

Н.В. СВИСТУНОВ, предприятие “АПЕКС”, г. Николаев,
В.А. ЕРОФАЛОВ, канд. геол.-мин. наук,
А.Г. ГУРИН, д-р техн. наук, **С.П. МОСТОВОЙ**, канд. физ.-мат. наук,
О.Н. ЯРМАК, вед. инженер, НТУ “ХПИ”

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ И ИНТЕНСИФИКАЦИИ ДОБЫЧИ НЕФТИ И ГАЗА

В статті показана необхідність подальшого вивчення нафтогазоносного басейну України – Дніпровсько-Донецького району з метою проведення більш детальної сейсмозвідки цього регіону більш досконалими електродинамічними джерелами сейсмічних коливань і приймальної апаратури нового покоління, яка дозволяє накопичувати інформацію від імпульсних джерел, керувати системою спостереження, реєстрації і відтворення даних. Наведені результати розробки автоматизованих сейсмозвідувальних комплексів, які впроваджені НТУ “ХПІ” в різних геофізичних організаціях України і держав СНД.

In clause the necessity of the further study petroleum and gas carry pool of Ukraine – Dneprovsk-Donetsk area with the purpose of realization of more detailed seismoreconnaissance of this region by more perfect electrodynamic sources of seismic fluctuations and reception equipment of new generation allowing to accumulate the information from pulse sources, to operate system of supervision, registration and reproduction of the data. The results of development of the automated seismic prospecting complexes introduced by NTU “KhPI” in various geophysical organizations of Ukraine and the countries of CIS are given.

Постановка проблемы. Важнейшей задачей геологоразведки Украины является развертывание сейсморазведочных исследований и основанного на этих данных глубокого бурения к востоку от выработанного в настоящее время Шебелинского месторождения. В этой зоне следует ожидать таких же крупных залежей углеводородов (УВ), как в Днепроовско-Донецкой зоне. В этих районах в 70-80 годах проводились сейсморазведочные работы, связанные с поиском нефти и газа, но невысокая эффективность этих работ, вызванная низким на тот период техническим уровнем аппаратуры, применение цифровых сейсмостанций “Прогресс” не было приспособлено для регистрации отраженных волн в режиме накопления импульсов, и поэтому все попытки использования невзрывных источников не вышли из стадии опытных работ. Использование устаревшего способа возбуждения упругих колебаний взрывами тротила в неглубоких скважинах из-за высокого уровня помех является неперспективным для изучения глубин порядка 5000 м и глубже в пределах приразломных зон Днепроовско-Донецкой впадины (ДДВ). Выход из этой ситуации – это доразведка месторождений ДДВ современными излучающими и приемными устройствами, открытие новых залежей УВ на глубинах 5000 м и глубже.

Этаж нефтегазоносности этих районов составляет до 5000 м (от глубины 416 м – Спиваковское месторождение, до глубины 6054 м – Камышнянская

площадь). Кроме того, в пределах ДДВ получены притоки нефти и газа из трещинных гранитов докембрийского возраста (глубина 3200 м, Хухринская площадь). Жидкая нефть встречается в трещинных породах докембрийского фундамента на Кобелякской площади. Из 159 месторождений УВ, открытых в пределах ДДВ к концу XX века, большинство приурочено к зонам глубинных разломов, а изучение последних связано с определенными трудностями:

а) фонд структур антиклинального типа исчерпан и происходит постоянное усложнение условий поиска месторождений УВ, содержащихся в ловушках различных типов;

б) основные залежи ДДВ приурочены к породам палеозойского возраста и реально открытие залежей УВ на глубинах свыше 3000 м, аккумулялированных, в основном, в коллекторах трещин каверного типа;

в) на современном этапе геологоразведочных работ возникает вопрос о целенаправленном поиске ловушек неантиклинального типа, разведка которых даст возможность реального прироста запасов УВ, что требует применения более совершенных автоматизированных комплексов, включающих современные источники сейсмических колебаний и системы обработки информации.

Невзрывные электродинамические источники для геофизических исследований с поверхности земли. Возможности сейсмоакустических методов в значительной степени определяются характеристиками используемой приборной базы и, прежде всего, источников сигналов. Особый интерес представляют невзрывные источники сейсмических колебаний. Не нарушая свойств окружающей среды, они могут многократно осуществлять генерирование одинаковых по амплитуде и форме зондирующих сигналов, благодаря чему обеспечивается полная воспроизводимость сейсмограмм в статических условиях, отслеживание изменений среды в динамических условиях. Повышение разрешающей способности определения границ пластов связано с развитием специализированных невзрывных источников высокочастотного сейсмического диапазона. Они должны обладать большой мощностью, допускать возможность длительной непрерывной работы при неизменных параметрах излучаемых сигналов в импульсном и вибрационных режимах, иметь узкую управляемую диаграмму направленности. Это позволяет повысить эффективность исследований и точность прогнозирования структуры и физико-механических процессов в исследуемой среде.

Предварительные исследования [1-6], проведенные в НТУ “ХПИ” еще в середине семидесятых годов, показали, что для достижения указанных характеристик источников сигналов наиболее перспективными представляются электродинамические источники (ЭДИ) с плоскими катушками (индукторами). В них преобразование энергии электрического поля в энергию акустического импульса осуществляется посредством минимального числа промежуточных конструктивных элементов – тонкой электропроводящей мембраны.

С целью наилучшей передачи высокочастотных колебаний грунту масса мембраны должна быть небольшой, а скорость нарастания плотности энергии магнитного поля в зазоре между индуктором и мембраной, напротив – очень высокой. За счет этого достигается высокая эффективность преобразования, спектр сигнала легко сдвигается в область повышенных частот. Для получения необходимого спектра излучаемого сейсмического сигнала было разработано множество вариантов исполнения ЭДИ, отличающихся размерами индукторов (это вызвано необходимостью согласования с исследуемой средой и возможностями транспортной базы), конструкцией мембраны и способами ее закрепления и демпфирования от повторных ударов, использованием многозаходовых, секционированных и многослойных катушек.

Другая группа факторов, определяющая эффективность источника, связана со способами формирования сигнала, т.е. со схемными решениями генераторов импульсов тока (колебательные, униполярные, кодоимпульсные, фазоманипулированные режимы работы). Наконец, третья группа актуальных вопросов связана с проблемами их группирования. Короткая длительность импульсов и сложная форма сигналов привели к различным способам решения данной проблемы [7-12].

С помощью ЭДИ была опробована методика формирования остронаправленного излучения, создаваемого группой излучателей. При одновременном излучении колебаний всеми излучателями в нижнем полупространстве формируется волновой фронт, имеющий форму полуцилиндра, ограниченного с двух сторон полусферами. Цилиндрическая часть фронта соответствует длине линейного источника (прожекторная зона волны). Ось цилиндра совпадает с границей дневной поверхности. В вертикальной плоскости, проходящей через ось цилиндра, в пределах прожекторной зоны фронт волны прямолинеен и горизонтален (плоский фронт), а лучи ориентированы вертикально. За пределами прожекторной зоны фронт волны имеет сферическую форму с ориентацией лучей в пределах углов от 0 до 90°.

Если излучение колебаний осуществляется с некоторым временным запаздыванием, в пространстве формируется коническая волна, также ограниченная двумя полусферами. В этом случае прожекторная зона волны наклонена под углом, равным наклону фронта волны. Ось конуса совпадает с линейным источником. В плоскости, проходящей через ось конуса, в пределах прожекторной зоны фронт волны также прямолинеен, но наклонен под углом, зависящим от временных запаздываний между импульсными воздействиями на фазу и от скорости продольной волны в среде. Соответственно лучи падающих волн в пределах прожекторной зоны ориентированы в одном направлении и наклонены под углом, равным наклону фронта волны.

Строго определенная ориентация сейсмических лучей в пространстве за пределами прожекторной зоны волны предопределяет свойства

группового источника по выделению волн с учетом направления их распространения. Благодаря этому свойству, можно направлять возбужденные колебания в тех направлениях, откуда предусматривается регистрация полезных волн. Сейсмические колебания из нежелательных направлений будут резко ослаблены или не зарегистрированы вообще. Это явление отличает групповой источник от интерференционных регистрирующих и обрабатывающих систем. Благодаря тому, что он излучает колебания в пространстве в строго определенном направлении, регистрируемое волновое поле в значительной степени ослаблено и в нем доминируют волны из тех направлений, куда была послана сформированная падающая волна.

При дискретном источнике характер волнового поля зависит от плотности расположения элементарных электродинамических излучателей. Чем больше расстояние между отдельными излучателями, тем на больших глубинах сформируется расчетное волновое поле. Если расстояние между источниками больше длины волны, то на диаграмме направленности формируются побочные лепестки. Поэтому для получения наиболее благоприятного волнового поля, аналогичного полю линейного непрерывного излучателя, необходимо обеспечить достаточную плотность источников [13, 14].

При проведении сейсмических исследований применяют линейное или площадное расположение элементарных излучателей. При площадном дискретном источнике в виде прямоугольника со сторонами $L_x = l_x(N_x - 1)$ и $L_y = l_y(N_y - 1)$, где N_x и N_y - количество элементарных излучателей, размещенных вдоль осей x и y , а l_x и l_y - расстояние между ними. Примем, что N_x и N_y - величины нечетные, с тем, чтобы в начале координат располагался излучатель с нулевым индексом. Тогда спектр излучаемых суммарных колебаний $S_\Sigma(\omega)$, обобщенная характеристика направленности $P(N)$ площадного дискретного управляемого источника колебаний, амплитуда $A(N)$ и фаза $\varphi(N)$ суммарного сигнала в любой точке среды $M(x_M, y_M, z_M)$ нижнего полупространства могут быть представлены выражениями:

$$S_\Sigma(\omega) = S_o(\omega)P(N), \quad (1)$$

где $S_o(\omega)$ - спектр импульсных колебаний площадного источника;

$$P(N) = \sum_{k=-\frac{N_x-1}{2}}^{\frac{N_x-1}{2}} \sum_{i=-\frac{N_y-1}{2}}^{\frac{N_y-1}{2}} \frac{\alpha_b}{R_b} \exp \left[-j\omega \left(\frac{\Delta R_b}{v} - \tau_b \right) \right]; \quad (2)$$

$$A^2(N) = \left[\sum_{k=-\frac{N_x-1}{2}}^{\frac{N_x-1}{2}} \sum_{i=-\frac{N_y-1}{2}}^{\frac{N_y-1}{2}} \frac{a_b}{R_b} \cos \omega \left(\frac{\Delta R_b}{v} - \tau_b \right) \right]^2 + \quad (3)$$

$$+ \left[\sum_{k=-\frac{N_x-1}{2}}^{\frac{N_x-1}{2}} \sum_{i=-\frac{N_y-1}{2}}^{\frac{N_y-1}{2}} \frac{a_b}{R_b} \sin \omega \left(\frac{\Delta R_b}{v} - \tau_b \right) \right]^2 ;$$

$$\varphi(N) = \arctg \frac{\sum_{k=-\frac{N_x-1}{2}}^{\frac{N_x-1}{2}} \sum_{i=-\frac{N_y-1}{2}}^{\frac{N_y-1}{2}} \frac{a_b}{R_b} \sin \omega \left(\frac{\Delta R_b}{v} - \tau_b \right)}{\sum_{k=-\frac{N_x-1}{2}}^{\frac{N_x-1}{2}} \sum_{i=-\frac{N_y-1}{2}}^{\frac{N_y-1}{2}} \frac{a_b}{R_b} \cos \omega \left(\frac{\Delta R_b}{v} - \tau_b \right)}, \quad (4)$$

где $k=0, 1, 2, 3, \dots, i=0, 1, 2, 3, \dots$ - порядок расположения элементарных излучателей соответственно вдоль x и y ;

$$R = \sqrt{(kl_x - x_M)^2 + (il_y - y_M)^2 + Z_M^2} -$$

расстояние от данного элементарного излучателя, расположенного в некоторой точке на дневной поверхности, до точки наблюдения $M(x_M, y_M, z_M)$ внутри среды;

$$\tau_b = \frac{1}{v}(R_o - R_b) -$$

времена запаздывания излучения колебаний элементарными излучателями; ΔR_b - разность путей пробега волн к точке $M(x_M, y_M, z_M)$ от начала координат R_o и от любой точки поверхности излучения R_b ; a_b - амплитуда одиночного сигнала, излучаемого одиночным излучателем.

Этот метод исследования глубоких горизонтов в Украине был подробно изучен в УкрНИГРИ и опробован в Киевской, Западно-Украинской, Крымской и Полтавской геофизических экспедициях, когда в качестве элементарных излучателей использовались точечные взрывы ВВ.

Большой объем опытно-методических работ был выполнен совместно с Минусинской экспедицией ПГО "Енисейгеофизика", на базе которой освоено производство четырех видов ЭДИ:

1) “Енисей-СВ” – санный вариант ЭДИ, в котором преобразователи расположены в полозьях саней. При этом отпадает необходимость в спуско-подъемных устройствах, инертных массах, увеличивается площадь излучающей поверхности;

2) “Енисей-СН” – санный вариант с низковольтными накопителями большой емкости. Отличается более низким спектром излучения по сравнению с предыдущим ЭДИ;

3) “Енисей-ТВ” – тракторный вариант ЭДИ, размещенный на энергонасыщенном колесном тракторе Т-150К;

4) “Енисей-ТН” – тракторный вариант с низковольтными накопителями (низкочастотный).

Передвижная установка “Енисей-СВ” формирует сейсмические колебания в диапазоне частот 25-250 Гц. Тяговым устройством является трактор Т-130-11, с вала отбора мощности которого через редуктор приводится во вращение электрический генератор ГСС5-82-4У2, обеспечивающий зарядку емкостных накопителей. Управление работой установки и контроль функционирования ее основных силовых элементов осуществляется из утепленного кузова (эксплуатация установки ведется в зимнее время в суровых климатических условиях Красноярского края). Формирование волнового сейсмического поля ведется из разных точек трассы. Акустический контакт с грунтом обеспечивается за счет уплотнения снега полозьями саней при движении установки, разнесением шести излучателей по всей длине каждого полоза, большой инертной массой, в качестве которой выступает сам кузов с оборудованием. Просвечивание сложного рельефа с многих разнесенных в пространстве точек облегчает формирование устойчивого волнового поля и получение четких отражений с глубин вплоть до 2-3 км.

В установке “Енисей-СН” реализован ряд приемов увеличения глубины сейсмопрофилирования (вплоть до 4-5 км): пониженный частотный диапазон, применение гидроамортизаторов для исключения повторного удара, увеличение инертной массы. При напряжении 1000 В энергия емкостного накопителя составляет 60 кДж. Амплитуда импульса силы – 30 т, длительность – 10 мс. Длина установки 9,8 м, ширина 2,5 м, высота 3,1 м, полная масса 24 т.

Тракторные варианты установок “Енисей-ТВ” и “Енисей-ТН” имеют такие же технические характеристики и отличаются только ходовой базой. Они могут эксплуатироваться на малозаснеженных трассах, отличаются большой маневренностью. Излучатели смонтированы на раме и прижимаются к грунту гидравлическими цилиндрами. В рабочем положении вся масса трактора используется для прижима излучателей к грунту.

В настоящее время применение разработанных в НТУ “ХПИ” электродинамических излучателей позволит получить более качественный полевой материал при изучении сложных глубинных горизонтов при поисках нефти и газа.

Параметры одиночных источников, разработанных и внедренных НТУ “ХПИ” в различных геофизических организациях, приведены в табл.1.

Таблица 1

Основные технико-экономические данные
электродинамических источников типа ЭДИ

№ п/п	Наименование параметра	0,4/1	0,8/1	1,2/5	2,5/2	4/6	10/0,5	Енисей-СВ	Енисей-ТВ	Енисей-Н
1	Максимальная сила воздействия на грунт, кН	26	20	200	80	100	35	500	600	600
2	Максимальная длительность импульса, мс	5	6	8	10	4-12	9-24	5-6	4-5	4-5
3	Период следования импульсов, с	1	1	0,01-2	0,01	6	6	6	6	6
4	Суммарная запасаемая энергия, кДж	0,4	0,8	1,2	2,5	3,7	10	60	60	65
5	Количество излучателей, шт.	1	1	5	2	6	2	2	6	6
6	Рабочая поверхность одиночного излучателя, м ²	0,13	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,75	0,25	0,25
7	Преобладающая частота в спектре сигнала, Гц	440	250 - 420	320	320	75-250	75-250	120	150	150
8	Точность синхронизации воздействия, мс	0,03	0,03	0,03	0,03	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
9	Число каналов, шт	1	1	5	2	6	2	2	6	6
10	Мощность источника питания, кВт	4	4	4	4	1	4	37,5	25	25
11	Масса источника (с транспортным средством), кг	70	80	500	130	500	2500	20000	13800	13800
12	Транспортное средство	нет	нет	нет	нет	Прицеп П2	ГАЗ-66	Т-130 сани	К-701 Т-150	К-701 Т-150
13	Габариты, м							11,6 × 2,5 × 3,2	6,5 × 2,5 × 3,0	6,5 × 2,5 × 3,0

Выводы. На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Применение современной аппаратурной базы позволит более детально изучить глубинные разрезы Днепровско-Донецкой площади, перспективной на нефть и газ.

2. Наиболее перспективным способом излучения сейсмических колебаний можно считать способ управляемого плоского фронта, опробованный рядом геофизических экспедиций Украины, позволяющий детально изучать сложные структуры пластов.

3. Необходимо продолжить работы по совершенствованию электродинамических излучателей сейсмических колебаний как перспективному направлению развития приборной базы в Украине.

Список литературы: 1. *Гурин А.Г.* Автоматизированные системы формирования мощных сейсмических сигналов на базе электродинамических источников // Информационные технологии: наука, техника, технология, здоровье: Тр. междунар. научн.-техн. конф., Харьков, 12-14 мая 1997 г.: Харьк. гос. политехн. ун-т, Мишкольц. ун-т, Магдебург. ун-т. - 1997. - Ч. 5. - С. 254-256. 2. *Гурин А.Г.* Определение механических напряжений под мембраной электродинамического излучателя сейсмических колебаний // Механіка та машинобудування. - 1998. - №2. - С.69-72. 3. *Гурин А.Г.* Формирование направленных сейсмических волн с заданными параметрами поверхностными источниками электродинамического типа // Вестник Харьк. политехн. ин-та "Магнитно-импульсная обработка металлов". - 1976. - №12. - Вып. 3. - С. 66-70. 4. *Городецкая Г.М., Гурин А.Г., Литвиненко О.А., Мицкевич С.Г., Поветкин Н.А.* Расчетные модели электродинамических преобразований источников сейсмических колебаний // Вестник Харьк. политехн. ин-та "Электроэнергетика и автоматизация энергоустановок". - 1981. - №176. - Вып. 9. - С.68-72. 5. *Гурин А.Г., Литвиненко О.А., Мостовой С.П.* О выборе электрических параметров высокочастотных сейсмических источников электродинамического типа // Вестник Харьк. политехн. ин-та "Электроэнергетика и автоматизация энергоустановок". - 1987. - №243. - Вып. 14. - С.36-38. 6. *Гурин А.Г., Дубров Н.Н., Мостовой С.П.* Сравнительная эффективность преобразователей электродинамических сейсмоисточников // Вестник Харьк. политехн. ин-та "Электроэнергетика и автоматизация энергоустановок". - 1993. - №14. - Вып. 18. - С.51-52. 7. *А. с. СССР.* Установка для сейсмической разведки / *А.Г. Гурин., М.Н. Косенко., Л.И. Нечуйвитер, Е.П. Анкундинов.* - № 807818; оп. БИ № 19, 1980. 8. *А. с. СССР.* Способ определения механических свойств грунта в естественном залегании / *А.Г. Гурин, Ю.И. Васильев, О.А. Литвиненко, Л.В. Соколов, М.Н. Щербо.* - № 1077976. 9. *А. с. СССР.* Устройство для возбуждения сейсмических колебаний / *А.Г. Гурин, И.И. Глушко, О.А. Литвиненко, В.В. Сибгатуллин.* - № 1220468; зарег. 22.11.1985 г. 10. *А. с. СССР.* Источник сейсмических колебаний / *А.Г. Гурин, О.А. Литвиненко, М.Б. Шнейерсон.* - № 1701044; зарег. 22.08.1991 г. 11. *А. с. СССР.* Высоковольтный электродинамический излучатель / *А.Г. Гурин, А.В. Беспрозванных, В.Я. Гладченко, Б.Г. Набока.* - № 1400449; зарег. 01.02.1988 г. 12. Патент Украины. Способ возбуждения сейсмических колебаний / *А.Г. Гурин, Н.А. Поветкин.* - По заявке от 23.09.1994 г., полож. реш-е от 14.12.1993 г. 13. *Бендерский В.Я. и др.* Опыт применения сейсморазведки при изучении подсолевых отложений в Днепровско-Донецкой впадине // Геология и разведка. - Изд-во вузов. - 1965. - №1. 14. *Бендерский В.Я. и др.* Применение направленных интерференционных систем при возбуждении и приеме колебаний в Днепровско-Донецкой впадине // Сб. "Сейсморазведка с применением группирования взрывов на длинных базах и способа центральных лучей. - М.: Недра. - 1965.

Поступила в редколлегию 05.06.2006