

УДК 550.832.44

А.М. Аслнян¹, e-mail: ama@tgtoil.com; **И.Ю. Аслнян**¹, e-mail: irina.aslanyan@tgtoil.com;
Ю.С. Масленникова¹, e-mail: yulia.maslennikova@tgtoil.com; **Р.Н. Миняхметов**¹, e-mail: roza.minakhmetova@tgtoil.com;
С.В. Сорок¹, e-mail: stanislav.soroka@tgtoil.com; **Р.С. Никитин**², e-mail: R.Nikitin@phg.gazprom.ru;
Р.Р. Кантиюков³, e-mail: glavgeo@mail.ru

¹ ООО «ТГТ Сервис» (Казань, Республика Татарстан, Россия).

² ООО «Газпром ПХГ» (Москва, Россия).

³ ООО «Газпром трансгаз Казань» (Казань, Республика Татарстан, Россия).

Диагностика из колонных перетоков газом комплексом высокоточной термометрии, спектральной шумометрии и импульсного нейтрон-нейтронного крота

Из-за нарушения герметичности системы «газовая скважина – скважина», обусловленного геологическими, техническими и технологическими факторами, могут происходить утечки газа за пределы пласт коллектор для хранения газа, преимущественно из колонных скважин по каналам в цементном кольце. Поэтому так важна своевременная диагностика технического состояния скважины.

В данной работе представлен пример выявления интервалов колонного перетока газа в скважине подземного хранения газа (ПХГ) путем комплексного анализа промысловых геофизических данных. В качестве методик для определения потоков из колонной были использованы спектральная шумометрия, высокоточная термометрия и импульсный нейтрон-нейтронный крот. Так, с помощью высокочувствительной спектральной шумометрии были зарегистрированы кустические сигналы в широком диапазоне частот, которые были интерпретированы как интервалы движения газа по проницаемым пластам. При этом обнаружено, что газ из пласта коллектор для хранения газа уходил в выше- и нижележащие проницаемые пласты. По корреляции с данными по оценке качества цементирования обсадной колонны, которая показала плохое сцепление цемента с породами, был сделан вывод о том, что такая коммуникация осуществляется по колонному пространству. Направление течения из колонных перетоков вверх и вниз от пласта коллектор для хранения газа было определено с помощью высокоточной термометрии. Численную оценку количества газа в пластах, подверженных кавитации, также не лишне газ в трещинах и микротрещинах цементного кольца удалось определить с помощью импульсного нейтрон-нейтронного крота. Дополнительно данные мультимпульсной дефектоскопии и механической расходомерии показали отсутствие проблем с герметичностью и сосно-компрессорных труб (НКТ) и эксплуатационных колонн.

Ключевые слова: подземное хранение газа, спектральная шумометрия, высокоточная термометрия, из колонной циркуляция.

.....

А.М. Aslanyan¹, e-mail: ama@tgtoil.com; **I.Yu. Aslanyan**¹, e-mail: irina.aslanyan@tgtoil.com;
Yu.S. Maslennikova¹, e-mail: yulia.maslennikova@tgtoil.com; **R.N. Minakhmetova**¹, e-mail: roza.minakhmetova@tgtoil.com;
S.V. Soroka¹, e-mail: stanislav.soroka@tgtoil.com; **R.S. Nikitin**², e-mail: R.Nikitin@phg.gazprom.ru;
R.R. Kantyukov³, e-mail: glavgeo@mail.ru

¹ TGT Service LLC (Kazan, Republic of Tatarstan, Russia).

² Gazprom UGS LLC (Moscow, Russia).

³ Gazprom Transgaz Kazan LLC (Kazan, Republic of Tatarstan, Russia).

Detection of behind-casing gas flows using integrated high-precision temperature logging, spectral noise logging, and pulsed neutron logging toolstring

As a result of seal failure in the gas reservoir-well system due to some geological or technical factors, gas leaks to the areas beyond underground gas storage limits may occur, mainly behind casing via channels in the cement. In view of this, timely well integrity diagnostics become especially important.

This paper deals with a case where behind-casing gas flow was detected in a well of the underground gas storage (UGS) by means of an integrated logging data analysis. Spectral noise logging (SNL), high-precision temperature logging (HPT), and pulsed neutron logging (PNL) methods were used for identification of behind-casing flows. For example, the high sensitivity spectral noise logging tool captured acoustic signals in a wide frequency band, which were interpreted to occur in the intervals of gas flows through permeable formations. It was also found that gas from the underground gas storage was escaping to the overlying and underlying permeable formations. Based on the correlation with CBL data which showed a poor cement bond, it was concluded that this communication took place through the casing annulus. The high-precision temperature logging determined the direction of these behind-casing flows to be upwards and downwards from the UGS. Numerical estimation of gas volumes in the formations where gas injection takes place and occurrence of gas in cement cracks and micro gaps was carried out using pulsed neutron-neutron logging. In addition, the MID and spinner data confirmed the absence of any integrity problems in tubing and production casing strings.

Keywords: underground gas storage, spectral noise logging, high precision temperature, cross flow behind casing.

Использование ПХГ в качестве наиболее эффективных и безопасных инструментов позволяет обеспечить устойчивую работу единой системы газоснабжения независимо от сезонных колебаний спроса на газ, особенно в зимний, пиковый, период его потребления. В настоящее время широкое распространение получили ПХГ, создаваемые в водоносных пластах-ловушках, пригодных для создания искусственных залежей газа. В таких залежах осуществляется при современных технологических проектах добыча газа, в результате которой вода оттесняется и создается подзем-

ное газовое хранилище, находящееся под большим давлением. Отбор газа из подземного хранилища осуществляется посредством схожего технологического процесса, что и добыча из природных газовых месторождений. Своевременная диагностика технического состояния скважины с применением современных технологий способствует выявлению потенциальных проблем до вновь пробуренных скважин еще перед перфорированием, что будет способствовать продлению срока безопасной эксплуатации действующих подземных хранилищ газа. При использовании геофизических

методов наблюдения за герметичностью объекта хранения традиционно используют радиометрию, термометрию и шумометрию.

В данной статье представлены данные, решенные с помощью комплексного анализа уже рекомендованных выше методов, каждый из которых был оптимизирован таким образом, чтобы увеличить разрешение и точность данных, также сделать возможным численный анализ мерных данных. Комплексное исследование включало в себя высокочувствительную спектральную шумометрию, высокоточную термометрию и импульсный

Ссылка для цитирования (for citation):

Аслыан А.М., Аслыан И.Ю., Масленникова Ю.С., Минухметова Р.Н., Сорочка С.В., Никитин Р.С., Кантиуков Р.Р. Диагностика колонных перетоков газа комплексом высокоточной термометрии, спектральной шумометрии и импульсного нейтрон-нейтронного контроля // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2016. № 6. ?????

Aslanyan A.M., Aslanyan I.Yu., Maslennikova Yu.S., Minakhmetova R.N., Soroka S.V., Nikitin R.S., Kanyukov R.R. Detection of behind-casing gas flows using integrated high-precision temperature logging, spectral noise logging, and pulsed neutron logging toolstring (In Russ.). Territorija «NEFTEGAZ» = Oil and Gas Territory, 2016, No. 6, ??????



СПЕКТРАЛЬНАЯ ШУМОМЕТРИЯ ТГТ

www.tgtoil.com

Инновационная технология компании ТГТ предоставляет уникальные возможности для исследований процессов, происходящих в пласте-коллекторе, и оценки технического состояния скважины, что невозможно при использовании любой другой технологии. Просто начните слушать то, что происходит за многочисленными колоннами скважины, и вы увидите реальную картину происходящего!



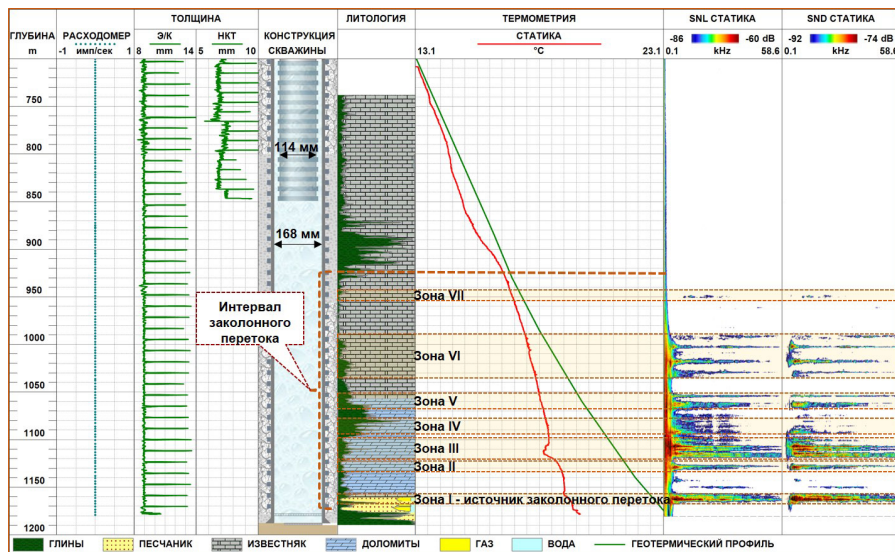


Рис. 1. Результаты геофизических исследований скважины. Слева направо: панель PLT, панель толщины стенок ЭК и НКТ, конструкция скважины, литология, панель термометрии, панели шумометрии SNL «Статик» и SND «Статик». По данным PLT и EmPluse-2, интервалы нарушений целостности ЭК и колонны НКТ не выявлены. В зонах I и III, по данным SNL-HD, хорошо выделяются интервалы движения газа, где зона I является объектом ПХГ. Форма кривой статической температуры предпологает восходящий из колонный переток из зоны I до глубины, обозначенной пунктирной коричневой линией, также нисходящий переток в пласты, расположенные ниже интервала исследования

Fig. 1. Results of geophysical survey on the well. From left to right PLT panel, panel of the wall thickness of the process column (PC) and the oil-well tubing (tubing), well structure, lithology, thermometry panel, sound meter SNL Statics and SND Statics panels. According to the PLT and EmPluse-2 data the intervals of PC integrity and tubing column integrity violations are not revealed. In areas I and III, according to the SNL-HD data, gas motion ranges are well stand out, where area I is the subject of underground gas storage (UGS). Form of static temperature curve provides for upward casing flows from area I to a depth indicated by the brown line and the downward flow in the layers located below the study interval

нейтрон-нейтронный крест для выявления источника поступления и интервалов из колонных перетоков газа, также вспомогательные методы магнитно-импульсной дефектоскопии и расходомерии с целью определения целостности скважинной подвески. Возможности комплексного подхода для выявления из колонных коммуникаций между пластами продемонстрированы на примере вновь пробуренной скважины ПХГ, обретенного в водоносных пластах.

ТЕХНОЛОГИИ

Высокочувствительная спектральная шумометрия

Спектральная шумометрия (СШ) применяется в нефтяной индустрии для определения принимающих и отдающих интервалов пласта, также для

технического состояния скважины уже не одно десятилетие [1]. Однако недостаточная чувствительность шумомеров, также возможность регистрации шумов только в ограниченной полосе частот приводили к тому, что часть полезной информации терялась, и выводы приходилось делать только по наличию локальных максимумов шумов на определенных глубинах, что приводило к ошибкам в интерпретации и, как следствие, к угасанию интереса к технологии в целом [2].

В последнее время интерес геофизических компаний к шумометрии вновь возрос в связи с появлением на рынке скважинного высокочувствительного широкополосного спектрального шумомера (Spectral Noise Log High Definition – SNL-HD), который представляет собой новое поколение кустической

процедуры для измерения кустических шумов в скважине.

Аппаратура SNL-HD 000 «ТГТ Сервис», также цифровая обработка данных с использованием сложных математических формул признана во всем мире и широко используется в отечественных и зарубежных компаниях [3–10].

Значительные улучшения в приборной части, именно использование современных электронных компонентов и модернизация сенсора, применение современных математических методов обработки полученных данных и создание на их основе специализированного программного-методического комплекса, позволили шумометрии стать одним из основных методов оценки работоспособности.

Исследования, представленные в данной статье, были выполнены прибором нового поколения SNL-HD-9, обеспечивающим регистрацию кустических сигналов в широком диапазоне частот – от 9 Гц до 58,6 кГц. Частотное разрешение составляет 9 Гц в диапазоне частот ниже 5 кГц и 114 Гц – в диапазоне частот 0,1–58,6 кГц, динамический диапазон изменения уровня шум соответствует 90 дБ. Спектр шумов содержит 512 частотных каналов, что позволяет представлять спектры шумов в высоком разрешении. Наличие широкого диапазона регистрируемых сигналов и большое количество каналов позволяет не только выявлять интервалы с повышенным уровнем кустических шумов, но и дифференцировать их по спектральному составу. Например, шумы, генерируемые при движении потока жидкости по стволу скважины или по излучающему пространству, сосредоточены в более низкой области частот по сравнению с шумами от движения флюида по пласту-коллектору [11]. При этом движение флюида по излучающему пространству, например по трещинам в цементном кольце, как правило, по глубине ограничено длиной канала. При увеличении диаметра канала, по которому движется флюид, или при уменьшении скорости потока интенсивность шум уменьшается.

Для получения качественных данных при использовании спектральной шумомера в значительную роль играет

соблюдение при вильной процедуры исследований. З меры шумов следует проводить и ост новк х, что позволяет не только устр нить нежел - тельные шумы от движения приборов, но и н копить ст тистику д нных н конкретной глубине с целью повышения достоверности д нных. Следов тельно, исследований шумомером могут проводиться к к н спуске, т к и н подъеме прибор , что дост точно удобно при комплексиров нии шумо- метрии, н пример, термометрией, где очень в жн последовательность з - меров (см. подр здел «Высокоточ н я термометрия»).

Р диуск ниров ния шумомер сост вляет 1–5 м в з висимости от ч стоты и мплитуды сигн л , что и определяет оптимальный ш г по глубине между ост новк ми, который сост вляет примерно 1 м. При дост точно протяженных интерв л х исследований р сстояние между ост новк ми может быть увеличено до 3 м, что эквив лентно з меру н протяжке, проведенному со скоростью 1 м/мин. Используют ние ср - зу нескольких приборов SNL, синхронизиров нных между собой, позволяет существенно уменьшить время з мер . Объем з меренных д нных прибором SNL-HD в ст нд ртном случ е з мер 100 м с интерв лом между ост новк ми 1 м и длительностью 1 мин. н точке сост вляет несколько гига б йт. Весь этот м ссив д нных обр б тыв ется с помощью быстрого преобр зов ния Фурье и визу лизируется в виде цветowych спектр льных п нелей, н которых по вертикали отложен глубин , по горизонт ли – ч стот , мплитуд спектров отобра ж ется цветом. Н спектр льных п нелях р зличные источники скв - жинных шумов могут быть отделены друг от друг н основе р зличных по ч стоте спектров шумов, которые созд ют к ждый из т ких источников. Н т ком н блюдении основ н р бот специ лизиров ного лгоритм обр - ботки д нных шумомерии, который н зыв ется Spectral Noise Drift (SND) [12]. Он позволяет из всего м ссив д нных выделять лок лизов нные по глубине и ч стоте н иболее ценные с точки зрения интерпрет ции шумы от движения жидкости по пл сту.

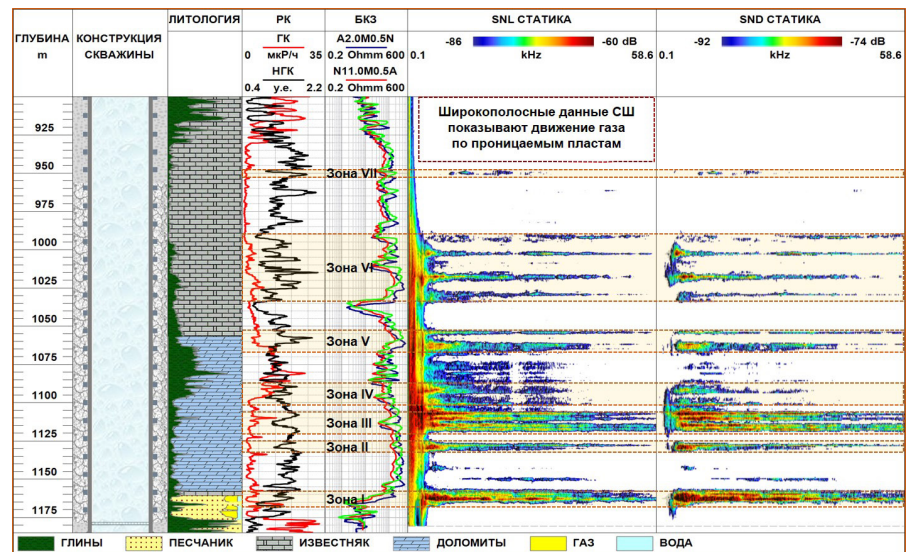


Рис. 2. Результ ты геофизических исследований н скв жине. Слева направо: конструкция скв жины, литология, РК, БКЗ, п нель шумомерии «SNL ст тик » и «SND ст тик ». Зоны широкополосных шумов хорошо коррелируют с зона ми прониц емых интерв лов, определенных по д нным открытого ствола

Fig. 2. Results of geophysical survey on the well. From left to right well structure, lithology, radioactive logging (RL), lateral logging sounding (LLS), sound meter boards SNL statics and SND statics. Broadband noise areas are well correlated with areas of permeable intervals defined according to the open hole

Высокоточ н я термометрия (High Precision Temperature – HPT)

HPT является одним из н иболее информ тивных геофизических методов исследований к р боты пл ст , т ки технического состояния скв жин. Высок я точность измерений достиг ется проведением исследований н спуске прибор . При этом температурный д тчик должен иметь высокое р зрешение измерений, порядок 0,001 °C, и время отклик должно сост влять не более 1 секунды. При скорости з писи до 2 м/мин. при времени отклик менее 1 секунды з меры температуры производятся, когд уст новлен температурный б л нс между д тчиком и скв жинной жидкостью. Не менее в жно позициониров ние д тчик температуры. Д тчик р спол г ется в нижней ч сти измерительного комплекса для исключения конвективного перемешив ния жидкости движением прибор во время измерения. Т кже при проведении высокоточной термометрии в жно соблюдать дост точную ст бильность скорости измерений, котор я должн сост влять не более 10% от скорости спуск прибор , чтобы минимизиро-

вать з шумленность н температурном профиле, вызв нную этой нест бильностью.

Основой интерпрет ции термограмм является н ч льное р спределение температуры, котор я н зыв ется геотермой. Он формируется тепловым потоком, идущим из недр Земли. В небольших простр нственных пределах, н пример в р диусе нескольких километров, восходящий тепловой поток можно счит ть постоянной величиной. Нервномерное стр тигр физическое н слоение р зличных пород с р зличными теплопроводностями приводит к тому, что геотерм сложным обр зом меняется с глубиной [13].

При длительном простое в скв жин х достиг ется термодинамическое р вновесие между скв жинной и окружа ющими порода ми. Поэтому конструкция скв жин, включ я цемент з колонной, не ок зыв ет существенного влияния н температуру в стволе скв жины, з меренную в условиях, когд скв - жин з крыт в течение к к минимум нескольких дней. В т ких условиях з меренный температурный профиль н зыв ется ст тической температурой.

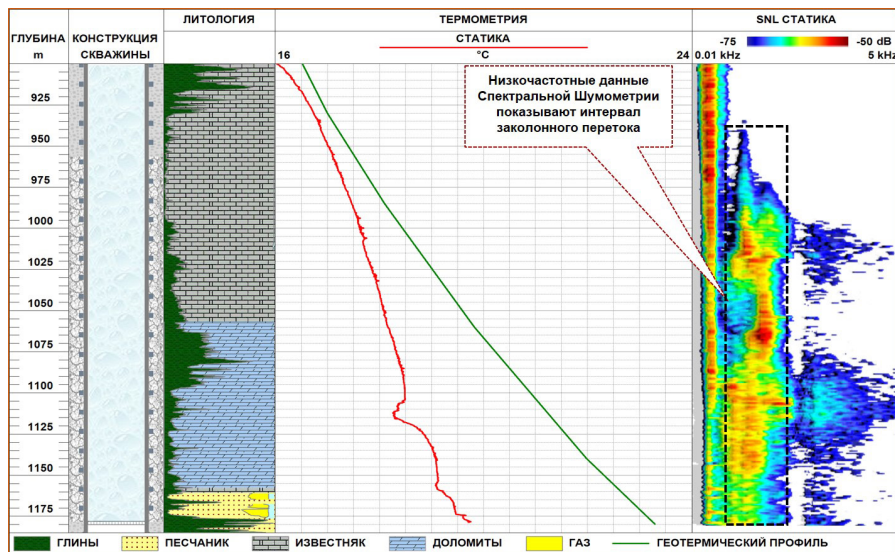


Рис. 3. Результаты высокоточной термометрии и спектральной шумометрии в области низких частот. Слева направо: конструкция скважины, литология, панель температуры, панель шумометрии в области низких частот («SNL статика»). В диапазоне низких частот выявлены шумы, характерные для движения газа по колонному пространству

Fig. 3. The results are highly accurate thermometry and spectral sound meter at low frequencies. From left to right well structure, lithology, temperature of the panel, sound meter bar at low frequencies range (SNL static). In the low frequency range noises characteristic of the motion of the gas on the annulus were identified

Отклонение статической температуры от геотермы вызвано движением жидкости и газом по пластам, также коммуникациями между пластами. Поэтому при анализе данных термометрии в скважинах исследуются тепловые номалии, которые обусловлены термодинамическими эффектами, вызванными движением флюидов в пласте и стволе скважины. Таким образом, по форме температурных номалий статической температуре можно делать выводы об источниках и направлении перетоков.

Импульсный нейтрон-нейтронный кротаж (Pulsed Neutron Neutron – PNN)

PNN широко используется в нефтяной промышленности для количественной оценки текущего содержания жидкости и газа в пласте. Физический принцип работы прибор PNN, когда детектируются нейтроны, основан на анализе уменьшения во времени количества тепловых нейтронов по мере их рассеяния (преимущественно на том же водороде) и радиационного захвата (преимущественно на том же хлоре),

находящихся в воде как внутри скважины, так и в пласте.

Усовершенствования методик количественного определения коэффициентов текущей нефте- и газонасыщенности коллекторов был разработан на основе компьютерного моделирования процесс диффузии нейтронов в скважине и пласте методом Монте-Карло, который определяет макроскопическое сечение поглощения тепловых нейтронов, называемое Сигма (Σ).

Газонасыщенные пласты характеризуются существенно низкими значениями макроскопического сечения захвата тепловых нейтронов, поэтому наличие газа в пласте можно обнаружить и даже оценить количественно.

В данной работе представлены результаты исследования прибором автономного импульсного нейтрон-нейтронного кротаж, в котором реализована технология записи всех спадов счетов нейтронов [14].

Мгнитоимпульсная дефектоскопия (EmPulse)

Для оценки состояния сразу нескольких скважинных буровых (трубки и колонн)

скважины использовались технология магнитоимпульсной дефектоскопии с использованием прибора EmPulse-2. Принцип действия прибора EmPulse-2 основан на анализе временного характера спадов на магнитоимпульсной кривой глубины после облучения сильными импульсами магнитного поля. Формат данных содержит информацию о диаметре, электрической проводимости, магнитной проницаемости, а также толщине всех исследуемых буровых. Восстановление этой информации из спадов на магнитоимпульсной кривой каждого из изучаемых буровых решается путем сравнения модельного и измеренного спадов на магнитоимпульсной кривой конкретной компоновки прибор [15].

Механическая проточная дефектоскопия (Production Logging Tool – PLT)

PLT используется уже более 70 лет для поинтервальной оценки притоков/приемов в добывающих и гнетельных скважинах, также для выявления внутриколонных перетоков после освоения скважины. Чувствительным элементом механических проточных дефектоскопов является многолопастная турбинка, обороты вращения которой преобразуются в линейную скорость потоков жидкости.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом хранения ПХГ являются перфорированные водоносные пласты А, В и С, которые характеризуются пористостью 17–21,5% и проницаемостью 850 мД. Комплексное исследование, включающее в себя НРТ/SNL-HD/PNN/EmPulse, было проведено с целью определения технического состояния колонны НКТ и эксплуатационной колонны (ЭК), также интервалов за колонных циркулирующих флюидов. Исследование проводилось в вертикальной скважине, пробуренной в октябре 2015 г., непосредственно после спуска эксплуатационной колонны перед перфорацией. Поэтому все исследования были проведены в режиме статике.

Подозрение на возможные за колонные перетоки газа возникло после проведения кустикового цементно-

го к рот ж (АКЦ), пок з вшего ч - стичный х р ктер сцепления цемент к к с колонной, т к с и пород ми, что подр зуемв лон личие микроз зоров и трещин в цементном к мне.

Проверк целостности скв жинной подвески

Результ ты интерпрет ции ч сти комплексного исследов ния, с помощью которой исследов л сь возможность внутриколонной циркуляции, приведены н рисунке 1. Нулевые пок з ния р сходиметрии н стоянк х (колонк «Р сходомер») свидетельствуют об отсутствии вр щения турбинки по всей длине скв жины, что интерпретируется к к отсутствие внутриколонных перетоков. По д нным EmPulse-2 (колонк «Толщин »), потери мет лл не выявлены ни в колонне НКТ, ни в ЭК. Периодически повторяющиеся ном лии н кривой толщин ЭК и НКТ обусловлены изменениями электром гнитных свойств труб.

Т ким обр зом, согл сно результат м внутриколонной ч сти комплекс выполненных исследов ний, интерв лов н рушений целостности ЭК и колонны НКТ, которые могли бы вызв ть внутриколонные перетоки, не выявлено, что подтвержд ется д нными р сходиметрии.

Определение возможных з колонных перетоков

Для проверки возможных з колонных перетоков были применены методы SNL-HD, НРТ и PNN. Ниже приведены результат ты использов ния к ждого метод .

Высокоточн я шумометрия (SNL-HD)

Д нные SNL-HD в ст тическом режиме пок зыв ют н личие кустических шумов н против, выше и ниже пл стов А, В и С, куд з к чив ется г з, которые объединены в зону I (рис. 1–2, п нель «SNL ст тик »). Амплитуд шумов отображен в цветовой г мме: кр сный цвет обозн ч ет высоко мплитудный шум; желтый, зеленый, синий и фиолетовый отобра ж ют низко мплитудные шумы (р сположены в порядке убыв - ния); белый цвет соответствует шуму с

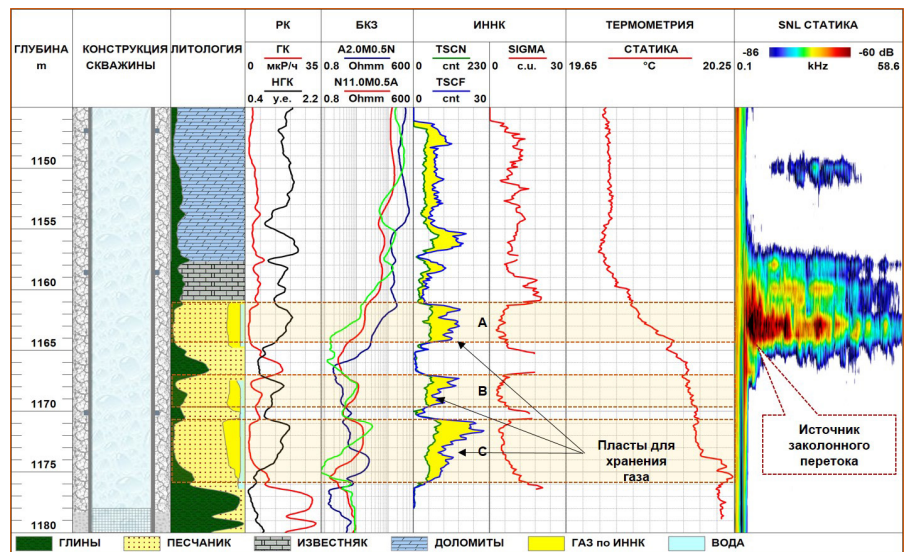


Рис. 4. Результ ты геофизических исследов ний н скв жине в интерв ле пл стов з к чки г з (зон I). Слев н пр во: конструкция скв жины, РК, БКЗ, счеты нейтронов, Сигма, п нель термометрии, п нель шумометрии («SNL ст тик »). В интерв ле зоны I кустические шумы коррелируют с интерв лом темпер турного охл ждения, вызв нного изливом г з из пл ст . Х р ктер н сыщения флюид в прониц емых пл ст х и в з колонном простр нстве определили по д нным PNN

Fig. 4. Results of geophysical survey on the well in the range of gas injection layers (area I). From left to right well structure, RL, LLS, neutrons scores, Sigma, thermometry panel, Sound meter panel (SNL static). The interval of area I the acoustic noise correlated with the temperature interval of cooling caused by the gas spout from the formation. Fluid saturation character in permeable formations in the annular space defined according to PNN

мплитудой ниже порог чувствительности прибор .

С помощью лгоритм SND выделили лок лизов нные по глубине высокоч стотные шумы, вызв нные фильтр цией флюид по поровому простр нству, они обн ружены в интерв ле зон I–VII (рис. 1–2, п нель «SND ст тик »). Согл сно геологическим д нным, зоны, где н блюд ются широкополосные шумы, являются прониц емыми интерв л ми. Поэтому н блюд емые широкополосные шумы вызв ны движением г з по прониц емым пл ст м.

В дост точно протяженном интерв ле исследов ния обн ружены низкоч стотные шумы, от 0,8 до 1,8 кГц, х р ктерные для движения флюид по з колонному простр нству (рис. 3). Т ким обр зом, результат ты шумометрии свидетельствуют о том, что з колонной происходят множественные перетоки г з из пл стов – х р нилищ г з в выше и ниже р сположенные интерв лы.

Высокоточн я термометрия

Н пр вление з колонных перетоков, т кже тип флюид были верифицированы с помощью термометрии по отклонению ст тической темпер туры от геотермы. Геотермический профиль был восст новлен путем измерений темпер турных профилей в близлеж щих контрольных и н блюд тельных скв жин х.

К к было отмечено р нее, з мер темпер туры был проведен в прост ив ющей неперфориров нной скв жине (рис. 1 и 3, кр сн я крив я «Ст тик » в колонке «Термометрия»). Можно н блюд ть, что н д нной темпер турной кривой отмеч ются ном лии охл ждения, обусловленные к к литологической особенностью геологического р зре з (выше 900 м), т ки ди б тическим р ширением г з в условиях резкого переп д д вления (интерв лы зон I и III).

Н рисунке 1 (колонк «SNL ст тик ») видим, что зоны охл ждения з счет ди б тического р ширения г з

(зоны I и III) хорошо коррелируют с интервалами, где наблюдаются высокочастотные шумы, вызванные движением газопласта. Как уже упоминалось, зона I соответствует пласту, куда закачиваются газ, зона III – проницаемому пласту выше лежачего горизонта. Таким образом, пока не ясно, что газ из пласта-хранилища уходит в вышележащие и ниже лежащие проницаемые интервалы: направление перетока определено с помощью формы статической кривой. Верхняя граница интервала зонного перетока была идентифицирована по изменению геотермического профиля, он отмечен на рисунке 1 пунктирной коричневой линией в колонке «Термометрия».

Количественная оценка зон насыщенности

Для определения зон насыщенности пород использовался метод PNN. Интерпретация данных PNN (Сигма) была проведена с привлечением данных открытого ствола, необходимых для определения пористости, глинистости, водородного индекса и сечений

поглощения компонентов объемной модели. В основу был принят двухкомпонентная петрофизическая модель пласта, состоящая из песчаника и глины, где матрица насыщена газом при давлении P и температуре T и пластовой водой с минерализацией Спл.

В ходе интерпретации выявили высокое значение коэффициента зон насыщенности в неперфорированных интервалах терригенных отложений A, B и C зоны I (рис. 4, где в колонке «Литоология» газ показан желтым цветом). Наличие газ в трещинах цементного скважинного пространства схождение между показателями счет нейтронов ближнего зонда (TSCN) и дальнего зонда (TSCF) и против проницаемых зон, что является дополнительным доказательством наличия зонного перетока газ в проницаемой скважине.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье продемонстрирован комплексный подход к анализу скважины и герметичность перед пуском скважины в эксплуатацию.

В результате исследования были обнаружены:

- 1) отсутствие дефектов ЭК и НКТ на основе исследования EmPulse-2;
- 2) отсутствие внутриколонных циркуляций и герметичность забоя на основе исследования PLT;
- 3) источники зонного перетока газ на основе данных SNL-HD;
- 4) интервалы поглощения зонного газа по данным SNL-HD;
- 5) направления зонных перетоков по НРТ;
- 6) газонасыщенные интервалы в проницаемых пластах по данным PNN;
- 7) зоны скопления газ в трещинах цементного скважинного пространства выше объектов ПХГ по данным PNN.

Нужно отметить, что комплекс ГИС с НРТ/SNL-HD/PNN/EmPulse-2 может быть использован не только для проверки ухода газа в скважинных ПХГ, но и для обычных газовых, нефтяных, нетельных и термальных скважин до проведения перфорирования с целью выявления в них возможных зонных перетоков.

Список сокращений и брeви тур:

- SNL/CSH** – спектральная шумометрия;
- SNL-HD** – высокочувствительный спектральный шумомер SNL;
- SND** – дрефт-панель спектральной шумометрии;
- НРТ** – высокоточная термометрия;
- EmPulse-2** – прибор магнитоимпульсной дефектоскопии;
- PNN/ИННК** – импульсный нейтрон-нейтронный каротаж;

PLT – расходометрия;

ПХГ – подземное хранилище газа;

ГК – гамма-каротаж;

БКЗ – боковое каротажное зондирование;

TSCN – счет тепловых нейтронов на ближнем датчике;

TSCF – счет тепловых нейтронов на дальнем датчике;

Σ – сигма/sigma (макроскопическое сечение поглощения нейтронов);

НКТ – насосно-компрессорные трубы;

ЭК – эксплуатационная колонна.

Литература:

1. McKinley R.M. Temperature, Radioactive Tracer, and Noise Logging for Well Integrity. Ada Oklahoma, Exxon Production Research, 1994, 160 pp.
2. Прибор геогидродинамического контроля СКЛТ-К // Каталог «Геофизик». Режим доступа: <http://www.geo.oilru.ru/catalog/group/product/?2233>. Дата обращения 14.06.2016.
3. Maslennikova Y.S., Vochkarev V.V., Savinkov A.V., Davydov D.A. Spectral Noise Logging Data Processing Technology // Материалы Российской технической нефтегазовой конференции и выставки SPE по разведке и добыче, 16–18 октября, 2012, Москва. Режим доступа: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-162081-RU>. Дата обращения 28.04.2016.
4. Suarez N., Otubaga A., Mehrotra N., Aslanyan A., Aslanyan I., Khabibullin M., Wilson M., Barghouti J., Maslennikova Y. Complementing Production Logging with Spectral Noise Analysis to Improve Reservoir Characterisation and Surveillance. SPWLA 54th Annual Logging Symposium, 22–26 June, 2013, New Orleans, Louisiana. Режим доступа: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPWLA-2013-TTT>. Дата обращения 14.06.2016.
5. Ansari A., Libdi Z., Khan N., Aslanyan A., Aslanyan I., Volkov M., Arbuzov A., Achkeev A., Shnaib F., Makhyanov R. Triple-Barrier Thickness Scanning Using Through-Tubing Pulse-Magnetic Logging Tool // Материалы Российской технической нефтегазовой конференции и выставки SPE по разведке и добыче. 26–28 октября, 2015, Москва. Access mode: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-176655-MS>. Дата обращения 14.06.2016.
6. Aslanyan A., Aslanyan I., Karantharath R., Minakhmetova R., Kohzadi H., Ghanavati M. Spectral Noise Logging Integrated with High-Precision Temperature Logging for a Multi-Well Leak Detection Survey in South Alberta. SPE Offshore Europe Conference and Exhibition, 8–11 September 2015, Aberdeen, Scotland, UK. Режим доступа: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-175450-MS>. Дата обращения 14.06.2016.

7. Ayesha Rahman Al Marzouqi, Ashraf Al-saiid Keshka, Jamal Nasir Bahamaish, A. Aslanyan, I. Aslanyan, M. Filenev, A. Andreev, V. Sudakov, R. Farakhova, J. Barghouti, Tariq Abdulla Al Junaibi. Integrating Reservoir Modelling, High-Precision Temperature Logging and Spectral Noise Logging for Waterflood Analysis. Abu Dhabi International Petroleum Conference and Exhibition, 11–14 November 2012, Abu Dhabi, UAE. Режим доступ : <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-157149-MS>. Д т обр щения 14.06.2016.
8. Aslanyan A., Aslanyan I., Minakhmetova R., Maslennikova Y., Karantharath R., Hadhrami B., Zaaima Al Gafri. Integrated Formation MicroImager (FMI) and Spectral Noise Logging (SNL) for the Study of Fracturing in Carbonate Reservoirs. Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference, 9–12 November 2015, Abu Dhabi, UAE. Режим доступ : <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-177616-MS>. Д т обр щения 28.04.2016.
9. Ahmed S. Eldaoushy, Moudi Al-Ajmi, Maali Al-Shammari, Aslanyan A., Aslanyan I., Prosvirkin S., Farakhova R. Quantification of Reservoir Pressure in Multi-Zone Well under Flowing Conditions Using Spectral Noise Logging Technique, Zubair Reservoir, Raudhatain Field, North Kuwait. Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference, 9–12 November 2015, Abu Dhabi, UAE. Режим доступ : <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-177620-MS>. Д т обр щения 14.06.2016.
10. Sarsekov A., Abbas Al-Alyak, Ahmed Al Neaimi, Omar Yousef Saif, Helmy M., Akram F., Saber M., Bilbeisi J., Mansouri T., Shnaib F., Khamatdinov R., Skutin V., Farakhova R., Aslanyan I., Makhyanov R. Formation Pressure Evaluation for Producing Wells Without Shutting Down the Well, Using Multi Rate High Precision Temperature and Spectral Noise Logging (HPT-SNL). Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference, 9–12 November 2015, Abu Dhabi, UAE. Режим доступ : <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-177892-MS>. Д т обр щения 14.06.2016.
11. Ghalem S., Amr Mohamed Serry, Ali Al-felasi, Berrim A., Osama Mohamed Keshtta, Filenev M., Draoui E., A. Mohamed, Hicham Abu Chaker, Gabdrakhmanova A., Aslanyan A. Innovative Logging Tool Using Noise Log and High Precision Temperature Help to Diagnoses Complex Problems. Abu Dhabi International Petroleum Conference and Exhibition, 11–14 November 2012, Abu Dhabi, UAE. Режим доступ : <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-161712-MS>. Д т обр щения 14.06.2016.
12. Непримеров Н.Н. Трёхмерный анализ нефтеносности скважин. Казань: Изд-во КГУ, 1978. 216 с.
13. Arbuzov A. Memory pulsed neutron-neutron logging // Материалы Российской технической нефтяной конференции и выставки SPE по разведке и добыче, 2012, 16–18 октября, Москва. Режим доступ : <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-162074-MS>. Д т обр щения 28.04.2016.

References:

1. McKinley R.M. Temperature, Radioactive Tracer, and Noise Logging for Well Integrity. Ada Oklahoma, Exxon Production Research, 1994, 160 pp.
2. Gas-hydrodynamic logging tool CKAT-K. Geophysics catalogue. Режим доступ : <http://www.geo.oilru.ru/catalog/group/product/?2233>. Access mode: 14.06.2016.
3. Maslennikova Y.S., Bochkarev V.V., Savinkov A.V., Davydov D.A. Spectral Noise Logging Data Processing Technology. SPE Russian Oil and Gas Exploration and Production Technical Conference and Exhibition, 16–18 October 2012, Moscow, Russia. Access mode: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-162081-RU>. Date of access 28.04.2016.
4. Suarez N., Otubaga A., Mehrotra N., Aslanyan A., Aslanyan I., Khabibullin M., Wilson M., Barghouti J., Maslennikova Y. Complementing Production Logging with Spectral Noise Analysis to Improve Reservoir Characterisation and Surveillance. SPWLA 54th Annual Logging Symposium, 22–26 June, 2013, New Orleans, Louisiana. Access mode: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPWLA-2013-TTT>. Date of access 14.06.2016.
5. Ansari A., Libdi Z., Khan N., Aslanyan A., Aslanyan I., Volkov M., Arbuzov A., Achkeev A., Shnaib F., Makhyanov R. Triple-Barrier Thickness Scanning Using Through-Tubing Pulse-Magnetic Logging Tool. SPE Russian Petroleum Technology Conference, 26–28 October 2015, Moscow, Russia. Access mode: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-176655-MS>. Date of access 14.06.2016.
6. Aslanyan A., Aslanyan I., Karantharath R., Minakhmetova R., Kohzadi H., Ghanavati M. Spectral Noise Logging Integrated with High-Precision Temperature Logging for a Multi-Well Leak Detection Survey in South Alberta. SPE Offshore Europe Conference and Exhibition, 8–11 September 2015, Aberdeen, Scotland, UK. Access mode: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-175450-MS>. Date of access 14.06.2016.
7. Ayesha Rahman Al Marzouqi, Ashraf Al-saiid Keshka, Jamal Nasir Bahamaish, A. Aslanyan, I. Aslanyan, M. Filenev, A. Andreev, V. Sudakov, R. Farakhova, J. Barghouti, Tariq Abdulla Al Junaibi. Integrating Reservoir Modelling, High-Precision Temperature Logging and Spectral Noise Logging for Waterflood Analysis. Abu Dhabi International Petroleum Conference and Exhibition, 11–14 November 2012, Abu Dhabi, UAE. Access mode: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-157149-MS>. Date of access 14.06.2016.
8. Aslanyan A., Aslanyan I., Minakhmetova R., Maslennikova Y., Karantharath R., Hadhrami B., Zaaima Al Gafri. Integrated Formation MicroImager (FMI) and Spectral Noise Logging (SNL) for the Study of Fracturing in Carbonate Reservoirs. Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference, 9–12 November 2015, Abu Dhabi, UAE. Access mode: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-177616-MS>. Date of access 28.04.2016.
9. Ahmed S. Eldaoushy, Moudi Al-Ajmi, Maali Al-Shammari, Aslanyan A., Aslanyan I., Prosvirkin S., Farakhova R. Quantification of Reservoir Pressure in Multi-Zone Well under Flowing Conditions Using Spectral Noise Logging Technique, Zubair Reservoir, Raudhatain Field, North Kuwait. Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference, 9–12 November 2015, Abu Dhabi, UAE. Access mode: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-177620-MS>. Date of access 14.06.2016.
10. Sarsekov A., Abbas Al-Alyak, Ahmed Al Neaimi, Omar Yousef Saif, Helmy M., Akram F., Saber M., Bilbeisi J., Mansouri T., Shnaib F., Khamatdinov R., Skutin V., Farakhova R., Aslanyan I., Makhyanov R. Formation Pressure Evaluation for Producing Wells Without Shutting Down the Well, Using Multi Rate High Precision Temperature and Spectral Noise Logging (HPT-SNL). Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference, 9–12 November 2015, Abu Dhabi, UAE. Access mode: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-177892-MS>. Date of access 14.06.2016.
11. Ghalem S., Amr Mohamed Serry, Ali Al-felasi, Berrim A., Osama Mohamed Keshtta, Filenev M., Draoui E., A. Mohamed, Hicham Abu Chaker, Gabdrakhmanova A., Aslanyan A. Innovative Logging Tool Using Noise Log and High Precision Temperature Help to Diagnoses Complex Problems. Abu Dhabi International Petroleum Conference and Exhibition, 11–14 November 2012, Abu Dhabi, UAE. Access mode: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-161712-MS>. Date of access 14.06.2016.
12. Neprimerov N.N. Cooled reservoir 3D analysis. KSU Press, Kazan, 1978, 216 pp.
13. Arbuzov A. Memory pulsed neutron-neutron logging. SPE Russian Oil and Gas Exploration and Production Technical Conference and Exhibition, 16–18 October 2012, Moscow, Russia. Access mode: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-162074-MS>. Date of access 28.04.2016.