

Контроль структуры подземных резервуаров методом ультразвуковой локации

Зозуля Е.Н., Селезнев Д.В., Божедомов В.Г., Сотников В.Н.,
ООО «Специальные геофизические системы», г.Саратов

Введение

Для покрытия кратковременных периодов дефицита газа в газотранспортной системе, связанных с практически постоянной скоростью подачи газа и неравномерностью его потребления, предназначены подземные хранилища газа (ПХГ). Создание ПХГ в отложениях каменной соли является перспективным направлением развития данной отрасли в различных странах. ПХГ в солях на порядок уступают по объему хранимого газа газохранилищам, создаваемым в выработанных газовых месторождениях, зато во столько же превосходят их по скорости возможного отбора газа. Такие ПХГ используются как «пиковые» хранилища, способные гибко регулировать величину отбора и при необходимости быстро выдать большой объем газа. Используя мировой опыт и собственный опыт эксплуатации Абовянского ПХГ под Ереваном, ОАО «Газпром» приняло Концепцию развития ПХГ в солях, которая предполагает строительство 10 пиковых ПХГ.

Кроме того, химической промышленности при добыче полезных ископаемых широко используется метод выщелачивания подземных залежей через пробуренную сверху скважину. Емкости, образованные в процессе выщелачивания, могут также использоваться как резервуары для хранения углеводородов или отходов химических производств.

Контроль процесса выщелачивания при строительстве и эксплуатации подземных резервуаров

Особое внимание при эксплуатации скважины на рассолопромысле или строительстве подземных хранилищ углеводородов уделяется контролю процесса размыва и последующего состояния подземных резервуаров, поскольку соблюдение заложенных в проект расчетных геометрических параметров резервуара залог гарантии эксплуатационной надежности резервуара в течение всего расчетного срока его эксплуатации. Оперативный контроль позволяет вовремя обнаружить отклонение процесса

формообразования от проектного режима, своевременно определить некорректируемое растворение свода строящегося подземного резервуара из-за ухода нерастворителя и произвести корректировку технологического регламента с учетом реальной формы подземного резервуара. Во время эксплуатации подземного хранилища углеводородов необходимо также периодически определять форму и размеры подземного резервуара с целью своевременного обнаружения обрушений пород, контроля размеров самих резервуаров и междукammerных целиков.

Таким образом, возникает задача оперативного сопровождения процесса размыва и контроля геометрических параметров подземного резервуара с определением положения его основных элементов, потолочины, донной области, границы нерастворителя.

Методы контроля процесса строительства резервуаров ПХГ и полостей выщелачивания

На сегодняшний день для решения задачи оперативного контроля формообразования резервуаров ПХГ и процессов добычи полезных ископаемых методом выщелачивания применяется несколько методов: теоретическое прогнозирование процесса размыва на основании геологического разреза, метод расчета на основе концентрации извлекаемого рассола, метод механической кавернометрии, метод акустического сканирования.

В разное время были проведены исследования, позволившие выявить закономерность процесса формообразования камер при различных способах размыва соляного массива. Вместе с тем данные исследования не дали четких рекомендаций относительно теоретических методов определения формы реально существующих камер в виду сложности физико-химических процессов растворения соли и гидродинамических процессов в камерах, а также неоднородности массива и анизотропии соли [1].

Одним из методов вычисления

текущего объёма размываемой подземной полости является метод расчёта на основании концентрации и объёма получаемого рассола в процессе размыва. Основным недостатком данного метода является невозможность объективной оценки формы и геометрических размеров формируемой полости. Данный метод невозможно применить для контроля геометрических параметров существующих резервуаров в процессе их эксплуатации.

Применение широко используемых в геофизике механических каверномеров, путём увеличения длины измерительных рычагов, приводит к потере жёсткости рычагов и, как следствие, к отказу в работе и снижению достоверности получаемой информации об измеряемом расстоянии. Данный метод имеет существенные ограничения по максимальному радиусу исследования.

Широкое распространение при обследовании подземных резервуаров и полостей выщелачивания получили акустические методы. Одним из таких методов является импульсная звуколокация. В основе метода лежит способность резкой акустической границы между содержимым резервуара и окружающей его породой отражать звуковые колебания. Суть метода состоит в измерении времени распространения импульса звуковых колебаний между излучателем и границей резервуара. Зная данное время и скорость распространения звуковых колебаний в конкретной среде, можно вычислить расстояние между излучателем и границей резервуара. Применение звуковых колебаний высокой частоты (ультразвук) позволяет проводить измерение расстояний в узконаправленном телесном угле, что обеспечивает высокую разрешающую способность при определении контура исследуемого объекта, а наличие устройства азимутальной привязки в составе измерительного комплекса позволяет определить пространственную ориентацию расположения резервуара относительно магнитного меридиана Земли.

Звуколокационные измерения обладают наибольшей информативностью из всех вышеперечисленных методов и позволяют оперативно получать непосредственные данные о конфигурации и размерах исследуе-

мого объекта.

Измерительный комплекс на основе метода импульсной звуколокации

Основой измерительного комплекса является скважинный прибор, в состав которого входят:

- излучающая антенна;
- приёмная антенна;
- устройство азимутальной привязки;
- устройство для измерения скорости звука.

Вместо приёмной и излучающей антенн может использоваться одна антенна, работающая на излучение в момент генерации зондирующего импульса и на приём во время регистрации отражённого сигнала.

Антенна сопрягается с устройством азимутальной привязки и механизмом, осуществляющим её вращение вокруг оси прибора на заданный угол. Таким образом, обеспечивается круговое сканирование полости в горизонтальной плоскости на заданной глубине с азимутальной привязкой измерений при неподвижном скважинном приборе. Вертикальные перемещения прибора обеспечиваются спускоподъёмным механизмом на поверхности скважины.

Для вычисления расстояния, помимо времени распространения зондирующего импульса до границы резервуара, необходимо знать скорость распространения звуковых колебаний в данной среде. Поскольку скорость звука сильно зависит от свойств среды, например, от температуры и концентрации рассола, ее необходимо измерять для каждой глубины, на которой производится сканирование. С этой целью в приборе должно иметься устройство для измерения скорости звука.

Основным недостатком импульсного метода звуколокации является ограничение минимального измеряемого расстояния, что связано с наличием «мёртвой» зоны. Наличие «мёртвой» зоны обусловлено затухающими колебательными процессами в антенне после прекращения излучения антенной зондирующего импульса. Для уменьшения «мёртвой» зоны используются отдельные излучающая и приёмная антенны.

ООО «Специальные геофизические системы» разработан и изготавливается комплекс для исследования подземных полостей и резервуаров методом импульсной звуколокации.



Рисунок 1.

Описание регистрирующего комплекса ЛАС

Комплекс ЛАС (Рис.1) состоит из блока наземного телеметрического (БНТ), ноутбука, оснащенного технологическим программным обеспечением (ТПО) и программой обработки данных (ПОД), ультразвукового сканирующего локатора, выполненного в виде скважинного прибора (ПС).

Блок наземной телеметрии обеспечивает связь с прибором через трехжильный каротажный кабель типа КГЗ-60-150 для управления параметрами сканирования прибора и регистрации данных сканирования. БНТ содержит программируемый источник питания для управления амплитудой зондирующего импульса в широких пределах. Для обеспечения точной привязки сканируемых данных к глубине в состав блока входит контроллер глубины, соединённый с устанавливаемым на мерном ролик датчиком импульсов глубины.

Скважинный прибор измеряет время прохождения зондирующего импульса от своей вертикальной оси до стенки выработки и обратно в режиме горизонтального сканирования при неподвижном положении на заданной глубине и состоит из:

- блока электроники;
- приёмоизлучающей антенны, сопряженной с поворотным механизмом и устройством азимутальной привязки;
- устройства измерения скорости звука.

Блок электроники обеспечивает формирование зондирующего импульса заданной частоты, амплитуды и длительности. Длительность и амплитуда зондирующего импульса задаются оператором в зависимости от затухания звуковых колебаний в данной среде и измеряемого расстояния. После излучения зондирующего импульса

отражённый сигнал оцифровывается в блоке электроники в течение заданного времени с одновременной регистрацией показания устройства азимутальной привязки. В зависимости от режима сканирования производится либо регистрация всего оцифрованного сигнала для последующей обработки, либо регистрируется только время прихода импульса, превышающего по амплитуде заданный уровень. После измерения на текущем азимуте, выдаётся команда поворотному механизму для поворота антенны на заданный угол. Измерения повторяются до полного оборота антенны.

Устройство измерения скорости звука состоит из антенны, расположенной в донной части скважинного прибора и направленной вниз, и отрезка трубы, присоединённого к донной части, длиной 0.5м с отражателем на конце. В центре отражателя имеется отверстие, чтобы одновременно с измерением скорости была возможность измерять расстояние от конца прибора до дна резервуара.

Отличительной особенностью прибора является расположение блока антенн внутри колбы из оргстекла и изоляция поворотного механизма от окружающей среды, что увеличивает надёжность прибора при эксплуатации и обеспечивает его долговечность.

Управление процессом сканирования и запись регистрируемых данных производится с помощью программного обеспечения, установленного на ноутбуке соединённым с БНТ.

Технологическое программное обеспечение позволяет:

- настраивать телеметрию в зависимости от параметров каротажного кабеля;
- тестировать прибор;
- в зависимости от условий измерения изменять параметры зондирующего импульса и режимы сканирования;
- регистрировать данные сканирования в режиме полной регистрации отражённого сигнала или в режиме регистрации времени прихода отражённых импульсов;
- настраивать параметры регистрации глубины прибора.

В процессе сканирования, в зависимости от выбранного режима, данные отображаются в виде набора осциллограмм (рис.2) или в виде полярной развёртки (рис.3).

Регистрируемые данные автомати-

чески преобразуются в расстояние, в зависимости от текущей скорости звука. Скорость звука измеряется прибором или вводится вручную.

Программа обработки данных (ПОД) предназначена для обработки зарегистрированных данных ТПО и получения на их основе следующих данных:

- объём полости в заданном интервале глубин;
- таблицы содержащей:
 - о значения радиусов по восьми основным направлениям азимута для каждой из глубин измерения;
 - о приращение объёма в зависимости от глубины;
 - о объём между двумя смежными интервалами измерения;
- полярная развёртка контура для каждой глубины измерения;
- 3-х мерное представление объекта исследования (рис.6)
- вертикальное сечение объекта по произвольному азимуту (рис.5);
- график зависимости объёма от глубины.

ПОД позволяет получить в виде твёрдой копии (напечатать) все вышеперечисленные параметры и использовать их при формировании отчёта о звуколокационном исследовании резервуара или полости выщелачивания.

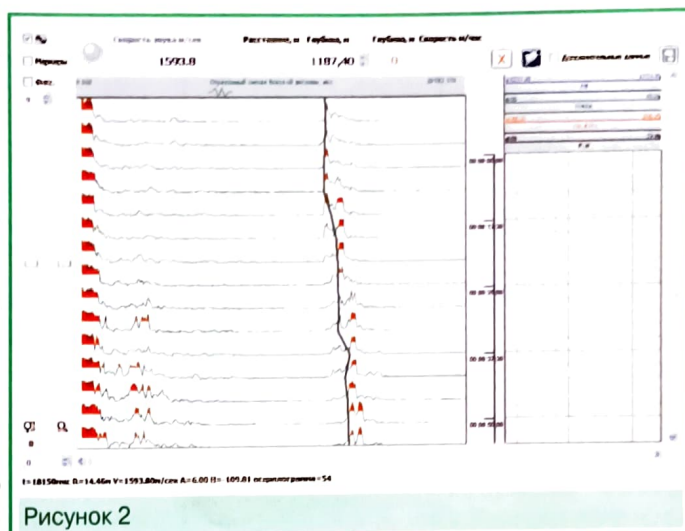


Рисунок 2

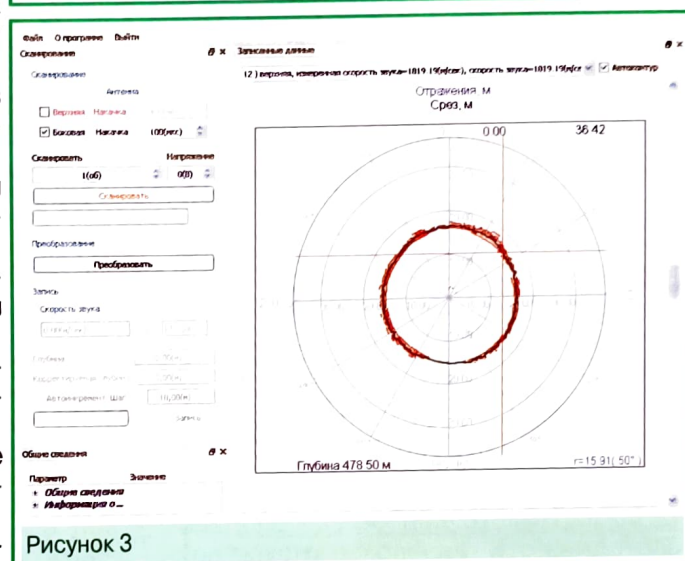


Рисунок 3

Практическое применение комплекса ЛАС

На сегодняшний день комплекс используется при проведении работ по звуколокационному исследованию подземных полостей на расслопромыслах и подземных

Рисунок 4. Технические характеристики комплекса

Наименование	Значение
Диапазон измеряемых расстояний боковой антенной, м	от 0,5 до 160
Диапазон измеряемых расстояний нижней антенной, м	от 0,5 до 50
Диапазон измеряемых расстояний дополнительной антенной, м	от 0,5 до 50
Относительная погрешность измерения расстояния, %	2
Максимальное гидростатическое давление, МПа	20
Диапазон рабочих температур, °C	от +10 до +80
Диаметр скважинного прибора, мм	80
Длина скважинного прибора, мм	2150

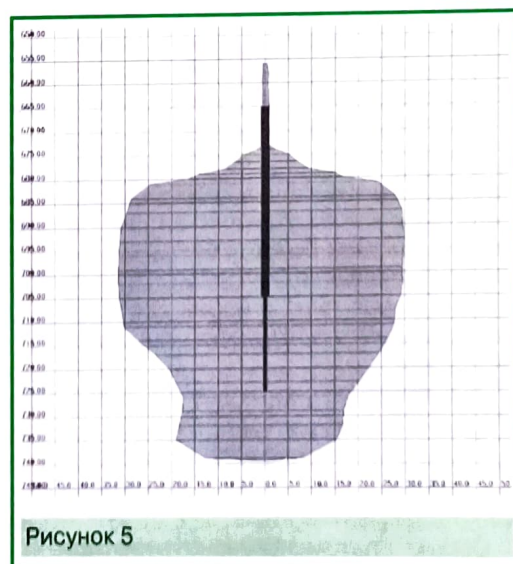


Рисунок 5

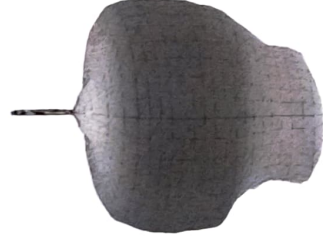


Рисунок 6

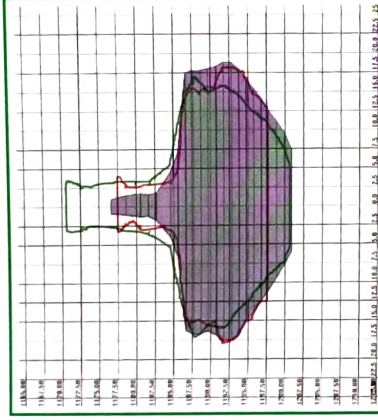


Рисунок 7

хранилищах углеводородов и химических ресурсов в Республике Башкортостан, Астраханской, Волгоградской и Оренбургской областях. Максимальный радиус при проведении исследований вышеперечисленных объектов составил 50 м. При этом сохранялся запас для увеличения мощности зондирующего импульса. Измерения проводились как в открытой камере, так и через колонну, а в некоторых случаях через две.

Для оценки возможности применения скважин без поддона насосно-компрессорных труб в июле 2010 года были проведены сравнительные исследования скважины в открытой камере, через одну и через две колонны. Сканирование проводилось в следующем порядке:

- сканирование через одну колонну;
 - сканирование в открытой камере;
 - сканирование через две колонны.
- Сопоставление результатов сканирования отображено на Рис.7.

Серым цветом показано вертикальное

сечение при сканировании: в открытой камере. Зеленым цветом обозначены сечения при сканировании через одну колонну. Красным цветом обозначены сечения при сканировании через две колонны. Разное отличие контура при сканировании через одну колонну и через две колонны связано с наличием пресной воды в долине. При сканировании сканирование с помощью сканирования и, как следствие, разном отличии скорости звука, измеряемой прибором в колонне (пресная вода) от скорости звука за колонной (рассол). При проведении сканирования через колонну, в первую очередь, необходимо отметить высокую зависимость показаний измерений от точности измерения скорости звука. Скорость звука измеряется прибором непосредственно в точке нахождения прибора. Для случая сканирования в открытой камере скорость звука на данной глубине можно считать одинаковой для любой точки резервуара с данной глубиной. При сканировании через колонну(ы) скорость звука, измеряемая прибором в колонне, может резко отличаться от скорости звука за колонной, например, вследствие различной концентрации рассола. Таким образом, при звуколокации, проводимой через колонну(ы), можно достоверно получить геометрию резервуара и положение такла его элементов как *потолочина* и *дно*, а для документального подтверждения фактической емкости исследуемого объекта необходимой информацией является сканирование в открытой камере. На измерении радиусов, следовательно и на последующем вычислении объема резервуара, будет сильно сказываться величина несоответствия измерения скорости звука в жидкости, находящейся внутри колонны, и реальной скорости звука в рассоле, заполняющем резервуар, находящимся за колонной. Полученные данные сканирования через одну колонну показывают, что отражённый сигнал от стен резервуара уверенно регистрировался для радиусов более 3 метров. Данное ограничение связано с интерференцией сигналов отражённых от колонны и сигналов, отражённых от стенки исследуемого объекта.

Заклучение

Сегодня регистрирующий комплекс ЛИС производства ООО «Специальные геофизические системы» успешно используется при проведении работ по звукокалани подземных резервуаров и полостей выщелачивания в различных регионах России. ООО «Специальные геофизические системы» ведёт работы по дальнейшему усовершенствованию прибора, с целью улучшения его эксплуатационных характеристик.