

## СКВАЖИННАЯ ШУМОМЕТРИЯ КАК ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

SPECTRAL NOISE LOGGING AS AN INNOVATIVE ENERGY-SAVING  
TECHNOLOGY

УДК  
550.832.44

Аслабян А. М., Аслабян И. Ю.,  
Кантюков Р. Р., Минахметова Р. Н.,  
Никитин Р. С., Нургалiev Д. К.,  
Сорока С. В.

Казанский федеральный  
университет, г. Казань, Российская

Федерация

ООО «ТГТ Сервис»,

г. Казань, Российская Федерация

ООО «Газпром ПХГ»,

г. Москва, Российская Федерация

ООО «Газпром трансгаз Казань»,

г. Казань, Российская Федерация

A. M. Aslanyan, I. Yu. Aslanyan,  
R. R. Kantukov,

R. N. Minakhmetova, R. S. Nikitin,

D. K. Nurgaliyev, S. V. Soroka

The Kazan Federal University Kazan,

the Russian Federation

“TGT Service” LLC, Kazan,

the Russian Federation

“Gazprom UGS” LLC, Moscow,

the Russian Federation

“Gazprom transgaz Kazan” LLC,

Kazan, the Russian Federation

На сегодняшний день в нефтяной и газовой промышленности появилась необходимость внедрения новых наукоёмких технологий промышленно-геофизических исследований, которые позволили бы определить коэффициент охвата продуктивных пластов процессом вытеснения и, тем самым, повысить коэффициент извлечения нефти (КИН), при этом сократив затраты на разработку и эксплуатацию нефтяных и газовых месторождений. В решении этих задач помогает технология скважинной шумометрии, обеспечивая комплексный подход к решению таких вопросов как определение интервалов активной работы пласта, сквозных нарушений в конструкции скважин, определение интервалов заколонных циркуляций и оптимального давления нагнетания. Основой технологии пассивной шумометрии является регистрация во временной области акустических сигналов, создаваемых фильтрацией флюида через пористый пласт, а также течением жидкости и газа по трещинам в цементном камне за обсадной колонной, утечками жидкости сквозь дефекты в конструкции скважины, потоками жидкости и газа внутри скважины, и их последующий анализ во временной и частотной областях.

В данной статье представлен краткий обзор возможностей скважинной шумометрии, приведены технические характеристики прибора нового поколения в скважинной шумометрии высокого разрешения Spectral Noise Logging – High Definition (SNL-HD). Рассмотрен пример использования комплекса спектральной шумометрии и высокоточной термометрии для обнаружения негерметичности эксплуатационной колонны, зоны работы пласта, а также интервала заколонной циркуляции в вертикальной нагнетательной скважине. Кроме того, представлена статистика использования спектральной шумометрии прибором SNL в России на различных типах скважин.

For today in the oil and gas industry the necessity to introduce new science-consuming technologies of field geophysical investigations which would allow to determine the production formations sweep coefficient by the process of displacement and at the same time to increase the oil extraction coefficient (OEC) and reduce the expenditures for the development and exploitation of oil and gas deposits has emerged. The well noise logging technology helps to solve these problems providing a complex approach towards solving such problems as determining the intervals of the active work of the formation, through disturbance in the construction of the wells, determining the intervals of behind-the casing circulations and the optimal injection pressure. The basis of the passive noise logging technology is the registration of acoustic signals in the temporary area, created by the fluid filtration through the porous formation as well as fluid and gas flowing along the fractures in the cement rock behind the casing, leakages of the fluid through the faults in the construction of the well, the flows of fluid and gas inside the well and their further analysis in the temporary and frequency areas.

In this article a brief review of the well noise logging capacities has been given, the technical characteristics of the new generation device in the well noise logging of high resolution Spectral Noise Logging-High Definition (SNL-HD) have been presented. The example of using the Spectral noise logging and high precision thermometry complex for finding the leaks of the production casing, the formation working area as well as behind the casing circulation interval in the vertical injection well has been considered. Besides, the statistics of Spectral noise logging use by the SNL device in Russia in various types of the wells has been given.

**Ключевые слова:** спектральная шумометрия (СШ), высокоточная термометрия (ВТТ), заколонная циркуляция, зоны работы пласта, нарушение герметичности конструкции скважин, давление нагнетания, гидрофон.

**Key words:** Spectral Noise Logging (SNL), High Precision Temperature Logging (HPTL), circulation behind casing, reservoir flow zones, completion leaks, injection pressure, hydrophone.

### Введение

В настоящее время большинство нефтяных и газовых месторождений разрабатываются с применением технологий, созданных десятилетия назад, которые уже не отвечают требованиям энергоэффективности современного этапа развития мировой нефтегазовой промышленности. Реалии последних десятилетий таковы, что доля легко извлекаемых

запасов нефти и газа постоянно сокращается, что ведет к постоянному росту затрат на разработку месторождений углеводородного сырья. В результате, наметился тренд на разработку и внедрение в нефтегазовую промышленность новых наукоёмких технологий, позволяющих определить коэффициент охвата продуктивных пластов процессом вытеснения и, следовательно, повысить коэффициент извлечения нефти (КИН) и сократить затраты при разработке нефтегазовых месторождений.

При разработке большинства месторождений нефти и газа для поддержания пластового давления в пласт закачивается вода. При этом пластовое давление, а, следовательно, и дебит на добывающих скважинах, в значительной степени определяются величиной давления нагнетания. Опыт эксплуатации нефтяных и газовых скважин показывает, что чрезмерное давление нагнетания приводит к

эффекту «передавливания» пласта, представляющее собой смятие пористой структуры, составляющей продуктивный пласт породы. Кроме этого, в результате нагнетания воды под чрезмерным давлением может также происходить и автогидроразрыв пласта. В этом случае объем закачки будет большим, поскольку вода по образовавшимся трещинам будет заходить в пласт, при этом фронт вытеснения углеводородов будет неравномерным. Следовательно, эффективность извлечения нефти и газа существенно снижается. В результате большое количество запасов оказывается недоступным для добычи при значительных затратах на закачку технологической воды. В итоге эксплуатация месторождения происходит с энергетическими затратами, которые в 2-3 раза больше оптимальных, и при этом, с меньшей эффективностью, чем это могло бы быть, при оптимальных условиях закачки.

Сквозные нарушения в конструкции скважин, возникновение перетоков через сквозные отверстия также ведут к потере части добываемой продукции и следовательно, снижают эффективность эксплуатации нефтегазовых скважин. Это обходится индустрии в крупные потери за счёт роста числа простаивающих аварийных скважин и значительного объема продукции, которая не была добыта.

#### **Перспективы применения технологии спектральной шумометрии**

Применение широкополосного спектрального скважинного шумомера SNL-HD позволяет определять оптимальное давление нагнетания и активные интервалы пласта (где происходит фильтрация флюидов) по данным акустических шумов, вызванных фильтрацией флюида в пласте. Опыт применения скважинного шумомера показывает, что величина акустического шума пропорциональна величине расхода фильтрующейся через пласт жидкости или газа и разнице давления между скважиной и пластом. Таким образом, методика, основанная на анализе данных спектрального шумомера SNL-HD, измеренных при разных режимах работы скважины, позволяет выявить оптимальные условия поддержания пластового давления при эксплуатации месторождения.

Применение спектральной шумометрии позволяет также контролировать эффективно работающую мощность пласта. В результате, кратно (в 2-3 раза) снижаются расходы нефтегазодобывающих компаний, связанные с закачкой воды в пласт. Более того, частотный спектр акустического шума позволяет получить информацию о характере течения жидкости и газа по пласту, а также структуре коллектора [1]; в частности, о течении жидкости и газа по трещинам в пласте [2], фильтрации через пористый пласт [3-5], течении жидкости по трещинам в цементном камне за обсадной колонной, протечках

жидкости сквозь дефекты в конструкции скважины [6], течения жидкости и газа по самой скважине. Все эти виды течения имеют характерный частотный спектр, что позволяет инженерам на месторождении, используя данные спектральной шумометрии, принимать решения о необходимости тех или иных скважинных мероприятий, направленных на повышение эффективности эксплуатации скважин.

#### **Технические характеристики приборов SNL**

Аппаратура спектральной шумометрии SNL – HD имеет Сертификат Соответствия согласно Системе Сертификации, ГОСТ Р Федерального Агентства по Техническому Регулированию и Метрологии.

Ключевым компонентом скважинного прибора является высокочувствительный гидрофон, расположенный в корпусе прибора. В корпусе прибора также располагается блок электроники, который осуществляет первичную (аналого-цифровое преобразование) обработку и сохранение данных во внутренней карту памяти. Высокочастотные аналого-цифровые преобразователи, использованные в составе прибора, обеспечивают регистрацию акустических сигналов в диапазоне частот от 8 Гц до 60 кГц. При этом во внутреннюю память данные записываются в исходной временной форме. После считывания данных с прибора (на поверхности) производится их анализ в частотной и временной области [7].

Питание всех электронных компонентов прибора осуществляется специальным блоком батарей, расположенным в корпусе прибора. Питание от блока батарей рассчитано на 72 ч непрерывной работы прибора.

Так как прибор является автономным, то все измерения могут производиться с использованием скрепковой проволоки. Замеры шумов проводятся как в вертикальных, так и в горизонтальных скважинах с остановками для накопления данных. Шаг регистрации по глубине в интервале детальных исследований составляет 1 м между стоянками, в интервале общих исследований – 3 м, что эквивалентно замеру на протяжке, проведённому со скоростью 1 м/мин. В то же время, использование сразу нескольких приборов SNL – HD в связке позволяет существенно уменьшить время замера.

Все элементы конструкции прибора выполнены из высокопрочных материалов, а в составе электронных схем использованы специализированные высокотемпературные электронные компоненты. Таким образом, спектральный шумомер может использоваться для исследования скважин с максимальной температурой до 150 °С и давлением до 100 МПа. Для скважин с высоким содержанием сероводорода выпущена версия прибора в титановом корпусе.

Прибор спектрального шумомера обладает расширенным динамическим диапазоном в 90 дБ, что позволяет регистрировать очень тихие шумы. При этом прибор SNL–HD не теряет возможность регистрировать данные даже при наличии чрезвычайно интенсивных шумов, связанных, например, с движением турбулентного потока жидкости по стволу скважины. Этого удалось добиться за счет использования современных высококачественных электронных компонентов и специализированных фильтров.



Рисунок 1. Прибор SNL – HD

### Опыт применения скважинного шумомера

На сегодняшний день в России проведено более 180, а за рубежом более 1500 исследований с использованием спектральной шумометрии на различных типах скважин. Анализ результатов данных спектральной шумометрии по фонду скважин показывает, что в 41,3% случаев наблюдаются заколонные перетоки, которые, как правило, происходят через некачественный цементный камень или трещины в пласте. Кроме того, в 16,8% случаев были обнаружены источники негерметичности обсадных колонн и/или скважинного оборудования. В большинстве исследованных скважин (82,5%) помимо определения рабочих зон пласта удалось произвести количественную интерпретацию и определить профиль притока/закачки (рисунок 2).

### Пример использования спектрального шумомера в нагнетательной скважине

В данном примере рассматривается вертикальная нагнетательная скважина, пласты-коллекторы которой представлены мелкозернистыми песчаниками с прослоями глин и алевролитов. Пласты продуктивной толщи характеризуются следующими значениями геофизических параметров: УЭС = 1,6–18,6 Ом м, значения пористости по ПС  $K_p$  варьируются от 12,5% до 26,2%, значения проницаемости  $K_{пр}$  изменяются от 2 мД до 852 мД; значения газонасыщенности  $K_n$  лежат в интервале от 36,1% до 80,2%.

Цели данного исследования заключались как в определении технического состояния эксплуатационной колонны, так и определении интервалов заколонных циркулирующий флюида.

Комплекс исследований НРТ/SNL-HD (высокоточная термометрия и спектральная шумометрия) был выполнен при разных режимах работы в скважине: в остановленной скважине, затем в режиме нагнетания, через 1 ч после стравливания избыточного давления по затрубному пространству и через 6,5 ч после стравливания. Скорость замера на спуске во время исследования высокоточной термометрии в интервале детальных исследований составила 5 м/мин. Замеры спектральной шумометрии были выполнены на подъеме с остановками для накопления данных с шагом 1 и 3 м в течение 45 с.

Согласно данным спектральной шумометрии и высокоточной термометрии была выявлена негерметичность 146 мм эксплуатационной колонны, которая образовалась намного выше интервала перфорации. Аномалия охлаждения на кривых термометрии в интервале негерметичности обусловлена поглощением холодной воды в пласт А5-8 через нарушение в эксплуатационной колонне. На кривых термометрии, записанных в режиме нагнетания, также отмечается изменение градиента температуры напротив пласта А5-8, что также

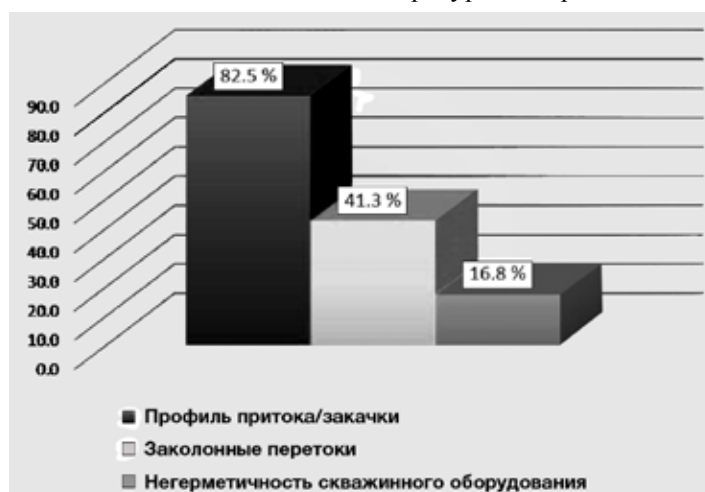


Рисунок 2. Анализ результатов исследования по фонду скважин, в которых проводился комплекс исследований с использованием спектрального шумомера

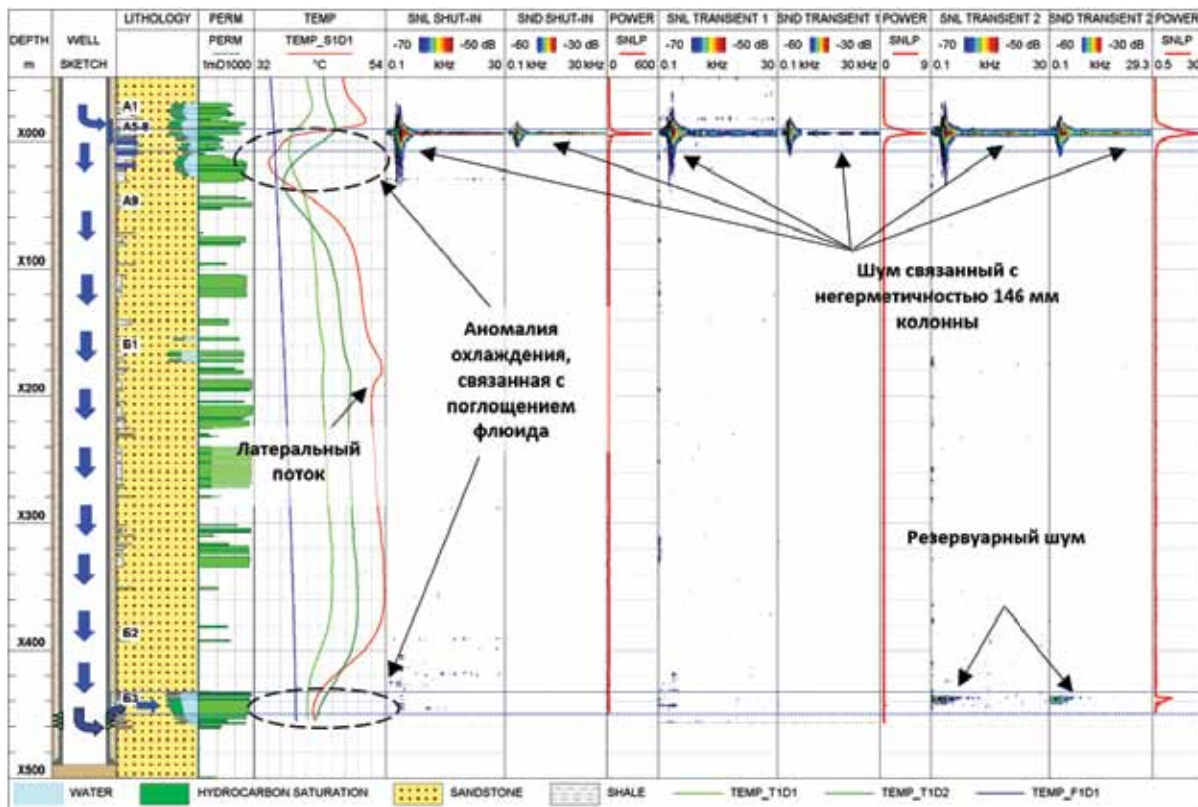


Рисунок 3. Результаты интерпретации ГИС (НРТ/SNL-HD) в нагнетательной скважине

свидетельствует о поглощении нагнетательной воды в интервале нарушения.

Всего в скважине обнаружено два заколонных перетока: один заколонный переток – вниз от интервала негерметичности колонны до подошвы пласта А8, а другой – вверх от кровли интервала перфорации до кровли пласта В3. Таким образом, по результатам комплексного исследования были выявлены интервалы нецелевой закачки в пласты А5-8 и В3.

Были выданы рекомендации проведения ремонтно-изоляционных работ по устранению негерметичности 146 мм эксплуатационной колонны. Проведенные ремонтные работы были успешными и позволили устранить нецелевую закачку воды, что привело к резкому снижению непродуктивных энергозатрат.

### Выводы

Спектральная скважинная шумометрия является перспективной энергосберегающей технологией, которая позволяет определить эффективность работы нефтяных и газовых скважин и тем самым способствовать снижению затрат нефтяных и газовых компаний без крупных капиталовложений. Определение непродуктивной закачки и локализация зон нарушений целостности скважинной подвески с помощью спектральной шумометрии SNL-HD/СШ (Спектральная шумометрия) и последующее ее устранение позволит уменьшить расходы электроэнергии на закачку воды. Определение работающих зон пласта, а также определение оптимальных режимов работы скважин позволит увеличить эффективность добычи продукции.

### Список сокращений и аббревиатур

SND – ДРИФТ панель спектральной шумометрии  
НРТ/ВТТ – Высокочастотная термометрия  
ГИС – Геофизические исследования скважин

### СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Николаев С. А., Овчинников М. Н. Генерация звука фильтрационным потоком в пористых средах // Акустический журнал. 1992. № 1. С. 114-118. =1 Nikolaev S. A., Ovchinnikov M. N. Sound generation filtration flow in porous Wednesday.

Akusticheskiy zhurnal- Acoustic magazine, 1992, No. 1, Pp. 114-118. [in Russian].

2 Arthur Aslanyan, Dr. Irina Aslanyan, Roza Minakhmetova, Yulia Maslennikova, R. Karantharath, Badar Al Hadhrami Integrated Formation MicroImager (FMI) and Spectral Noise Logging (SNL) for the study of fracturing in carbonate reservoirs // SPE-177616-MS, 2015.

3 Nelson Suarez, Ademola Otubaga and Nagendra Mehrotra, Dubai Petroleum Establishment; Aslanyan A., Aslanyan I., Khabibullin M., Barghouti J. and Maslennikova Y. Complementing Production Logging with Spectral Noise Analysis to Improve Reservoir Characterisation and Surveillance // SPWLA 54th Annual



Symposium, New Orleans, Louisiana, USA, 22-26 June, 2013.

4 Salim Ghalem, Amr Mohamed Serry, Ali Al-felasi, Ahmed Berrim, Osama Mohamed Keshitta, Elyes Draoui Hicham, Abu Chaker, Ayman Mohamed, Maxim Filenev, Alfiya Gabdrakhmanova, Irina Aslanyan and Arthur Aslanyan Innovative Logging Tool Using Noise Log and High Precision Temperature Help to Diagnoses Complex Problems // TGT Oil&Gassevices. - Abu Dhabi, 1-14 November, 2012.

5 Al Marzouqi, Ayesha Rahman, Aslanyan Arthur, Aslanyan Irina, Sudakov Vladislav, Farakhova Rushana Integrating Reservoir Modelling, High-Precision Temperature Logging and Spectral Noise Logging for Waterflood Analysis //SPE 157149-MS, 2012

6 Aslanyan Arthur, Aslanyan Irina, Barghouti, Jamal, El-Hamawi, Mohamed Hassan, Al-Hassan, Rasheed Ahmad, Salim, Bassam, Davydov D.A. Leak Detection by Temperature and Noise Logging // SPE 161983, 2012.

7 Maslennikova, Y. S., Bochkarev, V. V., Savinkov, A. V., & Davydov, D. A. (2012, January 1). Spectral Noise Logging Data Processing Technology (Russian). Society of Petroleum Engineers. Vol. 4, P. 2305-2325. Doi:10.2118/162081-RU.

Асланян А. М., канд. физ.-мат. наук, главный технический советник ООО "ТГТ Сервис", г. Казань, Российская Федерация  
A. M. Aslanyan, Candidate Physics and Mathematics, Chief Technical Advisor, "TGT Service" LLC, Kazan, the Russian Federation  
e-mail: ama@tgtoil.com, phone: +7 843 210-17-74

Асланян И. Ю., канд. физ.-мат. наук, старший технический советник ООО "ТГТ Сервис", г. Казань, Российская Федерация

I. Yu. Aslanyan, Candidate Physics and Mathematics, Senior Technical Advisor, "TGT Service" LLC, Kazan, the Russian Federation  
e-mail: irina.aslanyan@tgtoil.com, phone: +7 843 210-17-74

Кантюков Р. Р., канд. техн. наук, заместитель главного инженера по эксплуатации магистральных газопроводов ООО "Газпром трансгаз Казань", г. Казань, Российская Федерация

R. R. Kanyukov Candidate of Engineering Sciences, Deputy Chief Engineer, Main Gas Lines Operations, "Gazprom transgaz Kazan" LLC, Kazan, the Russian Federation  
e-mail: glavgeo@mail.ru, phone: +7 843 272-60-01

Минахметова Р. Н., ведущий специалист отдела экспертов ООО "ТГТ Сервис", г. Казань, Российская Федерация

R. N. Minakhmetova, Centre of Experts Lead Specialist, «TGT Service» LLC, Kazan, the Russian Federation

e-mail: roza.minakhmetova@tgtoil.com, phone: +7 843 210-17-74

Никитин Р. С. зам. генерального директора – главный геолог ООО «Газпром ПХГ», г. Москва, Российская Федерация

R. S. Nikitin, Deputy Director General, «Gazprom UGS» LLC, Moscow, the Russian Federation

e-mail: R.Nikitin@phg.gazprom.ru, phone: +7 495 428-45-01

Нургалиев Д. К., д-р геол.-минерал. наук, профессор, проректор по научной деятельности, Казанский федеральный университет, г. Казань, Российская Федерация

D. K. Nurgaliev, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Vice-Rector for Research, Kazan Federal University, Kazan, the Russian Federation  
e-mail: danis.nourgaliev@kpfu.ru, phone: +7 843 233-74-01

Сорока С. В., директор приборостроительного завода ООО «ТГТ Сервис», г. Казань, Российская Федерация

S.V. Soroka, Director of Tool Factory, "TGT Service" LLC, Kazan, the Russian Federation  
e-mail: stanislav.soroka@tgtoil.com phone: +7 843 210-17-74