



© Коллектив авторов,
2024



УДК 622.276.5.001.42:550.832.44
<https://doi.org/10.51890/2587-7399-2024-9-3-112-119>

КРИТЕРИИ ЗАКОЛОННОГО ПЕРЕТОКА В ДЕЙСТВУЮЩИХ СКВАЖИНАХ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ШИРОКОПОЛОСНОЙ ШУМОМЕТРИИ

Р.К. Яруллин^{1,*}, А.Р. Яруллин¹, Р.А. Валиуллин¹, М.С. Гаязов¹, Д.Н. Михайлов²

¹ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», РФ, Уфа

²Московский научно-исследовательский центр Шлюмберже, РФ, Москва

Электронный адрес: rkuf@yandex.ru

Цель: разработка и развитие интерпретационных критериев метода спектральной акустической шумометрии.

Методы. Проведены экспериментальные лабораторные исследования спектральных характеристик акустических шумов, генерируемых потоками жидкости и газо-жидкостной смеси в каналах перетока. По результатам лабораторных исследований определены изменения спектральных характеристик акустических шумов, наблюдаемых скважинной аппаратурой в стволе скважины, в зависимости от состава флюида и скоростных характеристик потока в канале перетока. Предложены интерпретационные критерии и направления развития скважинной аппаратуры для обеспечения оперативного контроля текущего состояния скважины.

Результаты. Установлен частотный диапазон акустических шумов, генерируемых потоками различного состав в заколонном пространстве, определены интерпретационные критерии.

Заключение. Показана возможность повышения достоверности заключения по признакам заколонных перетоков путем комплексирования метода спектральной шумометрии с традиционными потокометрическими исследованиями действующих скважин добывающего и нагнетательного фонда.

Ключевые слова: действующая скважина, заколонные перетоки, широкополосная шумометрия, лабораторный эксперимент, интерпретационные критерии

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Яруллин Р.К., Яруллин А.Р., Валиуллин Р.А., Гаязов М.С., Михайлов Д.Н. Критерии заколонного перетока в действующих скважинах по результатам спектрального анализа широкополосной шумометрии. ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. 2024;9(3):112–119. <https://doi.org/10.51890/2587-7399-2024-9-3-112-119>

Статья поступила в редакцию 11.06.2024

Принята к публикации 03.07.2024

Опубликована 30.09.2024

CRITERIA FOR BEHIND THE CASING FLOW IN OPERATING WELLS BASED ON THE RESULTS OF SPECTRAL ANALYSIS OF BROADBAND NOISE METRY

Rashid K. Yarullin^{1,*}, Airat R. Yarullin¹, Rim A. Valiullin¹, Marat S. Gayazov¹, Dmitriy N. Mikhailov²

¹Ufa University of Science and Technology, RF, Ufa

²Schlumberger Moscow Research Center, RF, Moscow

E-mail: rkuf@yandex.ru

Goal. Development and development of interpretive criteria for the method of spectral acoustic noise metry.

Methods. Experimental laboratory studies were carried out on the spectral characteristics of acoustic noise generated by flows of liquid and gas-liquid mixture in overflow channels. Based on the results of laboratory studies, changes in the spectral characteristics of acoustic noise observed by downhole equipment in the wellbore were determined depending on the composition of the fluid and the speed characteristics of the flow in the crossflow channel. Interpretive criteria and directions for the development of downhole equipment are proposed to ensure operational monitoring of the current state of the well.

Results. The frequency range of acoustic noise generated by flows of various compositions in the annular space has been established, and interpretive criteria have been determined.

Conclusion. The possibility of increasing the reliability of the conclusion based on the characteristics of behind-the-casing flows by combining the spectral noise metry method with traditional flow metric studies of existing production and injection wells has been shown.

Keywords: operating well, behind-the-casing flows, broadband noise logging, laboratory experiment, interpretation criteria

Conflict of Interest: the authors declare that there is no conflict of interest.

For citation: Yarullin A.R., Yarullin R.K., Valiullin R.A., Gayazov M.S., Mikhailov D.N. Criteria for behind the casing flow in operating wells based on the results of spectral analysis of broadband noise metry. PRONEFT. Professionally about oil. 2024;9(3):112–119. <https://doi.org/10.51890/2587-7399-2024-9-3-112-119>

Manuscript received 11.06.2024

Accepted 03.07.2024

Published 30.09.2024

ВВЕДЕНИЕ

Контроль технического состояния действующих скважин геофизическими методами включает широкий круг решаемых задач, в числе которых особое место занимает диагностика наличия или отсутствия заколонных перетоков (ЗКЦ) — источников обводнения продукции или прорыва газа из газовой шапки. Заколонные перетоки в скважинах нагнетательного фонда сопровождаются нецелевыми потерями на закачку воды в интервалы, не участвующие в разработке месторождения. Традиционные методы промысловой геофизики в действующих скважинах обеспечивают уверенное выявление интервалов ЗКЦ в благоприятных ситуациях, например в зумпфе скважин. Однозначное выделение заколонных перетоков выше эксплуатируемого пласта, как правило, возможно в благоприятных условиях с применением специальных технологических приемов, например в режиме нестационарных температурных полей или методами искусственного теплого поля [1, 2]. При этом увеличивается время задалживания скважин на проведение исследований, возникает необходимость применения специальной техники или сложной скважинной аппаратуры. Основная сложность решения этой задачи связана с интенсивным потоком внутри эксплуатационной колонны, нивелирующим признаки ЗКЦ в затрубном пространстве.

В связи с этим перед геофизическим сообществом стоит задача разработки технологических приемов и аппаратного комплекса, обеспечивающего оперативность и высокую достоверность выявления интервалов заколонных перетоков. Оптимальная схема проведения работ видится в технологии исследований в режиме стабильной работы скважины, без остановки отбора или закачки. В качестве альтернативы следует рассматривать метод широкополосной акустической шумометрии (АШ), широко используемой на качественном уровне в промысловой геофизике как вспомогательный метод, дополняющий стандартный комплекс методов промысловых исследований. Необходимо отметить, что метод

спектральной шумометрии подвержен влиянию множества факторов, определяющих его информативность и достоверность, что безусловно влияет на результат измерений с возможностью некорректного трактования полевых данных [3, 4].

В предлагаемой к обсуждению работе приведены результаты экспериментального изучения спектральных характеристик акустических шумов, регистрируемых эталонными датчиками на макетах заколонных перетоков с каналами различной конфигурации. Работы выполнены на кафедре геофизики Уфимского университета науки и технологий в ходе выполнения НИР по грантам и инициативным исследованиям.

ИЗУЧЕНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ШУМОВ С ПОМОЩЬЮ ШИРОКОПОЛОСНОЙ ШУМОМЕТРИИ ПОЗВОЛЯЕТ ВЫЯВЛЯТЬ ИНТЕРВАЛЫ ЗАКОЛОННЫХ ПЕРЕТОКОВ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ ДЕЙСТВУЮЩИХ СКВАЖИН.

СХЕМА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Как сказано выше, метод спектральной шумометрии имеет хорошую перспективу внедрения в комплекс геофизических исследований скважин (ГИС). Однако это возможно при условии, что будут определены надежные критерии решения практических задач по результатам АШ на основе анализа значительного объема полевых данных, подтвержденных традиционными методами. Второй путь — проведение физического эксперимента на макетах скважин с применением эталонных и скважинных приборов в контролируемых условиях. В данной работе предлагаются к обсуждению результаты лабораторных исследований по оценке информативности метода широкополосной шумометрии при поиске интервалов заколонного перетока в добывающих и нагнетательных скважинах в каналах различной конфигурации и при различном составе флюида в потоке.

Известно, что канал перетока может формироваться в заколонном пространстве за счет нарушения цемента, отсутствия контакта между цементом и стальной колонной, цементом и горной породой. Не исключается возможность возникновения перетока по каналу, сформированному скоплением песка или продуктов разрушения горной породы на нижней образующей крутонаклонных и горизонтальных скважин в процессе крепления цементом. Следовательно, форма и проницаемость канала перетока будут сильно отличаться, меняться и состав перетекающего флюида, например газ, газ+вода, вода. Безусловно, меняется скорость потока и перепад давления на единицу длины канала.

На рис. 1 приведены макеты каналов перетока, использованные при изучении спектральных характеристик акустических шумов. Макет канала №1 изготовлен из металлической трубки диаметром 15 мм, заполненной галькой — отсевом с размером гранул 2–6 мм. Отдельные зерна скреплены между собой эпоксидной смолой для исключения их подвижности и возникновения «дребезга» в потоке.

Канал №2 изготовлен из медной трубки с внутренним диаметром 8 мм путем формирования периодически повторяющихся сужений за счет пережима. Сужение сформировано в виде щели размером 2×7 мм. Расстояния между сужениями — 100 мм. Исследование спектральных характеристик акустических шумов выполнено по схеме, приведенной на рис. 2. Акустическая камера,

в которую помещен макет канала перетока, обеспечивает эффективную изоляцию от внешних шумов и исключает возникновение резонансных колебаний элементов конструкции за счёт применения резинового покрытия не внешней поверхности макета канала перетока и заполнения внутреннего объема камеры текстильной набивкой. Роль датчика акустических шумов выполняет эталонный гидрофон Zetlab BC311, находящийся в прямом акустическом контакте с внешней поверхностью металлической трубки, моделирующей канал перетока. Эталонный датчик работает в комплексе с предварительным усилителем ZET 440 и регистратором ZETLAB A19-U2 с последующим представлением наблюдаемых шумов в виде спектрального разложения. Коэффициент усиления исходного сигнала подбирается экспериментально, обеспечивая необходимый динамический диапазон для корректной работы цифрового преобразователя без искажения формы сигнала.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛАБОРАТОРНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АКУСТИЧЕСКИХ ШУМОВ

Исследования спектральных характеристик акустических шумов, генерируемых в канале перетока, выполнялись при фильтрации газа, воды и смеси газ+вода, при разном перепаде давления и расхода.

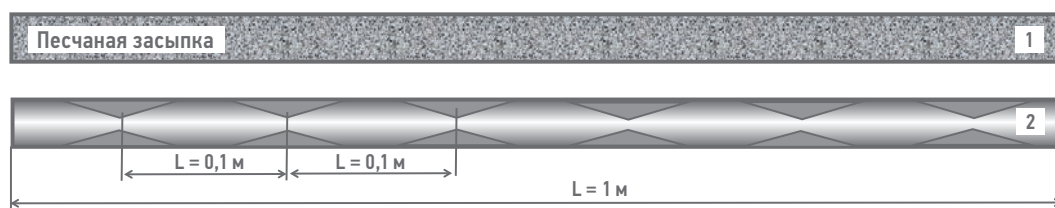


Рис. 1. Схематический разрез макета канала заколонного перетока. 1 — консолидированная однородная гравийная засыпка; 2 — канал с периодическим сужением проходного сечения. Составлено авторами
Fig. 1. Schematic section of the layout of the backwater overflow channel. 1 — consolidated homogeneous gravel filling; 2 — channel with periodic narrowing of the passage section. Prepared by the authors

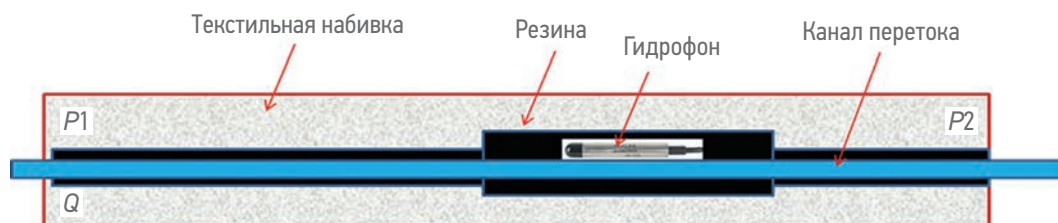


Рис. 2. Схема эксперимента по исследованию спектральных характеристик акустических шумов, генерируемых в каналах перетока. P1, P2 — давление на входе и выходе, Q — расход флюида. Составлено авторами
Fig. 2. The scheme of an experiment to study the spectral characteristics of acoustic noise generated in the overflow channels. P1, P2 — inlet and outlet pressure, Q — fluid flow rate. Prepared by the authors

На рис. 3 приведено спектральное разложение акустического шума, генерируемого газом в консолидированной пористой среде (рис. 1, канал 1), при различных расходах и перепадах давления. Рабочая длина канала перетока $L = 1$ м, давление на выходе равно атмосферному. На графиках приведены значения перепада давления, измеренные на линии подачи. Расход газа приведен к нормальным условиям (НУ).

Полученный результат демонстрирует увеличение интенсивности акустических шумов с увеличением перепада давления в области частот от 0,7 кГц и выше без изменения общей конфигурации спектрограммы. Наблюдается локальная аномалия интенсивности шума на частоте 10 кГц и серия малых аномалий по всему спектру на фиксированных частотах при сохранении общей конфигурации спектрограммы. Распределение интенсивности шума на частотах ниже 0,5 кГц остается неизменным. Аналогичный эксперимент выполнен при фильтрации чистой воды через пористую среду, рис. 4.

В отличие от потока чистого газа, фильтрация воды при увеличении перепада давления и скорости потока, сопровождается значимым изменением спектра за счет расширения верхней границы генерируемых шумов. Фильтрация воды с перепадом давления $\Delta P = 1$ атм. генерирует акустические шумы низкой интенсивности преимущественно в области частот до 1 кГц. Более высокие частоты отсутствуют. Повышение перепада давления ΔP до 3 и 5 атм. сопровождается увеличением общей интенсивности и распространением шума в область высоких частот. При увеличении перепада давления до $\Delta P = 5$ атм. на спектрограмме формируется локальные аномалии на частотах до 10,0 кГц. Акустические шумы на частотах выше 10,0 кГц отсутствуют.

Оценочная физическая скорость потока воды в межзерновом пространстве, с учетом коэффициента пористости засыпки, для перепада давления $\Delta P = 1$ атм., расходе $Q = 0,047$ м³/ч., составила $V \approx 0,2$ м/с. При перепаде давления $\Delta P = 5$ атм., расходе $Q = 0,122$ м³/ч., соответственно $V \approx 0,5$ м/с. Полученный результат согласуется с известной зависимостью об увеличении частоты и амплитуды генерируемых вихревых колебаний в жидкости при наличии препятствия на пути потока, $f = St (v/d)$, где f частота образования вихрей Кармана, St — число Струхала, v — скорость потока среды, d — характерный размер. Учитывая, что форма порового пространства и размеры препятствий распределены по длине фильтрационного протока случайным образом, частота и интенсивность вихрей

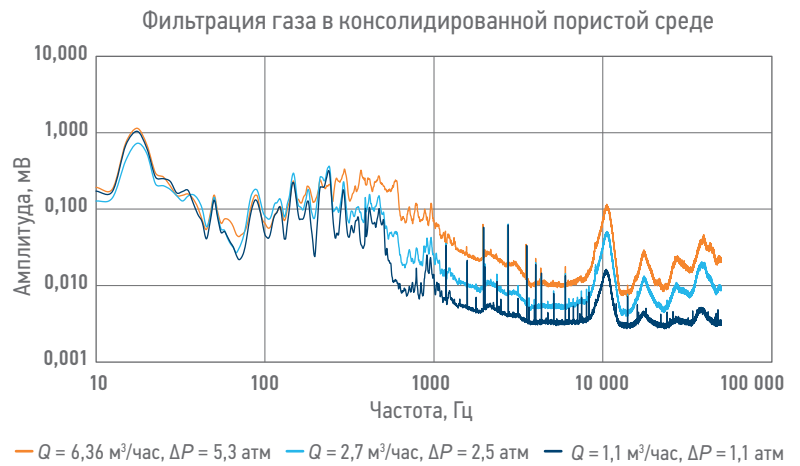


Рис. 3. Спектральное разложение акустического шума, генерируемого потоком газа в консолидированной пористой среде (гравийной засыпке). Единицы измерения на графиках: расход Q — м³/час, перепад давления ΔP — атм на рабочей длине трубки $L = 1,0$ м. Составлено авторами

Fig. 3. Spectral decomposition of acoustic noise generated by a gas flow in a consolidated porous environment (gravel filling). The units of measurement on the graphs are: flow rate Q — м³/hour, pressure drop ΔP — атм at the working length of the tube $L = 1.0$ m. Prepared by the authors

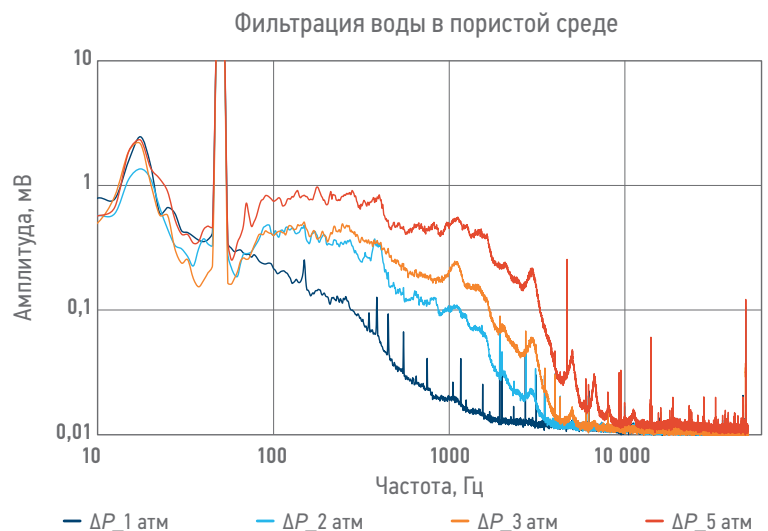
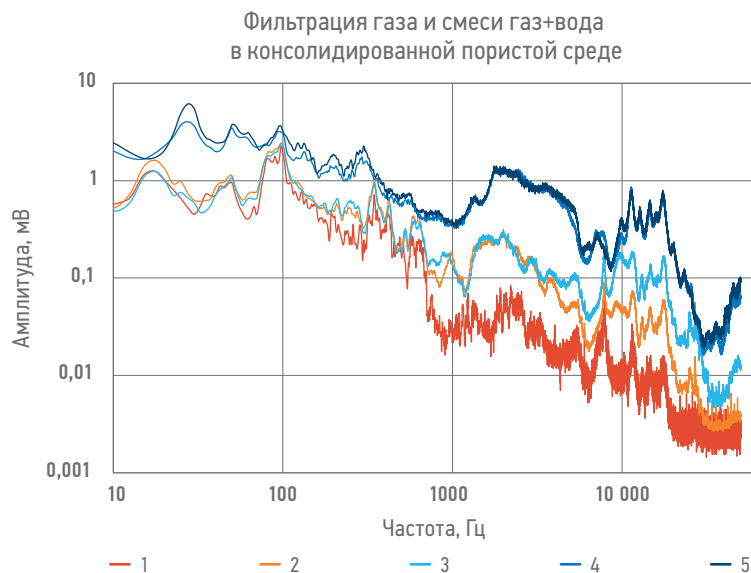


Рис. 4. Спектральное разложение акустического шума, генерируемого потоком воды в пористой среде, в зависимости от перепада давления. Составлено авторами

Fig. 4. Spectral decomposition of acoustic noise generated by the flow of water in a porous environment, depending on the pressure drop. Prepared by the authors

также случайны. Соответственно, генерируемый спектр шумов имеет широкий диапазон по частоте с постепенным увеличением верхней частоты по мере увеличения скорости потока. Локальные аномалии интенсивности шума для водного потока в диапазоне част 1,0–10,0 кГц и, и в области выше 10,0 кГц для газа следует рассматривать как специфику конструкции макета канала перетока. В реальных геологических условиях, учитывая наличие жидкостей (нефть, вода) в поровом пространстве коллектора, вероятность перетока чистого газа по заколонному пространству пренебрежимо мала. В связи

с этим интерес представляет шум, генерируемый двухфазным потоком. На **рис. 5** приведено спектральное разложение акустических шумов, генерируемых в канале перетока с пористой средой чистым газом и смесью газ+вода при различных соотношениях. Доли газа и воды для каждого из замеров приведены ниже в таблице.



№ кривой	1	2	3	4	5
$Q_{\text{г}}$ (м ³ /ч)	0,50	0,90	1,29	0,24	0,24
$Q_{\text{в}}$ (м ³ /ч)	0,00	0,00	0,00	0,07	0,08

Рис. 5. Пористая среда, фильтрация газа и смеси газ+вода, шифр кривых со значениями расхода флюидов указан в таблице. Составлено авторами
Fig. 5. Porous environment, filtration of gas and gas+water mixtures, the cipher of curves with fluid flow values is indicated in the table. Prepared by the authors

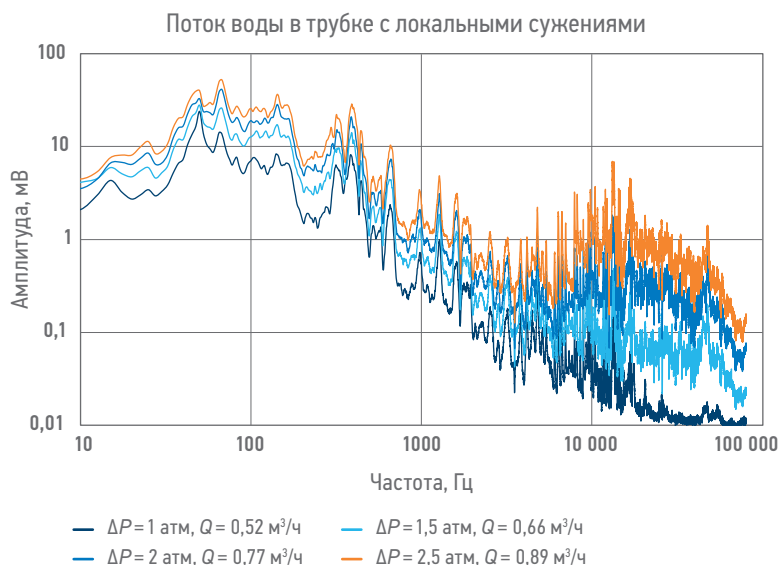


Рис. 6. Непрерывная спектрограмма шума в медной трубке с локальными сужениями при фильтрации воды. Составлено авторами
Fig. 6. Continuous noise spectrogram in a copper tube with local constrictions during water filtration. Prepared by the authors

В ходе эксперимента установлено, что наличие воды в поровом пространстве резко снижает расход газа при фиксированном давлении на подающем газовом патрубке до канала перетока, причем процесс фильтрации смеси «газ+вода» идет неравномерно. Это явление обусловлено «закупоркой» порового пространства водой из-за капиллярных явлений. Повышение перепада давления с преодолением капиллярных сил, приводит к прорыву газа с падением давления на входе и возникновением пульсаций как по расходу, так и по интенсивности шума. Датчик давления, установленный на смесителе перед пористой средой, фиксирует периодическое увеличение и спад давления, сопровождающееся прорывом и резким выбросом газо-водяной смеси на выходе. Наблюдаемое распределение интенсивности шумов по частоте в условиях двухфазного потока носит случайный характер без выраженных максимумов, в связи с этим приведенные спектрограммы построены путем усреднения серии таких пульсаций.

Проведенные замеры показали, что в условиях двухфазного потока в пористой среде наблюдается резкое увеличение интенсивности акустических шумов во всем диапазоне частот, без формирования характерных аномалий, по которым можно было бы судить о составе флюида в канале перетока. Соответственно, интенсивность наблюдаемого акустического шума, интегральная или в выбранном частотном окне, не несет информации о составе и расходных параметрах потока.

Вторая серия экспериментов выполнена на макете канала перетока с локальными сужениями, выполненном из медной трубки (**рис. 1**, канал 2). Данная конфигурация характерна для канала перетока в условиях отсутствия контакта цемента со стальной колонной. Как правило, такие каналы имеют относительно гладкую внутреннюю поверхность с локальными сужениями, смоделированными в макете. На **рис. 6** приведены спектрограммы, генерируемые потоком чистой воды и регистрируемые эталонным гидрофоном на внешней поверхности в месте сужения.

Как и следовало ожидать, увеличение перепада давления и скорости потока в месте сужения сопровождается безусловным увеличением интенсивности шума в области высоких частот, при этом, интенсивность шума в диапазоне частот ниже 5 кГц, меняется незначительно. Основной прирост акустических шумов наблюдается при увеличении перепада давления $\Delta P > 1,5$ атм/м в диапазоне частот 10–20 кГц, **рис. 7**. Наблюдаемая

зависимость может быть использована при разработке новых конструкций скважинной аппаратуры, обеспечивающих оперативный контроль процесса скважинных исследований при поиске интервалов заколонных перетоков, путем прямого наблюдения интенсивности шума в указанном частотном окне в процессе проведения замера. Как правило, современные скважинные приборы, реализующие метод спектральной шумометрии, выполняются по автономной схеме с сохранением данных в энергонезависимой памяти. Считывание и анализ данных АШ проводится после завершения работ на скважине, что резко увеличивает время необходимое для принятия решения о состоянии скважины. «Слепая» схема проведения замеров методом АШ исключает возможность оперативного вмешательства в технологию проведения исследований, что, безусловно, снижает информативность и ценность результатов промыслово-геофизических исследований скважин (ПГИ).

Применение выделенного частотного окна 10–20 кГц (рис. 7), передаваемого на устье в ходе проведения замеров при сохранении полного набора данных в автономном накопителе во всем диапазоне частот, обеспечит возможность корректировки технологии исследований методом АШ. Например, путем увеличения плотности точек по глубине или путем проведения дополнительных замеров со сменой режима работы скважины. На рис. 8 приведена графическая зависимость интенсивности акустических шумов в частотных окнах 10–20 и 20–30 кГц, в зависимости от перепада давления ΔP и скорости потока $N = f(V \times \Delta P)$. Технологический прием, использующий данный критерий, реализуется путем поэтапного снижения забойного давления в добывающих скважинах, либо путем увеличения давления для нагнетательных скважин с проведением замеров методом АШ. Повышение интенсивности шума с увеличением перепада давления на канале перетока в указанных частотных окнах служит признаком заколонного перетока.

Приведенные в работе примеры и функциональные зависимости спектральных характеристик АШ (рис. 8) не претендуют на количественную оценку расхода в канале перетока и требуют подтверждения и уточнения с учетом конструкции скважинной аппаратуры, геолого-промысловых условий на месторождении, путем планирования и проведения опытных работ на скважинах.

Известно, что одна из причин возникновения высокочастотных шумов в действующих скважинах связана с наличием механических

примесей в потоке [5], однако границы акустических аномалий, генерируемых при столкновении песчинок с датчиком скважинного прибора, не коррелируют с литологией и не зависят от перепада давления в канале перетока.

Указанные особенности акустических шумов в действующих скважинах, добывающего и нагнетательного фонда, с выраженной зависимостью интенсивности высокочастотной составляющей от перепада давления в каналах заколонных перетоков, можно

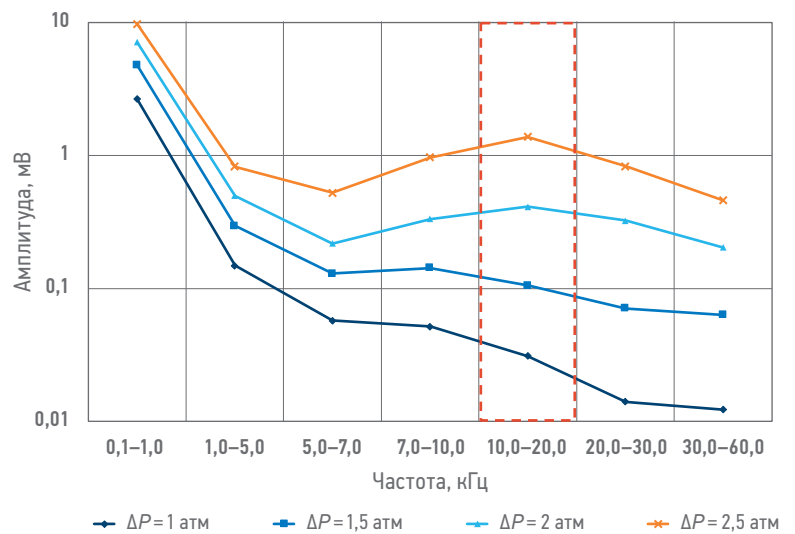


Рис. 7. Усредненная интенсивность акустических шумов в частотных окнах при фильтрации воды в медной трубке с локальными сужениями. Составлено авторами

Fig. 7. The average intensity of acoustic noise in frequency windows during water filtration in a copper tube with local constrictions. Prepared by the authors

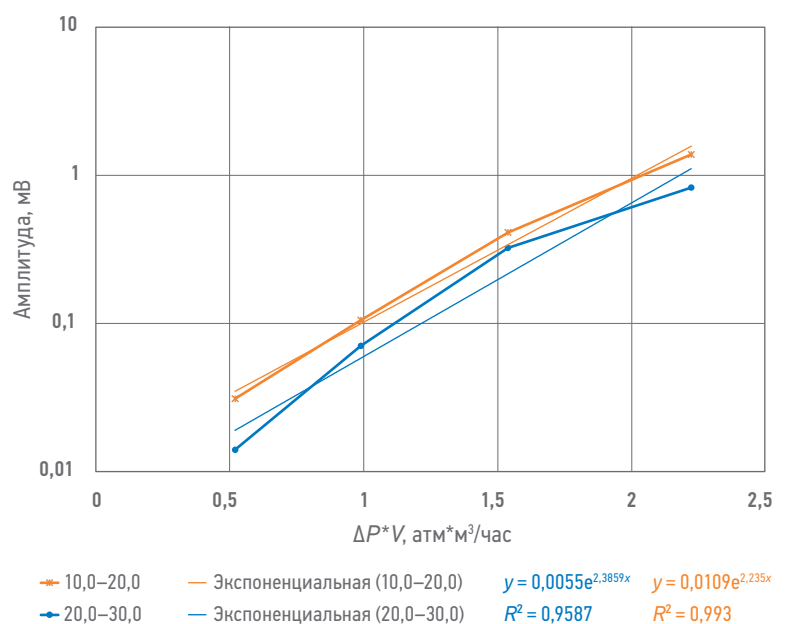


Рис. 8. Функциональная зависимость интенсивности звука в частотных окнах от перепада давления и скорости потока. Составлено авторами

Fig. 8. Functional dependence of sound intensity in frequency windows on pressure drop and flow velocity. Prepared by the authors

рассматривать как интерпретационные критерии при проведении исследований с целью оценки технического состояния при скважинной зоны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам лабораторных экспериментов, выполненных на макетах каналов перетока, установлено, что течение флюида в пористой среде генерирует высокочастотную составляющую акустических шумов. Распределение интенсивности шума по частотам зависит от конфигурации канала, перепада давления и состава флюида.

В условиях газо-жидкостного потока интенсивность акустических шумов имеет пульсирующий характер.

Показано, что интервальное увеличение интенсивности шума в область высоких частот при увеличении перепада давления в канале перетока путем изменения режима работы скважины может служить критерием наличия заколонного перетока при проведении промыслово-геофизических исследований. Определены частотные окна в спектре акустических шумов, рекомендуемые для передачи на поверхность в режиме реального времени и обеспечивающие оперативный контроль процесса проведения скважинных исследований.

Список литературы

1. Рамазанов А. Ш. Аналитические модели в скважинной термометрии. Учебное пособие. — Москва: ИНФРА-М, 2023. — 172 с. DOI 10.12737/1568658. — ISBN 978-5-16-017043-5.
2. Рамазанов А.Ш., Давлетшин Ф.Ф., Акчури Р.З., Исламов Д.Ф. Исследование температурных полей при локальном индукционном нагреве обсадной колонны в скважине // Нефтегазовое дело. — 2024. — Т. 22. — № 16. — С. 6–14. <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2024-1-6-14>
3. Яруллин А.Р., Яруллин Р.К., Валиуллин Р.А., Михайлов Д.Н., Шако В.В. Экспериментальное исследование природы искажения спектральных характеристик акустических шумов на макете скважины со стальной эксплуатационной колонной // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. — Уфа (УГНТУ). — 2020. — Вып. № 4 (126). — с. 9–18.
4. Yarullin R.K., Valiullin R.A., Yarullin A.R., Shako V.V., Bikkulov M.M. Informative value and interpretation reliability of wide frequency range acoustic noise technique in operating horizontal wells/ SPE 206619 Society of Petroleum Engineers — SPE Russian Petroleum Technology Conference 2021, RPTC 2021.
5. Яруллин А.Р., Яруллин Р.К., Гаязов М.С. и др. О возможности применения метода спектральной акустической шумометрии при выделении интервалов поступления песка в газовых скважинах // Нефтепромысловое дело. — 2024. — № 5 (665). — С. 44–51.

References

1. Ramazanov A.Sh. *Analytical models in borehole thermometry*. Textbook. Moscow: INFRA-M, 2023. — 172 p. DOI 10.12737/1568658. — ISBN 978-5-16-017043-5.
2. Ramazanov A.Sh., Davletshin F.F., Akchurin R.Z., Islamov D.F. Study of temperature fields during local induction heating of the casing in a well // *Oil and Gas Business*. 2024, vol. 22, no. 16, pp. 6–14. <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2024-1-6-14>
3. Yarullin A.R., Yarullin R.K., Valiullin R.A., Mikhailov D.N., Shako V.V. Experimental study of the nature of distortion of the spectral characteristics of acoustic noise on a well model with a steel production casing // *NTZh Problems of collection, preparation and transportation of oil and petroleum products*. Ufa, USNTU, 2020, vol. 4, no. 126, pp. 9–18.
4. Yarullin R.K., Valiullin R.A., Yarullin A.R., Shako V.V., Bikkulov M.M. Informative value and interpretation reliability of wide frequency range acoustic noise technique in operating horizontal wells // *SPE 206619 Society of Petroleum Engineers* — SPE Russian Petroleum Technology Conference 2021, RPTC 2021.
5. Yarullin A.R., Yarullin R.K., Gayazov M.S. et al. On the possibility of using the method of spectral acoustic noise metry in identifying intervals of sand supply in gas wells // *Oilfield business*. 2024, no. 5(665). Pp. 44–51.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

А.Р. Яруллин — разработка концепции и проведение экспериментальных исследований, первичная обработка данных, участие в написании текста статьи.

Р.К. Яруллин — обсуждение и анализ исходных данных, подготовка графического материала и написание текста статьи.

Р.А. Валиуллин — общее научное руководство исследованиями, обсуждение результатов.

М.С. Гаязов — постановка и проведение экспериментальных исследований.

Д.Н. Михайлов — разработка концепции лабораторных исследований, обсуждение и анализ результатов.

Ayrat R. Yarullin — concept development and experimental research, primary data processing, participation in writing the text of the article.

Rashid K. Yarullin — discussion and analysis of source data, preparation of graphic material and writing the text of the article.

Rim A. Valiullin — general scientific supervision of research, discussion of results.

Marat S. Gayazov — setting up and conducting experimental studies.

Dmitry N. Mikhailov — development of the concept of laboratory research, discussion and analysis of the results.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Рашид Камилевич Яруллин* — кандидат физико-математических наук, доцент, директор ИЦ «Технопарк», ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
450076, г. Уфа, Республика Башкортостан,
ул. Заки Валиди, д. 32.
e-mail: rkuf@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7949-3503>

Айрат Рашидович Яруллин — кандидат технических наук, доцент кафедры геофизики, ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»

Рим Абдуллович Валиуллин — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой геофизики, ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»

Марат Сальманович Гаязов — заведующий лабораторией ИЦ «Технопарк», ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»

Дмитрий Николаевич Михайлов — старший научный сотрудник, Московский научно-исследовательский центр Шлюмберге

Rashid K. Yarullin* — Cand. Sci. (Phys. and Math.), Associate Professor, Director of IC «Technopark», Ufa University of Science and Technology
32, Zaki Validi str., 450076, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia.
e-mail: rkuf@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7949-3503>

Airat R. Yarullin — Cand. Sci. (Techn.), Associate Professor of geophysics, Ufa University of Science and Technology

Rim A. Valiullin — Dr. Sci. (Techn.), Professor, Head of the department of geophysics, Ufa University of Science and Technology

Marat S. Gayazov — Head of the laboratory of IC «Technopark», Ufa University of Science and Technology

Dmitry N. Mikhailov — Senior research fellow, Schlumberger Moscow Research Center

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author