

УДК 621.6: 622.691.24

Контроль объема и формы подземных резервуаров ПХГ в процессе их строительства и эксплуатации методом ультразвуковой локации

Control of Volume and Shape of Underground Gas Storages During the Process of Their Construction and Operation Using Ultra sonic Location Method



Е.Н. Зозуля



Д.В. Селезнев

Ключевые слова: газотранспортная система, подземное хранилище газа (ПХГ), процесс выщелачивания, резервуар ПХГ, метод механической каллиперметрии, методакустического сканирования, геофизика, импульсная звуколокация, подземное хранилищеуглеводородов.

Key words: gas transportation system, underground gas storages, desalination process, underground gas storage tank, mechanical caliper log method, acoustic scanning procedure, geophysics, pulse sounding, hydrocarbon underground storage.



В.Г. Божедомов



В.Н. Сотников

В работе представлен звуколокационный регистрирующий комплекс ЛАС, изготавливаемый ООО "Специальные геофизические системы", который является законченным изделием, удовлетворяющим всем заявленным характеристикам, что неоднократно подтверждено при проведении работ по звуколокации подземных резервуаров и полостей выщелачивания в различных регионах России.

The papers presents the LAS sound locating and registration equipment set that is manufactured "Special Geophysics Systems" LLC, begin a final product that satisfies all its target parameters. These been verifies through numerous jobs in sounding and locating underground storages and desalination cavities in various regions of Russia.



Д.Ю. Пятницкий

/ООО "Специальные геофизические системы"/

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, со-

здаваемым в истощенных 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" приня-



ло Концепцию развития ПХГ в солях, которая предполагает строительство 10 пиковых ПХГ.

Кроме того, химической промышленностью 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 над процессом размыва и последующим состоянием подземных резервуаров, поскольку соблюдение заложенных в проект расчетных геометрических параметров резервуара является залогом гарантии надежности и долговечности резервуара в течение расчетного срока 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 также необходимо периодическое определение формы и размеров подземного резервуара с целью своевременного обнаружения обрушений пород, контроля размеров самих резервуаров и междукамерных 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 ввиду сложности физико-химических процессов растворения соли и гидродинамических процессов в камерах, а также неоднородности массива и анизотропии соли. Одним из методов вычисления текущего объема размываемой подземной полости является метод расчета на основе концентрации и объема получаемого рассола в процессе размыва. К основному недостатку данного метода можно отнести невозможность объективной оценки формы и геометрических размеров формируемой полости, поэтому он не подходит для контроля геометрических параметров существующих резервуаров в процессе их эксплуатации.

Применение широко используемых в геофизике механических каверномеров путем увеличения длины измерительных рычагов приводит к потере жесткости 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.

При обследовании подземных резервуаров и полостей выщелачивания получили распространение акустические методы. Одним из таких методов является импульсная звуколокация. В основе метода лежит способность резкой акустической границы между содержимым резервуара и окружающей его породы 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.

Из вышеперечисленных методов звуколокационные измерения обладают наибольшей информативностью и позволяют оперативно получать непосредственные данные о конфигурации и размерах исследуемого объекта.

Измерительный комплекс на основе метода импульсной звуколокации

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

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

Вместо приемной и излучающей антенн может использоваться одна антенна, работающая на излучение в

момент генерации зондирующего импульса и на прием - во время регистрации отраженного сигнала.

Антенна сопрягается с устройством азимутальной привязки и механизмом, осуществляющим ее 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 спускоподъемным 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 быть реализовано устройство для измерения скорости звука.

Основным недостатком импульсного метода звуколокации является ограничение минимального измеряемого расстояния из-за наличия "мертвой" зоны. Наличие "мертвой" зоны обусловлено затухающими колебательными процессами в антенне после прекращения излучения антенной зондирующего импульса. Для уменьшения "мертвой" зоны используются отдельные излучающая и приемная антенны.

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

Звуколокационный регистрирующий комплекс ЛАС (рис. 1) состоит из блока наземной телеметрического (БНТ), ноутбука, оснащенного технологическим программным обеспечением (ТПО) и программой обработки данных (ПОД), ультразвукового сканирующего локатора, выполненного в виде скважинного прибора (ПС).



Рис. 1. Звуколокационный регистрирующий комплекс ЛАС

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, соединенный с устанавливаемым на мерном ролике датчиком импульсов глубины (рис. 2).

Скважинный прибор (рис. 3) 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 следующих элементов:

- блока электроники;
- приемоизлучающей антенны, сопряженной с поворотным механиз-

мом и устройством азимутальной привязки;

- устройством 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 отраженный сигнал оцифровывается в блоке электроники в течение заданного времени с одновременной регистрацией показания устройства азимутальной привязки. В зависимости от режима сканирования производится регистрация либо всего оцифрованного сигнала для последующей обработки, либо только времени прихода импульса, превышающего по амплитуде заданный уровень.

После измерения на текущем азимуте выдается 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 длиной 0.5 м, присоеди-

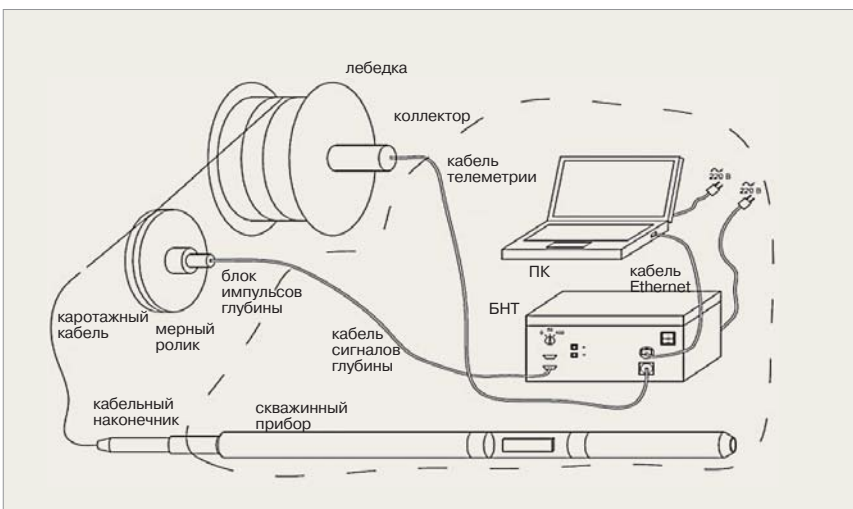


Рис. 2. Блок наземной телеметрии



Рис. 3. Скважинный прибор

ненного к донной части, с отражателем на конце. В центре отражателя имеется отверстие, позволяющее одновременно со скоростью 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 надежность при эксплуатации и долговечность прибора.

Управление процессом сканирования и запись регистрируемых данных производится с помощью программного обеспечения, которое установлено на ноутбуке, соединенном 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 отраженного сигнала или в режиме регистрации времени прихода отраженных импульсов;
- настраивать параметры регистрации глубины прибора.

В процессе сканирования в зависимости от выбранного режима данные отображаются в виде набора осциллограмм (рис. 4) или полярной развертки (рис. 5). Регистрируемые данные автоматически преобразуются в расстояние в зависимости от текущей

скорости звука. Скорость звука измеряется прибором или вводится вручную.

Программа обработки данных предназначена для обработки зарегистрированной ТПО информации и получения на ее основе следующих данных:

- объем полости в заданном интервале глубин;
- таблица, содержащая:
 - значения радиусов по восьми основным направлениям азимута для каждой из глубин измерений;

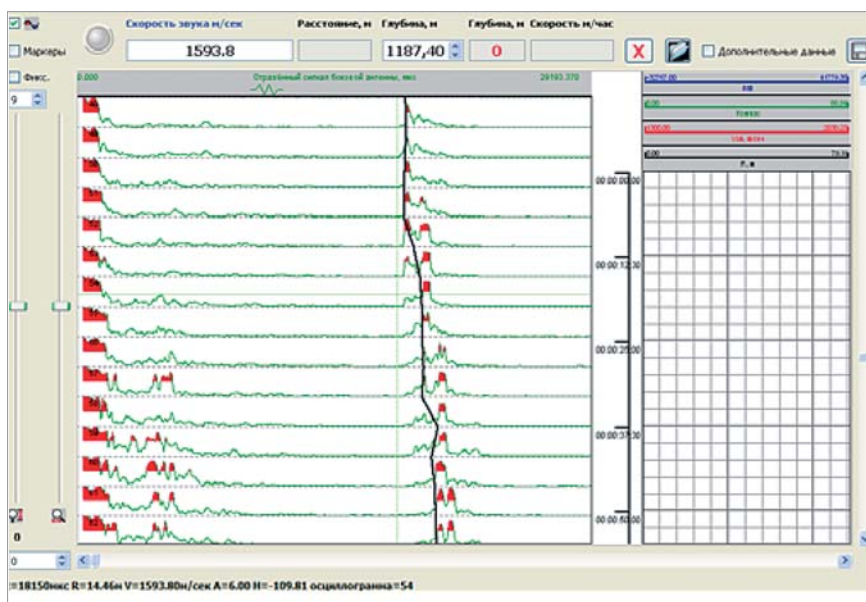


Рис. 4. Набор осциллограмм

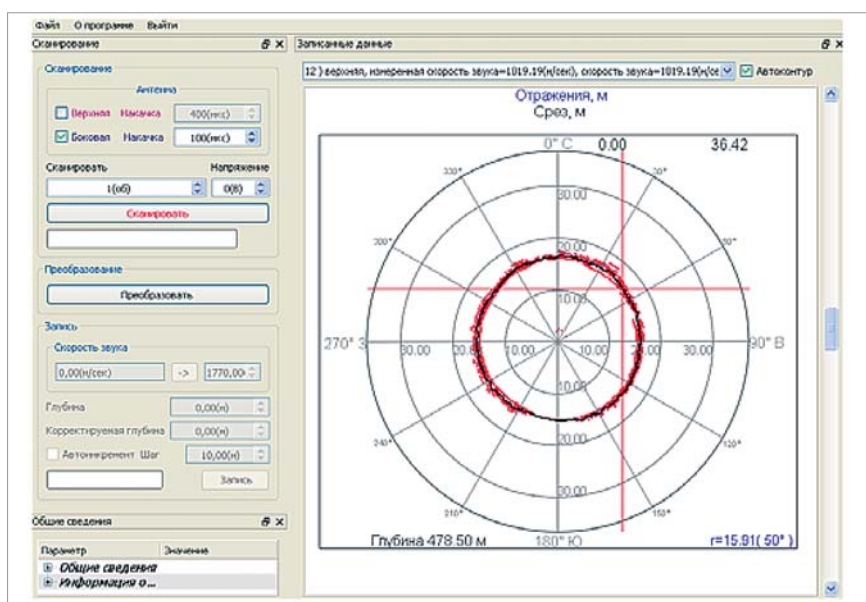


Рис. 5. Полярная развертка



Рис. 6. График зависимости объема от глубины

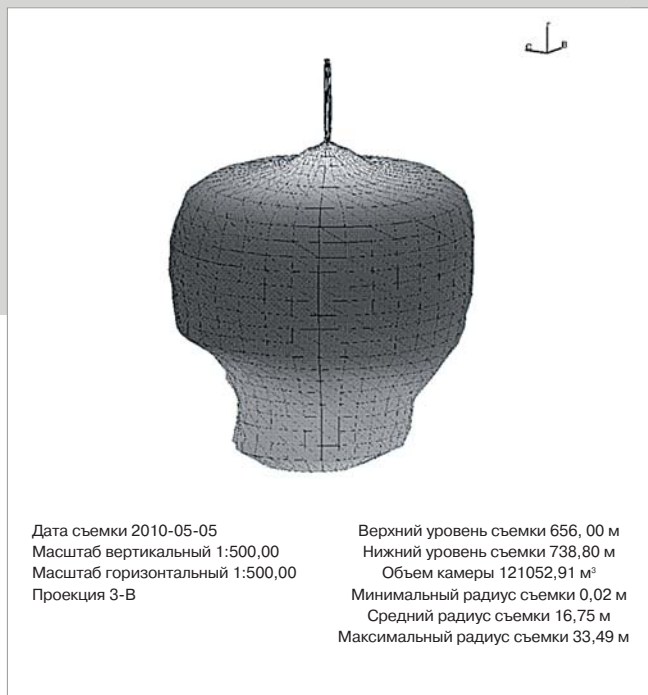


Рис. 7. Трехмерное представление объекта исследования

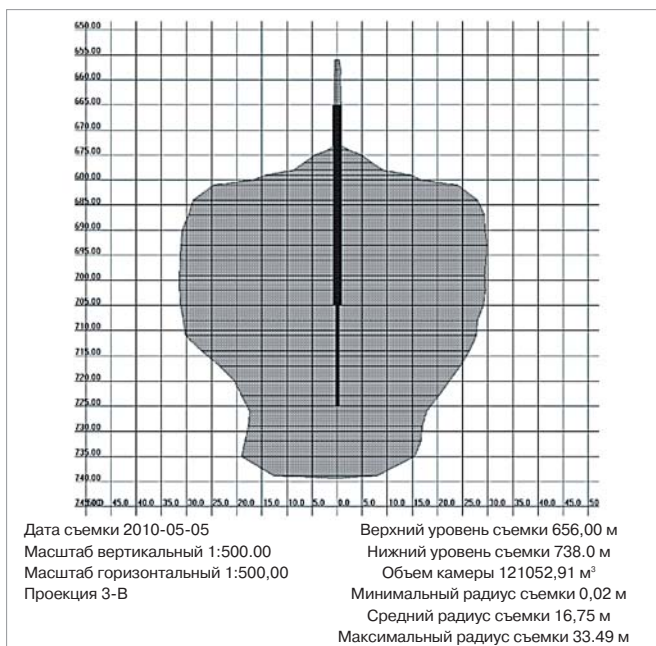


Рис. 8. Вертикальное сечение объекта по произвольному азимуту

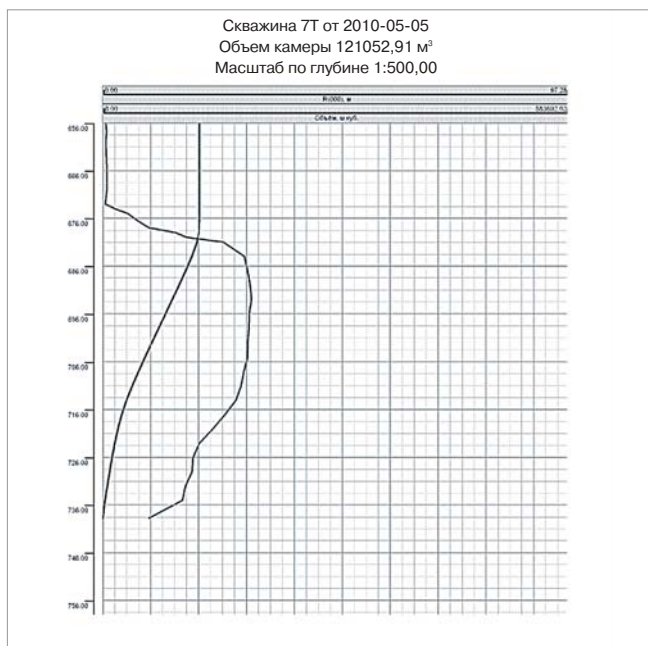


Рис. 9. Полярная развертка контура для каждой глубины измерения

- приращение объема в зависимости от глубины;
- объем между двумя смежными интервалами измерения;
- график зависимости объема от глубины (рис. 6);
- трехмерное представление объекта исследования (рис. 7);
- вертикальное сечение объекта по произвольному азимуту (рис. 8);
- полярная развертка контура для каждой глубины измерения (рис. 9).

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

Технические характеристики комплекса ЛАС приведены в таблице.

Практическое применение комплекса ЛАС

В настоящее время комплекс используется при проведении работ по звуколокационному исследованию



дованию подземных полостей на рас-
солопромыслах и подземных хранили-
щах углеводородов и химических рас-
творов в Республике Башкортостан,
Астраханской, Волгоградской и Орен-
бургской областях. Максимальный ра-
диус при проведении исследований
вышеперечисленных объектов соста-
вил 50 м, при этом сохранялся запас
для увеличения мощности зондирую-
щего импульса. Измерения проводи-
лись как в открытой камере, так и че-
рез колонну, в некоторых случаях - че-
рез две.

Для оценки возможности примене-
ния локатора при исследовании сква-
жин без подъема насосно-компрес-
сорных труб в июле 2010 г. проводи-
лись сравнительные исследования
скважин в открытой камере, через од-
ну и через две колонны. Сканирова-
ние выполнялось в следующем поряд-
ке:

- сканирование через одну колон-
ну;
- сканирование в открытой камере;
- сканирование через две колонны.

Сопоставление результатов скани-
рования отображено на **рис. 10**.

Серым цветом показано вертикаль-
ное сечение при сканировании в от-
крытой камере. Зеленым цветом обо-
значен контур сечения при сканиро-

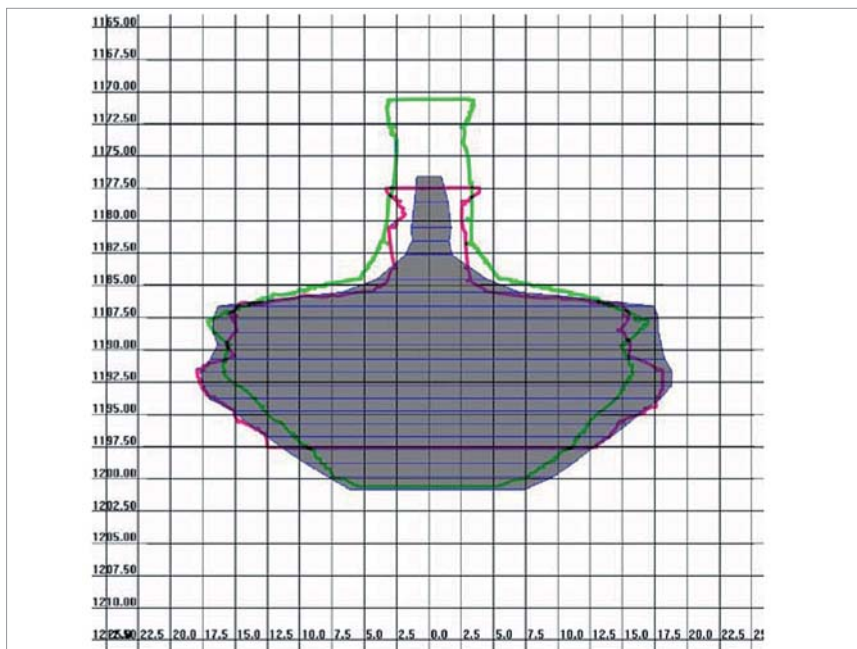


Рис. 10. Сопоставление результатов сканирования

ванию через одну колонну. Красным
цветом обозначен контур сечения при
сканировании через две колонны. Резкое отличие контура при сканиро-
вании через одну колонну связано с
доливкой колонны пресной водой пе-
ред проведением сканирования. Как
следствие, скорость звука, измеряе-
мая прибором в колонне (пресная во-
да), резко отличается от скорости зву-

ка за колонной (рассол). При проведе-
нии сканирования через колонну не-
обходимо отметить в первую очередь
сильную зависимость показаний из-
мерений от точности измерения ско-
рости звука. Скорость звука измеря-
ется прибором непосредственно в
точке его нахождения. Для случая скани-
рования в открытой камере скоро-
сть звука на данной глубине можно
считать одинаковой для любой точки
резервуара с данной глубиной. При
сканировании через колонну(ы) ско-
рость звука, измеренная прибором в
колонне, может резко отличаться от
скорости звука за колонной, напри-
мер вследствие различной концент-
рации рассола. Таким образом, при
звуколокации, проводимой через ко-
лонну(ы), можно с достоверностью по-
лучить геометрию резервуара и поло-
жение таких его элементов, как пото-
лочина и дно, а для документального
подтверждения фактической емкости
исследуемого объекта необходимым
условием является сканирование в
открытой камере. На измерении ра-
диусов, а следовательно, и на послед-
ующем вычислении объема резерву-
ара будет сильно сказываться величина
несоответствия измеренной скоро-
сти звука в жидкости, находящейся
внутри колонны, и реальной скорости

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
Диапазон измерения температуры, °С	от 0 до 90
Разрешающая способность по температуре, °С	не хуже 0,005
Минимальный угловой шаг при сканировании, град	1
Несущая частота локации, кГц	298
Длительность зондирующего импульса, мкс	от 3 до 850
Амплитуда напряжения на антенне при возбуждении зондирующего импульса, В	от 1 до 300
Длительность сканирования горизонтального сечения, с	не менее 160
Длина каротажного кабеля типа КГЗ-60-150, м	до 5000
Параметры скважинного сканирующего зонда	
Максимальное гидростатическое давление, МПа	20
Диапазон рабочих температур, °С	от +10 до +80
Диаметр скважинного прибора, мм	80
Длина скважинного прибора, мм	2150
Масса скважинного прибора, кг, не более	25
Среднее время наработки на отказ, ч	не менее 8000
Средний срок службы, лет	не менее 5

звука в рассоле, заполняющем резервуар и находящимся за колонной. Полученные данные сканирования через одну колонну показывают, что сигнал, отраженный от стенок резервуара, уверенно регистрировался для радиусов более трех метров. Данное ограничение связано с интерференцией сигналов, отраженных от колонны, и сигналов, отраженных от стенки исследуемого объекта (рис. 11).

Заклучение

На сегодняшний день звуколокационный регистрирующий комплекс ЛАС, изготавливаемый ООО "Специальные геофизические системы", является законченным изделием, удовлетворяющим всем заявленным характеристикам, что неоднократно подтверждено при проведении работ по звуколокации подземных резервуаров и полостей выщелачивания в различных регионах России.

ООО "Специальные геофизические системы" ведет работы по дальнейшему усовершенствованию прибора с целью улучшения его эксплуатационных характеристик и расширения сфер применения.

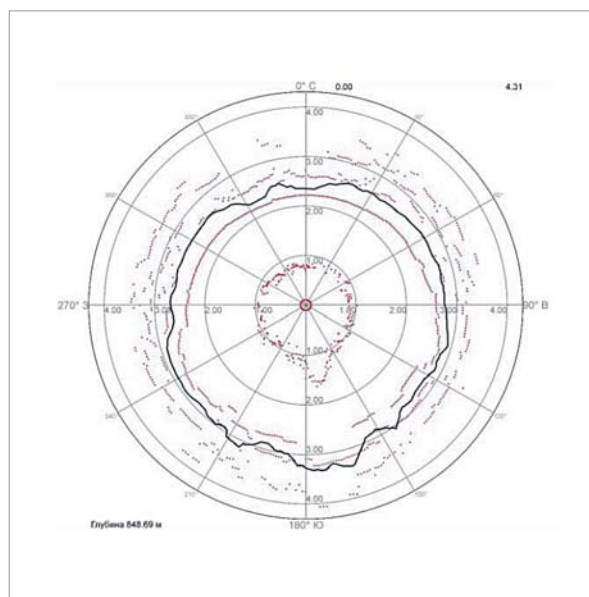


Рис. 11. Уверенная регистрация сигнала, отраженного от стенок резервуара, для радиусов более трех метров