материалов московской международной научно – практической конференции «Навстречу 15-летию президентской программы подготовки управленческих кадров: опыт и перспективы». Москва, 21-22 ноября 2011, с.140-141.

8. Rudenko V.A. / Measurement of associated oil gas in the mix besseparatsion method // materials of the III international research and practice conference «Science and Education» - 2013 – Vol.I – April – p.161-167.

9. Руденко В.А. Экспериментальное исследование методик сличения и правильности измерений в целях выбора оптимального средства измерения при измерениях расхода попутного нефтяного газа (ПНГ) // Законодательная и прикладная метрология. – 2014, №1 (128), с.41-43.

10. Руденко В.А. Проблема измерения расхода многофазных сред // Законодательная и прикладная метрология. – 2014, №2, с.39 – 41.