УДК 550

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ БАЗЫ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КРЕПИ СКВАЖИН

IMPROVEMENT OF LABORATORY BASE AND METROLOGICAL SUPPORT FOR DEFINITION OF CHARACTERISTICS OF GEOPHYSICAL DEVICES OF CONTROL OF TECHNICAL CONDITION OF A TIMBERING OF WELLS

Климов Вячеслав Васильевич
кандидат технических наук,
Кубанский государственный технологический университет
ld.yug2016@gjmail.com

Аннотация. Для контроля технического состояния скважин оказывается необходимым обеспечить воспроизводимость технических характеристик применяемой геофизической аппаратуры, постоянство эталонирования и единство измерений, производимых указанной аппаратурой.
Анализ состояния метрологического обеспечения в геофизических службах ОАО «Газпром» свидетельствует о неблагополучном положении в этой области, несмотря на принятое ранее решение (руководителями геофизических служб Роскомнедра, Минтопэнерго РФ, РАО «Газпром», ГП «Роснефть») о создании единой Российской системы стандартизации, метрологического обеспечения и сертификации геофизической продукции, а также создание научно-методического экспертного совета по данной проблеме для координации научно-технической политики в области метрологического обеспечения ГИС в рамках Евро-Азиатского геофизического общества. Однако, экономическая ситуация в стране не позволила осуществить намеченные в этом направлении мероприятия.
Отсутствие в России соответствующего метрологического обеспечения ГИС не позволяет разрабатывать достаточно эффективные методы и технические средства измерений необходимых параметров при контроле за разработкой и эксплуатацией нефтегазовых месторождений и ПХГ. Поэтому нами разработаны:
– лабораторные метрологические установки для идентификации характеристик приемников и излучателей акустической аппаратуры контроля качества цементирования скважин;
– комплексная конструкция моделей скважин для контроля технического состояния обсадных колонн.

Ключевые слова: контроль технического состояния скважин, воспроизводимость технических характеристик применяемой геофизической аппаратуры, постоянство эталонирования, единство измерений, метрологическое обеспечение, ГИС, разработка и эксплуатация нефтегазовых месторождений.

Klimov Vyacheslav Vasilyevich
Candidate of Technical Sciences,
Kuban state technological university
ld.yug2016@gjmail.com

Annotation. For control of technical condition of wells it is necessary to provide reproducibility of technical characteristics of the used geophysical equipment, constancy of calibration and unity of the measurements performed by the specified equipment.
The analysis of a condition of metrological support in geophysical services of JSC Gazprom confirms unsuccessful situation in this area, despite the decision (heads of geophysical services State Committee on Geology and Subsoil Resources, Ministry of Fuel and Energy of the Russian Federation, RJSC Gazprom, GP «Rosneft») on creation of uniform Russian system of standardization, metrological support and certification of geophysical production made earlier and also creation is scientific-methodical advisory council on this problem for coordination scientifically – technical policy in the field of metrological support of GIS within Euro-Asian geophysical society. However, the economic situation in the country hasn't allowed to carry out the actions planned in this direction.
The lack in Russia of the corresponding metrological support of GIS doesn't allow to develop rather effective methods and technical means of measurements of necessary parameters at control of development and operation of oil and gas fields and UGS. Therefore are developed by us:
– laboratory metrological installations for identification of characteristics of receivers and radiators of the acoustic equipment of quality control of cementation of wells;
– a complex design of models of wells for control of technical condition of upsetting columns.

Keywords: control of technical condition of wells, reproducibility of technical characteristics of the used geophysical equipment, constancy of calibration, unity of measurements, metrological support, GIS, development and operation of oil and gas fields.

Часть 1. Лабораторная метрологическая установка для идентификации характеристик излучателей акустической аппаратуры контроля качества цементирования скважин

Пьезокерамические преобразователи и магнитострикторы, выпускаемые промышленностью и предназначенные для работы в качестве приемников и излучателей приборов акустического каротажа, имеют большой разброс параметров. Так, в соответствии с техническими условиями РЦ 0.338.134 ТУ, для пьезокерамических преобразователей регламентируются лишь только:

– относительная диэлектрическая проницаемость ϵ, – 1400–2050;
– пьезомодуль в динамическом режиме, d $31 \cdot 10^{-12}$, – не менее 150;

– электросопротивление между электродами, Ом·10^8, – не менее 1;
– тангенс угла диэлектрических потерь – 0,035.

Допустимые режимы эксплуатации:
– температура от 213 до 343 К;
– вибрация в диапазоне частот от 100 до 600 КД – не более 73,6 м/$с^2$;
– многократные удары – до 118 м/$с^2$ при длительности импульса 5–10 мс;
– внешнее одностороннее гидростатическое давление – до 15·10^5 Па.

Поскольку заводы-изготовители пьезопреобразователей и магнитострикторов не гарантируют идентичность их характеристик, для многозондовой акустической аппаратуры оказывается необходимым их индивидуальный подбор по следующим основным параметрам: резонансная частота, чувствительность, собственная емкость, индуктивность, коэффициент затухания, неравномерность амплитудно-частотной характеристики в рабочем диапазоне частот.

Поэтому, для определения параметров акустических излучателей и приемников (в рабочих режимах), разработана стендовая лабораторная метрологическая установка, состоящая из:
– стабилизированного регулируемого источника питания;
– акопительных конденсаторов;
– транзисторного коммутатора заряд–разряд;
– электронных блоков для определения резонансной частоты магнито-стрикторов и пьезоизлучателей;
– электронного блока для определения собственной емкости пьезоприемников и пьезоизлучателей;
– электронного частотомера и осциллографического индикатора.

На рисунке 1 приведена блок – схема указанной метрологической установки, а на рисунке 2 – упрощенная принципиальная электрическая схема блока для определения параметров магнитострикционных и пьезокерамических излучателей, который обеспечивает следующие друг за другом заряд конденсатора от источника постоянного напряжения и его разряд на исследуемый магнитострикторе или пьезоизлучатель.

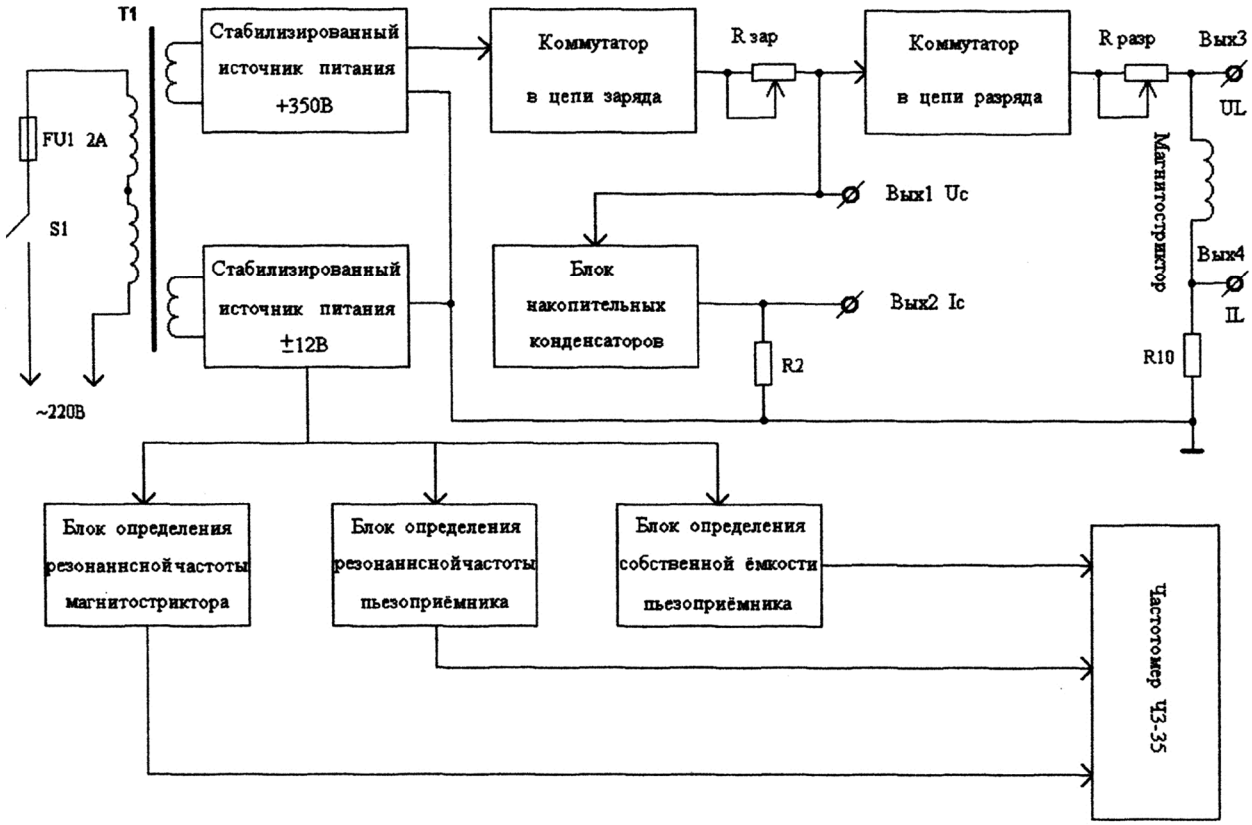


Рисунок 1 – Блок-схема лабораторной метрологической установки для определения параметров акустических излучателей и приемников

Установка включает следующие основные элементы:
– источник питания от сети переменного тока с регулятором напряжения;
– батарею накопительных конденсаторов (С3, С4, С5);

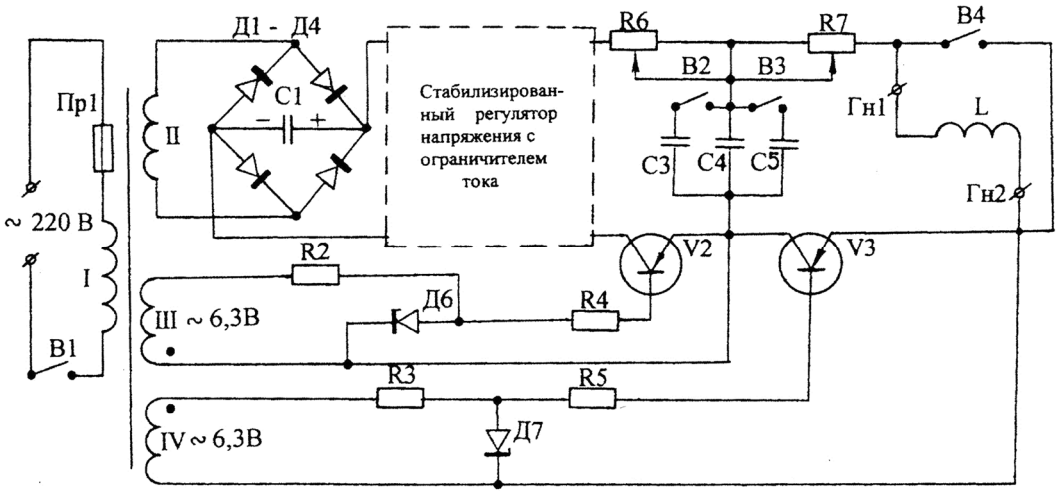


Рисунок 2 – Упрощенная принципиальная электрическая схема блока для определения параметров магнитострикционных и пьезокерамических излучателей

– резисторы R6 и R7 в цепях заряда и разряда накопительных конденсаторов;

– транзисторные ключи V2 и V3 в цепях заряда и разряда накопительных конденсаторов, управляемые противофазными напряжениями с частотой 50 Гц.

Поэтому время одного цикла, состоящего из заряда и разряда конденсатора, составляет 0,02 сек.

Ниже рассмотрим порядок работы на лабораторной метрологической установке при определении параметров магнитострикционных и пьезокерамических излучателей.

1. Установить значение сопротивления резистора R6 порядка нескольких десятков Ом.
2. Включить напряжение питания выключателем В1.
3. Подать на вход осциллографа напряжение с конденсатора С4 при разомкнутых выключателях В2 и В3.
4. С помощью осциллографа осуществить наблюдение за характером изменения напряжения на конденсаторе С4 в режимах «заряд – разряд» для различных значений сопротивлений резисторов R6 и R7 (для проверки работоспособности метрологической установки).

(Напряжение на конденсаторе описывается выражением:

$$Uc(t) = Uc(t_0) \cdot e^{-bt}, \text{ где } b = \frac{1}{R7C}. \quad (1)$$

В конце разряда оно должно составлять (20 … 30) % начального).

Измерив напряжение на конденсаторе для двух моментов времени разряда, например, начального $Uc(t_0) = Uc_0$ и произвольного $Uc(t)$ по истечении времени t, определить емкость из выражения:

$$\frac{Uc(t)}{Uc(t_0)} = \frac{Uc(t)}{Uc_0} = e^{-\frac{t}{R7C}}, \quad (2)$$

откуда:

$$C = \frac{t}{ln\frac{Uc_0}{Uc(t)}} \quad (3)$$

(при необходимости величина емкости накопительного конденсатора может ступенчато увеличиваться с помощью переключателей В2 и В3, а величина зарядного напряжения – изменяться с помощью стабилизированного регулятора напряжения).

6. Подключить испытуемый магнитострикционный излучатель к гнездам Гн1, Гн2 и разомкнуть выключатель В4.
7. Изменяя величину сопротивления резистора R7, убедиться в изменениях характера переходного процесса, фиксируя внимание на периодическом, апериодическом и граничном апериодическом режимах (при R7 = $R_{кр}$). По величине сопротивления резистора R7, соответствующего граничному апериодическому режиму, можно произвести оценку затухания (потерь) в магнитострикторе (т.е. производить их разбраковку).
8. При наблюдении колебательного режима, помимо его качественной оценки, необходимо, используя изображение на экране осциллографа, произвести расчет параметров R и L магнитострикторa (величина емкости C принимается равной рассчитанной ранее).

9. Для вычисления параметров *R* и *L* по кривой колебательного разряда на осциллографе определить коэффициент затухания *b* и частоту собственных колебаний магнитостриктора ω_0. Для этого, зная масштаб времени на осциллографе, найти период собственных колебаний T_0 как время между двумя ближайшими точками графика, соответствующими одной и той же фазе.

10. Определить коэффициент затухания b на основании уравнения:

$$Uc(t) = A \cdot e^{-bt} \cdot \sin\omega_0 t \qquad (4).$$

(для этого подставив в выражение (4) величины, соответствующие двум соседним максимальным значениям *Uc*, запишем два уравнения:

$$Ucm_1 = A \cdot e^{-bt_1}, \qquad (5)$$

$$Ucm_2 = A \cdot e^{-bt_1+T_0}. \qquad (6)$$

Разделив уравнение (5) на (6), получим:

$$\frac{Ucm_2}{Ucm_1} = e^{-bT_0}. \qquad (7)$$

Откуда

$$b = \frac{ln\frac{U_{cm1}}{U_{cm2}}}{T_0}, \qquad (8)$$

По найденным ω_0 и *b* легко вычислить параметры *R* и *L* разрядной ветви из выражения для корней характеристического уравнения процесса разряда:

$$-b + j \cdot \omega_0 = -\frac{R}{2 \cdot L} + j\sqrt{\frac{1}{L \cdot C} - \left(\frac{R}{2 \cdot L}\right)^2}. \qquad (9)$$

11. Сравнить рассчитанное значение индуктивности *L* испытуемого магнитостриктора со значением индуктивности эталонного и сделать заключение о соответствии коэффициента затухания *b* и частоты собственных колебаний ω_0 магнитостриктора паспортным значениям.

12. Для значения емкости *C*, полученной ранее, и индуктивности *L* магнитостриктора, установленной выше, подсчитать критическое значение сопротивления *Rкр*.

13. Увеличивая сопротивление резистора R7 в цепи разряда, наблюдать переход колебательного разряда в апериодический. С помощью изображения на экране осциллографа подобрать сопротивление резистора R7, соответствующее критическому апериодическому разряду в цепи. Сравнить экспериментально найденную величину *Rкр* с эталонной.

14. Получить на экране осциллографа изображение тока магнитостриктора, для чего на его вход подать напряжение с резистора R7. Изменяя величину сопротивления резистора R7, проследить за изменением тока в режиме разряда.

15. Сделать заключение о стабильности параметров магнитостриктора в разных режимах.

Работа на лабораторной метрологической установке под давлением производится на модели скважины в следующей последовательности:

1. Поместить испытуемый магнитостриктор в модель скважины для определения характеристик приемников и излучателей акустической аппаратуры АКЦ при различных давлениях и температурах (рис. 3).

2. Установить требуемые значения давления и температуры.

3. Повторить операции с испытуемым магнитостриктором по пунктам 6–15.

4. Сравнить определяемые параметры при атмосферном давлении и температуре окружающей среды с полученными при различных давлениях и температурах и сделать заключение о его пригодности для использования в акустической аппаратуре контроля цементирования скважин.

Следует особо отметить, что точность измерений с помощью указанной установки и модели скважины всецело определяется метрологическими характеристиками стандартных измерительных приборов. Поэтому ее метрологическая аттестация не представляет каких-либо специфических сложностей.

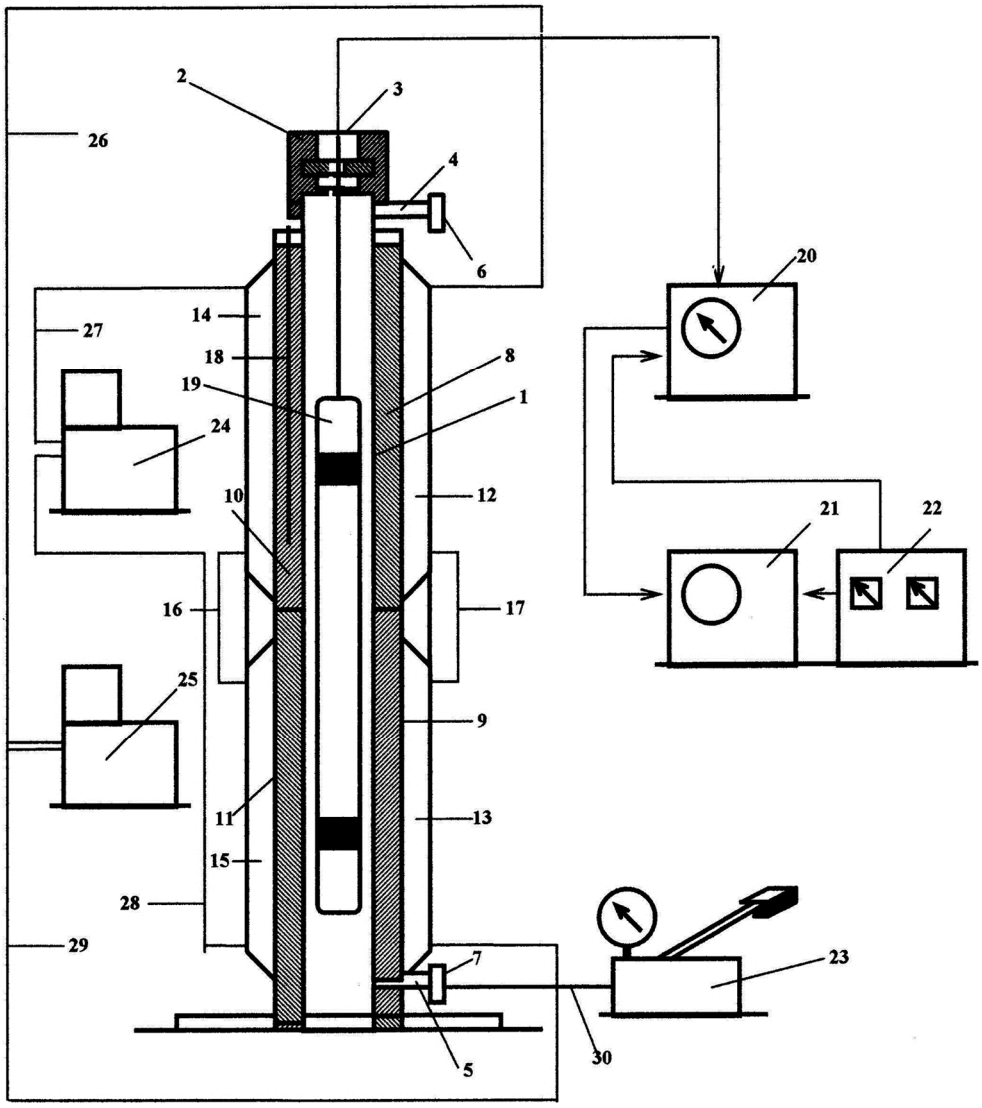


Рисунок 3 – Модель скважины для определения характеристик приемников и излучателей акустической аппаратуры оценки качества цементирования скважин при различных давлениях и температурах:
1 – обсадная труба; 2 – байонетная головка; 3 – герметичный электроввод; 4, 5 – вводы высокого давления; 6, 7 – вентили высокого давления; 8, 9, 10, 11 – цементируемые секции; 12, 13, 14, 15 – полости для теплоносителя; 16, 17, 26, 27, 28, 29 – соединительные трубки; 18 – трубка для термометра; 19 – скважинный прибор с испытуемыми излучателями и приемниками АКЦ; 20 – наземная панель АКЦ; 21 – полевой вычислительный комплекс; 22 – источник питания;
23 – гидропресс; 24, 25 – термостаты; 30 – трубка высокого давления

Часть 2. Лабораторная установка для определения характеристик приемников акустической аппаратуры контроля качества цементирования скважин

Схема лабораторной установки для определения параметров пьезокерамических приемников, применяемых в аппаратуре АКЦ. приведена на рисунке 4.

Установка включает следующие основные элементы:

– штатив 1, установленный на массивном основании 2;
– кронштейн 3 с фиксаторами 4;
– звукоизолятор 5, установленный в кронштейне 3 с возможностью перемещения в вертикальном направлении;
– испытуемый пьезоприемник 6 с концентратором акустических сигналов 7;
– приемная емкость конической формы 8 с углом раскрытия 45° и коническим основанием, сопряженным с концентратором акустических сигналов 7;
– бункер 9;
– наполнитель 10 (кварцевый песок или стальные шарики);
– дозирующее устройство 11.

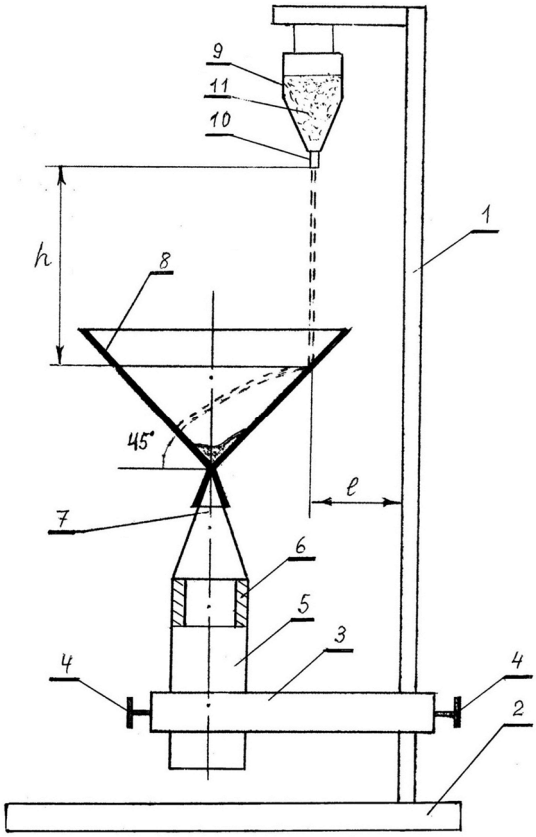


Рисунок 4 – Лабораторная метрологическая установка для идентификации характеристик приемников акустической аппаратуры: 1 – штатив; 2 – массивное основании; 3 – кронштейн; 4 – фиксаторы; 5 – звукоизолятор; 6 – испытуемый пьезоприемник; 7 – концентратором акустических сигналов; 8 – приемная емкость; 9 – бункер; 10 – наполнитель; 11 – дозирующее устройство

Работа лабораторной метрологической установки для определения характеристик приемников акустической аппаратуры осуществляется следующим образом. При заполнении бункера 9 сухим кварцевым песком и открытии заслонки дозирующего устройства 10, поток песчинок (как в песочных часах) свободно падает на внутреннюю поверхность приемной емкости 8 под углом 45°, создавая акустические сигналы в широком диапазоне частот (до нескольких десятков килогерц), которые через концентратор акустических сигналов 7 попадают в пьезоприемник 6.

Аналогичным образом, при заполнении бункера 9 стальными шариками и открытии заслонки дозирующего устройства 10, создаются акустические импульсы, которые используются при определении характеристик пьезоприемников, а также динамического диапазона приемного акустического тракта в целом.

Попутно отметим, что изменяя мелкозернистую фракцию песка на крупнозернистую и угол падения песчинок (путем проворота приемной емкости 8 относительно штатива 1) можно в некоторой степени регулировать спектральные характеристики создаваемых акустических сигналов. Кроме того, регулируя высоту установки приемной емкости 8 относитеьно бункера 9 можно задавать большую или меньшую интенсивность акустических сигналов и таким образом определять динамические параметры испытуемых пьезоприемников.

Указанная лабораторная установка при всей простоте позволяет производить подбор пьезоприемников с близкими параметрами, а также и контролировалось качество акустических датчиков в лабораторных условиях (до момента установки их в скважинные приборы для оценки качества цементирования скважин).

Часть 3. Комплексная конструкции моделей скважин для диагностики технического состояния обсадных колонн

Для определения и контроля стабильности параметров дефектоскопической аппаратуры, применяемой для диагностики технического состояния обсадных колонн разработана комплексная конструкция моделей скважин (рис. 5), содержащая обсадные трубы разных типоразмеров с различными дефектами, имитирующими реальные трещины, перфорационные отверстия и повреждения обсадных колонн.

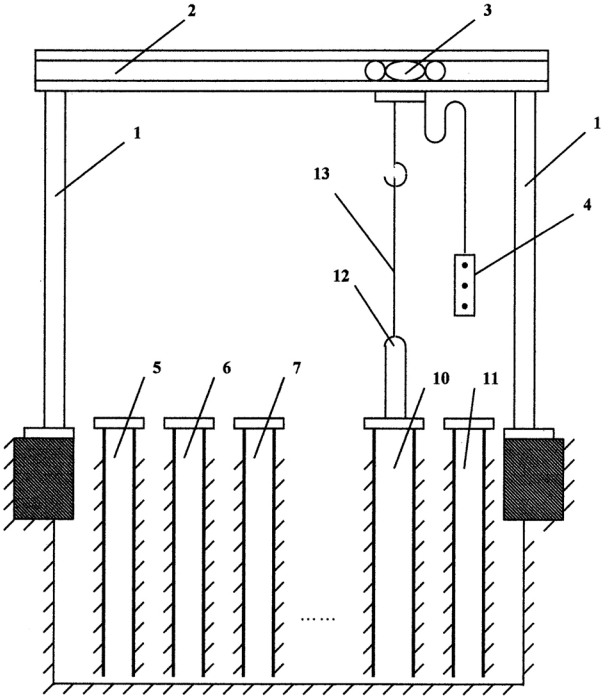


Рисунок 5 – Комплексная конструкция моделей скважин, содержащая обсадные трубы разных типоразмеров с различными дефектами:
1 – стойки; 2 – кран-балка; 3 – тельфер; 4 – пульт управления тельфером; 5–11 – модели скважин с обсадными колоннами диаметром 146–245 мм; 12 – испытуемый скважинный прибор; 13 – каротажный кабель

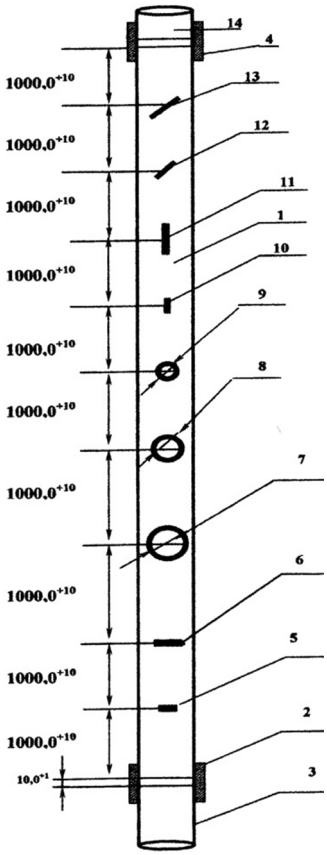


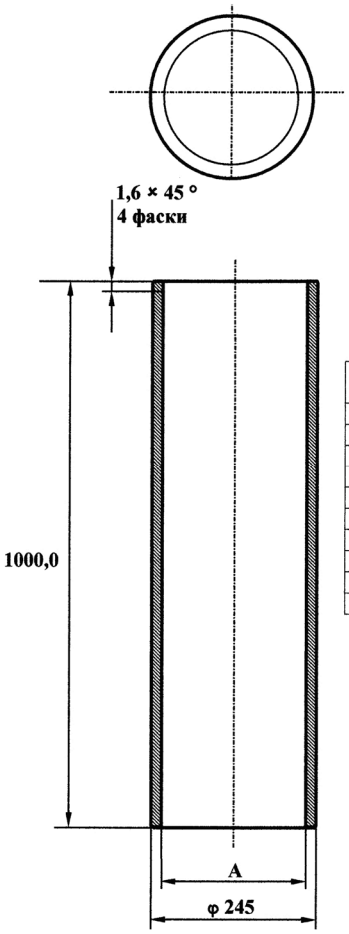
Рисунок 6 – Модель обсадной колонны с искусственными дефектами: 1 – обсадная труба; 2 и 4 – нижняя и верхняя муфта соответственно; 3 и 14 – нижний и верхний патрубки; 5 и 6 – поперечные дефекты (с геометрическими размерами 40 х 1 и 80 х 1 мм соответственно); 7, 8 и 9 – отверстия диаметром 50, 20 и 10 мм соответственно); 10 и 11 – продольные дефекты (с геометрическими размерами 40 х 1 и 80 х 1 мм соответственно); 12 и 13 – дефекты, направленные под углом 45° (с геометрическими размерами 40 х 1 и 80 х 1 мм соответственно)

На рисунке 6 схематично показана модель обсадной колонны диаметром 140 мм с круглыми отверстиями и искусственными дефектами, имеющими различную ориентацию по телу труб (продольными, поперечными и направленными под углом 45°).

Следует особо отметить, что модели обсадных колонн диаметром 146, 168, 178, 194, 219 и 245 мм имеют те же виды и такие же геометрические размеры искусственных дефектов, что и модель обсадной колонны диаметром 140 мм.

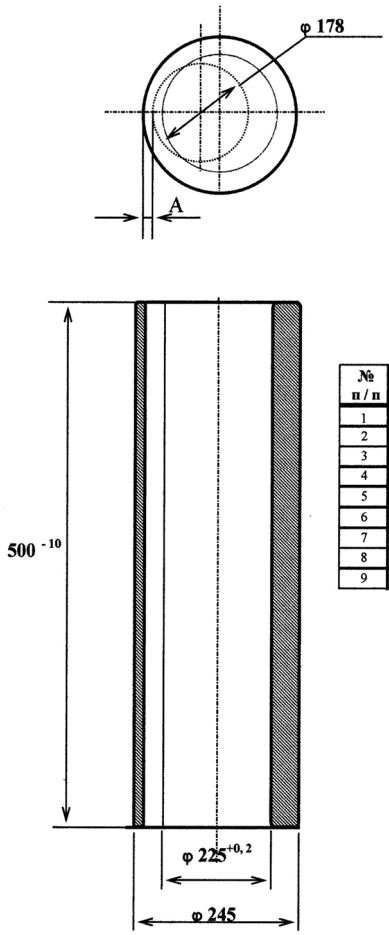
Это позволяет определить реальную чувствительность и разрешающую способность электромагнитных дефектоскопов в обсадных колоннах разных диаметров, что очень важно для определения целесообразности их применения под решение конкретных задач на этапе планирования ГИС.

Кроме того, для калибровки электромагнитных профилографов типа КСПТ-3 и КСПТ-7, трубных профилемеров ПТС-4, ПТС-100, толщиномеров СГДТ, МИД-К, и другой геофизической аппаратуры контроля технического состояния обсадных колонн, разработан размерный ряд эталонировочных патрубков с разными толщинами стенок (рис. 7) и с желобными выработками, имитирующими износ обсадных труб бурильной колонной (рис. 8).



№ п/п	Размер «А»	Коли чество
1	225 ± 0,1	1
2	226 ± 0,1	1
3	227 ± 0,1	1
4	228 ± 0,1	1
5	229 ± 0,1	1
6	230 ± 0,1	1
7	232 ± 0,1	1
8	234 ± 0,1	1
9	236 ± 0,1	1
10	238 ± 0,1	1

Рисунок 7 – Размерный ряд эталонировочных патрубков с разными толщинами стенок



№ п / п	Размер "А"	Коли-чество
1	9 + 0,1	1
2	8 + 0,1	1
3	7 + 0,1	1
4	6 + 0,1	1
5	5 + 0,1	1
6	4 + 0,1	1
7	3 + 0,1	1
8	2 + 0,1	1
9	1 + 0,1	1

Рисунок 8 – Размерный ряд эталонировочных патрубков с желобными выборками, имитирующими износ обсадной колонны

Часть 4. Лабораторная модель горизонтальной скважины для определения характеристик геофизических приборов

Модель горизонтальной скважины содержит размерный ряд указанных выше эталонировочных патрубков (с разными толщинами стенок и с желобными выборками, имитирующими износ обсадной колонны), расположенных друг за другом и горизонтально на земной поверхности внутри короба, засыпанного песком, глиной и гравийно-песчанной смесью (для имитации реальных свойств горных пород).

Модель горизонтальной скважины является необходимым дополнением к рассмотренным выше лабораторным установкам и позволяет определять характеристики геофизических приборов, применяемых для диагностики технического состояния обсадных колонн и оценки качества цементирования скважин.