

T_2 в диапазоне от ~0,3 до ~1000 мс. Регистрируемые установкой зависимости хорошо согласуются с расчетами по теории ЯМР.

Описанные в работе эксперименты могут быть рекомендованы к применению в качестве тестов аналогичной аппаратуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрагам А. Ядерный магнетизм. М.: Изд. иностранной литературы, 1963. С. 302–307.
2. Аксельрод С. М., Неретин В. Д. Ядерный магнитный резонанс в нефтегазовой геологии и геофизике. М.: Недра, 1990. С. 69.
3. Лёше А. Ядерная индукция. М.: Изд. иностранной литературы, 1963. С. 307.
4. Мурцовкин В. А. Использование мультирешеточной капиллярной модели для расчета проницаемости по данным ядерного магнитного резонанса // Коллоидный журнал. 2009. Т. 71. № 5. С. 685–692.
5. Чижик В. И. Ядерная магнитная релаксация. СПб.: Изд. Санкт-Петербургского университета, 2004. С. 241.
6. Dunn K.-J., Bergman D. J., LaTorraca G. A. Nuclear Magnetic Resonance. Petroophysical and Logging Applications. New York: Pergamon, 2002. P. 26–94.
7. Meiboom S., Gill D. Modified SpinEcho Method for Measuring Nuclear Relaxation Times // Rev. Sci. Instrum. 1958. № 29. P. 688.
8. Straley C., Rossinia D., Vinegarb H. et al. Core Analysis by Low-Field NMR // The Log Analyst. 1997. Vol. 38. № 2. P. 84–94.

УДК 621.317:550.832

С. Р. Усманов

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПОКАЗАНИЙ ДАТЧИКОВ ЛИНЕЙНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ РАБОТЫ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ ДО 250 °С

Представлены результаты исследования датчиков токовихревого, резистивного и индукционного типов для использования в скважинной аппаратуре, эксплуатирующейся при температуре до 250 °С.

Ключевые слова: скважина, датчик перемещения, каверномер, профилемер, высокая температура.

Датчики перемещения работают в весьма специфических условиях, связанных с широким диапазоном температур бурового раствора, находящегося под давлением до 200 МПа. Ниже приведены результаты исследований трех видов датчиков линейного перемещения различного принципа действия: токовихревого, резистивного и индукционного.

Исследование выполнялось при разработке скважинных приборов на рабочую температуру до 250 °С, предназначавшихся для сервисных услуг фирме ОАО “Газпромнефтегазгеофизика”.

Электромагнитный токовихревой датчик перемещений

Принцип действия датчика токовихревого типа (рис. 1, а) основан на перемещении экранирующей трубы 2 вдоль оси катушки индуктивности 1, вследствие чего происходит изменение индуктивности катушки. Изменение индуктивности влечет за собой изменение выходного сигнала датчика. На рис. 2 графически показана зависимость выходного напряжения от величины перемещения экранирующей трубы. Нелинейность связи этих параметров составила менее 1% в диапазоне перемещения экранирующей трубы от 5 до 25 мм. Такой диапазон характерен для выпускаемых серийно каверномеров и профилемеров.

На катушку L (рис. 1, б), соединенную последовательно с резистором R , подается переменное напряжение 10 В с частотой 10 кГц от генератора ГЗ-109. Сигнал снимается с измерительной катушки вольтметром Escort EDM-3150.

Испытывались 4 датчика, изготовленных в ООО “Нефтегазгеофизика”. Величины индуктивности имеют разброс при одном и том же количестве витков и в процессе испытаний не выравнивались. Датчики нагревались ступенчато до 250 °С, через 20 °С. На каждой ступени датчик прогревался 20 мин, а затем снимались показания.

Измерения выполнялись при трех фиксированных положениях экранирующей трубы 2 относительно правого края катушки индуктивности 1 (рис. 1, а) – 5, 15, 25 мм. Во всех трех положениях проводилось несколько температурных циклов. На рис. 3 приведены температурные зависимости четырех датчиков одного цикла прогрева при различных положениях экранирующей трубы.

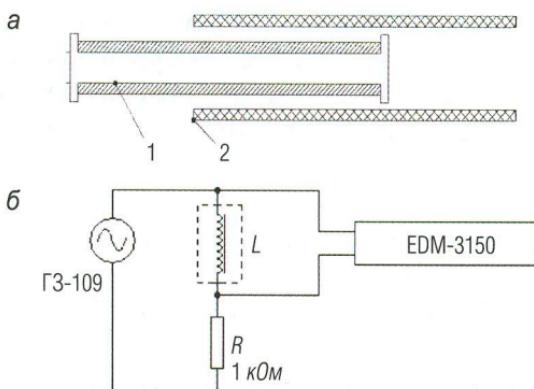


Рис. 1. Конструкция (а) и схема подключения (б) датчика токовихревого типа

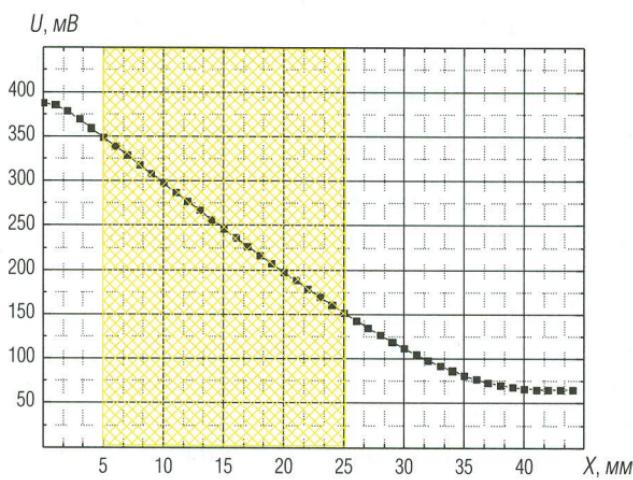


Рис. 2. Зависимость изменения напряжения от перемещения на датчике токовихревого типа с выделенным линейным участком

Характерная особенность всех полученных зависимостей состоит в линейном увеличении показаний датчиков с ростом температуры. Это позволяет исключить температурную зависимость измеряемого сигнала одним из трех методов:

- 1) введением температурной поправки при наличии соответствующего датчика температуры в приборе;

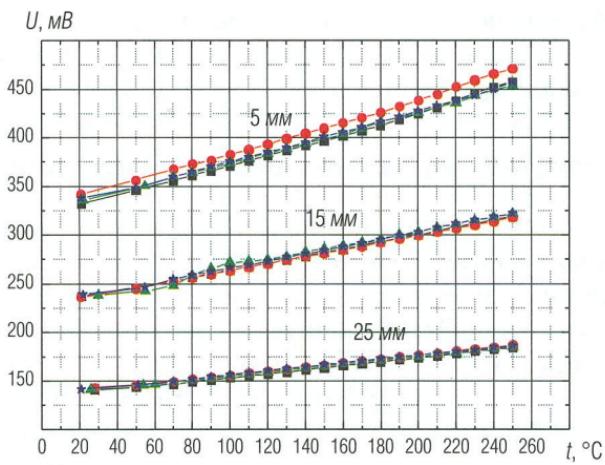


Рис. 3. Семейство зависимостей измеряемого сигнала четырех датчиков токовихревого типа от температуры при различной степени перекрытия (5, 15, 25 мм) медной трубкой

- 2) добавлением в прибор аналогичного датчика с фиксированным перекрытием, например 15 мм. Тогда независимая от температуры измеряемая величина (U) будет определяться по формуле

$$U = U(t) \cdot k,$$

где $U(t)$ – измеренное напряжение от датчика, связанного с рычагами прибора;

$$k = U_{\text{доп}}(t_0)/U_{\text{доп}}(t),$$

где $U_{\text{доп}}(t_0)$ – напряжение на дополнительном датчике при температуре калибровки прибора; $U_{\text{доп}}(t)$ – текущее значение напряжения на дополнительном датчике;

- 3) использованием отношения напряжений на катушке L и резисторе R , если есть гарантия отсутствия зависимости резистора от температуры, например размещением его в сосуде Дьюара.

Для всех испытанных датчиков также характерно повышение стабильности показаний после нескольких циклов прогрева до рабочей температуры или с превышением на 10–15 °С.

Основными достоинствами такого датчика являются низкая стоимость и простота изготовления. Данный тип датчика обладает хоро-

шей линейностью и величиной приращения выходного напряжения к величине перемещения экранирующей трубы, а также возможностью его использования при температуре выше 250 °С.

Резистивный датчик фирмы “Гириконд”

Датчик является преобразователем напряжения или потенциометром. Напряжение на выходе потенциометра изменяется от 0 до 100% от напряжения на входе, являясь функцией линейного перемещения подвижного контакта. Производителем данного датчика является ООО НИИ “Гириконд”.

Функциональные характеристики потенциометров на основе проводящих пластмасс определяются формой резистивной дорожки, а также формой и расположением электродов. Зависимость “перемещение–напряжение” в прецизионных потенциометрах выдерживается с высокой точностью, например, для линейной характеристики отклонение выходного напряжения от расчетного составляет не более $\pm 0,75\%$ в любой точке.

Прецизионные потенциометры на основе проводящих пластмасс отличаются высокой стабильностью, долговечностью (10×10^6 циклов), высокой скоростью работы, стойкостью к воздействию механических, климатических и других факторов. Недостатком такого типа датчиков является наличие механического контакта.

Конструктивно датчик (рис. 4) включает в себя две дорожки и токосъемник, перемещающийся по этим дорожкам одновременно. Первая дорожка (выводы 1, 3) высокоомная – к ней прикладывается напряжение. Вторая дорожка (вывод 2) низкоомная – позволяет снять напряжение с токосъемника без подвижных проводов. Диапазон рабочих температур, гарантированных заводом-изготовителем, от -60 до +140 °С.

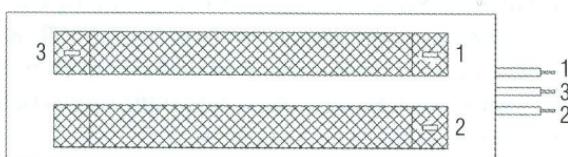


Рис. 4. Конструкция датчика резистивного типа

Испытания в негарантированных режимах проводились по следующей методике: медленный нагрев до 250 °C, двухчасовая выдержка, медленное охлаждение до 20 °C. В ходе измерений фиксировалось сопротивление высокомомной дорожки, напряжение между выводами 2 и 3; токосъемник при проведении испытаний был жестко закреплен в середине проводящих дорожек. Также проверялась линейность датчика до и после прогрева.

В ходе испытаний было выявлено существенное изменение сопротивления высокомомной дорожки при первых двух циклах прогрева (рис. 5). При первом прогреве и выдержке сопротивление изменяется по кривой 1, при охлаждении – по линии 2, второй нагрев – по линии 2, второе охлаждение – по линии 3 и т. д.

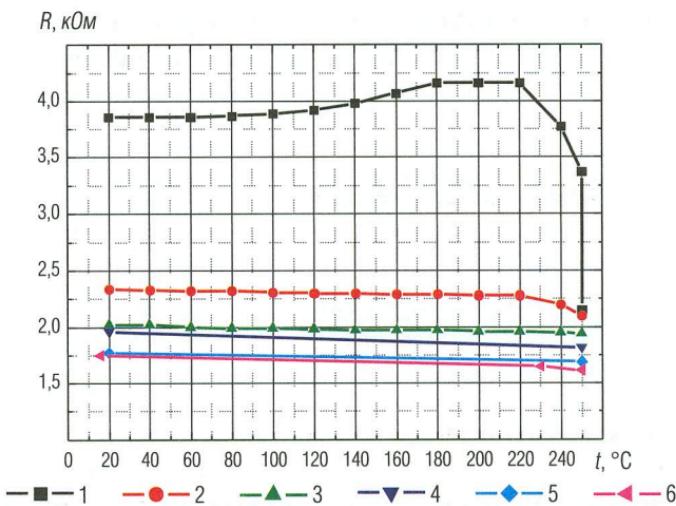


Рис. 5. Зависимость сопротивления высокомомной дорожки резистивного датчика от температуры за шесть циклов прогрева

После трех-четырех циклов нагрева – охлаждения сопротивление начинает изменяться практически по одной и той же линии. Величина напряжения на токосъемнике не изменялась. Это говорит о том, что соотношение делителя напряжения в измерительной схеме не изменилось. Линейность характеристики преобразования сохраняется прежней. Другими словами, изменение сопротивления датчика происходит равномерно по всей его длине.

Проведенные испытания подтвердили возможность использования резистивного датчика до 250 °С после проведения его “термотренировки” для стабилизации показаний.

Электромагнитный датчик индукционного типа

Электромагнитный датчик индукционного типа (рис. 6) содержит цилиндрический каркас 1, на поверхности которого расположена внешняя обмотка возбуждения 2, и определенное количество цилиндрических сердечников 3 с измерительными обмотками. Сердечники кинематически связаны с измерительными рычагами. Каркас и сердечники выполнены из немагнитного материала. Такой тип датчиков интересен тем, что в небольших габаритах можно разместить достаточно большое количество сердечников с измерительными обмотками, что очень важно при создании многорычажных профилемеров.

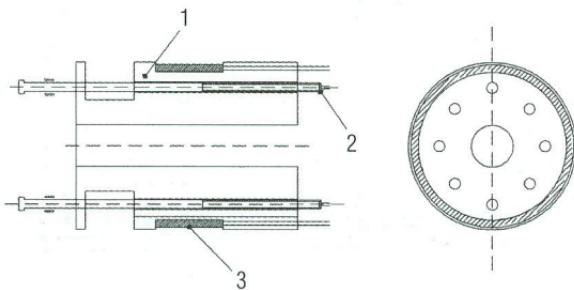


Рис. 6. Конструкция датчика индукционного типа

В первую очередь необходимо было выяснить взаимное влияние каналов друг на друга при различном положении сердечников с измерительными катушками, а также уровень сигналов и характер кривой температурной зависимости.

На возбуждающую катушку подавалось переменное напряжение 5 В с частотой 5 кГц с помощью генератора сигналов низкой частоты. При этом сигнал с измерительных катушек усиливается, преобразуется в постоянное напряжение и измеряется цифровым вольтметром Escort EDM-3150. Уровень измерительных сигналов изменяется от 150 мВ при выдвинутом сердечнике и до 1000 мВ при полностью вдвинутом сердечнике.

Взаимное влияние проверялось путем измерения напряжения на катушке одного из измерительных датчиков при минимальном, среднем и полностью вдвинутом сердечнике, а остальные сердечники с катушками устанавливались в различные положения, катушки шунтировались сопротивлением 1 кОм.

Взаимного влияния каналов в пределах погрешности измерения (0,5–1% при минимальном сигнале) не было обнаружено.

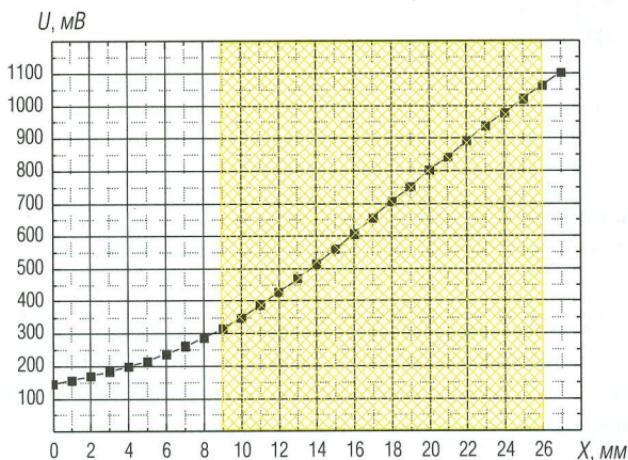


Рис. 7. Изменение напряжения в зависимости от перемещения сердечника датчика индукционного типа

Далее был произведен прогрев измерительной системы до 175 °С. Нагрев производился ступенчато с выдержкой при каждой температуре не менее 20 мин. Измерения фиксировались при 20, 100, 120, 150 и 175 °С. Далее после остывания снова производились измерения при 20 °С. Было произведено несколько прогревов с различными положениями измерительной катушки. Графические зависимости приведены на рис. 8.

По данным прогревов показания датчика изменяются в зависимости от температуры и положения датчика линейно в пределах 20–100 мВ. Относительное изменение показаний от температуры (приведенное к температуре калибровки прибора) постоянно и составляет примерно 10%. Данные зависимости можно использовать для введения температурной поправки для датчиков перемещения. Если в измерительную

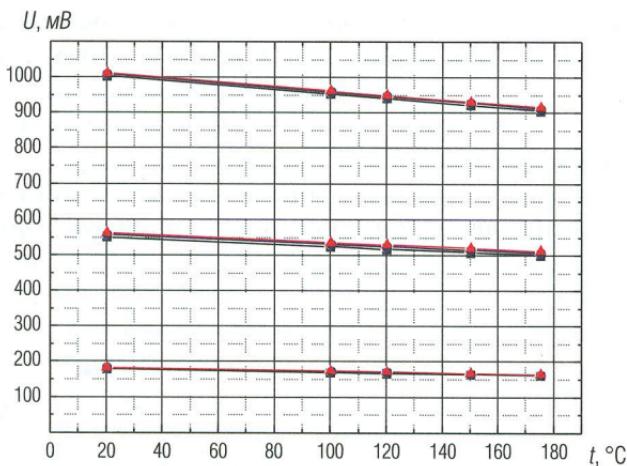


Рис. 8. Семейство зависимостей измеряемого сигнала трех датчиков индукционного типа от температуры в различных положениях измерительной катушки

систему ввести один датчик, находящийся в покое, и вычислить его коэффициент изменения от температуры K , можно автоматически корректировать значения остальных измерительных датчиков, домножая значения их показаний на коэффициент K .

$$U_{\text{ист}} = U_{\text{изм}} \cdot K,$$

где $K = U_{\text{кал}}/U_t$; $U_{\text{ист}}$ – истинное значение датчика перемещения (при калибровке); $U_{\text{изм}}$ – измеренное значение датчиков перемещения; $U_{\text{кал}}$, U_t – значения поправочного датчика во время калибровки и во время измерений соответственно.

Выводы

В ходе исследований трех типов датчиков установлена возможность их применения в скважинных приборах до температур 200–250 °C. Перед использованием в изделии все три типа датчиков требуют проведения “термотренировки” для стабилизации их характеристик.

Датчик резистивного типа обладает хорошей линейностью и слабой зависимостью от температуры, однако наличие механического контакта делает его сравнительно крупногабаритным, поэтому сфера его применения ограничена 4- и 6-рычажными профилемерами при

диаметре приборов 76 мм. Датчики токовихревого и индукционного типов требуют корректировки показаний в зависимости от температуры. Датчики индукционного типа могут применяться в много-рычажных профилемерах. Электромагнитный токовихревой датчик линейных перемещений может применяться в скважинных приборах с рабочей температурой до 250 °С и выше.

УДК 550.8.088

Н. Г. Козыряцкий

ИСТОЧНИКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИНКЛИНОМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН

Оценены диапазоны значений погрешностей инклинометрических исследований, предложены меры по снижению этих погрешностей.

Ключевые слова: скважина, инклинометрия, погрешности, калибровка инклинометров.

Основным источником информации о пространственном положении оси ствола скважины (в дальнейшем – оси скважины) являются инклинометрические исследования (инклинометрия). Конечная цель этих исследований – получение декартовых координат оси скважины и информации об участках ее оси, имеющих неприемлемые значения интенсивностей искривления, затрудняющих или делающих невозможным выполнение определенных технических задач при строительстве скважин, например спуск обсадной колонны, постановку фильтров и пр.

Точное определение координат точек оси ствола скважины имеет важное практическое значение при геометризации месторождения, определении мощности и интервала залегания продуктивного пласта с целью более точной его геологической привязки, для точного определения разрыва сплошности пласта и для решения других маркшейдерских и горно-технических задач.

Принципиальная важность знания фактического пространственно-го положения ствола скважины обусловлена большой дороговизной