

Метрологические характеристики и промышленные испытания внутри-
скважинного измерителя давления и температуры ВИД-1

Видовский Л.А., Параскевов В.Н

Кубанский государственный технологический университет

В статье дано описание принципа действия, метрологические характеристики и тарировочные кривые прибора с электронной памятью, спускаемого в скважины для измерения давления и температуры. От известных аналогов прибор выгодно отличается отсутствием подвижных деталей, более высокой чувствительностью, электронной памятью и возможностью подключения к ЭВМ. Приведены результаты спуска его в эксплуатационную скважину. Прибор в настоящее время проходит опытную эксплуатацию.

Практически во всех технологических процессах нефтегазодобывающей отрасли необходимо контролировать давление и температуру. Существует широкий спектр средств для измерения этих параметров в наземных условиях. Однако для измерений внутри скважины на забое, межколонном и заколонном пространстве применимы лишь немногие, специально разработанные приборы.

В настоящее время контроль давления в пластах в необходимом объеме многими НГДУ не проводится из-за низких метрологических характеристик погружных скважинных преобразователей давления и их недостаточного количества.

В течение ряда лет на кафедре ВТ и АСУ были созданы на базе ЭВМ автоматизированные системы для термобарометрических исследований в скважинах [1,2,3], применявшие разработанный во ВНИ-ИКРнефть под руководством А.Л. Видовского заколонный измеритель давления и температуры ЗИД-1. В зависимости от модификации скважинного снаряда ЗИД-1 можно измерить температуру и одно из следующих давлений: жидкой (газообразной) фазы среды, твердой фазы среды, полного давления [4].

Давление и температура в виде электрических сигналов передаются к наземной регистрирующей аппаратуре по каротажному геофи-

зическому кабелю. Наличие канала связи позволяет осуществлять контроль в реальном времени, а также передачу информации от датчика, которого невозможно извлечь из среды измерений, например, датчик в цементном камне заколонного пространства. Однако канал связи существенно усложняет тарировку датчиков и, главное, спуск датчика в скважину. К тому же стоимость каротажного кабеля превышает стоимость самого спускаемого в скважину снаряда.

Для исключения канала связи в тех технологических ситуациях, где это допустимо, и расширения области его применения нами разработан автономный погружной внутрискважинный измеритель давления и температуры ВИД-1. После подъема измерителя из скважины он подключается через модуль сопряжения к компьютеру, осуществляется считывание информации с запоминающего устройства, восстановление по тарировочным характеристикам датчиков кривых изменения во времени давления и температуры.

ВИД-1 состоит из блока датчиков с частотным выходом электрического сигнала, блока генерации управляющих сигналов, блока записи цифровых сигналов и блока питания, размещенных в корпусе, аналогичном выпускавшимся отечественной промышленностью манометрам типа МГГ.

Пределы измерения им давления составляют от 20 до 400 атм., температуры – от 20 до 80 °С.

Допустимая погрешность от верхнего предела измерений по давлению не превышает 2 %; по температуре – 1,5 %.

Интервал времени между записями в память показаний датчиков устанавливается перед запуском прибора и может быть 2 с, 4 с, 8 с, 16 с, 1 или 2 мин.

Спуск измерителя может быть осуществлен на проволоке через лубрикатор в фонтанные скважины или креплением его непосредственно на НКТ при спуске-подъеме во время плановых ремонтов.

Время пребывания измерителя в скважине определяется емкостью запоминающего устройства, интервалом между измерениями, емкостью источника питания и может составлять до 7 суток. Запоминающее устройство имеет автономное питание и сохраняет информацию даже при отключении основного источника.

Чувствительным элементом датчика давления в ВИД-1 является кольцевой сердечник катушки индуктивности, изготовленный из магнитоупругого материала.

Принцип действия магнитоупругих датчиков основан на магнитоупругом эффекте, который заключается в изменении намагниченности ферромагнитных тел под действием механических напряжений. Изменение магнитных свойств чувствительного элемента, снабженного обмотками, фиксируется электрической схемой.

Простота конструкции, отсутствие в ней движущихся деталей и обусловленные этим высокая прочность и надежность, значительная чувствительность и возможность применения без усилителей – основные достоинства магнитоупругих датчиков

Для их изготовления в основном используются три группы магнитоупругих материала: железоникелевые сплавы с содержанием никеля от 50 до 70 %, железокремниевые сплавы с 2– 4 % кремния, специальные магнитоупругие материалы (железоалюминиевый сплав с 12 % алюминия, ферриты и др.)

В ВИД-1 применены магнитоупругие датчики с ферритовыми чувствительными элементами. Целесообразность применения ферритов в качестве чувствительного к механическим воздействиям датчика обусловлена следующими обстоятельствами:

ферриты обладают большой тензочувствительностью и жесткостью, что в некоторых случаях является определяющим требованием;

промышленностью серийно выпускаются в больших количествах ферритовые изделия соответствующих типоразмеров, пригодные для изготовления магнитоупругих датчиков;

ферриты являются дешевым чувствительным элементом.

К основным недостаткам ферритовых элементов, чувствительных к механическим напряжениям, относятся нестабильность характеристик и их значительная температурная зависимость.

В лабораторных условиях исследованы чувствительность и стабильность метрологических характеристик в различных диапазонах давления и температуры, а также влияние на них напряжения источника питания и времени эксплуатации.

Лабораторная установка для тарировки измерителя давления и температуры состояла из грузопоршневого манометра, термостата и специальной месдозы, в которой находился исследуемый измеритель. Грузопоршневым манометром создавалось известное давление P в месдозе, а термостат поддерживал в ней заданную температуру T . Давление с интервалом 10 атм. изменяли от 0 до 400 атм. и обратно. Эта процедура повторялась при температуре 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 °С. Сигнал от датчиков давления F и температуры f_T , представленный частотой электрических колебаний, фиксировался в памяти измерителя и контрольным частотомером. По окончании процедуры измеритель подключался через модуль сопряжения к ЭВМ, и частотные сигналы из памяти измерителя считывались и сохранялись в файле.

На рисунке 1 представлена тарировочная кривая датчика температуры. Методами регрессионного анализа для нее выбрана линейная модель $T = -14,7118 + 0,002289 \cdot f$.

Изменение чувствительности датчика давления в целом показало его достаточно высокую чувствительность – порядка 60 Гц на 1 атм. Однако существенная нелинейность и даже смена ее знака осложняют пересчет частотного сигнала датчика в измеряемое давление. Смена знака и низкая чувствительность при малых давлениях обусловили нижний предел измерения давления в 20 атм. Верхний предел работоспособности будет определяться механической прочностью конструкции и, в первую очередь, примененными в конструкции датчика кольцевыми уплотнениями и в принципе может быть увеличен до 1000 атм.

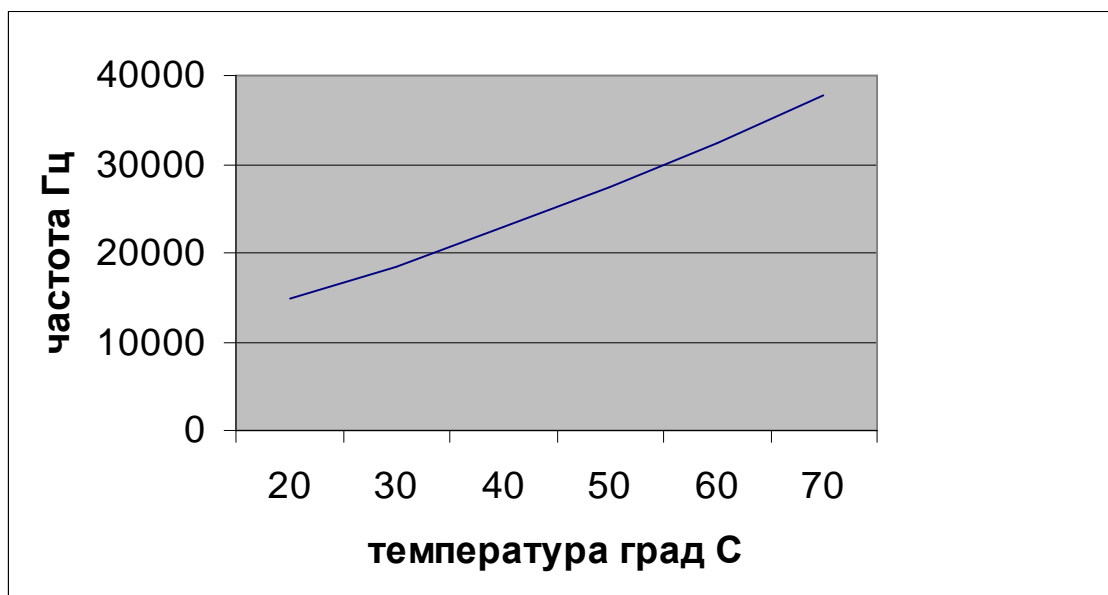


Рис. 1. Тарировочная характеристика датчика температуры

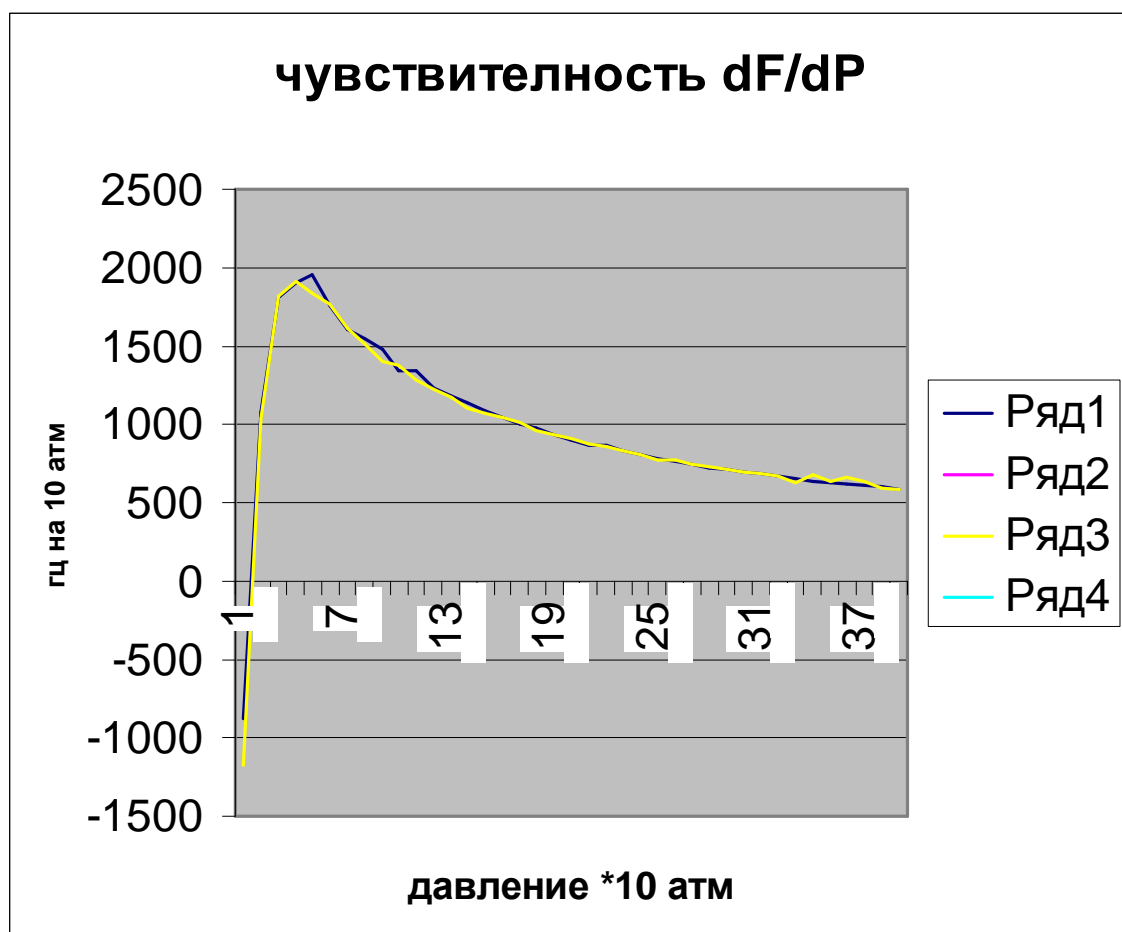


Рис. 2. Изменение чувствительности магнитоупругого датчика усилий при различных температурах (30 °С – ряд 1, 40 – ряд 2, 60 – ряд 3, 70 – ряд 4) и изменении давления тарировки от 0 до 400 атм.

Для пересчета частотного сигнала датчика давления в атмосфере применены регрессионные модели в виде полиномов разных степеней. Анализ разностей между показаниями грузопоршневого манометра и давлениями, рассчитанными регрессионным моделям по частотным сигналам ВИД-1, показывает, что у полинома второй степени абсолютная погрешность в 2–3 раза больше, чем у полиномов старших степеней. Так, принятая нами замена тарировочной кривой регрессионной моделью пятой степени вносит приведенную к верхнему пределу измерений погрешность максимум 0,5 % , а в среднем по диапазону до 400 атм. – в два раза меньше.

Из сопоставления тарировок, полученных при разных температурах с перерывом во времени в четыре месяца, следует, что чувствительность меняется в зависимости от температуры и времени в пределах $\pm 0,05$ атм. Причем при больших давлениях его чувствительность практически не меняется.

Для чтения выполненных измерений ВИД-1 подключается к IBM PC через специальный модуль сопряжения к LPT порту. Драйвер модуля сопряжения спрашивает у пользователя общее время проведения измерений и интервал в секундах между соседними измерениями. После этого на жестком диске компьютера создаются два файла в кодах ASCII. Один файл содержит две колонки целых чисел: номер измерения и частоту сигнала датчика давления (каждое шестьдесят четвертое измерение – сигнал датчика температуры). Второй файл, фрагмент которого приведен ниже, содержит в каждой строке время, прошедшее с момента включения прибора (ч : мин : с), частоту сигнала датчика (Гц), давление (атм.) и температуру (°С).

0 : 6 :56	21728	63,32368	31,97251
0 : 7 : 0	21736	63,37986	31,97251
0 : 7 : 4	21736	63,37986	31,97251
0 : 7 : 8	21736	3,37986	31,97251

Давление и температура получены пересчетом частотного сигнала с помощью регрессионных моделей. Так как тарировочные характе-

ристики каждого экземпляра прибора индивидуальны, то и в драйвер модуля сопряжения для работы с данным экземпляром прибора для достоверности второго файла должны быть введены коэффициенты регрессионных моделей, построенных по тарифовочным данным этого прибора.

В настоящее время опытные экземпляры ВИД-1 прошли лабораторные и промышленные испытания

Проверка герметичности уплотнений, механической прочности узлов и работоспособности измерителя первоначально проведена на экспериментальной установке завода «Нефтетерммаш», предназначенной для испытания герметичности под давлением и температурой НКТ. Автономный измеритель закладывали внутрь трубы, в которой создавались давление и температура. После сброса давления измеритель подключался к ЭВМ и результаты записи сравнивались с показаниями манометра и термометра установки. Испытания прошли успешно при давлении 250 атм.

Были проведен спуск автономного измерителя в скважины НГДУ «Черноморнефть». В скважину № 889 спуск измерителя был осуществлен на глубину 910 м с предварительной остановкой на 10 мин на глубине 810 м. Общая картина спуска, созданная средствами мастера диаграмм EXCEL, представлена на рисунке 3.

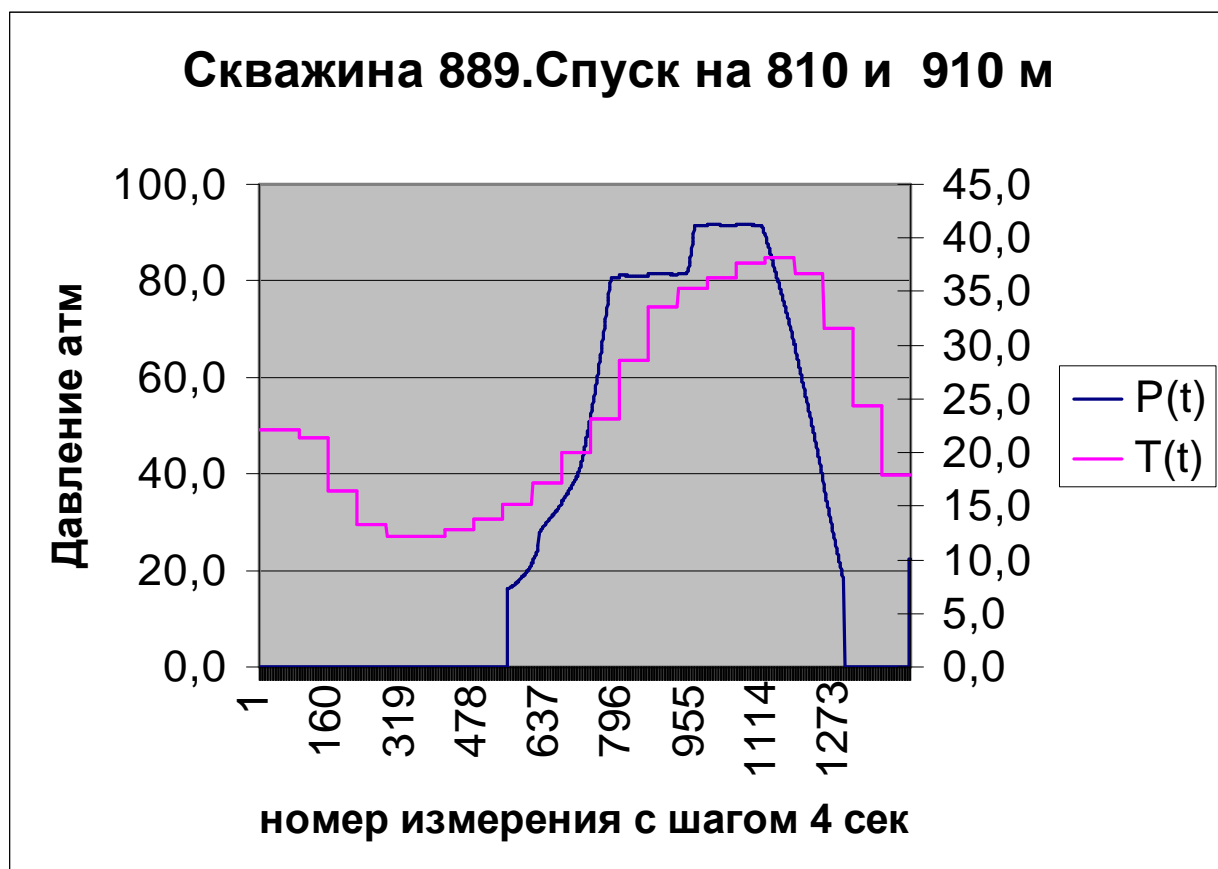


Рис. 3. Изменение давления и температуры в процессе спуска-подъема ВИД-1 в скважину

Перед спуском автономного измерителя в эту же скважину был спущен манометр МГГ. Расхождение в абсолютных значениях измеренных давлений не превышало 3 атм. Перепад давлений между глубинами 810 и 910 м по показаниям обоих манометров составлял 10,1 атм.

Прибор в настоящее время находится на стадии опытной эксплуатации.

Список литературы

1. Видовский Л.А, Калашников В.Ю. Опыт автоматизации с помощью микро-ЭВМ термобарометрических исследований скважин// Азербайджанское нефтяное хозяйство. 1987. № 5. С. 15–20.
2. Видовский Л.А, Цуприков А.Е., Калашников В.Ю. Автоматизированная система сбора информации о термобарометрических ре-

жимах скважин // Краснодарский ЦНТИ, 1986. Информ. листок № 83–86. 3 с.

3. А.с. 1183845 СССР. Видовский А.Л., Видовский Л.А., Татарин А.В., Морозов В.П., Нечепуренко П.Т. Магнитоупругий датчик давления, 1983.

4. Видовский А.Л. Методика измерения давления и температуры в зацементированной части колонного пространства скважины аппаратурой ЗИД-1. Краснодар, 1975. Ротапринт ВНИИКРнефти. 45 с.