

14 мм имеем несколько завышенное значение коэффициента ξ . Корректировка по диаметру штуцера дает $d_{шт} = 13,8$ мм. Для этих двух режимов отклонения по диаметру штуцера составляет 0,2 – 0,6 мм, что вполне возможно.

Аналогичные значения коэффициента $\xi = 2,74 \pm 0,1$ получены по скважинам 428, 403 (дважды) и другим фонтанным скважинам месторождения Белый Тигр.

Литература

1. Бикбулатов В. А., Еличев В. А., Михайлов В. Г. Оптимизация режима работы фонтанных скважин в ОАО «НК «Роснефть» // Нефтяное хозяйство. № 9. 2006.
2. Ковалев А. Ф., Шакиров Р. А., Лиховол Г. Д. Анализ кривых давления, получаемых в процессе вторичного вскрытия пласта перфорацией // Нефтяное хозяйство. № 2. 2008.

УДК 622.245.42

**Белая Елена Викторовна, Керимов Абдул-Гапур Гусейнович,
Копченков Вячеслав Григорьевич, Турская Ольга Юрьевна**

КОНЦЕПЦИЯ РАЗРАБОТКИ ПРИБОРНО-МЕТОДИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОЛОНН ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СКВАЖИН

В статье рассматривается скважинный прибор по диагностике технического состояния обсадной колонны (трехмерная модель).

Ключевые слова: разработка, прибор, обсадная колонна, электромагнит, скважина, конструкция, катушка.

**Belaya Elena V., Kerimov Abdul- Gapur G., Kopchenkov Vyacheslav G., Turskaya Olga Y.
CONCEPT DEVELOPMENT OF INSTRUMENTATION AND METHODOLOGICAL COMPLEXES
FOR RESEARCH TECHNICAL STATES COLUMN EXPLOITATION WELLS**

In article are considered welling the device on diagnostics of a technical condition casing string (three-dimensional model).

Key words: deposit, development, casing string, electromagnet, well, design, spool.

В течение последних десяти лет в мировой практике наиболее широкое развитие получили энергосберегающие экологические разработки, выполненные на базе современных компьютерных и микропроцессорных технологий. Данное направление деятельности является самым молодым, и его развитие имеет большое будущее, о чем свидетельствуют медали, в том числе и золотого достоинства (41-й Международный салон «Изобретения Женева 2013»), полученные на отечественных и зарубежных выставках.

В зарубежной практике после перехода на цифровую форму регистрации геофизических параметров широкое распространение получили приборы, принцип действия которых основан на изучении стационарных электромагнитных полей, и механические трубные многорычажные профилемеры. Разработки выполняются такими ведущими зарубежными фирмами как «Schlumberger» (приборы серии ЕТТ-А и ЕТТ-Д, Multi-Finger Caliper), «Western Atlas» (прибор Magnelog), «Computalog» (Multi-arm multi-sensor casing caliper) и «Halliburton» (Electromagnetic-phase shift devices), и в настоящее время являются наиболее перспективными в области контроля технического состояния [1]. Однако и эти приборы обладают некоторыми недоработками, основной из которых является низкая разрешающая способность в локализации мелких повреждений, из-за существенного ослабления магнитного потока индуктируемого генераторными катушками, удаленными от внутренней стенки колонны, т. к. наличие большого зазора резко увеличивает электрическое сопротивление магнитной цепи.

При разработке конструкции скважинного прибора по диагностике технического состояния обсадной колонны были учтены конструктивные недоработки известных скважинных приборов и выполнено трехмерное, детальное моделирование механической части.

С учетом недостатков приборов контроля технического состояния обсадных колонн было разработано новое устройство для измерения внутреннего профиля и толщины колонны, в котором используются электромагнитные датчики различных конструкций с учетом принципа разноточности.

Изучение особенностей распространения электромагнитной волны в проводящих средах позволили авторам использовать зависимость, описывающую толщину скин-слоя и отражающую глубину проникновения плоской волны в проводящую среду, для расчета оптимальной (резонансной) частоты питания переменного тока генераторной катушки первичных преобразователей профилемера-толщиномера.

Задаваясь необходимой точностью измерения внутреннего профиля колонны и принимая глубину проникновения электромагнитного поля в металл равной 0,1 мм, рассчитали частоту питания переменного тока генераторной катушки проектируемого профилемера-толщиномера. Данную частоту можно считать резонансной для измерения внутреннего диаметра колонны. Для магнитной проницаемости стали, которая колеблется в пределах от 100 до 1000 условных единиц, значение резонансной частоты колеблется в диапазоне от 2 500 до 10 000 Гц.

Используя принцип аналогии между электрической и магнитной цепями, разработали оптимальную конструкцию первичных преобразователей, в которой расположение относительно друг друга генераторной и измерительной катушек обосновано исходя из оптимальной пространственной ориентации линий магнитного потока.

Электромагнитная катушка в магнитной цепи играет роль генератора. Магнитный поток, который как бы выходит из одного полюса и входит в другой, аналогичен току в электрической цепи. Роль магнитного сопротивления играет окружающая среда вокруг катушки, и как сопротивление электрической цепи, где протекает ток, оказывает влияние на величину тока, так и магнитное сопротивление среды оказывает влияние на величину магнитного потока. Магнитный поток пропорционален магнитодвижущей силе, которая определяется ампер-витками катушки: чем больше ампер-витков, тем сильнее общий магнитный поток.

Таким образом, величина магнитного потока обратно пропорциональна магнитному сопротивлению, соответственно, если полюсы катушки, находящиеся в воздухе, замыкать и размыкать стальными пластинами (имитируя различного рода повреждения), то из-за значительной разницы относительной проницаемости стали и воздуха резко изменится магнитное сопротивление цепи и ослабится общий поток, как, например, участок с большим сопротивлением, последовательно включенный в электрическую цепь, резко уменьшает ток в ней.

Конструктивные особенности электромагнитных датчиков влияют на электромагнитные характеристики индукционных катушек (потокосцепление, взаимную индуктивность, магнитную индукцию и др.). В свою очередь, геометрические размеры электромагнитных датчиков определяют точность выполняемых измерений и потребляемую мощность, что необходимо учитывать при проектировании скважинных геофизических приборов.

Если форма магнитопровода генераторной катушки представляет собой цилиндр, ось которого параллельна оси исследуемой колонны (магнитоимпульсные дефектомеры-толщиномеры серии МИД), а измерительные катушки распределены вокруг нее по периметру, то магнитный поток, распространяясь внутри колонны, замыкается через ее внутреннюю поверхность. Для этого случая магнитное сопротивление магнитной цепи определяется следующим выражением:

$$R_M = \frac{l_M}{\mu S_M}, \quad (1)$$

где R_M – магнитное сопротивление; μ – магнитная проницаемость; l_M – длина линий магнитного потока; S_M – площадь поперечного сечения магнитного потока.

Существующая значительная разница магнитных проницаемостей стали и воздуха – более чем в тысячу раз – приводит к тому, что любые изменения в целостности колонны (трещины, порывы, отверстия, выпуклости и т. д.) будут сказываться на магнитном сопротивлении. Например, наличие порыва в колонне приводит к резкому увеличению магнитного сопротивления окружающей среды, и, как следствие этого, магнитный поток генераторной катушки резко снижается. Следует отметить, что чем большее количество изъянов в колонне или чем изъян в колонне больше, тем сильнее увеличивается магнитное сопротивление цепи.

Вышеописанная закономерность была использована для разработки оптимальных конструкций электромагнитных датчиков, в частности были определены основные причины возможного снижения разрешающей способности проектируемого прибора.

При этом нельзя допускать использования в конструкции электромагнитного датчика одной генераторной катушки и нескольких измерительных, так как в этом случае скважинный прибор не сможет дифференцированно определять изъёмы колонны; данное положение справедливо только для приборов, работающих в режиме генерации стационарных (не импульсных) электромагнитных полей. Принимаются во внимание сведения о размерах перфорационных каналов, образующихся в результате действия основных типов перфораторов серии ПКС, ПК, ПР, ПКО, чтобы габариты генераторных катушек электромагнитных датчиков были соразмерны перфорационным отверстиям.

Нужно учитывать, что зависимость измеряемой ЭДС от расстояния электромагнитного датчика до исследуемого объекта изменяется по экспоненциальному закону, причем при расстоянии более 5 мм от датчиков до внутренней стенки трубы значение ЭДС снижается в два раза. При этом почти в два раза будет уменьшена разрешающая способность прибора к возможным изъёмам на внутренней поверхности колонны. Отсюда следует, что для повышения точности измерения технического состояния колонны следует применять индивидуальные зондовые устройства под соответствующие типы размеров обсадных колонн. Для безопасности выполнения ГИС и в целях исключения прихвата скважинного прибора минимальный зазор между скважинным прибором и обсадной колонной не должен быть менее 8–10 мм. В то же время чтобы не допустить резкого уменьшения чувствительности прибора зазор между электромагнитными датчиками зондового устройства скважинного прибора и внутренней стенкой колонны должен изменяться в диапазоне 5–10 мм.

Степень связи катушек электромагнитных датчиков зависит от взаимной индуктивности M , индуктивности катушек L_1 и L_2 , причем коэффициент связи K , определяемый из нижеприводимой зависимости 2, всегда меньше единицы, а параметры M , L_1 , L_2 определяются формой, размерами, числом витков катушек, а также окружающей средой:

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}, \quad (2)$$

где M – взаимная индуктивность; L_1 , L_2 – индуктивности генераторной и измерительной катушек.

Из вышеприведенной зависимости следует, что катушки с многослойными намотками будут обладать большими значениями индуктивности по сравнению с катушками с однослойной намоткой. Кроме того, взаимная индуктивность зависит от взаимного расположения катушек. При одном и том же расстоянии между катушками максимальная взаимная индуктивность будет наблюдаться при параллельном расположении катушек, в этом случае $M = \sqrt{L_1 L_2}$, соответственно $K = 1$.

Таким образом, конструкция датчика толщины должна состоять из двух катушек цилиндрической формы, укрепленных одна внутри другой, радиус которой не должен превосходить 20 мм. Намотку катушки следует производить бифилярно. Первый ряд витков наматывается по часовой стрелке, причем намотка должна идти слева направо. Второй ряд витков наматывается против часовой стрелки, причем намотка должна идти справа налево. Практически бифилярные катушки наматываются проводом, сложенным вдвое. Магнитный поток генераторной катушки для указанных габаритов может быть недостаточным, если изучаемая поверхность располагается вне ее распространения. Для решения этой задачи использовался координационный стол. Разработка различных конструкций генераторных и измерительных катушек выполнялась исходя из вышеописанных законов электричества и магнетизма. Различные вариации материалов, из которых изготавливались магнитопроводы, оптимальные значения толщины обмоточных проводов и толщины намотки на цилиндрический каркас подбирались экспериментальным путем с помощью координационного стола. Следует отметить тот факт, что существенным отличием электромагнитных датчиков для измерения профиля колонны являются их габариты – размер датчиков в проектируемом приборе должен быть значительно меньше.

Для датчика толщины, принцип действия которого заключается в измерении разности фаз между генераторными катушками и измерительной катушкой, габариты датчика определяются главным образом конструктивными элементами зондового устройства, т. е. расстоянием от датчика до исследуемой поверхности.

Таким образом, на основании теоретических предпосылок было разработано новое устройство для измерения внутреннего профиля и толщины колонны, сконструированное в виде выдвижных секций для размещения на них электромагнитных датчиков (рис. 1).

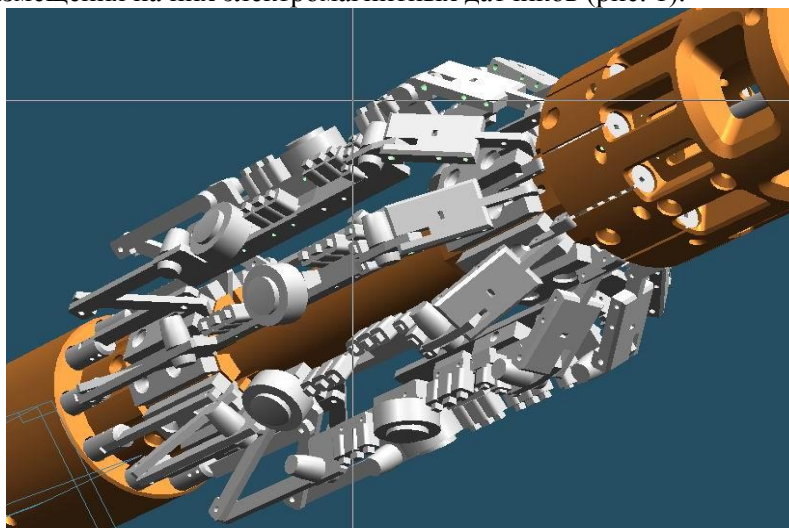


Рис. 1. Выдвижные секции блока электромагнитных датчиков нового устройства для измерения внутреннего профиля и толщины колонны

Генераторная и измерительная катушки помещены в отдельный электромагнитный датчик, располагающийся на отдельной стойке таким образом, чтобы зона покрытия одним датчиком составляла не более 12 мм. В этом случае количество электромагнитных датчиков составляет 60 или 80 штук, равномерно размещенных по периметру прибора (различное количество датчиков определяется диаметром колонны). Выполнить такое положение, при котором практически вся внутренняя поверхность колонны будет исследоваться без пропусков, представляется возможным благодаря использованию двух отдельных секций, в каждой из которой располагаются десять электромагнитных стоек по три или четыре датчика в каждой секции соответственно. Электромагнитные стойки в секциях смещены относительно друг друга на середину расстояния между стойками для большего охвата внутренней части колонны. Прижатие электромагнитных стоек к стенке колонны контролируется, для этого каждой стойке придан индивидуальный измерительный дроссель.

Механические датчики располагаются также в двух секциях таким образом, чтобы измерительные рычаги могли покрывать исследуемую зону внутренней поверхности колонны шириной не более 10 мм. В этом случае количество механических рычагов составляет 50 штук, равномерно размещенных по периметру прибора (рис. 2).

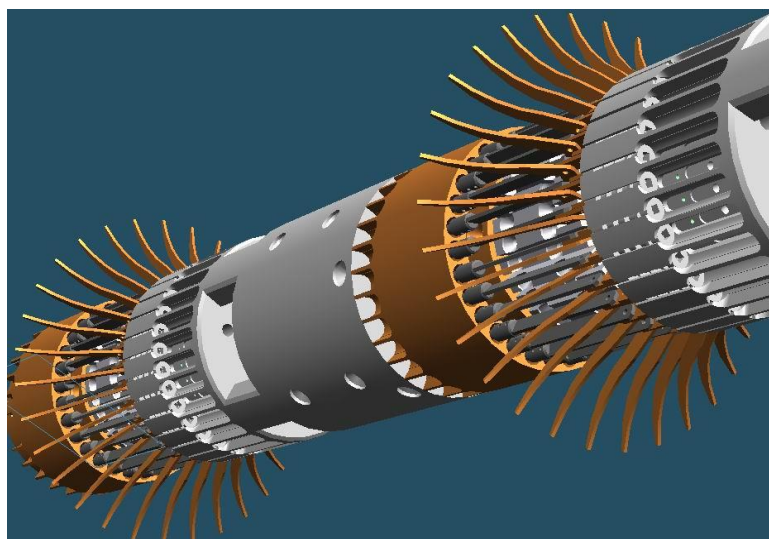


Рис. 2. Блок механических датчиков разработанного устройства

Главным элементом скважинного прибора является контрольно-управляемая стойка с электромагнитными датчиками (рис. 3).

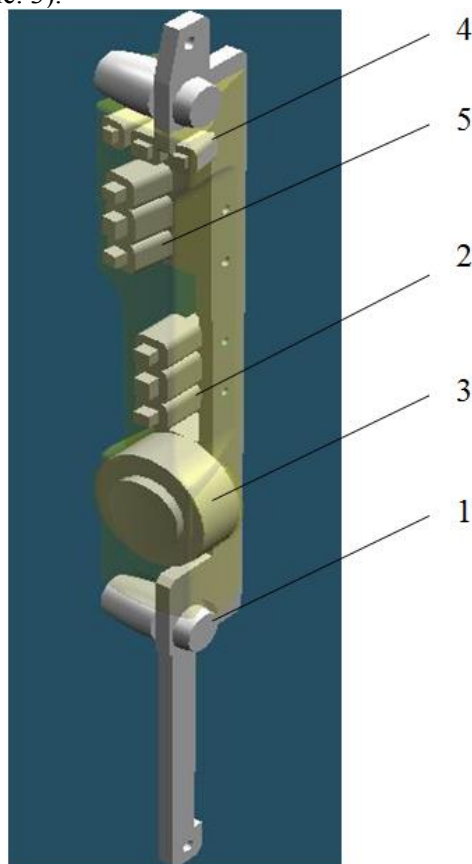


Рис. 3. Контрольно-управляемая стойка с электромагнитными датчиками

На немагнитной подложке стойки 1 укреплены четыре электромагнитных датчика: высокочастотный датчик для измерения расстояния между стойкой и внутренней поверхностью колонны 2, низкочастотный датчик для измерения толщины колонны 3, датчики для индикации дефектов в обсадной колонне в поперечном 4 и осевом 5 направлениях.

Таким образом, разработанное новое устройство для измерения внутреннего профиля и толщины колонны снабжено 80 электромагнитными и 50 механическими датчиками, расположенными в четырех секциях, установленных последовательно друг за другом вдоль оси прибора так, чтобы обеспечивать полный контроль в пределах 360° внутренней поверхности колонны (рис. 4).

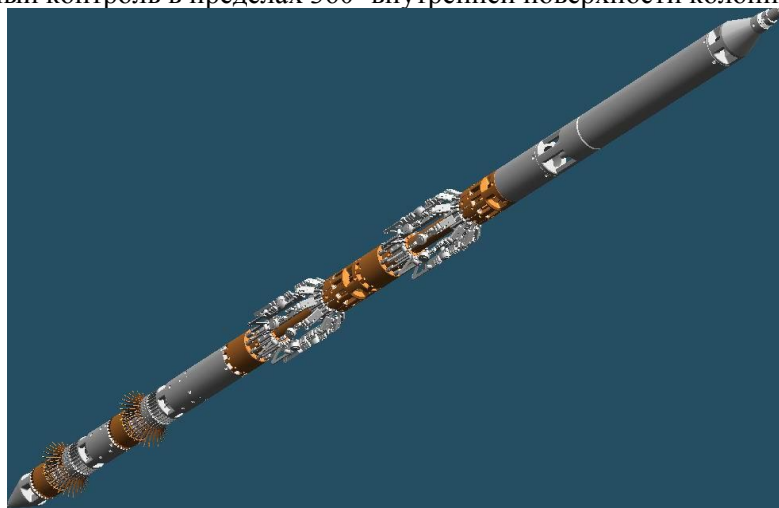


Рис. 4. Общий вид разработанного устройства для контроля технического состояния обсадных колонн

На разработанное «Устройство для определения технического состояния обсадной колонны» в 2010 г в соавторстве получен патент РФ [2].

Литература

1. Будников В. Ф., Макаренко П. П., Юрьев В. А., Диагностика и капитальный ремонт обсадных колонн в нефтяных и газовых скважинах. М.: Недра, 1997. 226 с.
2. Патент № 93880 RU, МПК E21B 47/00. Устройство для определения технического состояния обсадной колонны / А-Г. Г. Керимов, А. А. Иванов, А. Ф. Керимов. Заявл. 25.12. 2009; опубл. 10.05.2010, Бюл. № 13.

УДК 672.9:553.98

**Гридин Владимир Алексеевич, Еремина Наталья Владимировна,
Стерленко Зинаида Васильевна, Кузнецова Александра Анатольевна,
Галай Борис Федорович**

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТЕХНОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КОЛЛЕКТОРОВ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПХГ (НА ПРИМЕРЕ РЕЗЕРВУАРА В ОТЛОЖЕНИЯХ ЗЕЛЕННОЙ СВИТЫ)

Изменения коллекторских свойств в процессе эксплуатации ПХГ на примере резервуара в отложениях зеленой свиты были изучены и приняты во внимание при анализе результатов исследования. При разделении скважин на группы был применен современный метод анализа данных, а именно кластерный анализ, используемый в статистических исследованиях для классификации объектов; он был реализован в программном обеспечении Statistica.

Ключевые слова: подземное хранилище газа, фильтрационные свойства, проницаемость, резервуар, кластерный анализ, Statistica.

**Gridin Vladimir A., Eremina Natalia V., Sterlenko Zinaida V.,
Kuznetsova Alexandra A., Galai Boris Ph.**

REGULARITY OF TECHNOLOGICAL CHANGES OF FLUID FLOW RESERVOIR PROPERTIES ALONG UGS EXPLOITATION (GREEN SUITE DEPOSITS CASE STUDY)

Effects of several technological factors on reservoir properties of the Green Suite deposits were studied and were taken into consideration based on the UGS wells long-term research result analysis. To divide wells into groups according to boreholes work uniformity was applied modern method of data analysis, namely Cluster analysis used in statistic studies for the objects classification; it was implemented in Statistica software.

Key words: Underground Gas Storage (UGS), fluid flow properties, permeability, nature reservoir, boreholes work uniformity, Cluster analysis, Statistica.

Одним из основных критериев создания подземных хранилищ газа в терригенных коллекторах являются удовлетворительные емкостно-фильтрационные свойства резервуара [1, 2]. Вместе с тем при проектировании долгосрочного хранения зачастую не принимаются во внимание динамические напряжения, возникающие в матрице пород под действием циклических нагрузок. Многолетняя практика эксплуатации подземных хранилищ (Северо-Ставропольское, Касимовское и др.) показывает, что принимаемая на момент создания петрофизическая модель уже через два-три года требует серьезных коррективов [3, 4]. Другими словами, необходимо создание не статических, а динамических моделей резервуара. С этой целью нами была предпринята попытка изучить и в какой-то степени учесть воздействие некоторых техногенных факторов на коллекторские свойства резервуара зеленой свиты.

То, что коллекторские свойства изменяются в процессе эксплуатации ПХГ, факт многократно доказанный. При этом может происходить как увеличение порового пространства и фильтрационной способности пород во времени (в основном за счет выноса мелкозернистого межзернового материала и разрушения каркаса породы), так и уменьшение указанных характеристик (за счет кольматации призабойных зон материалом техногенного происхождения, который поступает в скважины вместе с закачиваемым газом).