



УДК 622.276+622.279+550.34

## СЕЙСМИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ В ОЦЕНКЕ УГЛЕВОДОРОДНОГО ПОТЕНЦИАЛА ДЛИТЕЛЬНО РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

**К. В. Антонов**

**Д. Д. Жумабаев**

**А. П. Грабовская**

*Кандидат технических наук, доцент,  
e-mail: antonov-k-v@mail.ru,*

*студент,*

*e-mail: dulat\_zxz@mail.ru,*

*студентка,*

*e-mail: grabovs-43@mail.ru,*

*Башкирский государственный университет,  
г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия*

## SEISMIC SOUNDING IN THE ASSESSMENT OF THE HYDROCARBON POTENTIAL OF LONG-TERM DEVELOPED FIELDS

**K. V. Antonov**

**D. D. Zhumabaev**

**A. P. Grabovskaya**

*Candidate of Technical Sciences, docent,  
e-mail: antonov-k-v@mail.ru,*

*student,*

*e-mail: dulat\_zxz@mail.ru,*

*student,*

*e-mail: grabovs-43@mail.ru,*

*Bashkir State University,  
Ufa, The Republic of Bashkortostan, Russia*

---

**Abstract.** Based on mathematical calculations of the dynamic interaction of the pore fluid and the elastic medium (filtration displacements at the wave front, deformations of the fluid-saturated porous medium), laboratory studies and field tests, the possibility of identifying and evaluating oil-saturated areas in the section of the deposit, whose oils were not involved or not extracted during the development of the field for various reasons, is justified.

**Keywords:** well; reservoir; oil; water; fluid; core; porous medium; seismic sounding.

---

В мировой сфере нефтедобычи, как в любой горнодобывающей отрасли, существует проблема повышения полноты извлечения полезного ископаемого из недр. Особенно остро эта проблема стоит у нефтяников, так как даже при использовании прогрессивных методов разработки, совершенной технике и технологии известная ее часть остается в пласте. И даже в активно разрабатываемых месторождениях в нерабочем состоянии находятся эксплуатационные (добывающие) нефтяные скважины и участки залежей по разным причинам не вовлеченные или только

частично вовлеченные в разработку которые могут быть возвращены в разряд действующих.

Известные на рынке решения удовлетворяют лишь в некоторой степени данные потребности, однако возможен поиск путей совершенствования информативности геофизических методов доизучения залежей и оценки остаточных запасов, и за счет этого интенсификации добычи нефти. Особенно данная постановка вопроса имеет прямое отношение к проблеме участков, на которых осуществляется восстановление длительно неработавших



законсервированных, аварийных и бездействующих по разным технико-технологическим причинам скважин, детальное зондирование и оценка участка расположения которых позволит вновь вовлечь их в разработку, получив дополнительную добычу и повысить показатель извлечения нефти из недр.

Предлагается метод сейсмического зондирования нефтенасыщенности недр, как возможный подход к действенному решению определенных проблем вовлечения в разработку зон по разным причинам не вовлеченных в разработку.

На основе проведенных исследований процессов гидродинамики вязкой жидкости в поровом пространстве, при динамическом (волновом) воздействии на насыщенную жидкостью пористую среду была установлена зависимость скорости распространения волны от величины ее ам-

плитуды, соответствующая данному флюиду насыщения (рис. 1).

На рисунке 1 показана схема элементарного объема упругой пористой среды (в разрезе) при его волновом возмущении, в котором поровые границы совершают волновые колебания, образуя соответственно области сжатия и разрежения. Жидкая фаза заполняет поровое пространство и имеет возможность перетекать в динамике волны из области ее сжатия в области разрежения. Эти перетоки будут вносить вклад в общую деформацию всего объема, а значит в сжимаемость среды и соответственно в скорость распространения волны для данного заполняющего поры флюида.

Очевидно, что при отсутствии пор в данном объеме или при отсутствии флюида в порах или его малой вязкости (например, газ) описанный эффект не будет иметь место.

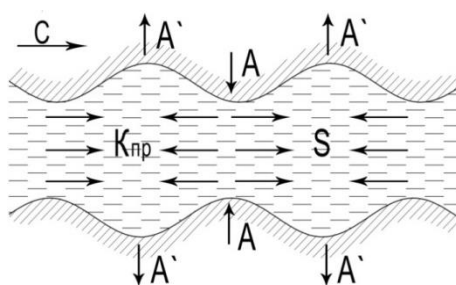


Рис. 1. Микроструктурная схема динамики упругой пористой среды, насыщенной жидкостью:

$A$  – амплитуда волны;  $S$  – фильтрационные смещения жидкой фазы из области сжатия волны в область разрежения;  $K_{пр}$  – проницаемость порового канала для данного флюида;  $C$  – скорость распространения упругой волны, как функция сжимаемости среды (изменение порового объема, обусловленное фильтрационными перетоками жидкости).

Таким образом, изменяя волновую нагрузку, величину волновых возмущений (амплитуду волны) получаем процесс инициирования фильтрационных перетоков на фронте волны, что определяет изменение сжимаемости среды, а значит изменения скорости распространения вол-

ны, свойственную данному флюиду [1, 3]. Такой вывод взят за основу разработки процесса волнового зондирования насыщенной упругой среды для определения насыщающего ее флюида. Проведены теоретические исследования количественных оценок процесса в конкретных гор-



ных породах, насыщенных водой, нефтью, а затем подтверждены результатами экспериментальных исследований на образцах кернов и в пластовых условиях.

Их задачей было установление проявления эффекта уменьшения скорости распространения волны при увеличении ее амплитуды, зависящее от проницаемости среды и вязкости жидкости.

Данная закономерность была подтверждена при лабораторных экспериментальных исследованиях по распространению акустических волн амплитудой от 20 в до 1000 в на установке ИФЕС-1 на 14 естественных образцах керна горных пород (песчаник, доломитизированный песчаник, доломит, известняк, ангидрит) и 8 искусственных образцах песчаника изготовленных из смеси кварцевого песка и тампонажного цемента. В качестве непроницаемых эталонов применялись образцы из органического стекла и стали.

Обобщение проведенных лабораторных исследований указывает на наличие эффекта снижения скорости распространения акустической продольной волны частотой 500 Гц при 10-кратном увеличении амплитуды до 2 % по величине. При этом устойчивое проявление эффекта наблюдается до величины амплитуды в 500 в, после чего эффект отсутствует. Это объясняется тем, что при больших амплитудах должен проявляться обратный эффект увеличения скорости волны при увеличении амплитуды.

Аналогичные экспериментальные исследования взрывных волн были проведены на установке «Пласт» на искусственных насыщенных кернах. Измерения времени распространения взрывных волн в искусственных образцах пород, охватывающих широкий диапазон фильтрацион-

но-емкостных свойств, показали зависимость скорости продольных волн от амплитуды воздействия, осуществляемого путем подрыва заряда массой ~ 1 г.

Практически для всех образцов время распространения волн уменьшается при уменьшении амплитуды воздействия, хотя величина такого уменьшения для всех образцов различна, но общая тенденция неизменна. Исключение составляют лишь образцы, обладающие практически нулевой проницаемостью, или абсолютно непроницаемые. Для них имеет место обратная зависимость: время распространения взрывных волн увеличивается.

Такой результат является прямым подтверждением сделанного выше предположения относительно механизма динамического взаимодействия поровой жидкости и упругой пористой среды (скелета), указывающего на явления фильтрационных перетоков жидкости из областей сжатия волны в области разрежения, а также теоретических расчетов процесса и получения качественных зависимостей исследуемых параметров. Следствием этого является установление изменения сжимаемости среды, что приводит к явлению уменьшения скорости распространения волны при увеличении ее амплитуды, зависящие от проницаемости среды и вязкости жидкости. По совокупным данным определяют объемные границы залежи углеводородов, как по глубине (мощности) пласта, так и по площади оконтуривания, строится объемное 3D отображение о количестве в данной залежи углеводородов.

Опробование методики, проведено в паре промысловых скважин Туймазинского месторождения посредством серии взрывов ВВ с различной массой заряда (рис. 2).

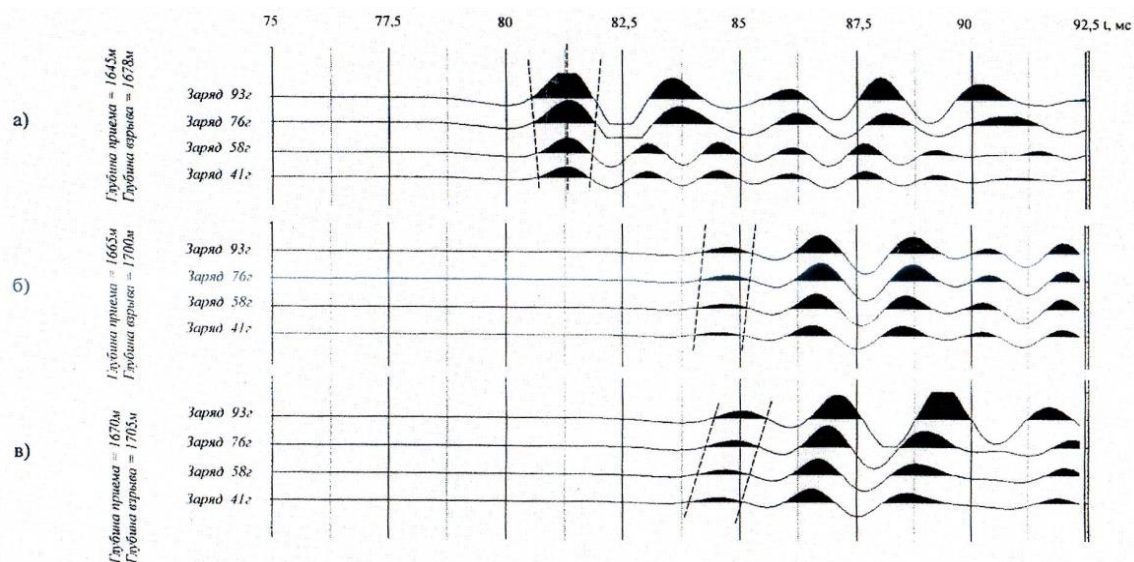


Рис. 2. Результаты межскважинного сейсмондирования пластов в скважинах 2446 и 2466 Туймазинского месторождения:

- а) – непроницаемого пласта аргиллита – известняка; б) – нефтенасыщенного пласта песчаника над ВНК; в) – водонасыщенного пласта песчаника под ВНК, (черной заливкой выделены вторые полупериоды первых вступлений продольных волн)

Показано, что приращение времени распространения продольных волн  $\Delta t_p$  или уменьшение  $\Delta V_p$  при сейсмораспространении действительно является функцией амплитуды воздействия на проницаемый пласт, параметром (показателем) которой является эффективная проницаемость, учитывающая характер насыщенности пласта. Для установления тарировочной зависимости  $K_{пр} = f(\Delta t_p, \Delta A_p)$  на конкретной площади месторождения необходимо иметь 2-3 опорных пласта с известными по керну значениями коэффициентов проницаемости и нефтенасыщенности. При достигнутой инструментальной погрешности измерений времени  $\Delta t_p$  0,025 % возможные ошибки определения эффективной проницаемости хороших коллекторов (0,4-2,0 мД) могут находиться в пределах 1÷5 %, а среднепроницаемых (менее 0,4 мД) – 5÷10 % [2].

Разработана, опробована и доказана методика сейсмического зондирования нефтенасыщенности, состоящая в ступенчатом по амплитуде воздействия взрывных волн и по изменению скорости распространения волны в межскважинном пространстве по материалам которых судят о наличии и составе флюида при известной проницаемости среды, либо о проницаемости пористой среды при заданных свойствах флюида; последнее условие требует предварительной тарировки зондирования.

Использование предлагаемой методики сейсмического зондирования геологического разреза позволит оценить состояние разрабатываемого участка залежи в части полноты извлечения запасов углеводородов.



### Библиографический список

1. Кузнецов О. Л., Симкин Е. М., Халиков Г. А. и др. Двухволновая структура фронта упругой волны в насыщенной зернистой среде / О. Л. Кузнецов, Е. М. Симкин, Г. А. Халиков и др. // Акустический журнал. – 1982. – Т. 28. – Вып. 6.
2. Патент № 2132560 РФ. Способ оценки проницаемости горных пород / В. Ш. Халилов, Р. Р. Гафуров, К. В. Антонов и др. – № 97104988, заявлено 24.03.97.
3. Халиков Г. А., Халилов В. Ш. Упругая деформация зернистой среды, насыщенной жидкостью / Г. А. Халиков, В. Ш. Халилов // ПМТФ. – 1985. – № 5. – С. 129–134.

© Антонов К. В.,  
Жумабаев Д. Д.,  
Грабовская А. П., 2021.