

УДК 629.735.05(045)

**А. П. Козлов**, канд. техн. наук,  
**О. Ю. Красноусова**, канд. техн. наук

## УСТРОЙСТВО ПРИЕМА СЕЙСМОСИГНАЛОВ

Институт электроники и систем управления НАУ, e-mail: [iesy@nau.edu.ua](mailto:iesy@nau.edu.ua)

*Рассмотрена необходимость совершенствования оборудования, применяемого в сейсморазведке, в частности, технических средств приема сейсмосигналов. Приведен анализ существующих сейсмоприемников. Предложено устройство, построенное на основе емкостного преобразователя с «открытым» электромагнитным полем. Проанализировано функционирование сейсмоприемника. Устройство может быть использовано для выполнения авиационной сейсморазведки.*

**Ключевые слова:** сейсмосигнал, сейсморазведка, объемные волны, электроемкостной сейсмоприемник.

**Введение.** Одной из наиболее важных отраслей экономики является энергетика. Энергетическая мощность любой страны – важный фактор как экономического, так и политического статуса страны. Одной из составляющих энергетики является нефтегазодобыча. Как известно, Украина – одна из старейших в мире нефтедобывающих держав. Но уже в 80-х годах геологоразведочные работы в Украине значительно сократились, переориентировавшись на более перспективную, с точки зрения рентабельности добычи нефти, Западную Сибирь. В настоящее время Украина переживает энергетический кризис, связанный с резким увеличением цен на нефтегазопродукты, закупаемые в России. Из вышеизложенного очевидно, что любые разработки, которые могут способствовать увеличению энергетических ресурсов Украины, являются весьма актуальными. Одной из составляющих в решении проблем энергетики является модернизация геологоразведочного оборудования и разработка новых методов разведки нефтегазовых месторождений.

Геофизическая разведка полезных ископаемых является одним из наиболее прогрессивных современных средств изучения земных недр. Сейсмическая разведка (сейсморазведка) – важнейший вид геофизической разведки [1]. Сейсморазведка представляет собой совокупность методов исследований геологического строения земной коры, основанных на изучении распространения в ней упругих волн, возбужденных искусственно. Вызванные взрывом или ударом упругие волны распространяются во все стороны от их источника и проникают в толщу земной коры на большую глубину. Здесь они подобно световым или звуковым волнам претерпевают преломление и отражение и частично возвращаются к поверхности земли, где создаваемые ими колебания регистрируются при помощи специальной аппаратуры. Измеряя время распространения волн и изучая характер колебаний, можно определить глубину залегания и форму тех геологических границ, на которых произошло преломление или отражение волны, а также судить о составе пород, через которые волна прошла на своем пути. Сейсмические методы особенно широко используются при решении различных структурно-геологических задач, в особенности применительно к поискам месторождений нефти и газа.

В современной сейсморазведке широко применяют два основных метода: метод отраженных волн и метод преломленных волн. Существуют и другие модификации сейсморазведки, имеющие подчиненное значение.

Метод отраженных волн, как показывает его название, основан на изучении параметров объемных волн, отразившихся от границы раздела двух геологических пластов. Если скорость распространения объемной волны заранее известна, то расстояние до отражателя определяют как половину произведения скорости на время пробега волны от момента ее возбуждения до возвращения к приемнику. В сейсморазведке процесс протекает несколько сложнее, так как

скорость распространения объемных волн в геологических средах изменяется в зависимости от их состава в широких пределах и часто заранее неизвестна. Тем не менее, измеряя время пробега отраженной волны от одного источника к нескольким точкам наблюдений, можно вычислить скорость распространения волны в среде и определить положение границы, на которой произошло отражение. Для этого с целью непрерывного изучения формы, отражающей границы колебания, регистрируются одновременно во многих точках (рис. 1).

Для возбуждения объемных колебаний используют передвижной сейсмоисточник. Для регистрации сейсмосигналов используются специальные подвижные лаборатории – сейсмические станции, в состав оборудования которых входит комплект сейсмоприемников.

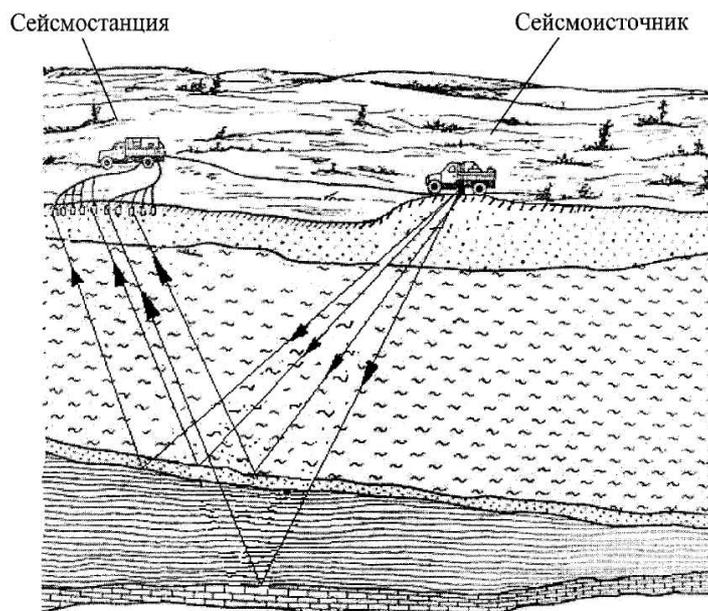


Рис. 1. Схема сейсморазведочных работ по методу отраженных волн

Сейсмоприемник представляет собой устройство, воспринимающее механические колебания почвы и преобразующее их в электрические колебания. В наземных сейсморазведочных приемниках применяются главным образом индукционные преобразователи. Корпус сейсмоприемника устанавливается на поверхности почвы, и движения корпуса в точности повторяют движения почвы. В корпусе сейсмоприемника размещена катушка, сердечником которой является постоянный магнит, подвешенный в корпусе на пружине. При движении корпуса сейсмоприемника в катушке наводится ток, несущий информацию о параметрах сейсмосигнала. Передаточная функция описанного преобразователя представляет собой колебательное звено. Собственная частота в современных сейсмоприемниках равна 20...30 Гц. Если требуется регистрировать полезные сигналы с меньшей частотой, то собственную частоту уменьшают. Известен достаточно широкий спектр конструкций сейсмоприемников с индукционными преобразователями [1].

На основе рассмотренного разработано устройство неконтактного приема сейсмосигналов (рис. 2). Датчик устройства представляет собой текстолитовый диск (основание). На нижней поверхности размещены высокопотенциальный (излучающий) электрод, имеющий форму кольца и занимающий внешнюю область основания, низкопотенциальный (приемный) электрод, имеющий форму диска и размещенный в центре основания. В промежутке между диском и кольцом размещен экран. Верхняя плоскость основания также является экраном и электрически соединена с нижним экраном (рис. 3). Описанная система электродов представляет собой конденсатор с «открытым» электромагнитным полем. Конденсатор датчика включен в схему

измерительного трансформаторного моста. После выставления датчика в контрольную точку мост уравнивается с помощью балансирующего конденсатора. Электромагнитное поле, образованное системой электродов, проникает в приповерхностный слой Земли. При появлении в зоне электромагнитного поля объёмной продольной волны (волны сжатия-растяжения) мост разбалансируется синхронно движению волны. Это обусловлено тем, что сейсмическая объёмная волна изменяет плотность среды и, стало быть, её диэлектрическую проницаемость. Изменение диэлектрической проницаемости, в свою очередь, изменяет величину емкости датчика.

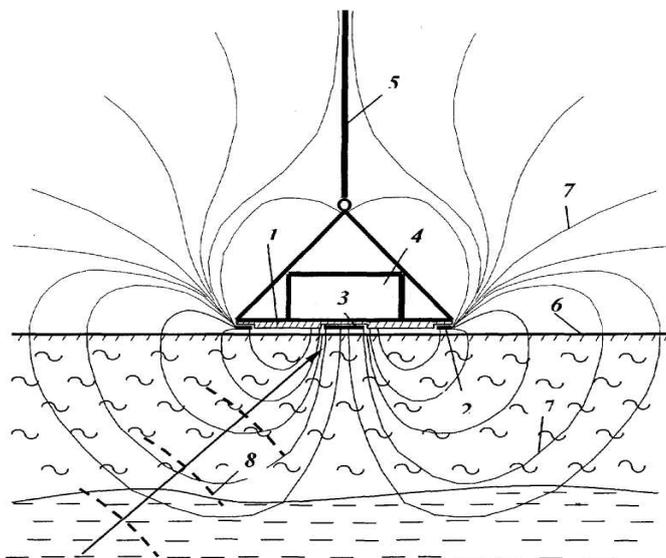


Рис. 2. Электроемкостный приемник сейсмосигналов: 1 – электроемкостный преобразователь; 2 – высокопотенциальный электрод; 3 – низкопотенциальный электрод; 4 – измерительный блок; 5 – подвес сейсмоприемника; 6 – земная ("дневная") поверхность; 7 – силовые линии электромагнитного поля преобразователя; 8 – объемные волны плотности

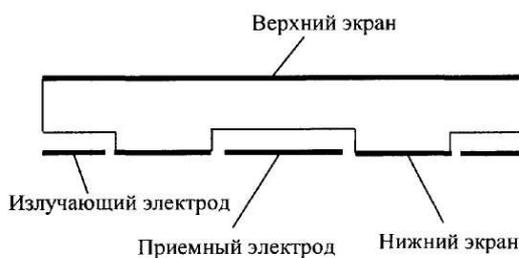


Рис. 3. Емкостный преобразователь сейсмоприемника

**Постановка задачи.** Анализ процесса выполнения сейсморазведки показал следующее. При ударном воздействии на грунт возникают сейсмические волны, которые распространяются радиально от точки удара. По характеру пути распространения сейсмические волны делятся на объёмные и поверхностные. В свою очередь, объёмные волны подразделяются на продольные (Р-волны) и поперечные (S"-волны). Поверхностные волны возникают в результате взаимодействия объёмных волн с земной поверхностью. К наиболее распространенным типам сейсмических волн относятся волны Релея и волны Лява.

Волны Лява (L-волны) представляют собой сейсмические поверхностные волны, при распространении которых происходит только горизонтальное смещение частиц перпендикулярно направлению движения волны. Объёмные волны смещения (волны Лява) распространяются по поверхности на расстояние затухания. Эти же волны при движении вглубь Земли преобразуются в объёмные колебания плотности среды распространения

(Р-волны, волны Релея). Известно также, что волны Релея распространяются быстрее, чем волны Лява. При отражении волны Релея от поверхности раздела сред (глина – нефть) она распространяется к поверхности. При достижении приповерхностной зоны объемные волны плотности преобразуются в волны перемещения, которые и регистрируются описанными сейсмоприемниками.

Приповерхностный слой, как правило, является разрыхленным и скорость распространения в нем объемных волн резко падает и возрастает их затухание. Описанный приповерхностный слой в геологии называют зоной малой скорости (ЗМС).

Анализ характеристик индукционных сейсмоприемников, широко применяемых в настоящее время, показывает, что основным недостатком сейсмоприемников является низкая чувствительность к низкочастотным сигналам и нелинейность характеристик. В то же время известно, что низкочастотные упругие волны распространяются на более значительные расстояния вследствие меньшего затухания. Рассмотренные устройства регистрации сейсмосигналов реагируют только на объемные волны смещения.

Как показывает анализ сейсмограмм интервал времени до получения отраженного сигнала ограничен. С приходом поверхностной волны от сейсмоисточника полезный сигнал искажается. Кроме этого, приповерхностный слой грунта достаточно сильно зашумлен посторонними звуковыми волнами в атмосфере. Это могут быть шумы естественного характера: гроза, дождь, ветер, шум воды, деревьев, животные, птицы, а также техногенные шумы: автотранспорт, авиация, промышленная техника.

С целью уменьшения влияния этих факторов выполняют возбуждение сейсмосигнала многократно, проводя регистрацию данных с синхронным наложением записей. В этом случае полезный сигнал, накладываясь многократно, увеличивается до значения, превышающего уровень шума, и становится наблюдаемым. Если многократная регистрация не даёт положительных результатов, геологи вынуждены бурить скважины для установки датчиков сейсмосигналов на некоторой глубине, желательно вне ЗМС. Таким образом, основным недостатком существующих способов приема сейсмосигналов индукционными датчиками является невозможность непосредственного приёма объёмных волн, параметры которых несут основную полезную информацию.

Исходя из выше приведенного, очевидна необходимость разработки устройства приема объёмных волн.

**Поиск решения проблемы.** Обзор средств возможного решения поставленной задачи показал, что перспективным способом приема сейсмосигналов является применение емкостных преобразователей с «открытым» электромагнитным полем [2].

Ящик устанавливался на деревянные брусья, в зазоре между полом и дном ящика было установлено ударное устройство. На поверхности грунта были установлены индуктивный сейсмоприёмник и электроемкостный приемник сейсмосигналов. Для устранения разбаланса измерительного моста по активной составляющей нижняя поверхность емкостного преобразователя сейсмоприемника изолирована полиэтиленовой пленкой. Сигналы с индуктивного сейсмоприемника и с выхода фазочувствительного выпрямителя измерительного моста поступали на входы двухканального осциллографа.

С целью определения параметров разработанного устройства изготовлен опытный образец и проведены лабораторные и полевые экспериментальные исследования.

**Экспериментальные исследования.** Для проведения лабораторных исследований был использован ящик размером  $1 \times 0,8 \times 0,8$  м, наполненный утрамбованным грунтом (песок, глина).

Полученные осциллограммы снимались фотоаппаратом. Типичная осциллограмма представлена на рис. 4.

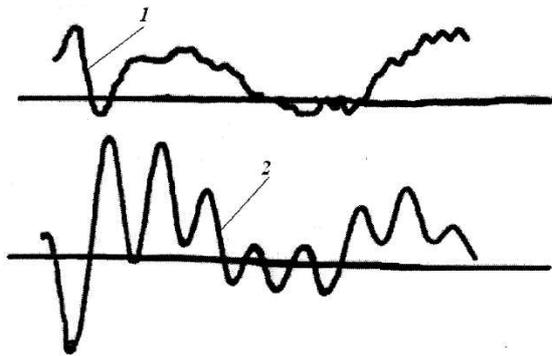


Рис. 4. Сейсмограмма лабораторных исследований сейсмоприёмника с ёмкостным преобразователем с «открытым» электромагнитным полем: 1 – сигнал индуктивного датчика; 2 – сигнал ёмкостного датчика

Для подтверждения вышеизложенных оценок, полученных в результате лабораторных исследований, проведены полевые испытания сейсмоприёмника с ёмкостным преобразователем. Испытания проводились на исследовательском полигоне Киевского геофизического отделения Украинского научно-исследовательского геологоразведочного института под Прилуками. Для проведения исследований была предоставлена передвижная сейсмостанция. Оборудование сейсмостанции: 15-канальный самописец с соответствующим блоком усилителей, стометровая коса с размещёнными на ней через 10 м 10 индукционными датчиками, два индукционных датчика с соединительными проводами (один – резервный) для установки возле сейсмоисточника, аккумуляторная батарея питания и другое вспомогательное оборудование. К сожалению, передвижной сейсмоисточник отсутствовал. В качестве сейсмоисточника для генерации сейсмических волн была использована дубовая колода, прикопанная в грунт, и кувалда. Учитывая маломощность «сейсмоисточника» он был размещен на дистанции 30 м от сейсмостанции.

На первый канал был подключен индукционный сейсмоприёмник, установленный непосредственно возле сейсмоисточника. Ко 2-му каналу подключался электроёмкостный сейсмоприёмник, к 3-му – индукционный сейсмоприёмник, установленный непосредственно возле электроёмкостного сейсмоприёмника. На 4 – 11-й каналы, исключая 9-й, подавались сигналы с индукционных сейсмоприёмников, установленных с интервалом 10 м. На 9-й канал сигналы не подавались, индукционные сейсмоприёмники 12-го и 13-го каналов в грунт не устанавливались, усилители 14-го и 15-го каналов были выключены. Наиболее характерная осциллограмма представлена на рис. 5.

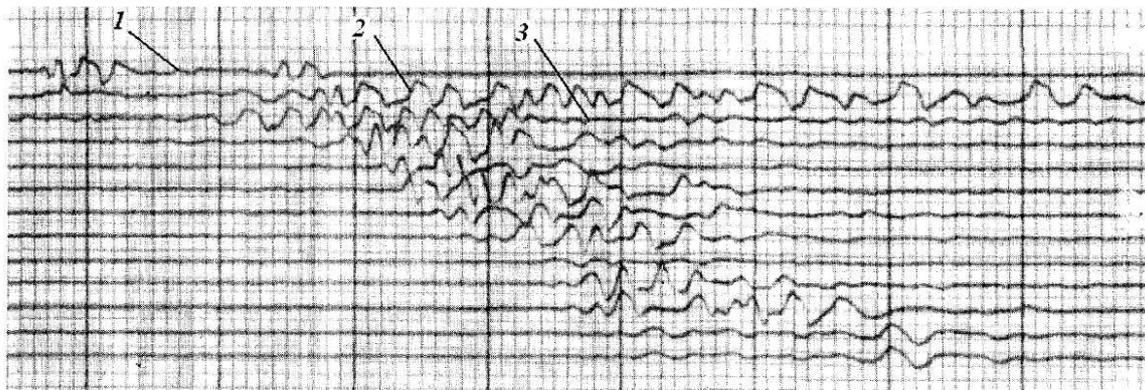


Рис. 5. Сейсмограмма полевых испытаний электроёмкостного сейсмоприёмника: 1 – сигнал индукционного сейсмоприёмника, расположенного непосредственно возле сейсмоисточника; 2 – сигнал электроёмкостного сейсмоприёмника (дистанция до сейсмоисточника – 30 м); 3 – сигнал индукционного сейсмоприёмника, расположенного непосредственно возле электроёмкостного сейсмоприёмника

Анализ результатов показывает, что разработанное устройство воспринимает сейсмосигнал. Частотный диапазон принимаемых устройством сигналов 2 существенно шире, чем у индукционного сейсмоприёмника 1: характер изменения сигнала от датчиков примерно совпадает, однако ёмкостный преобразователь воспринял также вибрацию стенок ящика с грунтом. Кроме этого, наблюдается некоторое отставание сигнала 1 относительно сигнала 2. Это обусловлено инерционностью индукционного сейсмоприёмника. Исходя из этого, можно утверждать, что ёмкостный преобразователь даст более точные значения информационных интервалов времени.

Анализ полученных сейсмограмм подтверждает работоспособность электроемкостного сейсмоприёмника, его сигнал достаточно точно повторяет сигнал индукционного сейсмоприёмника, очевидна более высокая чувствительность устройства.

**Выводы.** Результаты экспериментальных исследований показали, что разработанное устройство позволяет реализовать прием объёмной волны сейсмосигнала. Датчик устройства не реагирует на волны смещения, что позволяет существенно увеличить интервал времени приёма сейсмосигнала. При этом полезная информация не искажается атмосферными шумами, так как они вызывают только волны смещения. Таким образом, данное устройство позволяет реализовать неконтактный прием сейсмосигнала, что дает возможность организовать авиационную сейсморазведку.

### Список литературы

1. *Сейсморазведка: Справочник геофизика* / под ред. И. И. Гурвича, В. П. Номоконова – М.: Недра, – 1982.
2. *Пат. 8415 Україна, МПК<sup>7</sup> G 01C 05/00 Ємнісний висотомір* / Козлов А. П., Рогожин В. О., Синеглазов, В. М., Філяшкін М. К.; заявник та патентовласник Національний авіаційний університет. – 20041008113; заявл. 06.10.04, опубл. 15.08.05, Бюл. № 8.

А. П. Козлов, О. Ю. Красноусова

#### **Пристрій приймання сейсмосигналів**

Розглянуто необхідність удосконалення обладнання, застосовуваного в сейсморозвідці, зокрема, технічних засобів приймання сейсмосигналів. Наведено аналіз існуючих сейсмоприймачів. Запропоновано пристрій, побудований на основі ємнісного перетворювача з «відкритим» електромагнітним полем. Проаналізовано функціонування сейсмоприймача. Пристрій може використовуватись для виконання авіаційної сейсморозвідки.

A. P. Kozlov, O. Y. Krasnousova

#### **Seismic signal reception device**

It has been reviewed the necessity of equipment improving used in the seismic prospecting, in particular, the technical equipment of the reception of seismic signals. An analysis of existing seismic detectors has been given. The device based on the capacity converter with the "open" electromagnetic field has been offered. The functioning of the seismic detectors has been analyzed. The device can be used for the seismic prospecting.