

Министерство образования и науки Российской Федерации
МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра геофизики

**«Применение акустических методов контроля технического состояния
скважин для оценки герметичности и выявления заколонных перетоков
на примере скважин Повховского месторождения»**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 5 курса 531 группы
направления подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело»
геологического факультета
Яблокова Виктора Станиславовича

Научный

руководитель

К. г.-м.н., доцент

Е.Н. Волкова

подпись, дата

Зав. кафедрой

К. г.- м.н., доцент

Е.Н. Волкова

подпись, дата

Саратов 2026

Введение. Сокращение объёмов разведочного бурения, рост доли фонда, введённого в эксплуатацию более 15–20 лет назад, а также ужесточение экологических и промышленных требований обуславливают необходимость смещения внимания с создания нового фонда на эффективное управление существующим. В связи с этим геофизический контроль за техническим состоянием скважин становится ключевым инструментом снижения темпов падения добычи, предотвращения аварийных ситуаций и оптимизации затрат на ремонтно-изоляционные работы. Наибольший объём промыслово-геофизических исследований традиционно выполняется для диагностики пластов, тогда как задачи контроля герметичности обсадных колонн и качества цементирования часто решаются фрагментарно, без учёта динамики флюидопотоков и термомеханических нагрузок в процессе разработки. Для Повховского месторождения, характеризующегося длительным сроком эксплуатации, активным проведением мероприятий по интенсификации притока (ГРП, кислотные обработки) и неблагоприятными природно-климатическими условиями (сезонное промерзание грунтов, термические деформации устьевых зон, прерывистая многолетняя мерзлота), проблема сохранения целостности цементного кольца и обсадных конструкций стоит особенно остро.

Акустический контроль цементирования и шумометрия были исследованы как взаимодополняющие методы, позволяющие не только оценить качество сцепления цементного камня с колонной и пластом, но и зафиксировать направление, интенсивность и источники заколонных флюидопотоков в динамике.

Цель работы – изучение применения методов акустического контроля цементирования и шумометрии на примере скважин Повховского месторождения для определения мест нарушения герметичности обсадной колонны скважин, а также для выявления межпластовых заколонных перетоков.

Для достижения поставленной цели необходимо было выполнить следующие задачи:

- рассмотреть геолого-геофизические условия района исследований;
- ознакомиться с методикой исследования скважин акустическими методами;
- проанализировать результаты проведенных исследований на скважинах Повховского месторождения.

Основное содержание работы. Первый раздел 1 Геолого-геофизическая характеристика района исследований. Повховское месторождение относится к Западно-Сибирской нефтегазонасосной провинции. Оно расположено на центральной части Западно-Сибирской плиты в Ханты-Мансийском автономном округе Тюменской области. Повховское месторождение расположено в центральной части геокриологического района, в области повсеместного развития мощного надмерзлотного талика. Нефтедержащими являются терригенные отложения мелового и юрского возраста.

Повховское месторождение открыто в 1972 году, введено в разработку в 1978 году. Основным объектом разработки Повховского месторождения является продуктивный горизонт БВ₈, содержащий основные запасы нефти. Более мелкие по запасам залежи пластов ЮВ₁¹ и Ачимовской толщи. Геологический разрез Повховского месторождения сложен мощной (более 3000 м) толщей осадочных терригенных пород мезо – кайнозойской и четверичной групп, подстилаемых метаморфическими и изверженными породами палеозойского возраста. В тектоническом отношении Повховское месторождение расположено на границе Сургутского и Нижневартовского сводов и приурочено к району сложного строения, включающего крупные положительные структуры второго порядка: Больше – Котухтинское и Айкаеганское куполовидные поднятия с зонами перехода между ними.

По доле нефтесодержания в поровом пространстве коллекторов месторождения приоритетное значение имеют пласты БВ8 и ЮВ1. Подчиненную роль играют залежи пластов БВ7, БВ9-10.

Продуктивные отложения толщи БВ8-10 можно рассматривать как единую гидродинамическую систему с единым водонефтяным контактом. Но конкретно по отдельным участкам и зонам выделяются экраны, расслоение пластов, замещение их глинистыми отложениями, затрудняющими вертикальную флюидопроводимость.

Залежь пласта БВ8 является пластовой литологически экранированной, ограничивается с запада, юга и востока зонами замещения коллекторов. Водяной контакт, отбивается только в северной и северо-восточных частях месторождения. Испытанием скважин ВНК нигде не подсечен. Среднестатистические отметки ВНК по ГИС: на севере – 2666 м, в районе скважины 96 – на отметке 2661, в восточной части залежи ВНК принят на отметке 2658 м.

Раздел 2 Методика акустического контроля цементирования и шумометрии. Основным критерием оценки технического состояния обсаженной скважины является качество изоляции заколонного пространства и герметичность обсадной колонны на момент проведения геофизических исследований. Некачественная изоляция заколонного пространства связана в основном с наличием в цементном кольце участков малопрочного цемента камня с повышенной водопроницаемостью и различных структурных дефектов, нарушающих его сплошность: пустот, вертикальных каналов, трещин и микрозазоров на границе цементного кольца с колонной и породой. По своему происхождению дефекты цементного кольца можно разделить на первичные, т.е. образующиеся до начала эксплуатации продуктивных интервалов, и вторичные, которые возникают в процессе длительной эксплуатации скважины.

Основными условиями движения жидкости по дефекту цементного кольца являются наличие на его противоположных концах активных

резервуаров (отдающего и принимающего пластов) с перепадом давления между ними и достаточная проницаемость самого дефекта для движущейся по нему жидкости.

Некачественная изоляция продуктивных и водоносных интервалов может приводить к прорыву пластовых вод и значительному обводнению продукции, что может внести серьезные осложнения в оценку объема запасов месторождения и его последующую эксплуатацию. В случае некачественной изоляции непродуктивных водоносных, особенно высоконапорных интервалов, может возникнуть вероятность прорыва пластовых высокоминерализованных вод в пласты пресноводного комплекса с последующими водопроявлениями на дневной поверхности. Задача контроля технического состояния обсаженных скважин методами ГИС заключается в обеспечении точного обнаружения и идентификации дефектов с последующей оценкой их влияния на изоляцию заколонного пространства.

Акустические методы исследования скважин основаны на регистрации упругих волн, распространяющихся в многофазной среде, включающей буровой раствор, обсадную колонну, цементный камень и вмещающие породы. В такой системе одновременно могут существовать волны различных типов: продольные (P), поперечные (S) и поверхностные (Стоунли, Лэмба). Каждая волна обладает определенной информативностью, поэтому для решения обратных (геологических) задач, волну предварительно необходимо идентифицировать. Для контроля качества цементирования практическое значение имеют:

- продольная волна по колонне – распространяется в металле трубы с постоянной скоростью (~5200–5600 м/с);
- продольная и поперечная волны по породе – характеризуют упругие свойства формации;
- волна Стоунли – поверхностная волна, распространяющаяся вдоль границы «жидкость–твёрдое тело» и чувствительная к качеству акустической связи между колонной и цементом.

В цементированной скважине амплитуда и затухание волн определяются качеством акустической связи в системе «колонна–цемент–порода». При наличии микрозоров, каналов или участков недостаточного заполнения цементом происходит частичное отражение волн и изменение их амплитудно-частотных характеристик. Коэффициент затухания пропорционален квадрату частоты на низких частотах и зависит от вязкости флюида в порах, степени сцепления цементного камня с колонной и проницаемости породы.

Метод АКЦ основан на регистрации параметров упругих волн, возбуждаемых импульсным источником и регистрируемых приёмниками, расположенными на определённом расстоянии от излучателя.

Метод акустической шумометрии основан на регистрации и анализе шумов, возникающих при движении флюидов в скважине, пласте или заколонном пространстве.

Акустический контроль цементирования и шумометрия являются взаимодополняющими методами. АКЦ позволяет оценить статическое состояние цементного кольца (наличие, качество сцепления, однородность), в то время как шумометрия фиксирует динамические процессы (перетоки, негерметичности) в условиях эксплуатации скважины.

Комплексная интерпретация данных обоих методов повышает достоверность выявления:

- интервалов нарушения герметичности обсадной колонны;
- заколонных перетоков между пластами;
- зон некачественного цементирования, создающих условия для межпластовых коммуникаций.

Выявление затрубных перетоков методом акустической шумометрии базируется на создании контролируемого перепада давления между внутренней полостью обсадной колонны и заколонным пространством. При наличии дефектов цементного кольца перепад давления инициирует вертикальную фильтрацию флюида, сопровождающуюся радиальными

градиентами давления и упругопластическими деформациями системы «колонна–цемент–порода». Ввиду значительно меньшей прочности цементного камня по сравнению с металлом трубы, деформации цементного кольца на порядок превышают деформации обсадной колонны. Акустический цементомер высокочувствителен к изменению кольцевого зазора: его увеличение сопровождается ростом амплитуды продольной волны по колонне (A_k), уменьшение – снижением A_k . В интервалах, гидродинамически не связанных с затрубом, повышение давления вызывает лишь упругое расширение трубы, что приводит к сужению зазора и снижению A_k .

При определении интервалов негерметичности **акустическим шумомером** прибор опускается в исследуемый интервал скважины, устье закрывается сальником и производится замер по стволу при давлении порядка $50-80 \text{ кгс/см}^2$. В случае большой приемистости замер может быть произведен при давлении $20-30 \text{ кгс/см}^2$.

Локальное увеличение шумового сигнала в 15-20 раз относительно фонового достоверно указывает на нарушение колонны, при этом контрольного замера без давления не требуется.

В случае меньших аномалий (в 3-10 раз больше фона) необходим контрольный замер в соответствующем интервале без давления. При этом, если сигнал при давлении более, чем в 3 раза превышает сигнал без давления, имеется негерметичность колонны или поток жидкости в заколонном пространстве. Меньшее превышение может быть связано с шумами движения и шероховатостью колонны.

При определении герметичности изоляционного моста необходимо провести запись графика сигнала прибором, остановленным над мостом, в процессе повышения давления в скважине.

При получении слабых аномалий и аномалий на муфтовых соединениях производится проверка путем записи графика сигнала

непосредственно в интервале муфты в процессе повышения давления в скважине (для исключения влияния от шумов движения).

Раздел 3 Аппаратура. Комплексная термощумоакустическая аппаратура ЗАС–ТШ предназначена для контроля качества цементирования обсадных колонн, выделения фильтрующих интервалов заколонного сообщения, оценки воздействия перфорации на цементное кольцо, контроля гидросвабирования, оценки характера насыщенности малопродуктивных пластов и определения возможности заколонного сообщения.

Среди конструктивных особенностей отметим, что центраторы рычажного типа обеспечивают центрирование прибора в скважине; компактные размеры (диаметр 42 мм) позволяют доставлять прибор через колонну НКТ диаметром 63,5 мм (2,5 дюйма); работа на одножильном кабеле длиной до 6000 м упрощает технологию исследования.

Аппаратура ЗАС-ТШ-42 успешно применяется при контроле качества цементирования в процессе строительства скважин; при диагностике технического состояния эксплуатационных скважин; для выявления заколонных перетоков и интервалов негерметичности; в комплексе с другими геофизическими методами (ЭМДС, АКЦ, гамма-каротаж) для повышения информативности исследований.

Раздел 4 Результаты исследований. Скважина № 1338 куст № 55 площадь Повховская. При обработке ФКД выяснилось полное отсутствие сцепления цементного камня с эксплуатационной колонной во всем интервале детальных исследований по времени прихода волны (красная кривая на ФКД), которое соответствует свободной (“звонящей”) колонне. На ФКД четко отмечаются муфты колонны, а кривые Ак на планшете имеют максимальную амплитуду и уменьшаются только на муфтах. Сделан вывод о наличии перетоков в интервалах 2735,0 – 2758,0м и 2773,2 – 2783,0м.

Скважина № 3171 куст № 2 площадь Повховская. По результатам обработки ФКД выяснилось падение качества цементной заливки в

интервале 2919,5 – 2936,9м. Причем на режиме компрессирования (репрессии) и притока (депрессии) качество сцепления цементного камня с колонной ухудшается, это видно по возрастанию амплитуды кривой Ак (амплитуда волны по колонне). Из диаграммы видно, что в данном случае присутствуют все виды заколонного движения жидкости. Пики на кривых точечного шумомера указывают на изменение скорости потока, связанное наличием сужений на глинистых пропластках и в интервалах наличия (отсутствия) цементного камня и его характера сцепления с колонной и породой. По результатам обработки выявлен внутрислоистый переток в интервале 2922,0 – 2937,0м.

Скважина № 2189 куст № 69 площадь Повховская. По данным АКЦ наблюдается ухудшение сцепления цементного камня с колонной на притоке на депрессии в интервале 2894 – 2909м. При записи непрерывной шумометрии на средних и высоких частотах СЧ2 и ВЧ на притоке отмечается возрастание амплитуды шумов выше перфорации на глубине 2893 – 2909м, что свидетельствует о движении жидкости за колонной. Максимальные амплитуды связаны с наличием препятствий на пути движения в виде разбухших глинистых пропластков и связанных с ними сужений, неоднородности и наличия цементного камня за колонной.

Точечная шумометрия так же показывает на наличие движения за колонной жидкости выше интервала перфорации, причем граница ЗКЦ отбивается по средним и высоким частотам СЧ2 и ВЧ. Высокая амплитуда по НЧ И СЧ1 выше перетока говорит о сильном движении жидкости в колонне (идет приток из пласта), т.к. скважина высокодебитная. На основании этих данных можно сделать заключение о наличии заколонного перетока вверх в интервале 2893,0 – 2909,0м.

Скважина №1857 площадь Повховская. Воронка НКТ на глубине 1515,0 м, текущий забой на глубине 2923, 0 м, интервалы негерметичности и затрубной циркуляции не выявлены. Об интервале затрубной циркуляции флюидов здесь можно судить только по косвенным признакам, а именно

аномальные значения ГК на глинистых породах, 95 % суммарного потока приходится на верхний интервал перфорации. Работающие интервалы 2880,0 – 2885,0 м (95%), 2898,8 – 2900,6 (5%). Общий расход 15,3 м³/сут.

При интерпретации результатов обработки АКЦ получены данные, что в интервале исследований 2790,0 – 2925,0 м выявлен интервал заколонной фильтрации жидкости 2855,0 – 2880,0 м. О том, что это заколонная фильтрация, а не заколонный переток говорит тот факт, что выделить её удалось только по средним и высоким частотам по точкам на притоке.

Заключение. Герметичность данной скважины в основном понижена по всем режимам (фон, компрессирование, приток), в некоторых местах очень низкая (значения A_k принимают максимальные значения). Контакт колонна – цемент в основном сплошной на отдельных участках частичный или отсутствует вообще.

Таким образом, сделаны выводы об эффективности применения комплекса акустического контроля цементирования и шумометрии наряду со стандартным комплексом методов по исследованию скважин при решении задачи выявления заколонной циркуляции флюидов.