

УДК 681.3:622.24

АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К ТЕХНИЧЕСКИМ СРЕДСТВАМ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ В СРЕДЕ, ВМЕЩАЮЩЕЙ ПОДЗЕМНЫЕ НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Видовский Леонид Адольфович
д.т.н., доцент

Плахотнюк Александр Николаевич
д.т.н., профессор

Ясьян Юрий Павлович
д.т.н., профессор

Широкорядов Александр Владимирович
Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар, Россия

Рассмотрены признаки, по которым можно группировать все технические средства сбора термобарометрической информации о взаимодействии подземных нефтегазопромисловых объектов с окружающей средой. Анализ показал, что, несмотря на длительную историю и многообразие приборов для измерения давления и температуры, есть небольшой набор средств для глубинных измерений внутри ствола скважины, известно всего лишь несколько работ по вставке в обсадную колонну специальных патрубков с размещенными на них тензодатчиками для измерения механических деформаций, осевых усилий и температуры и лишь единичные сведения об отдельных экспериментальных исследованиях полного давления на стенки скважины и температуры. Неизвестны приборы, позволяющие измерять в заколонном пространстве кроме полного давления отдельно давления, создаваемые твердой и жидкой (газообразной) фазами среды

Ключевые слова: ТЕМПЕРАТУРА, ДАВЛЕНИЕ, ПОДЗЕМНЫЕ СКВАЖИНЫ, ТРУБОПРОВОД, ХРАНИЛИЩЕ, ЗАКОЛОННОЕ ПРОСТРАНСТВО

УДК 681.3:622.24

ANALYSIS OF THE REQUIREMENTS FOR THE EQUIPMENT FOR MEASUREMENT OF PRESSURE AND TEMPERATURE IN THE ENVIRONMENT, HOST UNDERGROUND GAS FACILITIES

Vidovskiy Leonid Adolfovich
Dr.Sci.Tech., associate professor

Plahotnuk Alexander Nikolaevich
Dr.Sci.Tech., professor

Yasyan Yuri Pavlovich
Dr.Sci.Tech., professor

Shirokoryadov Alexander Vladimirovich
Kuban State technological university, Krasnodar, Russia

This article has examined the signs by which you can group all the technical means to collect information about the interaction of termobarometrical underground oil and gas facilities with the environment. The analysis showed, that despite the long history and variety of instruments for measuring pressure and temperature, there is a small set of tools for measuring deep inside the well bore, we know only a few works on the casing tube inserted into special tubes with tensometers placed on them to measure the mechanical deformations, axial forces and temperature, and only a few details about the individual experimental studies of total pressure at the borehole wall and the temperature. Unknown devices to measure except in the casing annulus pressure of the total pressure generated by a separate solid and liquid (gas) phases of the environment

Keywords: TEMPERATURE, PRESSURE, UNDERGROUND BOREHOLE, PIPELINE, STORAGE, CASING ANNULUE

Значительная часть объектов нефтегазовой отрасли представляет собой подземные сооружения, для которых механическое и тепловое взаимодействие с вмещающей средой является определяющим принципиальную возможность безаварийного строительства и эксплуатации. К ним относятся скважины, трубопроводы, резервуары подземных изотермических газонефтехранилищ, в первую очередь,

сооружаемые в таких сложных условиях как многолетнемёрзлые породы, аномалии пластового давления и проявления горного давления в пластичных породах. Взаимодействие этих объектов с окружающей средой относится к пространственно-распределённым динамическим процессам, адекватное математическое описание которых строится на основе дифференциальных уравнений в частных производных относительно давления и температуры. Данные процессы относятся к классу сложных систем, к анализу которых эффективно применение метода математического моделирования, базирующегося на стратегии системного анализа. Стратегия в данном случае состоит из взаимосвязанных этапов: физического описания объекта; составления математического описания объекта; выбора метода решения системы уравнений, математического описания и программной реализации; установления соответствия (идентификации) модели объекту.

Системный анализ предметной области и объектов исследования[1,2] выявил единство математических моделей и задач идентификации термобарометрических процессов взаимодействия с окружающей средой скважин, трубопроводов, резервуаров. Результаты применения выбранных для решения этих задач и интегральных и вариационных методов существенно зависят от объёма и качества входной информации, представленной измерениями давления и температуры. Из единства моделей, задач и методов, а во многом и физической природы процессов естественным образом вытекает целесообразность применения и единых технических средств измерения, сбора и обработки термобарометрической информации. Различные конструктивные особенности рассматриваемого класса объектов накладывают различные ограничения на измерительные средства. Наиболее жесткими являются условия исследований в скважинах, особенно в заколонном пространстве. Аппаратура, соответствующая этим условиям, с большим запасом надёжности может

быть применена в системах контроля трубопроводов, подземных резервуаров, скважин, входящих в состав подземных хранилищ, а также для эксплуатационных и наблюдательных скважин нефтегазопромыслов.

Известно, что в заколонном пространстве скважин проявляется действие различных факторов, изучение влияния и динамики которых связано с большими трудностями из-за особенностей конструкций скважин, практически ограничивающих возможность установления здесь контроля (прямого визуального или с помощью приборов). Однако, изучение этих факторов необходимо для устранения таких явлений, как заколонные газонефтеводопроявления, межпластовые перетоки, повреждение крепи и др.

Специалистов давно интересовали причины и механизм газонефтеводопроявлений, возникающих иногда после цементирования скважин, в период ожидания затвердения цемента (ОЗЦ). Среди многих предполагаемых прямых или косвенных причин возникновения этого нежелательного явления особый интерес представлял факт снижения в период ОЗЦ давления столба тампонажного раствора на пластовый флюид.

Другой причиной было желание выявить значение давления цементного камня на обсадные трубы - главный параметр при расчете обсадных колонн. По наиболее распространенной ранее методике расчета обсадных колонн расчетное наружное давление затвердевшего цементного камня принималось равным давлению столба жидкого тампонажного раствора. Очевидно, что это положение методики становилось неприемлемым в случае признания факта изменения давления столба тампонажного раствора в период ОЗЦ.

Третьей причиной стремления к проведению таких исследований явилась необходимость контролирования процессов растепления и обратного промерзания многолетнемерзлых пород (ММП) в околоствольной зоне скважин. При проводке скважин в ММП буровой

раствор с положительной температурой, взаимодействуя с мерзлыми породами, имеющими отрицательную температуру, вызывает их растепление. К этому приводит также теплоотдача тампонажного раствора при цементировании скважин и продукта, добываемого из имеющих более высокую температуру ниже залегающих продуктивных пластов. Растепление горных пород дает нежелательные последствия, особо опасные при значительной льдистости слабо сцементированных пород (образование каверн в необсаженном стволе бурящейся скважины или заполненных водой каверн в заколонном пространстве обсаженных скважин, проседание кондукторов, смещение устьевого оборудования и др.). При длительном простое скважины понижается температура в околоствольной зоне и возможно обратное промерзание горных пород. В этом случае замерзание воды в кавернах и увеличение ее объема при превращении в лед могут привести к возникновению недопустимо большого давления на обсадные трубы, опасного для их целостности.

Наконец, четвертой причиной явилась необходимость контроля над давлением горных пород на крепь скважины. При бурении скважин в пластичных горных породах (некоторые виды глин, солей) под воздействием горного давления такие породы выдавливаются в ствол скважины, что нередко бывает причиной смятия и поломки обсадных труб.

К настоящему времени промысловые геофизические исследования (ГИС-контроль) за эксплуатацией нефтяных и газовых скважин приобрел статус самостоятельного направления, как по задачам, так и по методам их решения.

Среди задач этого направления важная роль принадлежит исследованиям нестационарных гидродинамических режимов и определению фильтрационно-емкостных свойств пласта на основании барометрии, термометрии и расходомерии.

Проведением исследований различных процессов в зацементированном заколонном пространстве и разработкой соответствующей контрольной аппаратуры занимаются или занимались многие отечественные организации и иностранные фирмы. Все разработки можно группировать по некоторым общим признакам, например:

- по способу организации канала связи;
- по способу установки заколонных датчиков на обсадной колонне;
- по номенклатуре контролируемых параметров;
- по конструкции применяемых чувствительных к давлению или температуре элементов;
- по требуемому размеру кольцевого зазора между спускаемой колонной и стенкой скважины.

Рассмотрим некоторые из этих признаков и укажем, к каким последствиям технологического, организационного и эксплуатационного характера они приводят.

Наиболее существенным признаком является канал связи между заколонными датчиками и устьевой аппаратурой, причем следует отметить два четко выделившихся способа организации канала связи в целях передачи информации от приборов, поступающей в виде электрических сигналов по геофизическим кабелям: в первом случае кабель прокладывается в заколонном пространстве и остается в нем после цементирования; во втором - кабель на время измерений прокладывается внутри колонны обсадных труб и извлекается из скважины по окончании измерений. При первом способе связь всех элементов измерительной цепи осуществляется чисто гальванически, а при втором - на одном участке связь между элементами измерительной цепи (заколонными датчиками и спущенным на кабеле зондом) осуществляется бесконтактно, переменным электромагнитным полем, а

на остальных - гальванически. Третьим вариантом являются автономные приборы с встроенным запоминающим устройством, спускаемые в скважину только на время измерений. Отсутствие электрического канала связи повышает надёжность, уменьшает стоимость и габариты, но ограничивает область применения пространством внутри скважины и не позволяет проводить исследования в заколонном пространстве.

Отмеченные способы имеют свои достоинства и недостатки.

Достоинством первого способа является возможность длительного проведения непрерывных измерений при любых операциях в стволе скважины без прекращения работы буровой бригады или перерыва в эксплуатации скважины.

К недостаткам первого способа относятся: трудоемкость прокладки и большой расход геофизического кабеля в заколонном пространстве, а также значительный риск повреждения его при спуске обсадной колонны.

Достоинствами второго способа являются: малая трудоемкость организации канала связи; малый риск повреждения кабеля (риск повреждения заколонных датчиков равновелик риску при первом способе); возможность многократного использования геофизического кабеля в разных скважинах; возможность увеличения числа точек измерений по стволу скважины без изменения наземной аппаратуры и увеличения расхода кабеля.

К недостаткам второго способа относятся: необходимость прекращения работ в стволе скважины или ее эксплуатации на период проведения измерений; невозможность исследования влияния проведения различных работ в стволе скважины на изменение контролируемых параметров заколонного пространства; невозможность получения информации от заколонных датчиков в случае спуска следующей колонны труб вследствие возникающего при этом экранирующего эффекта; невозможность организации непрерывного контроля за непредсказуемо

изменяющимися параметрами заколонного пространства в целях предотвращения аварийной ситуации.

Неоспоримым является факт неизмеримого превосходства первого способа над вторым по объему информации. Поэтому на данном уровне развития науки и техники первый способ следует признать более перспективным для заколонных исследований.

По способу установки заколонных датчиков на обсадной трубе устройства подразделяются на два типа: у первого типа чувствительные к давлению (усилию) элементы помещены в скважинные приборы специальных конструкций, которые не выполняют функций обсадной колонны и рассчитаны на крепление к стандартной обсадной трубе; у второго типа чувствительные к давлению (усилию) элементы одновременно выполняют функции части обсадной колонны.

Устройства первого типа, как правило, имеют меньшие габариты и массу скважинной части, что существенно облегчает работы по их градуировке, проверке на герметичность, транспортированию. Для определения метрологических характеристик устройств данного типа обычно имеются стандартные оборудование и приборы; требуется только создание простых, малогабаритных и дешевых приспособлений. Достоинством устройств данного типа следует считать отсутствие их влияния на прочностные характеристики обсадных труб. Выход из строя устройств данного типа не нарушает герметичности обсадной колонны, их можно крепить на обсадных трубах разного диаметра.

В устройствах второго типа скважинная часть представляет собой, как правило, одну или несколько трубных вставок, выполненных иногда из материала со специальными свойствами. Они могут быть вмонтированы в колонну обсадных труб только определенного диаметра, с определенными толщиной стенки и типом резьбы. На поверхность трубной вставки наклеиваются тензодатчики для измерения либо осевой нагрузки, либо

радиально-сжимающего давления, а также крепятся датчики температуры. От каждой вставки прокладывается многожильный геофизический кабель до устья скважины. Трубные вставки должны быть испытаны на внутреннее и внешнее сминающее давление, как и обсадные трубы, предназначенные для спуска в скважину. Значительные габариты (2 - 3 м) и масса (230 - 400 кг) скважинной части устройств данного типа существенно усложняют работы по их градуировке, проверке на герметичность, транспортированию и монтажу. Для их градуировки и испытания на герметичность, как правило, требуется создание специальных устройств со значительными габаритами и массой. Достоинством устройств данного типа является, как правило, идентичность трубной вставки и стандартной обсадной трубы по схемам нагружения в скважине, отсутствующая у приборов первого типа. Однако, при оснащении вставок тензодатчиками необходимо обеспечить возможность по измеренным на поверхности деформациям идентифицировать схему нагружения трубной вставки в скважине и соответствие ее схеме нагружения при градуировке.

Сопоставление достоинств и недостатков устройств обоих типов показывает, что устройства первого типа предпочтительнее.

Процессы, протекающие в зацементированном за колонном пространстве, по своей природе многообразны. Однако, в данный момент наиболее актуальны вопросы о механических процессах, обуславливающих требуемую прочность крепи скважины, и о тепловых процессах, также приводящих к возникновению дополнительных усилий в крепи. При определении требуемой прочности крепи определяющими являются давление и температура, поэтому для большинства известных устройств эти параметры относятся к числу контролируемых. Для специфических условий строительства скважин в зонах распространения

многолетнемёрзлых пород существенен контроль осевой нагрузки, но проблема контроля давления не теряет актуальности.

Весьма существенным является размер кольцевого зазора между спускаемой колонной и стенками скважины, требуемый для установки заколонных датчиков. Чем больше требуемый размер зазора, тем больше расход энергии, материалов, затрат труда на строительство скважины.

Анализ показал, что, несмотря на длительную историю и многообразие приборов для измерения давления и температуры, есть небольшой набор средств для глубинных измерений внутри ствола скважины, известно некоторое количество работ по вставке в обсадную колонну специальных патрубков с размещенными на них тензодатчиками для измерения механических деформаций, осевых усилий и температуры и лишь единичные сведения об отдельных экспериментальных исследованиях полного давления на стенки скважины и температуры. Неизвестны приборы, позволяющие измерять в заколонном пространстве кроме полного давления отдельно давления создаваемые твердой и жидкой (газообразной) фазами среды.

Сопоставление возможностей существующей измерительной аппаратуры и требований, предъявляемых к ней поставленными целями, позволяет сделать вывод о необходимости разработки проблемно-ориентированной измерительной системы контроля термобарометрических процессов на базе унифицированных измерителей давления и температуры, обладающих малыми габаритами, высокой прочностью, работоспособностью в широком диапазоне температур и давлений, позволяющих проводить исследования в различных средах, вмещающих подземные нефтегазопромысловые объекты, наиболее сложной из которых является зацементированное заколонное пространство скважин.

Литература

1. Видовский Л.А., Яковлев Е.И., Глоба В.М. Тепловые режимы хранилищ сжиженных газов. Санкт-Петербург «Недра» 1992, 184с
2. Оперативный контроль трубопроводных систем / Л.А.Видовский, А.С. Казак, В.И. Седов, И.В. Березина, Е.И. Яковлев. Москва «Недра» 1991, 245с.