

На правах рукописи

Нургалиев Олег Тахирович

МЕТОД И АППАРАТУРА ДЛЯ ЭКСПРЕССНОГО
ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРОПАНА В
СМЕСЯХ ПРИ ГИДРОРАЗРЫВЕ
НЕФТЕГАЗОСОДЕРЖАЩИХ ПЛАСТОВ

Специальность 05.11.13 – Приборы и методы контроля
природной среды, веществ, материалов и изделий

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск – 2005

Научный руководитель:

Доктор технических наук, профессор Кулешов Валерий
Константинович

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, профессор Капранов Борис
Иванович

Доктор технических наук, профессор Чубик Петр Савельевич

Ведущая организация:

Тюменский государственный нефтегазовый университет (г.
Тюмень)

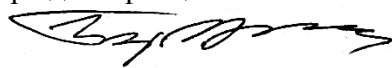
Защита состоится 20 декабря 2005 г. в 15⁰⁰ на заседании
диссертационного совета Д 212.269.09 Томского политехнического
университета по адресу: г. Томск. ул. Савиных, д. 7.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Томского
политехнического университета

Автореферат разослан 20 ноября 2005 года.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 212.269.09

доцент, к.т.н.



Винокуров Б.Б.

Актуальность работы.

Современная нефтегазодобывающая промышленность сделала ставку на максимальное увеличение дебита новых и старых скважин путем экстремального воздействия на призабойную зону для разработки отдаленных от ствола скважины частей нефтегазоносного пласта.

Одно из эффективнейших средств воздействия на призабойную зону скважин – гидравлический разрыв пластов (ГРП).

Он заключается в создании искусственных и расширении имеющихся трещин в породах призабойной зоны воздействием повышенных давлений жидкости, нагнетаемой в скважину. Для предотвращения смыкания трещин в скважину под давлением до 1600 атмосфер закачивают жидкость (воду или нефть), обработанную соответствующим химреагентом для повышения ее вязкости, в которую добавляют проппант (спеченные из кварцевого песка шарики диаметром 0,8 – 1,6 мм). С помощью проппанта в полученной трещине формируется своеобразный ‘клин’ (искусственное поровое пространство), который не дает этой трещине сомкнуться. Качественно сформированный клин определяет успех всей дорогостоящей операции. Для успешного формирования этого клина необходимо экспрессно определять концентрацию проппанта в трубопроводе, по которому рабочую смесь закачивают в скважину, с приведенной погрешностью не хуже $\pm(3,0 \div 5,0)\%$

Анализ результатов применения гидравлического разрыва пластов на различных месторождениях показал, что среднее число удачных проведенных операций гидравлического разрыва составляет около 80%. В остальных случаях причиной не повышения, а иногда и понижения дебита скважин является некачественное формирование ‘клина’, обусловленное малым или большим содержанием проппанта в рабочей жидкости.

Имея достоверную и оперативную информацию о концентрации проппанта в рабочих смесях можно с большей долей вероятности гарантировать успех всей дорогостоящей операции гидравлического разрыва нефтегазосодержащих пластов. В случае успеха операции гидроразрыва дебит скважины увеличивается на 200÷600%.

Актуальность работы подтверждает Постановление Правительства РФ № 686 от 20 июля 1993 года “Об организации серийного производства отечественного оборудования для глубоко проникающего гидравлического разрыва пластов на нефтяных и газовых месторождениях”.

Тема работы соответствует следующим позициям перечня “Приоритетные направления развития науки, технологий, техники и критических технологий Российской Федерации”:

Производственные технологии:

- Оценка, комплексное освоение месторождений и глубокая переработка стратегически важного сырья.
- Топливо и энергетика:
- Поиск, добыча, переработка и трубопроводный транспорт нефти и газа.

Цель работы.

Целью диссертационной работы является разработка метода и аппаратуры для экспрессного определения концентрации проппанта с повышенной, по сравнению с известными аналогами, точностью в рабочих смесях, прокачиваемых по стальным трубопроводам при гидроразрыве нефтегазосодержащих пластов.

Задачи работы.

1. Проанализировать современное состояние технологии гидроразрыва нефтегазосодержащих пластов, в том числе методы измерения концентрации проппанта в рабочих жидкостях при гидравлическом разрыве нефтегазосодержащих пластов, а также методы измерения концентрации твердой фазы в трехкомпонентных системах (пульпах), прокачиваемых по стальным трубопроводам, и выявить недостатки существующих методов.
2. Разработать способ определения с заданной точностью текущих значений концентрации проппанта в смесях, приготовленных на основе воды (с различной степенью минерализации) или нефтей разных сортов, различающихся друг от друга по плотности.
3. Разработать программно-математическое обеспечение для аппаратуры контроля концентрации проппанта в рабочих смесях.
4. Разработать, изготовить и провести производственные испытания опытного образца аппаратуры для контроля концентрации проппанта в рабочих смесях, применяемых при гидравлическом разрыве нефтегазосодержащих пластов.

Объект исследования.

Объектом исследования является технология приготовления рабочих смесей, содержащих в своем составе проппант, и технология нагнетания рабочих смесей в скважину для формирования искусственного порового пространства.

Научная новизна.

Предложен и реализован в опытном образце измерительного комплекса РИКП-01 способ определения текущих значений концентрации

проппанта по текущим значениям плотностей рабочей жидкости и рабочей смеси, измеренных на входе/выходе агрегата для приготовления смеси с учетом времени прохождения рабочей жидкости через агрегат для приготовления смеси при измерении плотности рабочей смеси, который обеспечивает повышенную, по сравнению с известными аналогами, точность в условиях флуктуации плотности рабочей жидкости и наличия газового фактора (патент Российской Федерации №2253856).

Практическая ценность.

- Разработан радиоизотопный метод экспрессного определения концентрации проппанта в рабочих смесях, закачиваемых при гидравлическом разрыве нефтегазосодержащих пластов по стальным трубопроводам высокого давления в скважину, который обеспечивает приведенную погрешность определения концентрации проппанта не хуже $\pm 3,5\%$ через каждые 15 секунд (патент Российской Федерации №2253856).
- Разработан опытный образец измерительного комплекса для экспрессного определения концентрации проппанта в рабочих смесях РИКП-01, который реализует разработанный метод.
- Разработан радиоизотопный датчик для экспрессного определения плотности пульп в трубопроводах, который использован в составе комплекса РИКП-01, станции для экспрессного контроля процесса цементирования скважин КСКЦ-01 (патент на полезную модель Российской Федерации № 39953).
- Измерительный комплекс РИКП-01 прошел производственные испытания на “Комсомольском месторождении” ОАО “Роснефть – Пурнефтегаз” и принят в эксплуатацию ОАО “Пурнефтеотдача” с 01.02.2003г. (г. Губкинский Ямало-Ненецкого автономного округа).

Личный вклад.

- Автором сделан анализ современного состояния технологии гидроразрыва нефтегазосодержащих пластов и методов определения твердой компоненты в бинарных (жидкость, твердое) и трехкомпонентных (жидкость, твердое, газ) пульпах, прокачиваемых по стальным трубопроводам, на основании которого определено направление исследований для совершенствования метода и аппаратуры для экспрессного контроля концентрации проппанта в рабочих смесях;
- Автором предложено определение текущих значений концентрации проппанта по текущим значениям плотностей рабочей жидкости и рабочей смеси, измеренных на входе/выходе агрегата для

приготовления смеси, а также учет времени прохождения рабочей жидкости через агрегат для приготовления смесей при измерении плотности рабочей смеси;

- При разработке радиоизотопного датчика плотности автором предложено выполнение нижней части корпуса биологической защиты датчика в виде усеченного конуса, закрепленного сваркой на опоре, выполненной в виде плиты, по периметру днища и с помощью четырех малых и двух больших ребер жесткости так, что ось коллимационного канала для размещения источника гамма – квантов перпендикулярна поверхности опорной плиты (патент РФ №39953);
- Автором предложена структура опытного образца измерительного комплекса для экспрессного определения концентрации проппанта в рабочих смесях РИКП-01;
- Автором разработано программное обеспечение на языке “Ассемблер” для микроконтроллера AT90S8535, установленного в концентраторе комплекса РИКП-01, и модули (подпрограммы) программного обеспечения на языке “Object – Pascal” для персонального компьютера, входящего в состав комплекса РИКП-01, а именно: подпрограмма приема данных от концентратора, подпрограмма настройки цифровых индикаторов, подпрограмма настройки параметров графического вывода на экран монитора измеренных и вычисленных данных в режиме реального времени.

Положения, выносимые на защиту.

- Соотношения, позволяющие вычислить текущие значения концентрации проппанта в рабочих смесях в условиях флуктуации плотности рабочей жидкости и наличии газового фактора по синхронным измерениям текущих значений плотностей рабочей жидкости и рабочей смеси в трубопроводах на входе/выходе агрегата для приготовления смеси.
- Конструкция радиоизотопного датчика плотности для экспрессного измерения плотностей пульп в трубопроводах.
- Принцип действия и конструкция опытного образца измерительного комплекса для экспрессного измерения концентрации проппанта в рабочих смесях.

Внедрение результатов работы.

Разработанный метод реализован в опытном образце измерительного комплекса для экспрессного определения концентрации проппанта в рабочих смесях при гидравлическом разрыве нефтегазосодержащих

пластов РИКП-01. Он обеспечивает экспрессное (через каждые 15 секунд) измерение плотности рабочей жидкости и рабочей смеси, вычисление по текущим значениям плотности текущих значений концентрации проппанта, прием сигнала с датчика расхода рабочей смеси, вычисление объема смеси и массы проппанта, закачаных в скважину, отображение всех измеренных и вычисленных параметров в режиме реального времени на дисплее компьютера и передачи этой информации на выносное цифровое табло.

Измерительный комплекс РИКП-01 прошел производственные испытания на “Комсомольском месторождении” ОАО “Роснефть – Пурнефтегаз” и принят в эксплуатацию ОАО “Пурнефтеотдача” с 01.02.2003г. (г. Губкинский Ямало-Ненецкого автономного округа), что подтверждается актом внедрения результатов диссертационной работы Нургалиева О.Т.

Апробация работы.

Основные положения и результаты работы докладывались на шести конференциях, изложены в 11 печатных работах, опубликованных в различных региональных и центральных научно – технических изданиях. В их числе патент №2253856 “Способ определения концентрации проппанта в смесях для гидравлического разрыва нефтегазосодержащих пластов”, патент на полезную модель №39953 “Радиоизотопный датчик плотности для контроля пульп в трубопроводах”.

Структура и объем диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, основных выводов, списка использованных источников из 37 наименований и приложений. Диссертационная работа содержит 147 страниц машинописного текста, включая 4 таблицы и 41 иллюстрацию, в том числе 2 фотографии.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе рассматривается и анализируется процесс гидравлического разрыва нефтегазосодержащих пластов. Рассматриваются зарубежные и отечественные системы контроля технологических параметров процесса гидроразрыва, показывается главный недостаток этих систем контроля – это большая погрешность, с которой определяется главный параметр, концентрация проппанта в рабочей смеси. В лучших зарубежных системах (фирмы Halliburton и фирмы Stewart & Stevenson Services) для вычисления текущих значений концентрации проппанта по измеренным с помощью гамма – плотномера текущим значениям плотности рабочей смеси используется формула (1):

$$\tilde{N} = \rho_{\text{г}} \times (\rho_{\text{пл}} - \rho_{\text{ж}}) / \rho_{\text{пл}} \times (\rho_{\text{г}} - \rho_{\text{ж}}) \quad (1)$$

где $\rho_{\text{г}}$ – плотность твердой компоненты;

$\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкой компоненты;

$\rho_{\text{ср}}$ – измеренная средняя плотность бинарной системы.

О концентрации проппанта в рабочей жидкости эти системы судят по измеренному значению плотности рабочей смеси, не учитывая флуктуацию плотности рабочей жидкости, поступающей в агрегат для приготовления смеси. В качестве рабочей жидкости применяют различные сорта нефти или пластовую воду с различной минерализацией, что обуславливает погрешность измерения концентрации проппанта в рабочих смесях у этих систем контроля не менее $\pm 10\%$. Это повышает вероятность некачественного процесса формирования клина. Рассматриваются методы измерения концентрации твердой фазы в бинарных и трехкомпонентных системах (смесях), прокачиваемых по стальным трубопроводам, выясняется, что и они из-за недостаточного быстродействия и большой погрешности не применимы для решения этой задачи. На основании анализа принято решение: усовершенствовать метод измерения концентрации проппанта в рабочих смесях при гидроразрыве нефтегазосодержащих пластов с помощью гамма – метода измерения плотности таким образом, чтобы он учитывал флуктуацию плотности рабочей жидкости на входе в агрегат для приготовления смеси.

Во второй главе описывается радиоизотопный метод определения концентрации проппанта в рабочих смесях при гидравлическом разрыве нефтегазосодержащих пластов.

Рассмотрено влияние изменения плотности рабочей жидкости на погрешность определения концентрации проппанта. Его поясняет рисунок 1, на котором изображена зависимость скорости счета гамма – плотнмера, установленного после агрегата для приготовления смеси, от концентрации проппанта для различных типов рабочих жидкостей (воды и нефти), из которых приготавливается смесь. Из этой зависимости видно, что при каком-то значении скорости счета (N_i) погрешность определения концентрации проппанта в рабочей жидкости на основе воды (ΔC_1) или нефти (ΔC_2) по своей зависимости с учетом погрешности гамма – плотнмера не будет превышать $\pm 0,028 \text{ т/м}^3$, что обеспечивает приведенную погрешность не хуже $\pm 3,2\%$, в то время, как каждое изменение плотности рабочей жидкости (плотность нефти = 820 кг/м^3 , плотность воды = 1000 кг/м^3) на 10 кг/м^3 увеличивает погрешность определения концентрации проппанта на $2,44\%$.

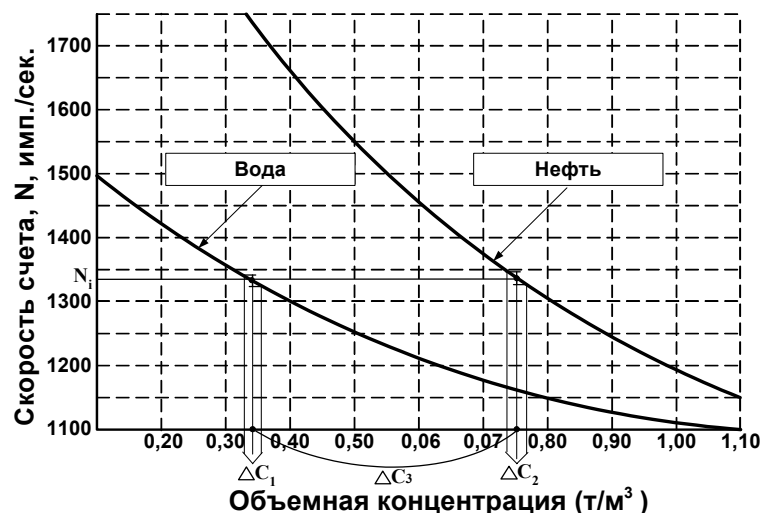


Рисунок 1 – Зависимость скорости счета гамма – плотнмера от концентрации проппанта в рабочих смесях для рабочей жидкости на основе пресной воды и нефти

Для того чтобы минимизировать погрешность определения концентрации проппанта в рабочих смесях при ГРП, нужно измерять плотность рабочей жидкости до смешивания с проппантом (на входе в агрегат для приготовления смеси) и измерять плотность смеси выходящей по трубопроводу из агрегата для приготовления смеси.

В результате экспериментов по измерению плотности рабочей смеси и после рассмотрения баланса масс (формула (2)) и баланса объемов (формула (3)) выяснилось, что при приготовлении рабочей смеси (рабочая жидкость, проппант и химреагенты) возникает увеличение объема смеси (газовый фактор), что также сказывается на точности определения концентрации проппанта.

$$M_{\text{см}} = M_{\text{ж}} + M_{\text{пр}} \quad (2)$$

$$V_{\text{н}} = V_{\text{ж}} + V_{\text{пр}} + \Theta \times V_{\text{пр}} \quad (3)$$

где $M_{\text{см}} = \rho_{\text{см}} \times V_{\text{см}}$ – масса рабочей смеси;

$M_{\text{ж}} = \rho_{\text{ж}} \times V_{\text{ж}}$ – масса жидкости в рабочей смеси;

$M_{\text{пр}} = \rho_{\text{пр}} \times V_{\text{пр}}$ – масса проппанта в смеси;

$V_{\text{см}}$ – объем рабочей смеси;

$V_{\text{ж}}$ – объем жидкости в рабочей смеси;

$V_{\text{пр}}$ – истинный объем проппанта в рабочей смеси;

$V_{\text{пуст}}$ – объем пустого пространства в объеме занимаемом проппантом;

Θ – коэффициент увеличения объема рабочей смеси.

$\rho_{\text{см}}$, $\rho_{\text{ж}}$, $\rho_{\text{пр}}$ – плотность смеси, жидкости и проппанта соответственно.

Величину концентрации проппанта $C = M_{\text{пр}}/V_{\text{см}}$ (формула (4)) можно выразить через минералогическую, насыпную плотности проппанта, плотности рабочей жидкости и рабочей смеси, а также коэффициент увеличения объема.

$$\tilde{N} = \frac{\rho_{\text{пр}} \times (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{ж}})}{\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{ж}} \times \Theta \times \left(1 - \frac{\rho_{\text{н}}}{\rho_{\text{н}}} \right)} \quad (4)$$

где $\rho_{\text{пр}}$ – минералогическая плотность проппанта;

$\rho_{\text{нас}}$ – насыпная плотность проппанта;

$\rho_{\text{ж}}$ – текущее значение плотности порции рабочей жидкости на входе в агрегат для приготовления смеси;

$\rho_{\text{см}}$ – текущее значение плотности порции рабочей смеси;

Θ – коэффициент увеличения объема при смешивании рабочей жидкости с проппантом и химреагентами (гелеобразователем и деструктором).

Предложены два способа вычисления коэффициента увеличения объема Θ (газовый фактор):

Способ 1. Коэффициент Θ определяют по предварительно экспериментально установленной зависимости объемной концентрации проппанта от плотности смеси $C_{\text{экс}}=f(\rho_{\text{см}})$ для конкретного типа жидкости по формуле:

$$\Theta=k \times \left(\frac{\rho_{\text{пл}} - \rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{пл max}} - \rho_{\text{ж}}} \right)^n \quad (5)$$

где k – константа, подлежащая определению;
 n – показатель степени, принимающей значения 0,1,2;
 $\rho_{\text{см max}}$ – максимальное значение плотности смеси.

Конкретное значение параметров k и n для конкретной жидкости выбирают по некоторому критерию F :

$$F = \int_{\rho_{\text{ж}}}^{\rho_{\text{см max}}} \left[C_{\text{экс}}(\rho_{\text{см}}) - C_{\text{расч}}(\rho_{\text{см}}) \right]^2 d\rho_{\text{см}} \Rightarrow \min \quad (6)$$

где $C_{\text{экс}}(\rho_{\text{см}})$ – экспериментально установленная зависимость объемной концентрации проппанта от плотности смеси;
 $C_{\text{расч}}(\rho_{\text{см}})$ – расчетная зависимость объемной концентрации проппанта от плотности смеси.

Способ 2. Коэффициент увеличения объема Θ определяют по предварительно измеренной массе проппанта $M_{\text{пр}}$, закачанной в скважину путем решения уравнения:

$$\dot{M}_{\text{пр}} = \int_0^{\Delta t} Q_{\text{пл}}(t) \times \rho_{\text{пл}}(t) \times X(t, \rho_{\text{пл}}, n, k) dt \quad (7)$$

где $M_{\text{пр}}$ – измеренная масса проппанта;
 $Q_{\text{см}}(t)$ – текущее значение расхода смеси;
 t – текущее время измерения расхода и плотности смеси;
 $\rho_{\text{см}}(t)$ – текущее значение плотности смеси;

$X(t, \rho_{см}, n, k)$ – текущее значение массовой доли проппанта;
 T – время, затраченное на закачивание смеси в скважину.

с помощью которой определяют конкретные значения n и k , используемые для вычисления коэффициента Θ по формуле (6).

Поскольку величина $M_{пр}$, стоящая в левой части выражения (7) известна, то это выражение можно рассматривать как уравнение для определения величины n и k .

Практическое определение оптимальных величин n и k по критерию F проиллюстрировано на рисунке 2, на котором приведены расчетные зависимости концентрации проппанта от плотности смеси для рабочей жидкости на основе воды при различных n и k и их сравнение с $C_{эк}(\rho_{см})$. Видно, что для рабочей жидкости на основе воды лучшее согласование с экспериментом получается при использовании в формуле (5) $n=2$ и $k=0,6$.

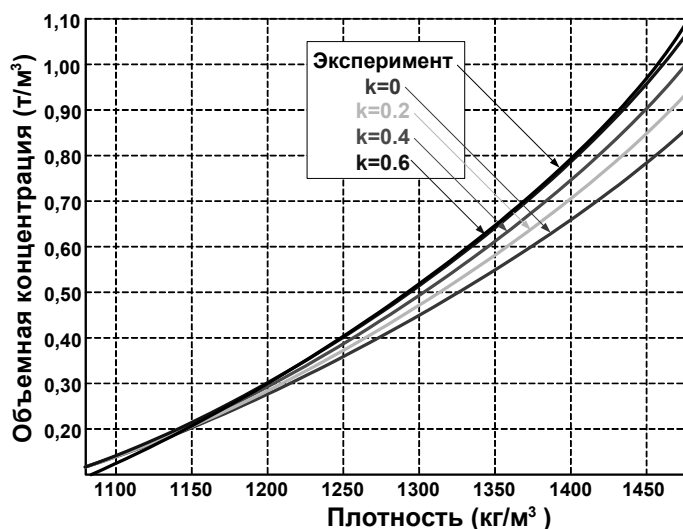


Рисунок 2 – Сравнение экспериментальной и расчетных зависимостей объемной концентрации проппанта от плотности рабочей жидкости на основе воды для различных k при $n=2$

Способы определения величины газового фактора для рабочей жидкости на основе воды также справедливы и для рабочей жидкости на основе нефти, только константа k и степень n для рабочей жидкости на основе нефти будут иными.

На рисунке 3 приведено сравнение экспериментальной (кривая 1) и расчетных зависимостей объемной концентрации проппанта от плотности

смеси для пульпы на основе воды. Кривая 2 рассчитана по формуле (4), кривая 3 рассчитана без учета газового фактора по формуле (1).

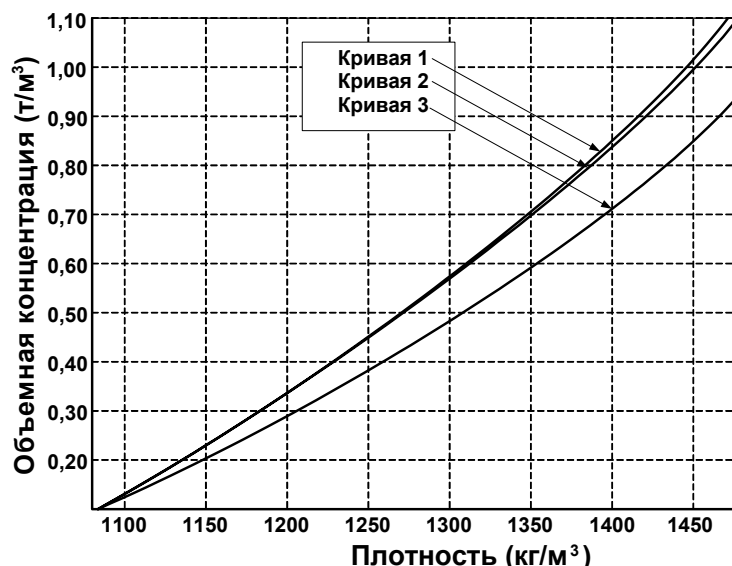


Рисунок 3 – Сравнение экспериментальной и рассчитанных зависимостей объемной концентрации пропантанта от плотности смеси на основе воды

Видно, что экспериментальная кривая 1 хорошо совпадает с кривой, рассчитанной по формуле (4). Плохое совпадение кривой 3 с экспериментальной кривой 1 объясняется отсутствием учета флуктуации плотности рабочей жидкости и величины газового фактора при расчете концентрации пропантанта.

Для повышения точности измерения концентрации пропантанта в рабочих смесях предложено измерять плотность рабочей жидкости на входе в агрегат для приготовления смеси, а плотность рабочей смеси на выходе из агрегата для приготовления смеси измерять через некоторое время задержки, равное времени прохождения порции рабочей жидкости по стальному трубопроводу через агрегат для приготовления смеси, что обеспечит измерение плотности рабочей смеси именно в той порции, которая приготовлена из порции рабочей жидкости, плотность которой предварительно измерена.

Проведен анализ погрешности определения концентрации пропантанта в рабочей смеси, приготовленной на основе воды, по измерению плотности рабочей жидкости и рабочей смеси на входе/выходе агрегата для

приготовления смеси. Из анализа погрешности можно заключить, что приведенная погрешность не будет превышать $\pm 3,2\%$.

Экспериментальная проверка показала, что приведенная погрешность определения концентрации проппанта в рабочих смесях с доверительной вероятностью 0,95 при времени измерения плотностей рабочей жидкости и смеси, равной 15 секунд, не превышает $\pm 3,5\%$, что подтверждает достоверность разработанного метода.

В третьей главе описаны измерительный комплекс РИКП-01, конструкция и принцип действия радиоизотопного датчика плотности рабочей жидкости и рабочей смеси, программное обеспечение комплекса РИКП-01, метрологические и производственные испытания измерительного комплекса РИКП-01.

Структурная схема измерительного комплекса РИКП – 01 рисунке 4, а общий вид показан на рисунке 5.

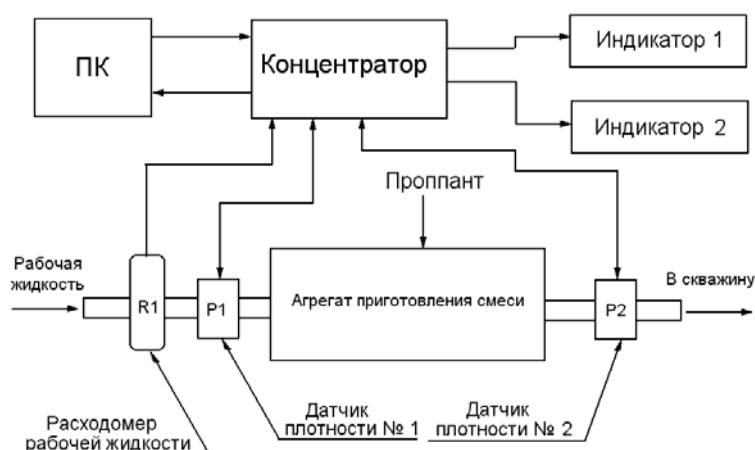


Рисунок 4 – Структурная схема комплекса РИКП-01

На входе в агрегат для приготовления смеси стоят датчики плотности №1 и объемного расхода рабочей жидкости. На выходе из агрегата приготовления смеси стоит радиоизотопный датчик плотности №2, который измеряет среднюю плотность смеси, поступающей в скважину. Значения сигналов от датчиков поступают в концентратор и на персональный компьютер.

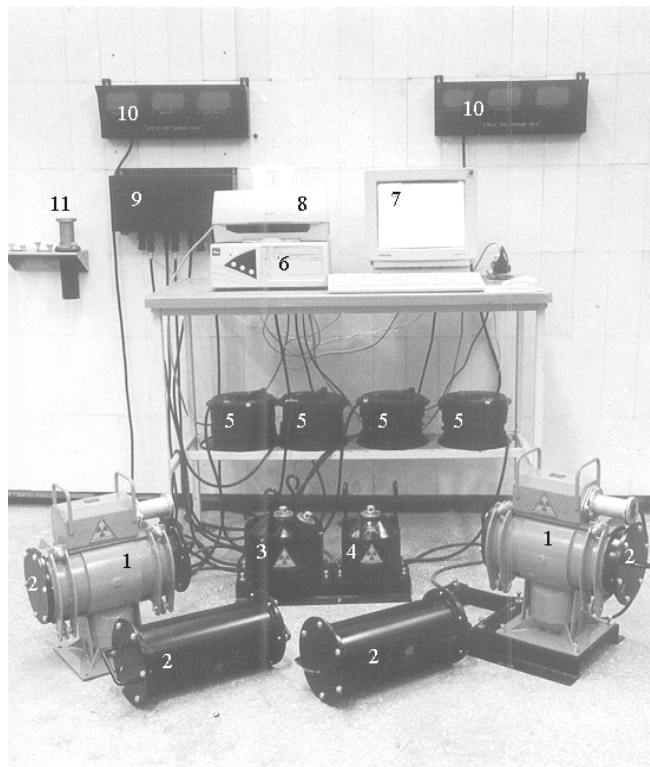


Рисунок 5 – Общий вид оборудования комплекса РИКП – 01:

1 – датчик плотности; 2 – измерительные емкости для градуировки плотномера; 3 – транспортный контейнер для радиоизотопных источников излучения; 4 – переносной контейнер; 5 – катушки с соединительными кабелями; 6 – системный блок компьютера; 7 – монитор; 8 – принтер; 9 – концентратор; 10 – выносные цифровые индикаторы; 11 – кассета для установки детектора гамма – излучения в транспортном положении

Описан разработанный радиоизотопный датчик плотности для контроля пульп в трубопроводах, обладающий мобильностью и радиационной безопасностью показанный на рисунке 6. Он обеспечивает погрешность определения плотности рабочих жидкостей и смеси не хуже $\pm 0,02 \text{ г/см}^3$ за время усреднения 15 секунд в температурном диапазоне $-45^\circ\text{C} \div +45^\circ\text{C}$.

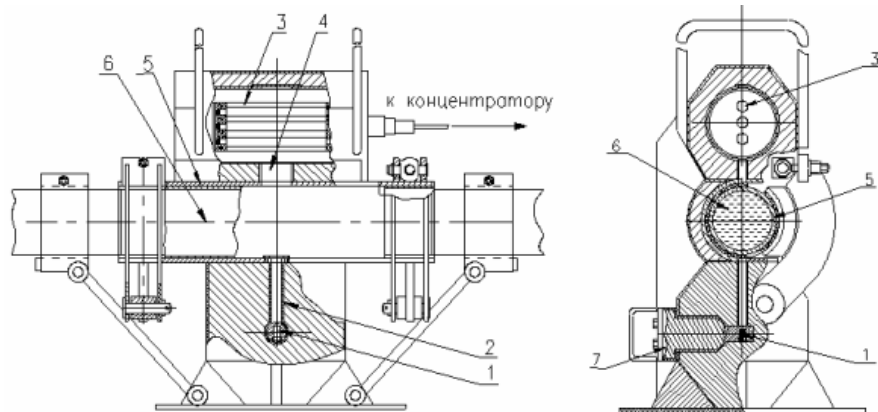


Рисунок 6 – Радиационный датчик плотности для контроля пульп в трубопроводах: 1 – источник гамма – квантов; 2,4 – коллимационные отверстия; 3 – детектор гамма – квантов (три счетчика типа СБМ-20); 5 – труба наружным диаметром 159 мм; 6 – контролируемая среда (пульпа); 7 – держатель источника гамма – квантов.

Описано разработанное программное обеспечение для микроконтроллера и персонального компьютера, обеспечивающие: прием данных от датчиков плотности и датчика расхода; первичную обработку данных; передачу данных на персональный компьютер; вычисление значений плотности рабочей смеси и рабочей жидкости; вычисление массовой доли и концентрации проппанта в рабочей смеси; вычисление объема смеси и массы проппанта, закачанных в скважину; индикацию вычисленных значений в цифровом и графическом видах на дисплее монитора и передачу вычисленных значение на концентратор для переносных цифровых индикаторов.

Проведены метрологические испытания радиоизотопных плотномеров, входящих в состав комплекса РИКП-01, на основании которых получен сертификат №40/НИИИН-024 от 17.09.2002 г. о метрологической аттестации комплекса РИКП-01.

Приведены результаты производственных испытаний опытного образца “Информационно-измерительного комплекса для экспрессного определения концентрации проппанта в рабочих смесях при гидравлическом разрыве нефтегазосодержащих пластов РИКП-01”. Запись гидравлического разрыва, проведенная 25.01.2003 г. на скважине 224, куст 9 “Комсомольского месторождения”, приведена на рисунке 7.

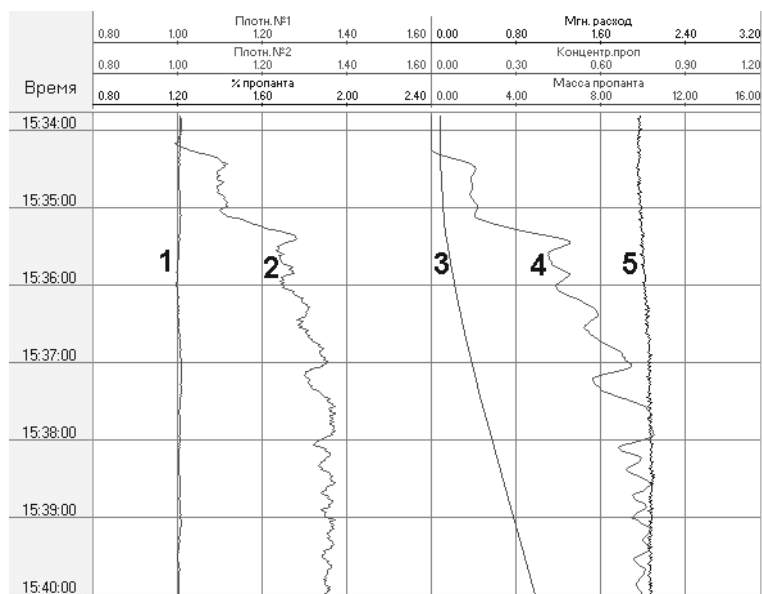


Рисунок 7 – Запись гидроразрыва, проведенная 25.01.2003 г. на скважине 244, куст 9 “Комсомольского месторождения”:

1- плотность на входе в АПС; 2 – плотность на выходе из АПС; 3 – масса пропанта; 4 – концентрация пропанта; 5 – мгновенный расход

Испытания показали, что информационно-измерительный комплекс РИКП – 01 обеспечивает погрешность определения объемной концентрации пропанта не хуже $\pm 3.5 \%$ за время измерения 15 сек, о чем свидетельствует акт приемо-сдаточных испытаний.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

1. Сделан анализ современного состояния технологии гидравлического разрыва нефтегазосодержащих пластов, а также зарубежных и отечественных систем контроля технологических параметров процесса ГРП, и методов измерения концентрации твердой фазы в бинарных и трехкомпонентных системах (пульпах), прокачиваемых по стальным трубопроводам. Установлено, что рассмотренные системы контроля и методы не могут обеспечить необходимую приведенную погрешность определения концентрации проппанта в рабочей смеси $\pm 3,5\%$ за время измерения 15 секунд. Определено направление исследований по разработке метода для экспрессного определения концентрации проппанта в рабочих смесях с необходимой точностью, а именно: усовершенствовать метод измерения концентрации проппанта в рабочих смесях при гидроразрыве нефтегазосодержащих пластов с помощью гамма – метода измерения плотности таким образом, чтобы он учитывал флуктуацию плотности рабочей жидкости на входе в агрегат для приготовления смеси.
2. Разработана физико–математическая модель экспрессного определения концентрации проппанта в рабочих смесях с повышенной точностью. Выведены формулы, с помощью которых по измеренным значениям плотности рабочей жидкости и плотности рабочей смеси, по значениям насыпной и минералогической плотности проппанта и по вычисленному значению коэффициента увеличения объема смеси (газового фактора) можно вычислить концентрацию проппанта и массовую долю проппанта в рабочей смеси с необходимой точностью. Разработаны два способа определения величины газового фактора, который возникает при смешивании рабочей жидкости с химреагентами и проппантом. Предложена синхронизация во времени измерения плотности рабочей жидкости и рабочей смеси.
3. Проведены экспериментальные исследования предложенного способа, которые показали, что приведенная погрешность определения концентрации проппанта в рабочих смесях с доверительной вероятностью 0,95 не превышает $\pm 3,5\%$ за время измерения 15 секунд.
4. По результатам проведенных исследований разработан и изготовлен опытный образец радиоизотопного измерительного комплекса для экспрессного определения концентрации проппанта в рабочих

- смесях, применяемых при гидравлическом разрыве нефтегазосодержащих пластов РИКП-01.
5. Спроектирован и изготовлен радиоизотопный датчик плотности, обеспечивающий погрешность определения плотности не хуже ± 20 кг/м³ в диапазоне от -45⁰С до +45⁰С за время усреднения 15 секунд.
 6. Разработано программное обеспечение для микроконтроллера AT90S8535 на языке “Ассемблер” и персонального компьютера на языке “Object – Pascal” с использованием среды разработки “DELPHI”, обеспечивающие вычисление массовой доли и концентрации проппанта в рабочей смеси, а также объема рабочей смеси и массы проппанта, закачанных в скважину
 7. Проведены метрологические испытания радиоизотопных плотномеров №1 и №2, входящих в состав комплекса РИКП-01. На их основании получен сертификат №40/НИИИН-024 от 17.09.2002 г. о метрологической аттестации комплекса РИКП-01.
 8. Получены патенты Российской Федерации №2253856 и №39953 защищающие принцип действия и конструкцию комплекса РИКП-01.
 9. Опытный образец радиоизотопного измерительного комплекса для экспрессного определения концентрации проппанта в рабочих смесях, применяемых при гидравлическом разрыве нефтегазосодержащих пластов РИКП-01 в период с 29.11.2002г. по 29.01.2003г. прошел производственные испытания и принят в эксплуатацию ОАО “Пурнефтеотдача” (г. Губкинский Ямало-Ненецкого автономного округа) с 01.02.2003г. Испытания показали, что информационно-измерительный комплекс РИКП – 01 обеспечивает погрешность определения объемной концентрации проппанта не хуже ± 3.5 % за время измерения 15 сек.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Нургалиев О.Т., Кулешов В.К., Волченко Ю.А., Суханов М.С. Разработка радиоизотопного метода для экспрессного определения концентрации проппанта в рабочих смесях, применяемых при гидравлическом разрыве нефтегазосодержащих пластов// Современная техника и технологии “СТТ 2003. Доклад. 8-я научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых 2003г. – Томск, 2003. – С. 79-81.
2. Нургалиев О.Т., Волченко Ю.А., Суханов М.С. Экспрессный радиоизотопный метод определения концентрации твердой компоненты в трехкомпонентных (жидкость, газ, твердое) пульпах // Наука и технологии. Доклад. 7-й международный симпозиум 2003г.– Ульсан, Южная Корея, 2003. – С. 474-478.
3. Патент №2253856 РФ, МПК G 01 N 9/36 Способ определения концентрации проппанта в смесях для гидравлического разрыва нефтегазосодержащих пластов. Нургалиев О.Т., Волченко Ю.А., Суханов М.С. (РФ). - №2004103251/04-02; Заявлено 04.02.2004. Опубликовано 10.06.2005г.
4. Нургалиев О.Т., Кулешов В.К., Волченко Ю.А., Суханов М.С. Радиоизотопный метод экспрессного определения концентрации проппанта в рабочих смесях, применяемых при гидравлическом разрыве нефтегазосодержащих пластов// Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности. Тезисы доклада. 3-я международная выставка – конференция 2004г. – Москва, 2004. – С. 172.
5. Нургалиев О.Т., Кулешов В.К., Волченко Ю.А., Суханов М.С. Контроль качества рабочих смесей при гидравлическом разрыве нефтегазосодержащих пластов с помощью комплекса РИКП-01// Проблемы и перспективы развития минерально-сырьевого комплекса и производственных сил Томской области. Тезисы доклада. Научно-практическая конференция 2004г. – Томск, 2004. – С. 122-123.
6. Нургалиев О.Т., Кулешов В.К., Волченко Ю.А. Измерительный комплекс РИКП-01 для экспрессного определения концентрации проппанта в рабочих смесях при гидроразрыве нефтегазопромысловых скважин// Проблемы геологии и освоения недр. Тезисы доклада. 8-й международный научный симпозиум имени академика М.А. Усова. 2004г. – Томск, 2004. – С. 610-611.
7. Нургалиев О.Т., Кулешов В.К., Волченко Ю.А., Суханов М.С. Контроль качества рабочих смесей при гидравлическом разрыве нефтегазосодержащих пластов с помощью комплекса РИКП-01// Качество –

стратегия 21 века. Тезисы доклада. 9-я международная научно-практическая конференция 2004г. – Томск, 2004. – С 67-69.

8. Нургалиев О.Т., Кулешов В.К., Волченко Ю.А., Суханов М.С. Измерительный комплекс РИКП-01 для экспрессного контроля концентрации проппанта в рабочих смесях при гидравлическом разрыве нефтегазосодержащих пластов// Контроль. Диагностика. – 2005 – № 6. – С 51-54.

9. Патент на полезную модель №39953 РФ, МПК G 01 N 9/24. Радиоизотопный датчик плотности для контроля пульп в трубопроводах/. О.Т. Нургалиев, Ю.А. Волченко, М.С. Суханов (РФ). - №2004113813/06-05; Заявлено 06.05.2004. Опубликовано 21.10.2004г.

10. Нургалиев О.Т., Кулешов В.К., Волченко Ю.А., Суханов М.С. Радиоизотопный метод экспрессного определения концентрации проппанта в рабочих смесях, применяемых при гидравлическом разрыве нефтегазосодержащих пластов// Измерительная техника. – 2005 – №3. – С. 61-68

11. Нургалиев О.Т., Кулешов В.К., Волченко Ю.А., Суханов М.С. Экспрессный радиоизотопный метод определения концентрации твердой компоненты в трехкомпонентных (жидкость, газ твердая фаза) пульпах// Физико-технические проблемы атомной энергетики и промышленности. Тезисы доклада. 3-я международная научно-практическая конференция 2005г. – Томск, 2004 – С. 59.