

**Механические факторы повышения качества
скважинных сейсмических исследований.**

А.Д. Чигрин, Е.А. Виноградов, В.А. Демакин.

ООО «НИИморгеофизика-Интерсервис» г. Мурманск

**Mechanical factors improve the quality of borehole
seismic surveys.**

A.D. Chigreen, E.A.Vinogradov, V.A.Demakin.

LLC "NII morgeofizika-Interservis", Murmansk

Аннотация.

В работе анализируются механические условия качественной регистрации данных ВСП, а также достоинства и недостатки механических конструкций, реализованных в конкретных зондах ВСП. Описаны экспериментальные конструкции, разработанные и прошедшие стендовые и скважинные испытания в компании «НИИморгеофизика-Интерсервис».

Abstract.

This paper analyzes the mechanical conditions of obtaining the quality of VSP data. Advantages and disadvantages of mechanical structures that are implemented in specific equipment. We present experimental design, developed and passed posters and well tests in "NII morgeofizika-Interservice."

При проведении работ методом вертикального сейсмического профилирования (ВСП) необходимым условием достоверной регистрации сейсмических колебаний в исследуемых породах является надежная фиксация скважинного прибора в скважине. Для обеспечения таковой

применяются различные системы активного и пассивного прижима, имеющие каждая свои достоинства и недостатки. На стадии становления ВСП как метода, использовались преимущественно конструкции пассивного прижима. По мере накопления опыта и отработки технологий конструкции с пассивным прижимом практически вышли из употребления.

Наиболее распространена конструкция скважинных приборов с активным прижимом, в которых используется один прижимной рычаг [1,2]. Она наиболее проста и надежна, но не лишена известных недостатков. На Фиг. 1 отображены силы, возникающие в плоскости поперечного сечения скважины. Усилие на рабочем конце рычага приложено к стенке скважины, а тыльный конец рычага передает противоположно направленное усилие на корпус прижимного модуля, прижимая его к противоположной стенке. Прижимной модуль имеет только одно положение устойчивого равновесия, совпадающее с диаметральной плоскостью.

В других положениях реакция опоры содержит составляющую, направленную в сторону диаметральной плоскости, что вызывает возникновение скатывающей силы, выдавливающей модуль в направлении диаметральной плоскости. По мере приближения модуля к диаметральной плоскости угол между направлением реакции опоры и направлением усилием прижима уменьшается, скатывающая сила стремится к нулю, а сила трения несколько возрастает (при отсутствии пластических деформаций определяется проекцией усилия прижима на нормаль к поверхности скважины).

Модуль в общем случае фиксируется в положении, в котором сила трения несколько превышает скатывающую силу. Дальнейшая работа двигателя не имеет смысла и двигатель останавливается. Занятое положение равенства – это положение неустойчивого равновесия. Усилие, совпадающее по направлению со скатывающей силой и превышающее разность сил трения и скатывающей (напуск кабеля, прижим соседнего модуля), способно вывести модуль из равновесия, и возобновить движение в сторону диаметральной плоскости скважины.

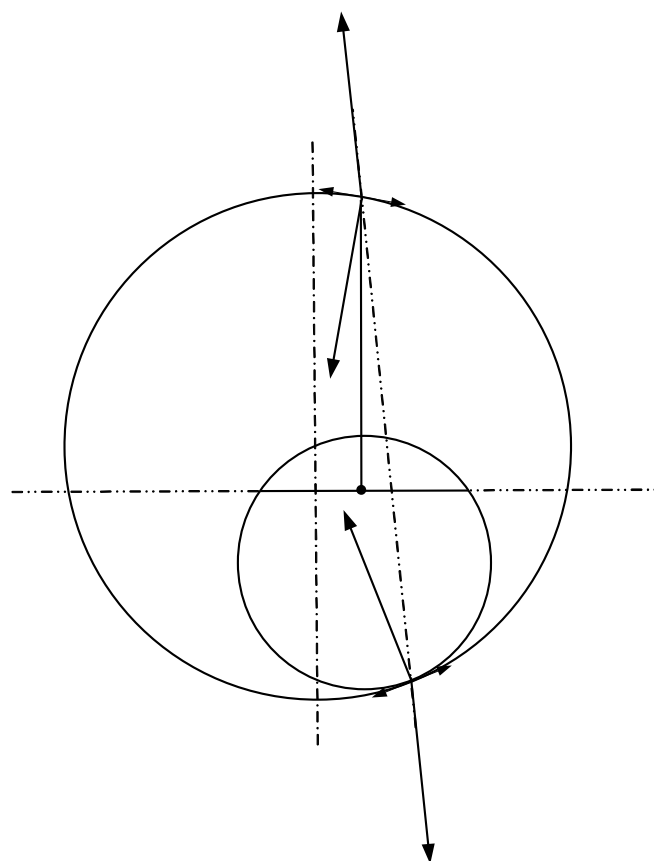
При этом любое смещение в сторону диаметральной плоскости увеличивает расстояние между поверхностями, в которые упирается модуль. В результате падает усилие прижима и сила трения, баланс сил трения и равнодействующей остальных сил нарушается, модуль в лучшем случае оказывается в новом положении неустойчивого равновесия с ослабленным прижимом, в худшем – в свободном состоянии висит на кабеле.

Занятие положения устойчивого равновесия довольно маловероятно. Препятствуют ему силы трения о внутреннюю поверхность скважины, силы тяжести, если ствол не строго вертикален, силы натяжения кабеля, если модули ориентированы на кабеле не в одном направлении, если правильно ориентированы относительно кабеля, но «неправильно» относительно наклона скважины. В последних двух случаях модуль может испытывать со стороны кабеля вращательный момент, если ориентация модулей перед прижимом вызывает их вращение во время прижима.

Направление и величины описанных выше и других сил, соответственно, величина и направление их равнодействующей в общем случае непредсказуемы.

Один из «встроенных» недостатков данной конструкции: при смещениях из положения неустойчивого равновесия вероятность вращения корпуса вокруг неподвижной точки опоры лапы значительно выше, чем вращение лапы вокруг линии упора корпуса. Опыт показывает, что поверхность обсадной колоны покрыта схватившимися остатками цементирующего, и отложениями бурового раствора. Еще хуже ситуация в старых скважинах, поверхность колоны которых покрыта отложениями парафина и открытом стволе. Площадь контакта лапы значительно меньше, чем площадь контакта корпуса модуля. Корпус имеет гладкую цилиндрическую поверхность. Поэтому лапа лучше вдавливается в отложения на стенках скважины и реальная сила трения для лапы заметно

выше, чем для корпуса. Во-вторых, кабель соединен с корпусом на его оси. Ось прижатого прибора находится ближе к линии упора корпуса, чем к точке упора лапы. Поэтому поперечные усилия от кабеля создают значительно больший момент вращения относительно точки прижима лапы, чем линии упора корпуса: рычаг больше.



Фиг. 1

Такое поведение имеет свои недостатки. Движения

корпуса вокруг конца лапы могут усиливать натяжение кабеля и изменять направление этих усилий для ближайших модулей косы, что в свою очередь может выводить их из состояния неустойчивого равновесия.

Напряженное состояние всей косы (состояние неустойчивого равновесия) могут вызвать микроподвижки, микроскольжения, которые в случае возникновения во время регистрации искажают полезный сигнал.

Описанные недостатки конструкции довольно хорошо известны, и предложено несколько способов для их преодоления.

Центрирующий прижим.



Рис.2

Одним из наиболее радикальных решений проблемы по мнению некоторых авторов является центрирующее прижимное устройство скважинных приборов [3-5]. Устройство содержит две трехрычажные группы, разнесенные по длине прибора. Его неоспоримым достоинством служит то обстоятельство, что система прижима служит одновременно центрирующей системой. (Механическая схема модуля в представлении авторов конструкции на Рис.2.) Приемный модуль в прижатом состоянии располагается близко к оси скважины, что должно обеспечить соосное со скважиной расположение касеты датчиков при приеме. Круговая диаграмма чувствительности должна обеспечить повышение точности определения поляризации регистрируемых волн. Центрирование обеспечивает модулю положения устойчивого равновесия в скважине. По мере раскрытия рычагов он испытывает существенно меньшие вращательные усилия в наклонных частях ствола. Это обстоятельство способствует снижению вероятности возникновения значительных механических помех.

Однако такая схема кроме сложности и высокой стоимости имеет один принципиальный недостаток. Приемный модуль не прижимается к стенкам скважины корпусом, а висит на лапах прижимного устройства. Лапа любой конструкции имеет конечную жесткость, следовательно, представляет собой упругий элемент. Жесткость механизма прижима также далеко не бесконечна. В результате, механическая схема подвески приемного модуля выглядит как груз, подвешенный на упругих элементах (Рис3, 6).

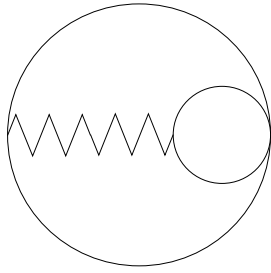


Рис.4

Это принципиально иная ситуация по сравнению с традиционной схемой зонда, лапа и прижимное устройство которого также является упругим элементом. Однако, если корпус традиционного зонда прижат к внутренней поверхности скважины (Рис.4,5) и неподвижен относительно нее, он строго повторяет движения породы, окружающей скважину. Жесткость лапы и прижимного механизма не влияет на траекторию движения модуля до тех пор, пока он неподвижен относительно стенок скважины. Если он движется (ползет) относительно скважины, это отражается в виде

характерных высокочастотных помех на записях, легко идентифицируемых обработчиком и интерпретатором. Отсутствие таковых – надежный критерий жесткого контакта и точной передачи колебаний среды.

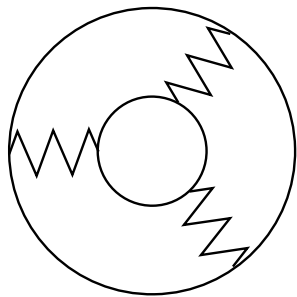


Рис.3

Центрированный прибор такого критерия не имеет. Он опирается на стенки скважины только посредством лап – упругих элементов. Такая система регистрирует не сами колебания среды, а некую реакцию на них механической системы. Регистрирующий модуль находится в положении, в котором упругие силы одних лап уравниваются упругими силами других лап (Рис.6). Любое

дополнительное усилие, приложенное к модулю, или ускорение окружающей скважину среды ведут к нарушению баланса сил и смещению приемного модуля относительно скважины. Т.о. он не точно повторяет возмущения окружающей скважину пород, а всегда добавляет к ним некоторую составляющую, связанную с особенностями механической системы. Т.е. существует передаточная функция, зависящая от характеристик подвеса.

Более того, механическая система, очевидно, имеет колебательные свойства, собственную частоту, зависящие от соотношения жесткости механизмов подвеса, распределения масс по корпусу модуля и т.д. Передаточная функция зависит от частоты регистрируемых возмущений. Судя по сейсмическим записям, приводимым авторами устройства, частота механического резонанса не попадает в частотный диапазон полезного сигнала. Однако любая частотно зависимая система ведет себя как частотный фильтр, и частотный спектр регистрируемого сигнала неизбежно изменяется.

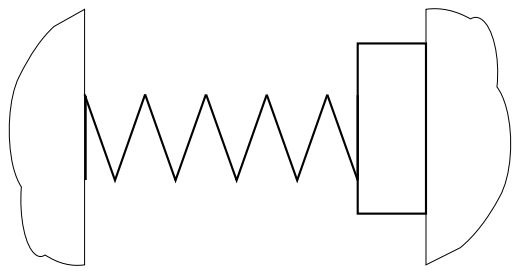


Рис. 5

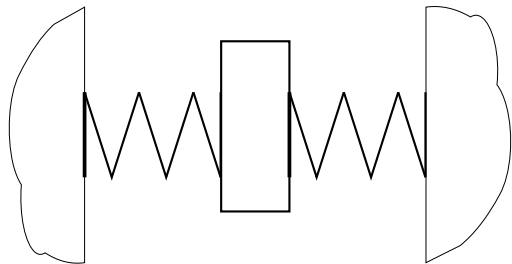


Рис.6

Изучение передаточной функции этой механической системы – задача непростая и крайне не дешевая. О результатах таких исследований или хотя бы об их проведении производитель и разработчики не сообщают.

Критика описанной конструкции авторам неизвестна. Однако совокупность недостатков, очевидно, осознается сообществом геофизиков и разработчиков. На это указывает тот факт, что такая схема реализована только в одном экземпляре конструкции и

большим спросом в геофизических организациях не пользуется.

Варианты трехточечного прижима.

Более распространены конструкции с одной прижимной лапой, имеющие особенности, призванные нейтрализовать недостатки традиционной схемы.

Известен способ повышения качества прижима, состоящий в использовании лапы, заканчивающейся вырезом в виде «ласточкина хвоста» (Сафиуллин, Шехтман?). Такая конфигурация в чем-то идущая по логике предыдущей конструкции, представляет переход от двух точечной фиксации к трех точечной. Прижимной модуль в сечении опирается не на две точки, а на три. Она позволяет сместить точки упора от оси лапы, увеличить угол между направлением усилия прижима и реакции опоры под корпусом прибора, и соответственно, скатывающую силу.

При этом по мере приближения к положению устойчивого равновесия (диаметральной плоскости) скатывающая сила падает не до нуля, а до некоторой конечной величины, зависящей от конфигурации механической системы. В положении равновесия скатывающая сила от одного конца лапы уравнивается аналогичной противоположно направленной силой от второго конца лапы. В идеале скатывающая сила должна доводить корпус до того положения, когда второй конец «ласточкина хвоста» упрется в стенку скважины, т.е. прибор займет диаметрально плоскость скважины (Рис 5).

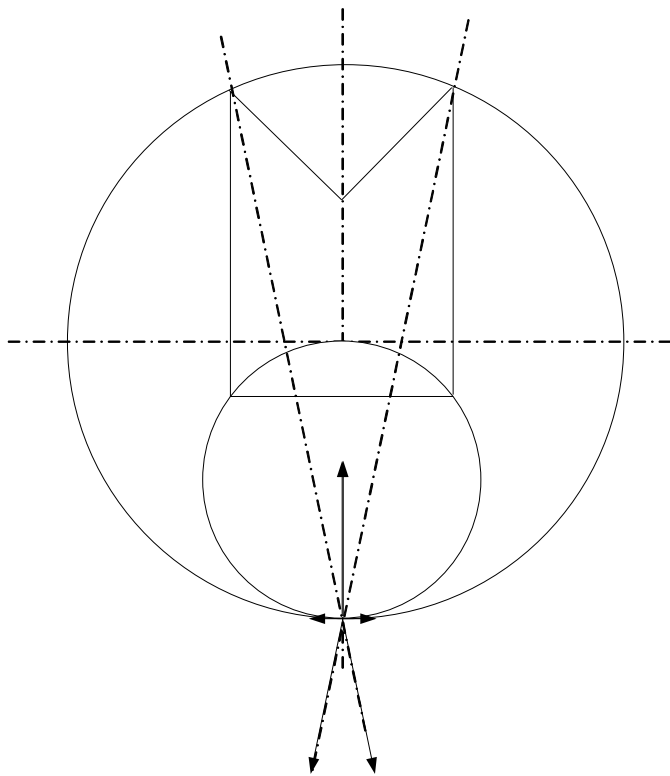


Рис.7

не падает до нуля, как правило, значительно уступает силе трения, и тем более равнодействующих тех непредсказуемых сил, которые мешают занять положение равновесие и первому варианту конструкции. Влияние других сил, характерных для исходного варианта конструкции не снимается. В результате ситуация мало отличается от исходной (с точкой прижима на оси лапы).

Кроме того эта схема еще более, чем классическая, ориентирована на поворот корпуса вокруг точки упора одного из концов лапы (площадь контакта с поверхностью колонны меньше, а корпуса не меняется).

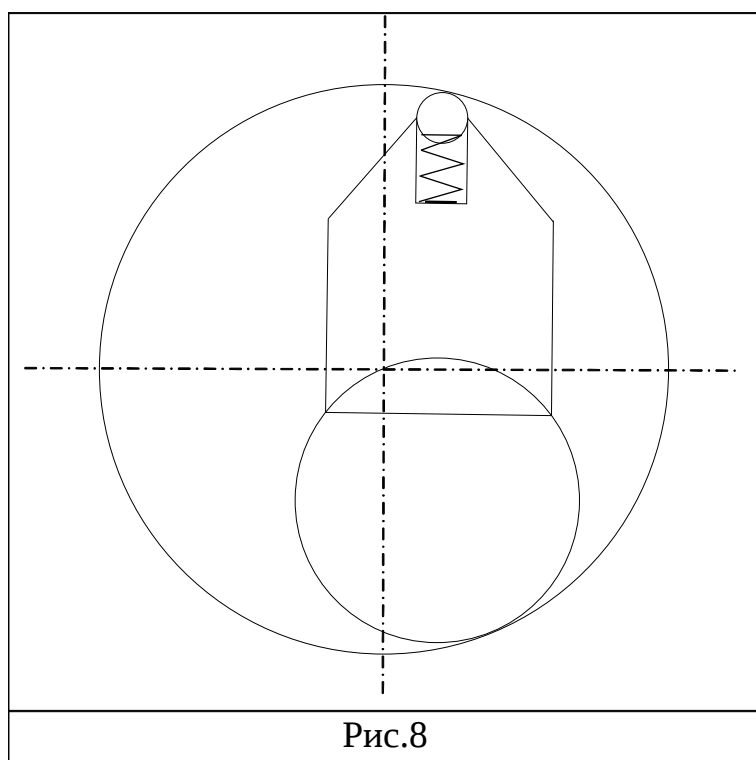
Пути совершенствования: увеличение ширины лапы и расстояния между точками упора, единообразная ориентация модулей (лапы всех модулей смотрят в одну сторону).

С точки зрения уменьшения влияния кабеля предпочтительно выглядит вращение прибора вокруг оси корпуса или линии его опоры. Для реализации такого сценария (поведения) необходимо снизить силу трения лапы по сравнению с трением корпуса. Эту задачу решает следующий вариант конструкции, предложенный Е.А.Виноградовым. На рабочем конце рычага в месте его контакта со стенкой скважины на упругой оси устанавливается вращающийся ролик. Трение скольжения в точке контакта заменяется трением качения. Поскольку трение качения значительно ниже трения

В реальности все обстоит несколько сложнее. Расстояние между концами «ласточкина хвоста» неизбежно оказывается меньше диаметра прибора и, как правило, значительно меньшим диаметра скважины. Угол между направлением усилия прижима и реакцией опоры при перенесении упора с оси лапы на конец «ласточкина хвоста» увеличивается незначительно. Треугольник получается узким: основание значительно меньше высоты. Скатывающая сила по мере приближения к положению устойчивого равновесия хоть и

скольжения, баланс между скатывающей силой и силой трения наступает значительно ближе к диаметральной плоскости (положению устойчивого равновесия), и вероятность смещения прижатого прибора значительно снижается.

Упругость оси должна выбираться из того критерия, что бы ролик утапливался под поверхность лапы при усилиях не более 15% от максимального рабочего (значительно меньше рабочего усилия прижима).



Эта величина выбирается из того соображения, что лапа должна «прокатиться» на ролике как можно ближе к диаметральной плоскости, и прижаться, достигнув положения в котором сила трения лапы и корпуса существенно выше скатывающей. Но ролик не должен принимать на себя основное усилие прижима (Рис. 6).

Несомненным достоинством конструкции является повышение вероятности прижать модуль ближе к положению устойчивого равновесия, в котором сила трения заметно выше скатывающей.

Недостаток схемы в том, что не снимается действие набора непредсказуемых сил, описанных выше и зависящих от положения приемного модуля во время прижима. Величины их могут существенно превысить те, которые необходимы для утапливания ролика. В этом случае ролик будет выведен из активного положения (утоплен) до того, как его функция будет выполнена. Другой недостаток связан с тем, что размеры ролика не могут быть значительными. Соответственно, он может выполнять свои функции только на достаточно чистой и твердой поверхности обсадной колоны (неровности должны быть значительно меньше диаметра ролика). Однако, как отмечалось выше, поверхность колоны может быть покрыта характерными отложениями, нейтрализующими эффект усовершенствования.

Дальнейшим развитием идеи можно рассматривать установку узких продольных упоров, параллельных оси модуля на противоположной от лапы поверхности корпуса модуля (Рис.7). С одной стороны при этом решается задача повышения трения корпуса относительно трения лапы в направлении, перпендикулярном оси скважины. Т.о. значительно повышается вероятность вращения модуля вокруг линии упора корпуса, а не вокруг конца лапы. Одновременно они позволяют решить ту же задачу, что и концы лапы типа «ласточкин хвост» - сместить точки упора от оси прибора, увеличить угол между направлением усилия прижима и реакции опоры, и соответственно, скатывающую силу уже в точке контакта лапы.

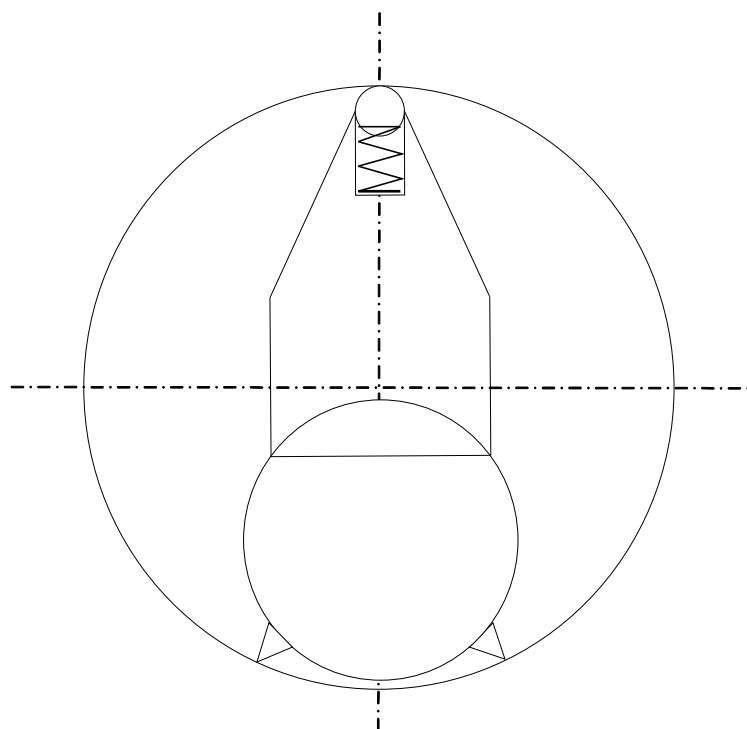


Рис. 9

Конфигурация сил обратна Рис 7.

поперечном перемещении модуля в большинстве случаев будет значительно выше, чем у цилиндрической поверхности модуля, а рычаг, определяющий момент вращения модуля значительно меньше.

Дальнейшее развитие идеи может состоять в том, чтобы расположить упоры не параллельно, а «ёлочкой» - под небольшим углом друг к другу с увеличением расстояния к низу. Смысл изменения таков: при фиксации модуля на двух точках опоры (лапе и любом из полозьев) протяжка его вверх приведет к тому, что его корпус сместится в сторону диаметральной плоскости, после чего его можно будет дожать. Несколько таких операций должны привести модуль к диаметральной плоскости.

Т.о. приходим к реализации трехточечного прижима - зеркального отражения схемы с лапой типа «ласточкин хвост». В этой схеме совмещаются достоинства конструкции с лапой типа «ласточкин хвост» (Рис. 7.) и «ролик на лапе» (Рис. 8.). Кроме того конструкция приобретает значительно большую устойчивость к поперечным составляющим усилий со стороны кабеля, поскольку сила трения продольных упоров при

В том случае, когда модули не удастся надежно «усадить», косу можно спустить, на полметра-метр и прижать, после чего поднять их на нужную точку. При подъеме упоры-направляющие выведут корпус модуля в положение значительно более близкое к диаметральной плоскости скважины. Прижим ослабнет. Дожатие модуля зафиксирует его в положении очень близком к диаметральной плоскости, и, следовательно, к положению устойчивого равновесия.

Приведенные схемы реализованы в экспериментальные конструкции, прошедшие стендовые и скважинные испытания в компании «НИИморгеофизика-Интерсервис». По ним предполагается подача заявки на патентование.

Влияние кабеля.

С переходом к использованию многомодульных сейсмических зондов довольно остро стала проблема влияния кабеля. Негативному его влиянию при прижиге косы с хаотично ориентированными лапами была посвящена отдельная работа [7]. Это влияние связывалось с передачей поперечных усилий, препятствующих занятию модулем положения устойчивого равновесия или выводящих их из состояния неустойчивого равновесия. Однако, влияние кабеля на качество регистрации колебаний среды этим влиянием не исчерпывается. Даже при единообразно ориентированных модулях в прижатом состоянии коса представляет собой напряженную конструкцию, в которой каждый модуль находится в состоянии динамического равновесия разнонаправленных сил: натяжения кабеля, веса модулей и кабеля, силы трения. В разных условиях соотношение этих сил различно. Поэтому для качественной записи колебаний среды часто имеет большую важность акустическая развязка кабеля и регистрирующих модулей. Примером реализации такого подхода может служить зонд VSI компании Шлюмберже [6].

Список литературы.

1. Скважинный сейсмический прибор. А.С. 254803 кл. G 01 v1/40 Куповых П.Н., Гогоненков Г.Н., Рябков В.В., Благов В.В., Бюл. № 32, 1969.

2. Прижимное устройство скважинного прибора. А.С. 654796, кл. E21 В47/00 Сафиуллин Г.Г., Сырцов А.В., Бандов В.П., Сивков Н.Р., Шарифуллин С.С., Заявл. 01.08.76; Опубл. 30.03.79., Бюл. № 12
3. Антипин Ю.Г., Антипин С.Ю., Фазовый спектр сейсмического сигнала как индикатор уровня шума скважинного сейсмического прибора. «Геофизический вестник» №3-4, 2003, Ежемес. Информ. Бюл. ЕАГО.
4. Антипин С.Ю. Центрирующее прижимное устройство скважинных приборов. Патент № 2235201
5. Антипин С.Ю. Скважинный сейсмический прибор. Патент № 2235346
6. James E. Gaiser, Terrance J. Fulp, Steve G. Petermann, and Gary M. Karner Vertical seismic profile sonde coupling. Geophysics, Vol. 53, № 2, Feb. 1988, p. 206-214.
7. Виноградов Е.А., Воробьев В.Ф. Приборное окончание модуля скважинного зонда ВСП, ООО «НИИморгеофизика-Интерсервис» г. Мурманск