

УДК 550.834 (088.8)

**Кузнеченков Е.П. [Kuznechenkov E.P.],
Керимов А.-Г.Г. [Kerimov A-G.G.],
Петренко В.И. [Petrenko V.I.],
Гридин В.А. [Gridin V.A.]**

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ПРИ РЕШЕНИИ НЕФТЕГАЗОПОИСКОВЫХ ЗАДАЧ

Prospects of application of transverse seismic waves for oil and gas expolration problem-solving

В работе приводятся результаты исследовательских работ выполненных в области продольно-поперечной сейсморазведки для решения широкого круга нефтегазопроисковых задач вплоть до подсчета запасов месторождений нефти и газа без предварительного бурения глубоких скважин. В частности рассматриваются механизмы возбуждения поперечных волн и результаты экспериментальных исследований, проведенных в полевых условиях. Отмечается, что поперечные волны, не обладающие свойством фазовой инверсии, несут важную информацию о внутреннем строении изучаемой среды, поэтому возникает необходимость их изучения с целью дальнейшего применения для значительного повышения геолого-экономической эффективности сейсморазведочных работ. Приводятся результаты исследовательских работ полученных с помощью различных источников возбуждения сейсмических волн, а также экспериментальные зависимости интенсивности поперечных волн от величины заряда.

The paper presents the results of research made in the field of longitudinal-transverse seismic prospecting to solve a wide range of oil and gas exploration problems up to the calculation of oil and gas reserves without preliminary drilling of deep wells. In particular, the mechanisms of excitation of transverse waves and the results of experimental studies conducted in the field are considered. It is noted that transverse waves that do not possess the property of phase inversion bear important information about the internal structure of the medium under study, so it becomes necessary to study them for further use to significantly increase the geological and economic efficiency of seismic operations. The results of research carried out with the help of various excitation sources of seismic waves are presented, as well as the experimental dependences of the intensity of transverse waves on the magnitude of the charge.

Ключевые слова: сейсморазведка, поперечные волны, щелевые источники возбуждения волн, фазовая инверсия, интенсивность.

Key words: seismic prospecting, transverse waves, slot source of wave generation, phase inversion, intensity.

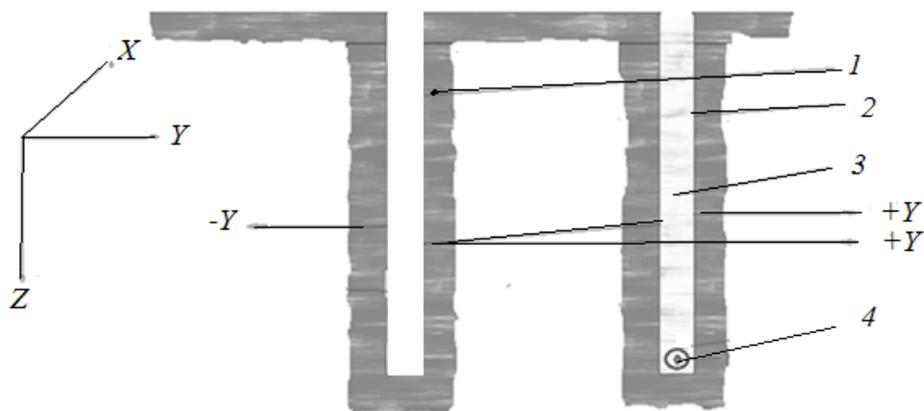
Введение

Современная геофизика характеризуется революционными процессами, связанными с комплексным применением объемной сейсморазведки 3D с результатами геофизических исследований скважин (ГИС), а также со значительно расширившимися возможностями продольно-поперечной (($P+S$) – волновой) сейсморазведки при решении широкого круга нефтегазопроисковых задач вплоть до подсчета запасов месторождений нефти и газа без предварительного бурения глубоких скважин. И здесь, как и прежде на всех

этапах ($P+S$) – волновой сейсморазведки, на первое место выступает проблема повышения эффективности возбуждения поперечных волн заданной поляризации в направлении улучшения качества и повышения технологичности и производительности S -волновой сейсморазведки.

Материалы и методы исследований

На рисунке 1 показан разрез современного экранно-щелевого источника возбуждения поперечных волн [1]. Он состоит из двух или трех вертикальных параллельно расположенных щелей в грунте. В одну из них (взрывную) помещается линейный заряд взрывчатого вещества (ВВ) заданной величины q , который укупоривают в щели рыхлым грунтом-поглотителем, препятствующим выбросу газообразных продуктов взрыва в атмосферу. Вторая щель, во время работы, оставаясь незаполненной, выполняет роль отражающего экрана для волн, возбуждаемых во взрывной щели и распространяющихся в направлении, противоположном заданному (рабочему).



- 1) вертикальная щель в грунте, экранирующая;
- 2) вертикальная щель в грунте, взрывная;
- 3) укупорка заряда во взрывной щели 2;
- 4) заряд ВВ во взрывной щели 2.

Рисунок 1. Источник возбуждения поперечных волн.

На этапе разработки метода поперечных волн, предшествовавшем созданию достаточно интенсивных и сравнительно технологичных экранно-щелевых источников возбуждения, наши представления о возбуждении и регистрации поперечных волн основывались на сравнительно простых предположениях. Считалось, что при противоположно направленных воздействиях на двух исходных сейсмограммах на фоне продольных волн и других, не

обращающихся помех, регистрируются сравнительно идентичные по своим динамическим характеристикам поперечные волны, обладающие свойством фазовой инверсии, то есть имеющие противоположную полярность записи (кривые 1,2 на рис. 2). На этом рисунке кривые 1 (схема наблюдения $-UY$) и 2 ($+UY$, где горизонтальная ось Y направлена перпендикулярно профилю наблюдений X) построены без учета влияния необращающихся поперечных волн, представленных кривой 3 (ZY), у которой вертикальная ось Z направлена вниз, перпендикулярно земной поверхности); кривые 4 ($-UY$) и 5 ($+UY$) построены с учетом влияния необращающихся поперечных волн, т.е. сложением кривой 3 с кривыми 2 и 1.

Дальнейшая обработка этих пар сейсмограмм ($\pm UY$), полученных на каждом пункте взрыва, сводилась к применению операции вычитания (Δ), в результате которой предполагалось подчеркнуть поперечные волны, обладающие свойством фазовой инверсии (обращающиеся поперечные волны $S\uparrow\downarrow$), и ослабить волны, не обладающие этим свойством – волны $S\uparrow\uparrow$. Результиру-

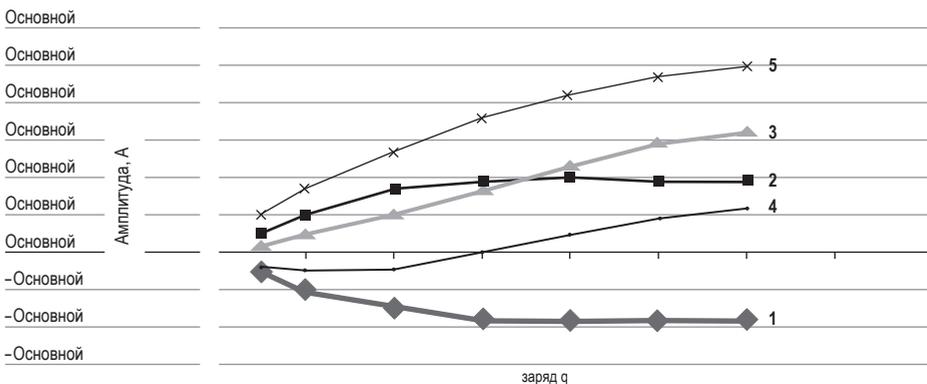


Рисунок 2. Предполагаемые зависимости интенсивности поперечных волн, возбуждаемых экранно-щелевыми источниками, от величины заряда q .

ющие разностные сейсмограммы направлялись в дальнейшую стандартную обработку. При этом не только продольные, но и другие волны, не обладающие свойством фазовой инверсии, в том числе необращающиеся поперечные волны $S\uparrow\uparrow$, относились к помехам.

При обработке сейсмических данных с использованием поперечных волн специфической операцией, повышающей отношение сигнал/помеха, является вычитание записей, полученных от двух противоположно направленных воздействий (операция Δ). При этом обращаемость поперечных волн, полученных от этих воздействий, характеризуется коэффициентом искусствен-

ной направленности источника D и коэффициентом амплитудной идентичности β , вычисляемым по формулам (1, 2):

$$D = \frac{A^+ - A^-}{A^+ + A^-} = \frac{A_d}{A_\Sigma} \quad (1)$$

$$\beta = A^+ / A^- \quad (2)$$

где A^+ , A^- , A_d , A_Σ – значения амплитуды на «знаковых», разностной и суммарной сейсмограммах

Наиболее эффективно операция Δ («вычитание») осуществляется при амплитудной и фазовой идентичности исходных записей. Однако на практике эти записи, как правило, не идентичны, что снижает эффективность не только вычитания, но и всей обработки сейсмических данных, в частности, суммирования записей по системе ОГТ. Поэтому для повышения точности сейсмических построений необходимо выявить и устранить влияние амплитудной и фазовой неидентичности поперечных волн, возбуждаемых парными источниками инверсионных волн.

Результаты исследований и их обсуждение

В работе [2] на основании опыта возбуждения поперечных волн в различных сейсмологических условиях и общих теоретических представлений высказано предположение о том, что амплитудная и фазовая неидентичность поперечных волн, возбуждаемых инверсионными источниками, объясняется влиянием поперечных волн, не обладающих свойством фазовой инверсии (необращающиеся поперечные волны), которые практически всегда возбуждаются реальными взрывными источниками одновременно с обращающимися волнами. Влияние необращающихся поперечных волн на целевые обращающиеся должно проявляться не только в амплитудной и фазовой неидентичности поперечных волн, возбуждаемых противоположно направленными воздействиями, но и в различном характере зависимости амплитуды этих волн от величины заряда q . Для одного из указанных воздействий (условно плюсовое воздействие), при котором полярность целевых поперечных волн $S\uparrow\downarrow$ совпадает с полярностью необращающихся поперечных волн $S\uparrow\uparrow$, предполагаемая зависимость $A^+ = f(q)$ представляет собой однополярную кривую с постепенно увеличивающимися значениями амплитуды при увеличении плотности заряжения (кривая 5 на рис. 2). Для противоположно направленного воздействия, при котором полярность

целевых обращающихся волн противоположна полярности необрашающихся поперечных волн (условно минусовое воздействие), предполагаемая зависимость $A = f(q)$ представляет собой двухполярную кривую, в начальной части которой, с ростом q происходит плавное возрастание амплитуды в области отрицательных значений полярности поперечных волн. При дальнейшем увеличении q амплитуда A постепенно уменьшается до нуля, а затем плавно возрастает в области положительных значений полярности поперечных волн (кривая 4 на рис. 2).

Исходя из характера кривых $A = f(q)$ для двух противоположно направленных воздействий, в поведении этих кривых можно выделить две области (а в работе источника соответственно два режима): область обрашаемости и область необрашаемости, в которых преобладающую роль играют соответственно обрашающиеся и необрашающиеся поперечные волны. Область обрашаемости сейсмической записи характеризуется значениями коэффициента D , большими единицы, и отрицательными значениями коэффициента β . В области необрашаемости D меньше единицы, коэффициент β положителен.

Наши представления о механизме возбуждения поперечных волн значительно изменились в результате экспериментальных исследований, проведенных в реальных полевых условиях. Анализ механизма возбуждения поперечных волн экранно-щелевых источников привел к выводу о том, что в сложном волновом поле, возбуждаемом этими источниками, наряду с целевыми поперечными волнами $S\uparrow\downarrow$, обладающими свойством фазовой инверсии, возбуждаются довольно интенсивные и регулярные поперечные волны $S\uparrow\uparrow$, не обладающие этим свойством. Причем, эти необрашающиеся поперечные волны возбуждаются не только экранно-щелевыми источниками, но и щелевыми (взрывы в одиночной вертикальной щели), а также накладными и даже воздушными взрывами, которые широко используются в современной сейсморазведке в качестве источников возбуждения продольных волн, то есть реальные источники возбуждения поперечных волн возбуждают более сложное волновое поле, чем теоретические источники.

Необрашающиеся поперечные волны являются дополнительным осложняющим фактором при возбуждении и регистрации обрашающихся волн, с применением которых до последнего времени связываются основные надежды на практическое использование поперечных волн в сейсморазведке.

При этом сравнительная простота возбуждения, большая интенсивность поперечных необрашающихся волн, возбуждаемых реальными взрывными источниками, предназначенными для возбуждения обрашающихся волн, является серьезной помехой при использовании целевых поперечных волн, обладающих свойством фазовой инверсии. По нашему мнению, именно отрицательное влияние необрашающихся поперечных волн на целевые обрашающиеся является основным фактором, сдерживающим практическое при-

менение сейсморазведки с использованием поперечных волн, возбуждаемых взрывными инверсионными источниками.

Вместе с тем, поперечные волны, не обладающие свойством фазовой инверсии, несут важную информацию о внутреннем строении изучаемой среды, поэтому необходимо их изучение с целью дальнейшего применения, которое значительно повысит геолого-экономическую эффективность сейсморазведочных работ.

О свойствах поперечных волн $S\uparrow\uparrow$, не обладающих фазовой инверсией известно пока немного. Во-первых, эти волны возбуждаются осесимметричными вертикальными воздействиями, отличительной особенностью которых по сравнению с горизонтально направленными волнами, является большая простота возбуждения и меньшая ограниченность по интенсивности возбуждаемых поперечных волн. Это связано с тем, что при возбуждении поперечных волн горизонтальными воздействиями уже с применением зарядов сравнительно небольшой величины ударная волна начинает действовать в направлении, противоположном заданному, возбуждая сейсмические колебания в противофазе с целевыми волнами, возбуждаемыми в заданном направлении, снижая тем самым общий эффект возбуждения поперечных волн. При использовании же осесимметричных воздействий такое ограничение интенсивности возбуждаемых поперечных волн отсутствует. Следовательно, можно ожидать, что на графике зависимости интенсивности поперечных волн от величины заряда q амплитудная кривая, полученная по схеме ZU (кривая 3, рис. 2), начиная с некоторых значений q примет большие значения, чем амплитудная кривая, полученная по схеме UU (кривая 2, рис. 2).

Одновременное возбуждение экранно-щелевыми источниками обрабатываемых и необрабатываемых поперечных волн приводит к тому, что вместо идеальных поперечных волн, идентичных по амплитуде и обладающих свойством фазовой инверсии (кривые 1 и 2, рис. 2), на реальных сейсмограммах регистрируется более сложная картина, представляющая собой синфазное (кривая 5 на рис. 2) или противофазное (кривая 4 на рис. 2) сложение поперечных волн, обладающих и не обладающих свойством фазовой инверсии. Этим можно объяснить не только широко известный факт амплитудной неидентичности поперечных волн, возбуждаемых двумя противоположно направленными воздействиями, но и совпадение знака полярности поперечных волн, возбуждаемых в реальных условиях этими воздействиями при использовании больших по величине зарядов q .

Эти факты наблюдались с самого начала развития взрывных приповерхностных источников возбуждения поперечных волн. Не учёт их в конкретных условиях приводит к несинхронному сложению поперечных волн при подготовке к последующей обработке исходных сейсмограмм, полученных на одном пункте взрыва. А так как в полевых условиях оператор сейсмостан-

ции стремится увеличить глубинность исследований, в основном, путем увеличения заряда, то ситуация, когда поперечные волны, возбуждаемые противоположно направленными воздействиями, имеют одинаковую полярность, встречается довольно часто.

Формальное же применение операции вычитания в этих условиях приводит не к усилению поперечных волн $S\uparrow\downarrow$ на результирующей разностной сейсмограмме, а к их ослаблению и, в конечном итоге, к потере полезной информации, заложенной в исходной записи. Поэтому при работе экранно-щелевых источников в режиме необращаемости поперечных волн ($S\uparrow\uparrow$), основной операцией для регистрации поперечных волн $S\uparrow\uparrow$ должна быть не традиционная операция вычитания (операция Δ), а операция суммирования записей поперечных волн, возбуждаемых двумя противоположно направленными воздействиями, т.е. операция Σ .

С целью экспериментальной проверки высказанных предположений изучались зависимости интенсивности и обращаемости поперечных волн от величины заряда q . В качестве источника возбуждения поперечных волн в этих опытах применялись взрывы линейных зарядов в скважине большого диаметра со снежной укупоркой (источник СБД-СУ), которые в предварительных испытаниях показали хорошую повторяемость воздействий при многократном использовании. В качестве целевых использовались преломленные волны, регистрируемые в первых вступлениях горизонтальными сейсмоприемниками, соединенными последовательно в группы по 11 сейсмоприемников на базе 15 м.

Расстояние между центрами этих групп также было 15 м, удаление взрыв-прибор составляло 240–405 м. Запись производилась на открытом канале без применения смесителя и нелинейных регуляторов усиления. На протяжении каждого эксперимента параметры записи оставались постоянными. Величина заряда q изменялась от одной нитки детонирующего шнура марки ДША до десяти ниток шнура марки ДШУ, при этом вес заряда изменялся от 12 до 330 г. Остальные параметры источника оставались постоянными в течение всего эксперимента: диаметр взрывной скважины 350 мм, глубина скважины 1,5 м, длина заряда 1 м, глубина погружения заряда от 0,3 до 1,3 м. Перед каждым взрывом заряд погружался в заранее подготовленную в снежной укупорке полость и засыпался рыхлым снегом.

Результаты эксперимента представлены на рис. 3, где приведены зависимости $A = f(q)$, построенные по исходным сейсмограммам отдельно для схем $+УУ$ и $-УУ$ (источник и ось максимальной чувствительности горизонтальных сейсмоприемников ориентированы вдоль оси $У$, т.е. перпендикулярно профилю наблюдений). Значения амплитуд снимались с сейсмограмм строго на одном и том же времени, постоянном для каждого эксперимента.

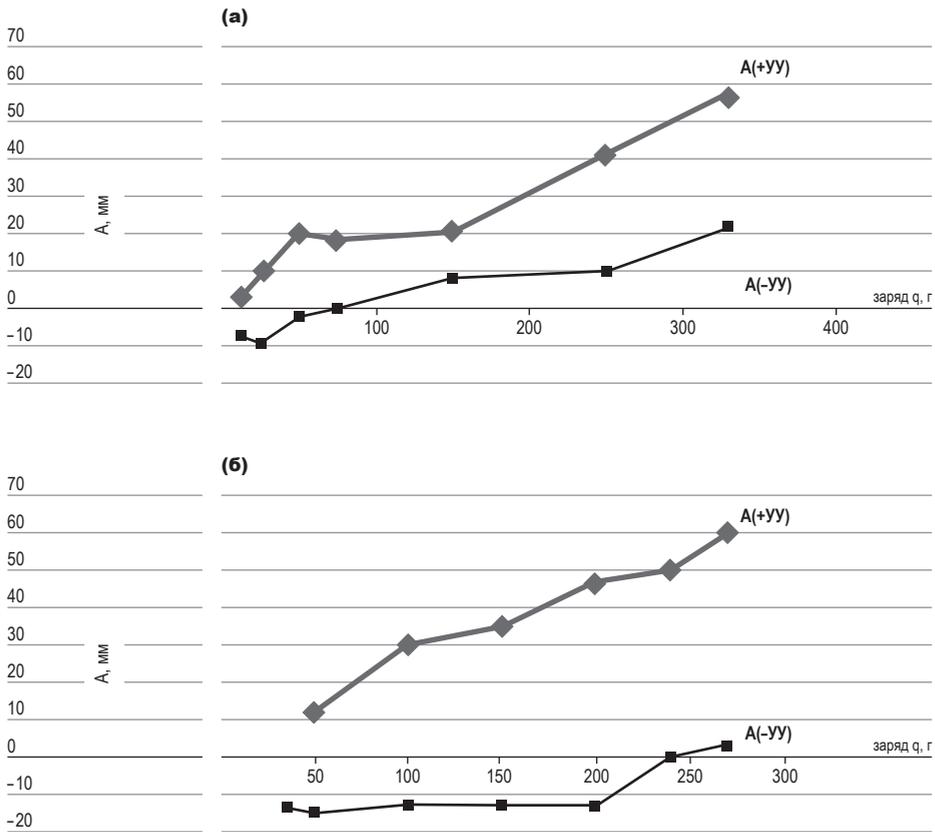


Рисунок 3. Экспериментальные зависимости интенсивности поперечных волн от величины заряда.

Источник СБД-350 со снежной укупоркой без экрана (а) и с экраном (б).

При анализе этих кривых наибольшего внимания заслуживает факт их подобия в основных чертах предполагаемым зависимостям $A = f(q)$, приведенным на рисунке 2.

Выводы

1. Амплитуда поперечной волны A^+ , полученной по схеме +UU, с ростом q возрастает в области положительной полярности до своего предельного значения. Особенность кривой $A = f(q)$ является смена знака полярности попе-

речной волны при переходе через нулевое значение A , т.е. двойная полярность этой кривой в отличие от однополярной $A^+ = f(q)$.

2. Аналогичный результат получен с помощью источника, в котором в скважину большого диаметра, заполненную снегом, вертикально помещался металлический экран, предназначенный для ослабления действия продуктов взрыва в направлении, противоположном заданному, т.е. для повышения горизонтальной направленности источника (рис. 3б). При этом следует учесть, что поперечные волны SH, не обладающие свойством фазовой инверсии, менее ограничены по интенсивности по сравнению с традиционными обращающимися волнами SH $\uparrow\downarrow$, поэтому они обладают большей глубиной исследований. Следовательно, их применение может быть особенно эффективно при изучении нового типа месторождений нефти и газа – месторождений геосолитонного типа [3], характеризующихся большей глубиной залегания и меньшими поперечными размерами, но большей продуктивностью и способностью восполнять свои запасы, уменьшающиеся в процессе эксплуатации, в отличие от традиционных нефтегазовых месторождений, являющихся до последнего времени основной целью сейсморазведочных работ.
3. Учитывая большую глубину исследований, не инверсионным источникам возбуждения поперечных волн следует отдать предпочтение при проведении основных объемов полевых работ, оставив за инверсионными источниками функцию контроля за чистотой возбуждения поперечных волн, выполняемую дискретно на изучаемой площади работ с заданным интервалом между контрольными точками. Это, во-первых, упростит методику проведения полевых работ с применением поперечно-волновой сейсморазведки, а во-вторых, существенно повысит их производительность, максимально приблизив ее к производительности традиционной продольно-волновой сейсморазведки, что ускоренными темпами приблизит (P + S) – волновую сейсморазведку к широкому внедрению при решении нефтегазопроисловых задач.

Библиографический список

1. А.С. 371543 (СССР). Способ возбуждения поперечных сейсмических волн в грунте. Н.А. Гормаш, Е.П. Кузнеченков, А.А. Мигалкин. – Заявл. 03.05.71. Опубликовано в Б.И. №12, 1973.
2. Кузнеченков Е.П., Керимов А.-Г.Г., Соколенко Е.В. Роль сейсмических волн, не обладающих фазовой инверсией, в поперечно-волновой сейсморазведке // Инновационные технологии в нефтегазовой отрасли. Ставрополь: ТЭСЭРА, 2016, с. 48-50.
3. Бембель Р.М., Бембель М.Р, Мегеря В.М. Геосолитонная модель формирования залежей углеводородов на севере Западной Сибири // Геофизика. 2010, №6, с. 9-17.

References

1. A.S. 371543 (SSSR). Sposob возбужdeniya poperechnih seismicheskikh voln v grunte (The method of excitation of transverse seismic waves in soil). N.A. Gromash, E.P. Kuznechenkov, A.A. Migalkin. – Zayavl. 03.05.71. Opublikovan v B.I. №12, 1973.
2. Kuznechenkov E.P., Kerimov A-G.G., Sokolenko E.V. Rol seismicheskikh voln, ne obladayushih fazovoi inversiei, v poperechno-volnovoii seismorazvedke (The role of seismic waves, that don't have phase inversion, in the transverse-wave seismic prospecting) // Innavocionnie tehnologii v neftegazovoi otrasli. Stavropol: TESERA, 2016, s. 48-50.
3. Bembel R.M., Bembel M.R., Megerya V.M. Geosolitonnyaya model formirovaniya zalezhei uglevodorodov na severe Zapadnoi Sibiri (Geosoliton model of formation of hydrocarbon deposits in the north of Western Siberia)//Geofizika. 2010, №6, s. 9-17.