

**ВОЗМОЖНОСТИ МОНИТОРИНГА РАБОТЫ ГАЗОВЫХ СКВАЖИН
МЕТОДОМ ШУМОМЕТРИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМЫ
РАСПРЕДЕЛЕННЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ**

Колычев И.Ю.¹, Белов С.В.¹, Чистяков Н.Ю.¹, Гурбанов В.Ш.^{1,2}, Галкин С.В.¹

¹Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет, Россия
614990, Пермь, Комсомольский проспект, 29: igorek999@yandex.ru, sv.belov63@mail.ru,
Nikita.Chistyakov@fxc-png.ru, shum5011@gmail.com, vaqifqurbanov@mail.ru

²Министерство науки и образования Азербайджанской Республики,
Институт нефти и газа, Азербайджан
AZ1000, Баку, ул. Ф.Амирова, 9: vaqifqurbanov@mail.ru

**THE POSSIBILITIES OF MONITORING THE OPERATION OF GAS WELLS BY NOISE MEASUREMENT
USING A SYSTEM OF DISTRIBUTED ACOUSTIC SENSORS**

Kolychev I.J.¹, Belov S.V.¹, Chistyakov N.Yu.¹, Gurbanov V.Sh.^{1,2}, Galkin S.V.¹

¹Perm National Research Polytechnic University, Russia
29, Komsomolsky prospect, Perm, 614990: igorek999@yandex.ru, sv.belov63@mail.ru,
Nikita.Chistyakov@fxc-png.ru, shum5011@gmail.com, vaqifqurbanov@mail.ru

²Institute of Oil and Gas, MSERA, Azerbaijan
9 Baku, F. Amirov str., Baku, AZ1000: vaqifqurbanov@mail.ru

Keywords: *spectral noise logging, fiber optic distributed acoustic sensing, gas-saturated formations, frequency range*

Summary. The experience of using fiber-optic distributed acoustic sensing (DAS) for spectral noise logging based on a geophysical cable when monitoring the development of a gas condensate field is considered. Studies have been carried out to assess the spectral sensitivity of the DAS method. A technique has been developed for filtering the original signal with calculation of the signal energy in various frequency ranges, which carries information about the movement of fluid inside the well. Using these methods, the moment of stopping the well is clearly identified. By combining sound logging of wells with studies based on a fiber-optic system of distributed temperature sensing (DTS), intervals of gas-saturated formations operating in the well were identified.

It has been established that the information content of the DAS and DTS systems depends on the location of the cable. For monitoring development using the DTS technology, it is optimal to place the cable inside or outside the production casing. When the cable is located inside the tubing, the temperature field is distorted by counter-current fluid flows. The sensitivity of the DAS system to noise from the rock and the production casing can also be increased by optimizing the cable location, which can be justified with a wider implementation of this technology in production.

To be able to record noise from fluid movement behind the column and in the rock, it is necessary to expand the frequency range of the recorded vibrations by using special cables with increased sensitivity and an expanded directional diagram.

© 2024 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

Введение

Главным преимуществом применения волоконно-оптических систем распределенных акустических датчиков (DAS) является возможность осуществлять непрерывный мониторинг, регистрируя акустические события в реальном времени по всей длине скважины. Точечные акустические датчики, имея большую по сравнению с DAS-системами разрешающую способность, поз-

воляют осуществлять измерение сигнала на конкретной глубине только в ограниченный момент времени, не позволяя вести полноценный мониторинг за работой скважины. Технологии DAS более десяти лет применяются в наземной сейсмо-разведке и вертикальном сейсмопрофилировании (ВСП) (Parker et.al., 2014; Wu et al., 2017). Применение DAS-систем для шумометрии скважин в значительно меньшей степени освещено в науч-

ной литературе, анализ показывает их ограниченное применение преимущественно на месторождениях Северной Америки и Китая. При этом одной из значимых задач, решаемых методом шумометрии, является выделение работающих интервалов скважин с определением характера насыщения притока (Daley et al., 2013; Gabai, Eyal, 2016).

DAS-системы обладают рядом важных преимуществ перед традиционными измерительными системами, прежде всего это высокая плотность виртуальных датчиков и неограниченная в пределах скважины длина расстановки, нечувствительность к электромагнитным полям (Mateeva и др., 2012; Кислов, Гравиров, 2022). К недостаткам DAS можно отнести более низкую чувствительность оптического волокна в отношении акустического воздействия по сравнению с точечным микрофоном, используемым при геофизических исследованиях скважин (ГИС). В том числе, снижение разрешающей способности DAS происходит ввиду возрастания искажений спектра акустического сигнала на частотах более 150-300 Гц (Dean et al., 2017; Stork et al., 2020; Näsholm et al., 2022). Сигналы с меньшими частотами подходят для решения задач нефтяной сейсморазведки и ВСП. При регистрации шумовых сигналов искажения спектра менее значимы, поэтому необходимо определить возможность применения DAS на основе геофизического грузонесущего кабеля для шумометрии в скважинах. Ранее проведенные исследования по оценке спектральной чувствительности такой DAS-системы (Колычев и др., 2022) показали, что максимальная частота регистрируемых сигналов ограничена 2.5 кГц. Верхняя частота шумов от движения флюида в пласте может достигать до 15-30 кГц (Nikolaev, Ovchinnikov, 1992; Асланян и др., 2016), однако спектр шумов при движении флюида в скважине не превышает 3 кГц (Асланян и др., 2016). В данной работе рассмотрены результаты применения шумометрии DAS на основе геофизического грузонесущего кабеля при контроле за разработкой газоконденсатного месторождения.

Исследования методом спектральной шумометрии DAS целесообразно комплексировать с методом распределенных волоконно-оптических датчиков температуры (DTS). К настоящему времени метод DTS для задач мониторинга работы нефтяных и газовых скважин разработан в значительно большей степени чем DAS. Системы DTS широко применимы для получения профиля притока или поглощения, задач мониторинга прорыва газа или воды (Lee et al., 2018; Ипатов и др., 2021), мониторинга гидроразрыва пласта (Näsholm et al., 2020). Однако только по величине температурной аномалии в скважине невозможно

достоверно судить об ее истинной природе. Данная задача может быть решена на основе анализа и классификации спектра шумометрии DAS.

Материалы и методы

Исследования методами спектральной шумометрии DAS и DTS в рамках опытно-промышленных работ проводились на четырех эксплуатационных скважинах Губкинского газоконденсатного месторождения. Исследуемый продуктивный пласт сеноманского возраста представлен переслаиванием песчано-алевролитовых и глинистых пород с подчиненной ролью последних. Сверху он перекрыт толщей турон-датских глин морского генезиса мощностью 500-800 м, что определяет высокие экраняющие свойства покрывки, позволившие сформироваться гигантским газовым залежам.

В скважину спускался бронированный грузонесущий геофизический кабель с оптоволоконным модулем (КГ 4ОВ-20-120). При исследованиях использовался программно-аппаратный комплекс «Горизонт», в состав которого входят модули DAS и DTS, работу которых можно считать синхронизированной благодаря применению единого регистрирующего сервера. Разрешающая способность методов DAS и DTS дополнительно контролировалась комплексом ГИС и исследованиями точечных датчиков шумометрии и термометрии. При этом использовался высокочувствительный акустический датчик открытого типа, который эффективно работает в газовой среде. В качестве контроля метода DTS также были проведены широко используемые на производстве исследования станцией термоконтроля «SILIXA».

Исследования проводились на двух режимах: работающей и остановленной скважины. Во время операции спуска осуществлялась запись локальными устройствами, смонтированными на конце кабеля. По окончании операции спуска осуществлялась запись работающей скважины, температура (DTS) и спектральный шум (DAS) по оптоволокну, находящемуся в кабеле сразу по всей длине скважины. Остановка скважины происходила при продолжающейся записи температуры и шума. Далее по разработанному регламенту продолжалась запись процессов, происходящих внутри скважины после остановки. Время записи в каждом из режимов варьировалось в скважинах в диапазоне от 1 до 2 часов.

Перед исследованиями были проведены опытные работы по оценке спектральной чувствительности DAS на основе геофизического грузонесущего кабеля при различном шаге квантования по времени. Эксперименты показали, что отношение сигнал/шум (SNR) на частотах более 1 кГц становится недостаточным для выделения событий в

скважине, поэтому был выбран шаг квантования по времени 0.5 мс, что обеспечило регистрацию сигналов с частотой до 1 кГц.

Обработка данных DAS включала несколько шагов (Рис. 1):

- 1) транспонирование данных для получения временных рядов на каждой глубине $s(t, h) \rightarrow s(h, t)$;
- 2) подавление специфических помех регистратора «Горизонт»;

3) расчет энергии сигнала $E(h, t)$ во временных окнах с шагом по времени 1 с;

4) расчет средних энергетических спектров сигнала $S_i(h, f)$ во временных окнах с шагом по времени 5 мин;

5) расчет энергии сигнала $E_{\Delta f}(h, t)$ в нескольких диапазонах частот Δf (0-125 Гц, 125-250 Гц, 250-500 Гц, 500-1000 Гц) во временных окнах с шагом по времени 1 с.

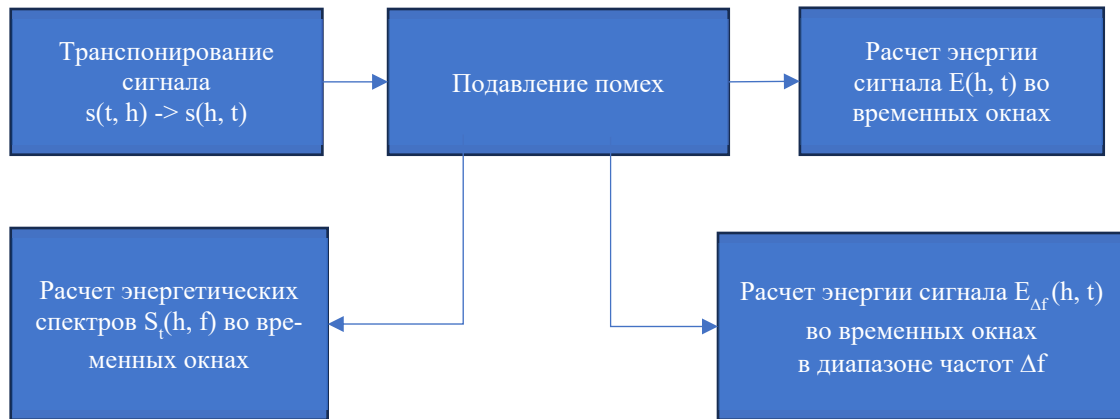


Рис. 1. Блок-схема обработки данных метода шумометрии DAS

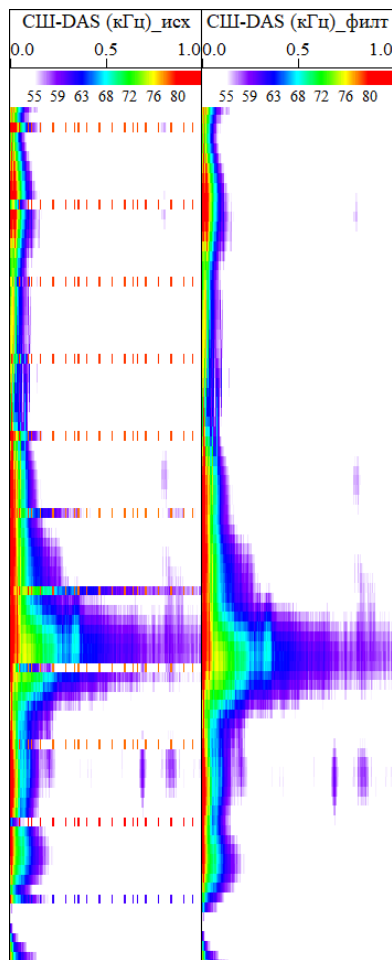


Рис. 2. Сравнение исходного акустического сигнала DAS (СШ-DAS_{исх}) и после применения процедуры фильтрации (СШ-DAS_{филт})

Предварительная обработка сигнала DAS в регистрирующем сервере может содержать нелинейные преобразования, которые влияют на форму и спектр сигнала. Чтобы исключить неопределенности данного типа применена специальная программа записи исходного сигнала шумометрии DAS, поступающего с регистратора. Записанный с регистратора сигнал содержал помехи (Рис. 2), которые удалялись с помощью специально разработанной процедуры.

Обработка данных с визуализацией результатов проводилась в программном комплексе обработки и интерпретации данных геофизических исследований скважин «Соната-2019». Из рис. 2 видно, что применение процедуры фильтрации сигнала существенно подавляет помехи, которые в исходном сигнале проявляются по всему стволу скважины.

Результаты

Сравнение результатов измерений акустического шума точечными и распределенными датчиками в режимах остановленной и работающей скважины приведены на рис. 3. По аномалиям шумометрии на глубине 773 м обоими методами выявлена негерметичность насосно-компрессорной трубы (НКТ), которая возможно вызвана выносом песка из работающего пропластка. Как видно из рисунка положение аномалий шума, зарегистрированного системой DAS, соответствует положению аномалий от дискретного датчика.

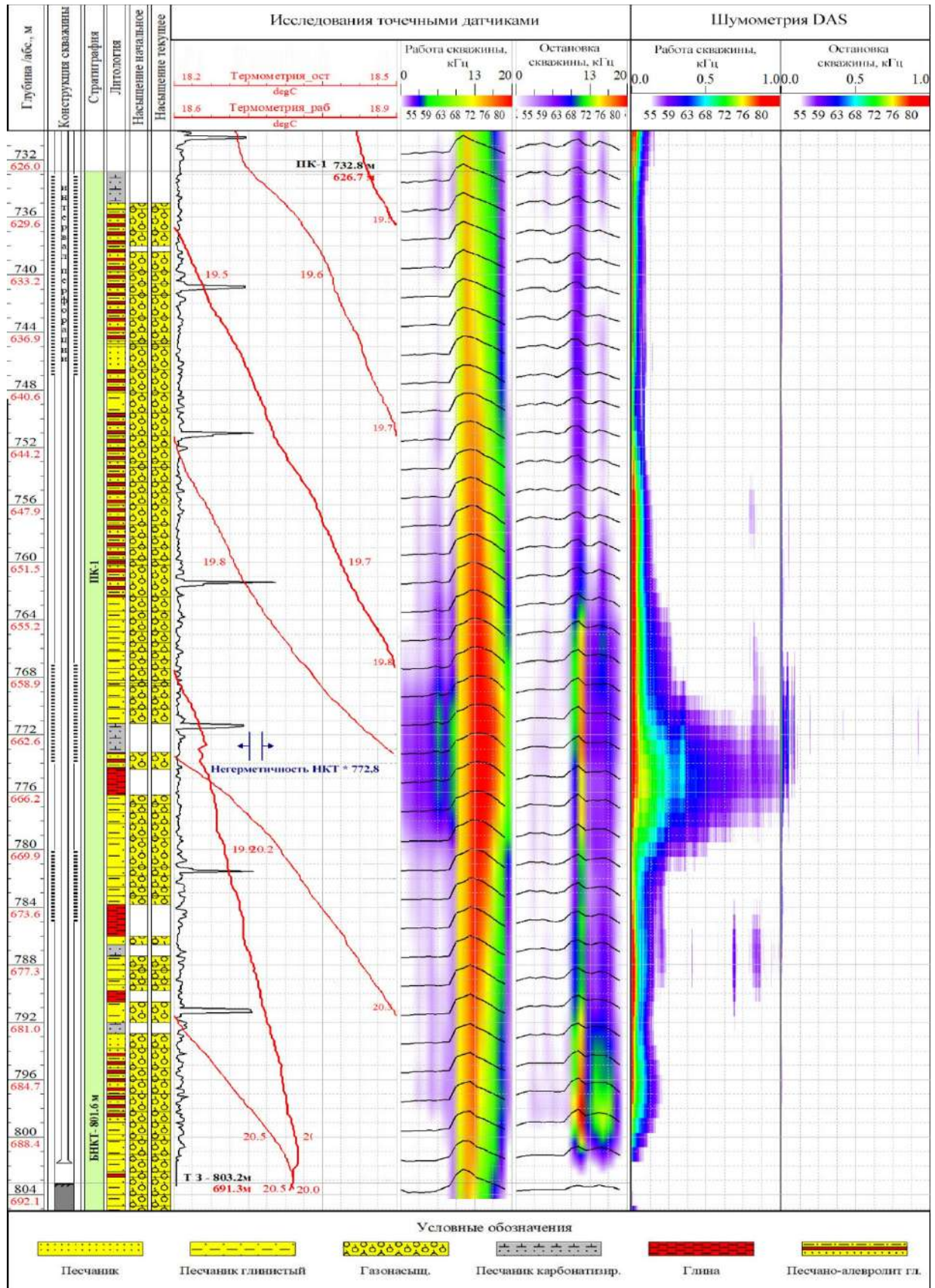


Рис. 3. Сопоставление измерений спектра акустического шума точечными и распределенными датчиками DAS

Интенсивность установленной аномалии при шумометрии DAS меньше чем при регистрации точечным датчиком. Энергия зарегистрированного

системой DAS шума сосредоточена в диапазоне 0-700 Гц, в то время как энергия шума, зарегистрированного точечным датчиком, преобладает в диапазоне

10-18 кГц. Это является следствием нескольких факторов. Диаграмма направленности распределенных датчиков имеет максимум в вертикальном направлении и минимум в горизонтальном (Kuvshinov, 2016), плотная оболочка из стальной проволоки дополнительно препятствует передаче деформаций внутрь кабеля, что приводит к ограничению регистрируемого спектра частотой 2.5 кГц. В исследуемой скважине кабель находился в газовой среде, поэтому частота регистрируемых колебаний не превышала 1 кГц. Исследования диаграммы направленности DAS-систем (Чулков и др., 2023; Чугаев, Тарантин, 2023) показали, что для повышения чувствительности распределенных датчиков необходимо применять оптоволоконный кабель со спиральной навивкой оптоволокна. Такая конструкция обеспечивает равномерную диаграмму направленности при угле намотки около 57°. Применение специальных кабелей со спиральным уложением волокна позволит расширить возможности оптоволоконных систем для решения сейсмоакустических задач, в частности задач шумометрии.

Дополнительные искажения в регистрируемый сигнал и, соответственно, спектр сигнала вносят помехи самого регистратора DAS. Помехи связаны с дрейфом частоты лазера (LSFD), который приводит к дрейфу фазового сигнала, полученного системой DAS, вверх и вниз вместе с дрейфом частоты лазера. Кроме того, из-за неоднородности внешней среды и накопления фазового шума, генерируемого при передаче света в системе DAS, как прямо, так и косвенно влияют на отношение сигнал/шум (SNR) регистрируемого сигнала (Жирнов и др., 2019). Для подавления таких помех предложено несколько способов (Wu et al., 2013; Chen et al., 2021; Mao et al., 2022). Наиболее эффективный способ SEE-SGMD-PCC изложен в работе (Bai et al., 2023). Указанные способы повышения SNR сигнала рассчитаны на детерминированный сигнал, который наблюдается при ВСП и сейсморазведке. Эффективность подавления шумов LSFD для применения в акустической шумометрии требует дополнительной апробации на скважинах.

Данные мониторинга по технологии DAS по всему стволу скважины отображены на рисунке 4. На диаграммах энергии во всех диапазонах частот хорошо виден момент остановки скважины. В диапазоне частот 0-125 Гц преобладают шумы от движения газа в скважине. Шум фильтрации газа через обнаруженный дефект НКТ уверенно выделяется в диапазонах 125-250 Гц и 250-500 Гц. После остановки скважины этот шум прекращается. При этом наблюдаемый после остановки скважины небольшой шум в верхней ее части на низких частотах вероятно связан с работами на поверхности.

Форма спектра позволяет делать выводы об источнике шума (Nikolaev, Овчинников, 1992; Асланян и др., 2016). Как видно на рис. 4, шум от движения газа по стволу скважины сосредоточен в диапазоне 0-250 Гц. На глубине негерметичности НКТ спектр расширяется и охватывает весь регистрируемый диапазон частот.

Мониторинг распределения температуры в скважине выполнен двумя видами аппаратуры DTS. Аппаратурой «SILIXA» и «Горизонт» получены близкие по форме изменения распределения температуры по скважине, при этом для «SILIXA» отмечен несколько меньший диапазон выделенной аномалии. В обоих случаях на диаграммах DTS отчетливо фиксируется момент остановки скважины, с выделением положительной аномалии в интервале работающих пропластков вблизи негерметичности НКТ. При этом абсолютные значения температуры отличаются значительно, разница достигает 6°C.

При сравнении результатов DTS с измерением точечным термометром установлено, что чувствительность распределенных датчиков заметно ниже. Аномалия температуры от негерметичности колонны составляет 0.02-0.05 °C и на данных DTS выделяется только по градиенту. Данный факт объясним меньшей разрешающей способностью распределенного датчика DTS по сравнению с точечным датчиком. Также влияет инерционность датчика DTS, обусловленная конструкцией кабеля (оболочка, броня и т.д.) и тем, что оптоволоконный модуль находится в центре конструкции кабеля. В целом перед проведением измерений для повышения качества сигнала необходима дополнительная калибровка аппаратуры DTS с конкретным кабелем.

Сопоставление результатов шумометрии DAS с DTS (Рис. 5) показывает, что разрешающая способность метода DAS ниже чем DTS, так как шум от источника колебаний может распространяться на значительные расстояния по элементам конструкции вдоль скважины. При этом между показаниями DAS и DTS наблюдается высокая сходимость выделенных аномалий по глубине скважины с выделением притока газа в диапазоне глубин 772 – 775 м.

Выводы

Применение системы распределенных акустических датчиков DAS позволяет выполнять мониторинг акустического шума по стволу скважины с выделением интервалов притока газа. Регистрируемый диапазон спектра частот несет информацию о движении флюида и событиях внутри скважины.

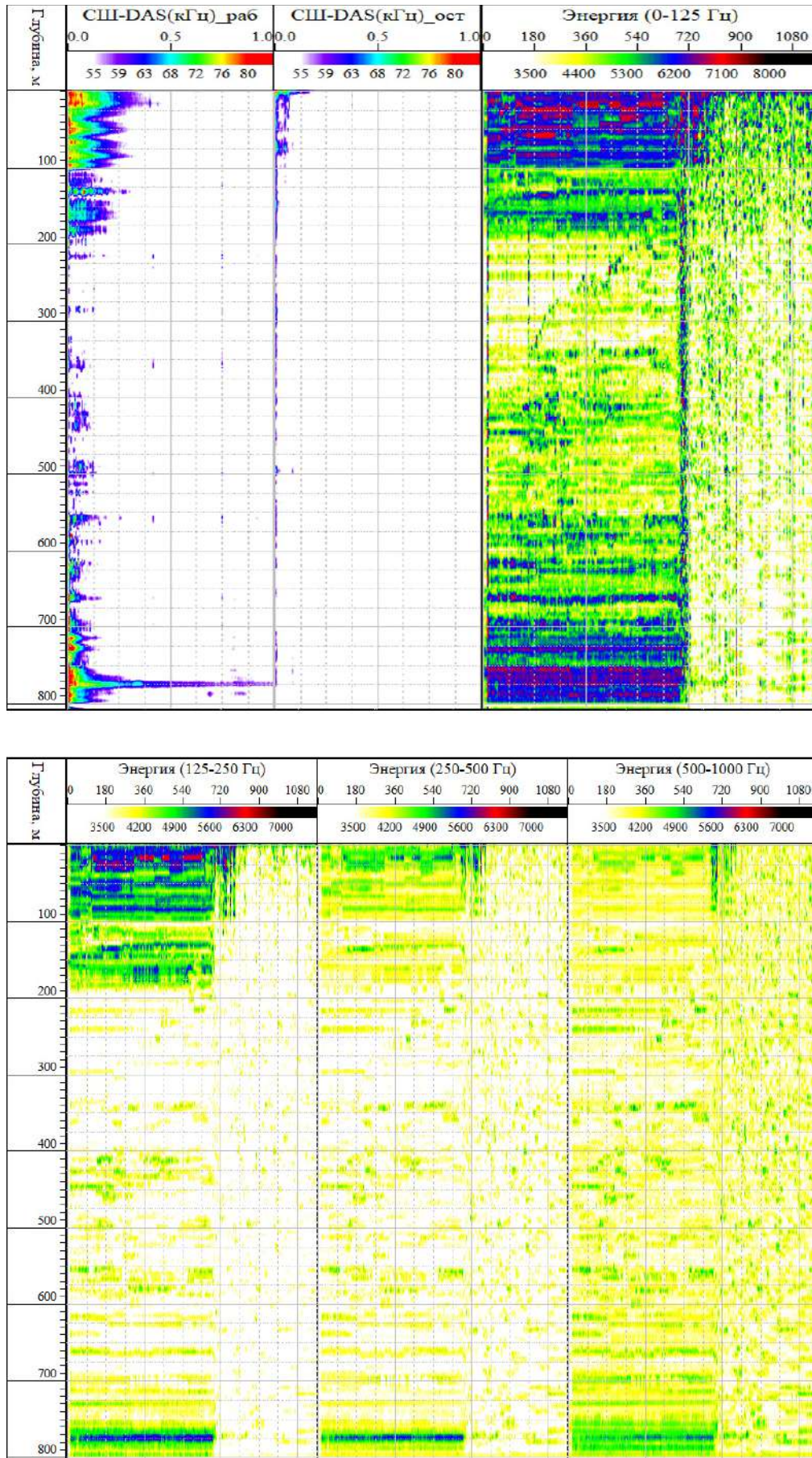


Рис. 4. Мониторинг акустического шума по стволу скважины методом DAS с выделением частотного диапазона шумометрии

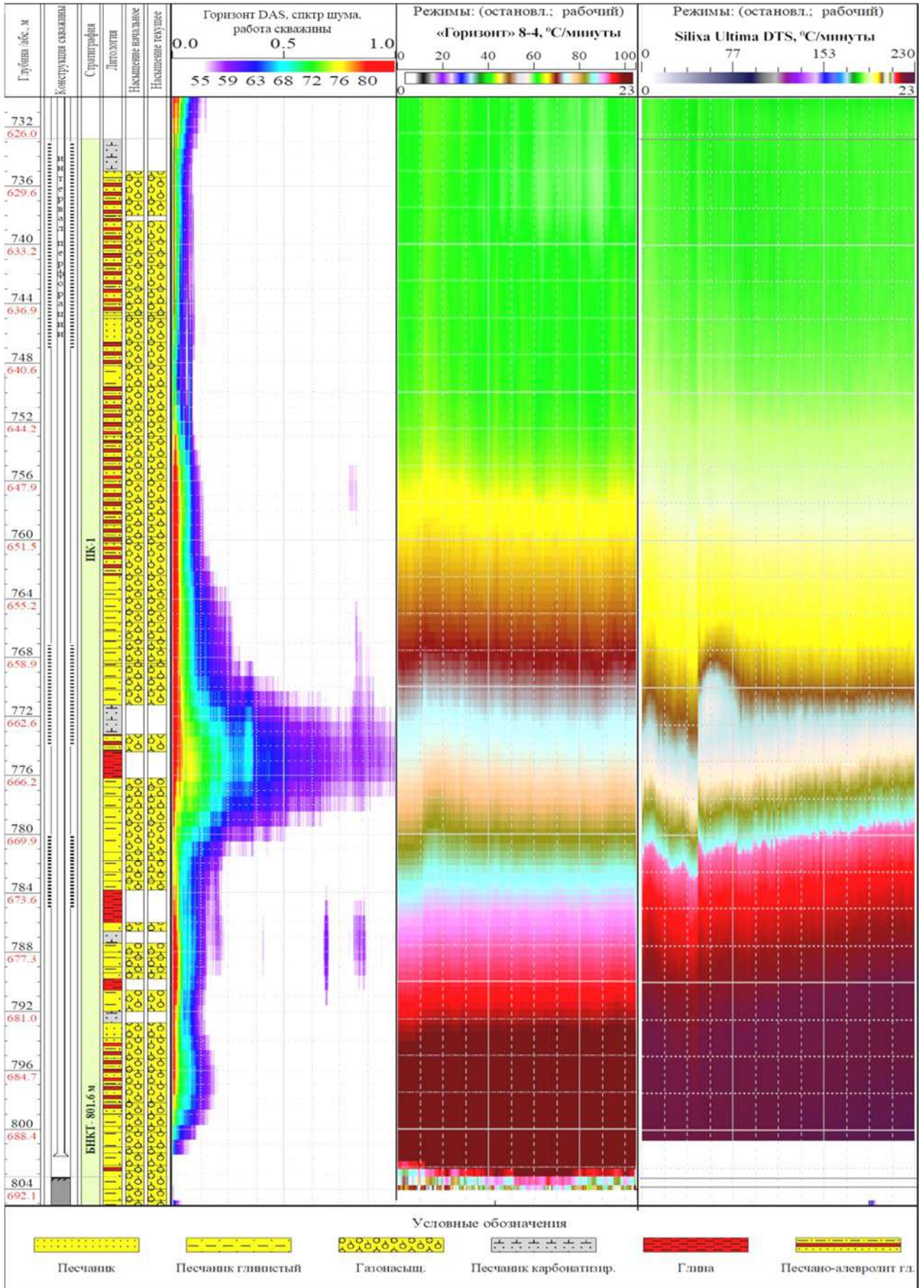


Рис. 5. Сопоставление результатов измерений методов шумометрии DAS и DTS по стволу скважины

Для повышения достоверности выделения в скважине работающих интервалов целесообразно комплексировать данные методов DAS и DTS. Информативность систем DAS и DTS зависит от места расположения кабеля. Для контроля за разработкой по технологии DTS оптимально размещать кабель внутри или снаружи эксплуатационной колонны. При расположении кабеля внутри НКТ поле температуры искажается встречными потоками флюида. Чувствительность системы DAS к шуму от породы и эксплуатационной колонны также может быть повышена оптимизацией расположения кабеля, что может быть обосновано при более широком внедрении данной технологии на производстве.

Для возможности регистрации шума от движения флюида за колонной и в породе необходимо расширить частотный диапазон регистрируемых колебаний за счет применения специальных кабелей с повышенной чувствительностью и расширенной диаграммой направленности. Достоверность исследований методом шумометрии DAS может быть существенно повышена путем тестирования программных алгоритмов для улучшения соотношения сигнал/шум.

ЛИТЕРАТУРА

- Aslanian A.M., Aslanian I.Yu., Maslennikova Y.S. et al. Diagnostics of gas overflows by a complex of high-precision thermometry, spectral noise measurement and pulsed neutron-neutron logging. *Territory of Oil and Gas*, No. 6, 2016, pp. 74-81 (in Russian).
- Bai X., Zhang F., Lin L. et al. Phase drift and noise suppression method based on SEE-SGMD-PCC in a distributed acoustic sensor. *Optics Express*, Vol. 31, No. 19, 2023, pp. 31463-31485, <https://doi.org/10.1364/OE.495356>.
- Chen W., Ma X., Ma Q. et al. Denoising method of the ϕ -OTDR system based on EMD-PCC. *IEEE Sensors Journal*, Vol. 21, No. 10, 2021, pp. 12113-12118, DOI: 10.1109/JSEN.2020.3033674.
- Chugaev A.V., Tarantin M.V. Amplitude-frequency response of distributed acoustic sensor DAS with spiral winding of fiber. *Mining Science and Technology*, Vol. 8, No. 1, 2023, pp. 13-21, DOI: 10.17073/2500-0632-2022-06-10 (in Russian).
- Chulkov E., Tikhotsky S.A., Dubinya N.V. Design of seismic sensors based on the DAS principle: analysis and numerical modeling. *Proceedings of the International Geological and Geophysical Conference, March 27-29, 2023*. Vol. 3, PolyPRESS. Tver, 2023, 234 p. (in Russian).
- Daley T.M. et al. Field testing of fiber-optic distributed acoustic sensing (DAS) for subsurface seismic monitoring. *The Leading Edge*, Vol. 32, No. 6, 2013, pp. 699-706, DOI:10.1190/tle32060699.1.
- Dean T., Cuny T., Hartog A.H. The effect of gauge length on axially incident P-waves measured using fibre optic distributed vibration sensing: Gauge length effect on incident P-waves. *Geophysical Prospecting*, Vol. 65, No. 1, 2017, pp. 184-193, DOI: 10.1111/1365-2478.12419.
- Gabai H., Eyal A. On the sensitivity of distributed acoustic sensing. *Optics Letters*, Vol. 41, No. 24, 2016, pp. 5648-5651, <https://doi.org/10.1364/OL.41.005648>.

В перспективе предложенные подходы могут позволить не только судить по шумометрии DAS об интервалах фильтрации флюидов, но и на основе анализа спектров регистрируемых шумов определять характер их насыщения (нефть, вода, газ). С учетом этого, опытно-промышленные работы методом шумометрии DAS представляются весьма перспективными в плане тиражирования технологии для обеспечения мониторинга работы скважин.

Благодарности

Исследования выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSNM-2023-0005).

Работы выполнены на оборудовании Центра фильтрационно-емкостных свойств горных пород ПНИПУ.

Funding: The research was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Project No. FSNM-2023-0005).

Acknowledgments: The work was carried out on the equipment of the PNRPU Center for Filtration and Capacitive Properties of Rocks.

REFERENCES

- Bai X., Zhang F., Lin L. et al. Phase drift and noise suppression method based on SEE-SGMD-PCC in a distributed acoustic sensor. *Optics Express*, Vol. 31, No. 19, 2023, pp. 31463-31485, <https://doi.org/10.1364/OE.495356>.
- Chen W., Ma X., Ma Q. et al. Denoising method of the ϕ -OTDR system based on EMD-PCC. *IEEE Sensors Journal*, Vol. 21, No. 10, 2021, pp. 12113-12118, DOI: 10.1109/JSEN.2020.3033674.
- Daley T.M. et al. Field testing of fiber-optic distributed acoustic sensing (DAS) for subsurface seismic monitoring. *The Leading Edge*, Vol. 32, No. 6, 2013, pp. 699-706, DOI:10.1190/tle32060699.1.
- Dean T., Cuny T., Hartog A.H. The effect of gauge length on axially incident P-waves measured using fibre optic distributed vibration sensing: Gauge length effect on incident P-waves. *Geophysical Prospecting*, Vol. 65, No. 1, 2017, pp. 184-193, DOI: 10.1111/1365-2478.12419.
- Gabai H., Eyal A. On the sensitivity of distributed acoustic sensing. *Optics Letters*, Vol. 41, No. 24, 2016, pp. 5648-5651, <https://doi.org/10.1364/OL.41.005648>.
- Kislov K.V., Gravurov V.V. Distributed acoustic sounding: a new tool or a new paradigm. *Seismic Instruments*, Vol. 58, No. 2, 2022, p. 5-38, DOI: 10.21455/si2022.2-1.
- Kuvshinov B.N. Interaction of helically wound fibre-optic cables with plane seismic waves. *Geophysical Prospecting*, Vol. 64, No. 3, 2016, pp. 671-688, DOI: 10.1111/1365-2478.12303.
- Lee D., Park K.G., Lee C.-N., Choi S.-J. Distributed temperature sensing monitoring of well completion processes in a CO₂ Geological Storage Demonstration Site. *Sensors*, Basel, Vol. 18, No. 12, 2018, 4239 p., <https://doi.org/10.3390/s18124239>.
- Mao B., Bu Z., Xu B. et al. Denoising method based on VMD-PCC in ϕ -otdr system. *Optical Fiber Technology*, Vol. 74, No. 3, 2022, 103081, DOI: 10.1016/j.yofte.2022.103081.
- Mateeva A., Mestayer J., Cox B. et al. Advances in distributed acoustic sensing (DAS) for VSP. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 2012, 4609 p., DOI: 10.1190/segam2012-0739.1.

- Ipatov A.I. et al. Monitoring of reservoir production in horizontal wellbores based on the results of unsteady thermometry by distributed fiber-optic sensors. *PRONEFT - Professionally About Oil*, 2021, No. 4 (22), pp. 81-91 (in Russian).
- Kislov K.V., Gravirov V.V. Distributed acoustic sounding: a new tool or a new paradigm. *Seismic Instruments*, Vol. 58, No. 2, 2022, p. 5-38, DOI: 10.21455/si2022.2-1.
- Kolychev I.Yu., Denisov A.M., Belov S.V. et al. Assessment of possibilities of application of vibroacoustic impact technology (DAS) in monitoring of oil and gas wells operation. *Problems of Development of Hydrocarbon and Ore Mineral Deposits*, Vol. 1, 2022, pp. 250-255 (in Russian).
- Kuvshinov B.N. Interaction of helically wound fibre-optic cables with plane seismic waves. *Geophysical Prospecting*, Vol. 64, No. 3, 2016, pp. 671-688, DOI: 10.1111/1365-2478.12303.
- Lee D., Park K.G., Lee C.-N., Choi S.-J. Distributed temperature sensing monitoring of well completion processes in a CO₂ Geological Storage Demonstration Site. *Sensors*, Basel, Vol. 18, No. 12, 2018, 4239 p., <https://doi.org/10.3390/s18124239>.
- Mao B., Bu Z. Xu B. et al. Denoising method based on VMD-PCC in ϕ -otdr system. *Optical Fiber Technology*, Vol. 74, No. 3, 2022, 103081, DOI: 10.1016/j.yofte.2022.103081.
- Mateeva A., Mestayer J., Cox B. et al. Advances in distributed acoustic sensing (DAS) for VSP. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 2012, 4609 p., DOI: 10.1190/segam2012-0739.1.
- Moradi P., Dande S., Angus D. Fibre-optic sensing and microseismic monitoring evaluate and enhance hydraulic fracturing via real-time and post-treatment analysis. *First Break*, Vol. 38, No. 9, 2020, pp. 65-72.
- Näsholm S.P., Iranpour K., Wuestefeld A. et al. Array signal processing on distributed acoustic sensing data: directivity effects in slowness space. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, Vol. 127, No. 2, 2022, pp. 1-24, DOI: 10.1029/2021JB023587.
- Nikolaev S.A., Ovchinnikov M.N. Sound generation by a filtration flow in porous. *Akusticeskij zurnal*, Vol. 38, No. 1, 1992, pp. 114-118 (in Russian).
- Parker T., Shatalin S., Farhadiroushan M. Distributed acoustic sensing – a new tool for seismic applications. *First Break*, Vol. 32, No. 2, 2014, pp. 61-69, DOI: 10.3997/1365-2397.2013034.
- Stork A.L., Baird A.F., Horne S.A. et al. Application of machine learning to microseismic event detection in distributed acoustic sensing data. *Geophysics*, Vol. 85, No. 5, 2020, pp. 149-160, DOI: 10.1190/geo2019-0774.1.
- Wu H., Li X., Li H. et al. An effective signal separation and extraction method using multi-scale wavelet decomposition for phase-sensitive OTDR system. *The International Society for Optical Engineering*, Vol. 8916, 2013, 89160Z, DOI: 10.1117/12.2035836.
- Wu X., Willis M.E., Palacios W. et al. Compressional and shear-wave studies of distributed acoustic sensing acquired vertical seismic profile data. *The Leading Edge*, Vol. 36, No. 12, 2017, pp. 962-1044, DOI: 10.1190/tle36120987.1.
- Асланян А.М., Асланян И.Ю., Масленникова Ю.С. и др. Диагностика заколонных перетоков газа комплексом высокоточной термометрии, спектральной шумометрии и импульсного нейтрон-нейтронного каротажа. *Территория нефти и газа*, No. 6, 2016, с. 74-81.
- Жирнов А.А., Степанов К.В., Чернуцкий А.О. и др. Влияние дрейфа частоты лазера в фазочувствительной рефлектометрии. *Оптика и спектроскопия*, Том 127, No. 10, 2019, с. 603-610, DOI: 10.21883/OS.2019.10.48364.177-19.
- Ипатов А.И. и др. Мониторинг выработки коллектора в горизонтальных стволах по результатам нестационарной термометрии распределенными оптоволоконными датчиками. *ПРОНЕФТЬ – Профессионально о нефти*, 2021, No. 4 (22), с. 81-91.
- Кислов К.В., Гравиров В.В. Распределенное акустическое зондирование: новый инструмент или новая парадигма. *Сейсмические приборы*, Том 58, No. 2, 2022, с. 5-38, DOI: 10.21455/si2022.2-1.
- Колычев И.Ю., Денисов А.М., Белов С.В. и др. Оценка возможностей применения технологии виброакустического воздействия (DAS) при мониторинге работы нефтяных и газовых скважин. *Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых*. Т. 1, 2022, с. 250-255.
- Чугаев А.В., Тарантин М.В. Амплитудно-частотный отклик распределенного акустического сенсора DAS со спиральной намоткой волокна. *Горные науки и технологии*, Т. 8, No.1, 2023, с. 13-21, DOI: 10.17073/2500-0632-2022-06-10.
- Чулков Е., Тихоцкий С.А., Дубиня Н.В. Дизайн сейсмических датчиков на основе принципа DAS: анализ и численное моделирование. *Материалы Международной геолого-геофизической конференции, 27–29 марта 2023 года*. Том 3, ПолиПРЕСС. Тверь, 2023, 234 с.

ВОЗМОЖНОСТИ МОНИТОРИНГА РАБОТЫ ГАЗОВЫХ СКВАЖИН МЕТОДОМ ШУМОМЕТРИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

Колычев И.Ю.¹, Белов С.В.¹, Чистяков Н.Ю.¹, Гурбанов В.Ш.^{1,2}, Галкин С.В.¹

¹Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет, Россия
614990, Пермь, Комсомольский проспект, 29

²Министерство науки и образования Азербайджанской Республики, Институт нефти и газа, Азербайджан
AZ1000, Баку, ул. Ф.Амирова, 9: vaqifqurbanov@mail.ru

Резюме. Рассмотрен опыт применения оптоволоконных распределенных акустических систем (DAS) при шумомерии скважин на основе геофизического кабеля при контроле за разработкой газоконденсатного месторождения. Проведены исследования по оценке спектральной чувствительности метода DAS. Разработана методика фильтрации исходного сигнала с расчетом энергии сигнала в различных диапазонах частот, что несет информацию о движении флюида внутри скважины. Путем комплексирования шумомерии скважин с исследованиями на основе волоконно-оптической системы распределенных датчиков температуры (DTS) выделены интервалы работающих в скважине газонасыщенных пластов. По методам DAS и DTS отчетливо выделяется момент остановки скважины.

Установлено, что информативность систем DAS и DTS зависит от места расположения кабеля. Для контроля за разработкой по технологии DTS оптимально размещать кабель внутри или снаружи эксплуатационной колонны. При расположении кабеля внутри НКТ поле температуры искажается встречными потоками флюида. Чувствительность системы DAS к шуму от породы и эксплуатационной колонны также может быть повышена оптимизацией расположения кабеля, что может быть обосновано при более широком внедрении данной технологии на производстве.

Для возможности регистрации шума от движения флюида за колонной и в породе необходимо расширить частотный диапазон регистрируемых колебаний за счет применения специальных кабелей с повышенной чувствительностью и расширенной диаграммой направленности. Достоверность исследований методом шумомерии DAS может быть существенно повышена путем тестирования программных алгоритмов для улучшения соотношения сигнал/шум. В перспективе предложенные подходы могут позволить не только судить по шумомерии DAS об интервалах фильтрации флюидов, но и на основе анализа спектров регистрируемых шумов определять характер их насыщения (нефть, вода, газ).

Ключевые слова: шумомерия скважин, оптоволоконных распределенные акустические системы, газонасыщенные пласты, частотный диапазон

QAZ QUYULARININ FƏALİYYƏTİNİ İZLƏMƏK ÜÇÜN AKUSTİK SENSORLARDAN İSTİFADƏ EDİLƏN SƏSÖLÇMƏ METODUNUN İMKANLARI

Kolçev İ.Yu.¹, Belov S.V.¹, Çistyakov N.Yu.¹, Qurbanov V.Ş.^{1,2}, Qalkin S.V.¹

¹Perm Milli Araşdırma Politeknik Universiteti, Rusiya
614990, Perm, Komsomol prospekti, 29

²Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi, Neft və Qaz İnstitutu, Azərbaycan
AZ1000, Bakı, F. Əmirov küçəsi, 9: vaqifqurbanov@mail.ru

Xülasə. Geofiziki kabeldən istifadə edərək qaz-kondensat yatağının işlənməsinə nəzarət zamanı quyularda optik lifli paylanmış akustik sistemlərin (DAS) tətbiq təcrübəsi təhlil edilmişdir. DAS metodunun spektral həssaslığını qiymətləndirmək məqsədilə araşdırmalar aparılmışdır. Fərqli tezlik diapazonlarında siqnalın enerjisini hesablamaqla ilkin siqnalın filtrasiya metodu işlənmişdir ki, bu da quyunun daxilində flüidin hərəkəti barədə məlumat verir. Quyularda səs-küy ölçmə prosesini optik lifli paylanmış temperatur sensorları (DTS) əsasında aparılan tədqiqatlarla birləşdirərək, quyuda qazla doymuş lay intervalları müəyyən edilmişdir. DAS və DTS metodları vasitəsilə quyunun dayanma anı dəqiq şəkildə izlənə bilər.

Məlum olmuşdur ki, DAS və DTS sistemlərinin məlumat effektivliyi kabelin yerləşmə mövqeyindən asılıdır. DTS texnologiyası ilə nəzarət üçün kabelin istismar kolonunun içində və ya xaricində yerləşdirilməsi optimal hesab edilir. Kabel nasos-kompresor boruları (NKT) daxilində olduqda flüidlərin əks axınları temperatur sahəsində xətalər yaradır. DAS sisteminin süxur və istismar kolonu tərəfindən yaranan səs-küyə həssaslığı kabelin yerləşmə mövqeyinin optimallaşdırılması ilə artırıla bilər ki, bu da texnologiyanın daha geniş tətbiqi ilə əsaslandırıla bilər.

Kolon arxasında və süxurda flüidin hərəkətindən yaranan səs-küyün qeydiyyatı üçün daha geniş tezlik diapazonunu əhatə edən xüsusi yüksək həssas kabellərin istifadəsi tələb olunur. DAS metodunda səs-küy analizinin dəqiqliyi, siqnal-küy nisbətini yaxşılaşdırmaq məqsədilə program alqoritmlərinin sınaqdan keçirilməsi ilə xeyli artırıla bilər. Gələcəkdə təklif olunan yanaşmalar yalnız DAS vasitəsilə flüid filtrasiyası intervallarını müəyyənəlməyə deyil, həm də səs-küy spektrlərini analiz edərək onların tərkibini (neft, su, qaz) müəyyən etməyə imkan verə bilər.

Açar sözlər: quyuların səs-küyometriyası, akustik sistemlərinin optiki lif paylanması, qazdoymulu qatlar, tezlik diapazonu