

С.П. МОСТОВОЙ, канд. физ.-мат. наук, с.н.с. НТУ "ХПИ", Харьков

ИССЛЕДОВАНИЕ БЛИЖНЕГО ПОЛЯ ИМПУЛЬСНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ИНДУКЦИОННО - ДИНАМИЧЕСКОГО ТИПА

В статті наведені результати експериментальних досліджень амплітудно-частотної характеристики ближнього сейсмічного поля імпульсного сейсмічного випромінювача з електромеханічним перетворювачем енергії індукційно-динамічного типу у вигляді заземленої плоскої мембрани.

В статье приведены результаты экспериментальных исследований амплитудно-частотной характеристики ближнего сейсмического поля импульсного сейсмического излучателя с электромеханическим преобразователем энергии индукционно-динамического типа в виде заземленной плоской мембраны.

Введение. Теоретический анализ и изучение структуры упругих полей в ближней зоне импульсных сейсмических источников рассматривались в целом ряде работ. Воздействие на грунт импульсного сейсмического излучателя порождает вблизи излучателя сложную волновую картину полей механических перемещений, параметры которой определяют пространственные, амплитудные и частотные характеристики излучения. Актуальным является изучение этих волновых полей в задачах малоглубинной и инженерной сейсморазведки, сейсмические источники для которой должны обладать широкополосностью излучения, высокой повторяемостью генерируемых сигналов и прогнозируемостью параметров излучения.

Цель, задачи исследования Целью исследования является экспериментальное определение параметров ближнего поля перемещений импульсного сейсмического излучателя, электромеханический преобразователь которого выполнен в виде заземленного круглого диска (мембраны), который устанавливается на поверхности грунта и приводится в движение импульсным магнитным полем плоской индукторной системы.

В последние годы для задач малоглубинной и инженерной сейсморазведки разработаны электромагнитные и электродинамические импульсные источники сейсмических колебаний разных типов: "ИНЭ-1"; "Енисей"; "Геотон"; "Сейсмодин"; "Терра". Они выполнены, как

правило, на основе силового электромагнитного привода, содержащего один или несколько синхронно работающих короткоходовых электромагнитов и автономную систему питания, состоящую из емкостного накопителя энергии и устройства для ее заряда и разряда [1]. К достоинствам источников данного типа можно отнести высокую идентичность возбуждаемых колебаний при повторных воздействиях; экологическую безопасность; относительно высокий КПД преобразования энергии (электрической – в акустическую). Однако данные источники имеют и недостатки, накладывающие ограничения в условиях их эксплуатации. К ним можно отнести сложность конструкции устройств, а отсюда – их высокая себестоимость; возможность использования источников только на суше; неудовлетворительная синхронность воздействия источников (погрешность составляет не лучше ± 2 мс), что явно недостаточно для когерентного накопления полезных сигналов с максимумом спектра более 100 Гц.

Более перспективными для задач малоуглубинной и инженерной сейсморазведки являются импульсные сейсмоисточники, электромеханический преобразователь энергии (механическая подсистема) которого выполнен в виде плоской индукторной системы в виде заземленного электропроводящего диска, приводящегося в движение за счет давления импульсного магнитного поля. Электромагнитная система таких сейсмоисточников выполнена по аналогии с быстродействующими индукционно - динамическим приводами, широко известными в практике конструирования электрических аппаратов [2]. В таких сейсмоисточниках минимизировано влияние движущихся элементов силового провода, отсутствуют удары инертных масс о поверхность грунта и достигнута синхронность воздействия не хуже ± 40 мкс. На основе таких импульсных сейсмоисточников ранее созданы короткоимпульсные системы высокочастотной сейсмической локации с высокой разрешающей способностью [3]. Тем не менее, для ряда задач высокочастотной сейсморазведки (формирование диаграмм направленности при локации, изучение особенностей генерации и распространения высокочастотных поверхностных волн в грунтах, проявление разного рода нелинейностей среды и т.д.) представляет интерес изучение ближнего сейсмического поля таких сейсмических излучателей.

Для выяснения амплитудных и частотных зависимостей генерируемых сейсмосигналов от параметров электромагнитной и механической подсистем сейсмоисточника, были проведены измерения основных характеристик сигналов при функционировании сейсмоисточника с преобразователем индукционно – динамического типа на ре-

альных грунтах. С помощью 2-х компонентного акселерометра ТПА-2 чувствительностью $0,001 \text{ В}\cdot\text{с}^2/\text{м}$, предназначенного для измерения параметров импульсов длительностью $(0,015\dots 12,5)\cdot 10^{-3} \text{ с}$, и измерителя шумов и вибраций ВШВ-003 (суммарная погрешность измерений не хуже 10%) регистрировались импульсы сейсмоускорения по линии радиуса, выходящего из центра рабочей площадки сейсмоисточника на углублении 0,05 м. Сигналы отображались на запоминающем осциллографе типа С8-13, имеющем погрешность измерений не хуже 5%. На рис. 1 представлены осциллограммы вертикальной (а) и горизонтальной (б) составляющей импульсов сейсмоускорения, зарегистрированные под центром диска индукционно-динамического преобразователя (ИДП) сейсмоисточника ЭДИ-2,5/2 при начальной энергии емкостного накопителя, равной 450 Дж. Масштаб амплитудных значений составляет $54 \text{ м/с}^2/\text{дел}$ (рис. 1,а); $24,4 \text{ м/с}^2/\text{дел}$. (рис. 1,б); длительность развертка – 2 мс/дел . Амплитудное значение вертикальной составляющей импульса (рис. 1,а) превосходит значение горизонтальной составляющей этого импульса приблизительно в $2\dots 2,2$ раза. Этот эффект наблюдался и при изменении ориентации датчика на 90° относительно оси сейсмоисточника, т.е. при измерении второго значения горизонтальной составляющей импульса. Хотя сам факт наличия горизонтальной составляющей импульса сейсмоускорения на оси симметрии сейсмоисточника требует дополнительных исследований для изучения этого явления, тем не менее, используя результаты работ [4,5], можно оценить величину сдвиговой компоненты импульса:

$$a_{\text{гр}S} = \left(a_{\text{гр}x}^2 + a_{\text{гр}y}^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

где $a_{\text{гр}S}$ - сдвиговая компонента импульса сейсмоускорения; $a_{\text{гр}x}, a_{\text{гр}y}$ - значения горизонтальных составляющих импульса сейсмоускорения.

Величина отношения сдвиговой компоненты импульса к продольной составляет $0,64\dots 0,7$, что, по-видимому, связано со значительным неравенством констант упругости Ламэ μ и λ , характеризующие мягкие грунты (для консолидированных упругих сред эти константы приближенно равны друг другу и величина этого отношения определяется известными соотношениями [6]). Рассчитанный диапазон соотношения сдвиговой компоненты импульса к продольной характерен для всех точек измерений, проведенных вдоль радиуса рабочей площадки (диска) сейсмоисточника.

Остановимся, далее, на параметрах электрической подсистемы импульсного сейсмоисточника. Импульсное магнитное поле генерировалось в течении первого полупериода импульса разрядного тока емкостного накопителя энергии, измеренное значение частоты разрядного тока при этом составляла 170 Гц.

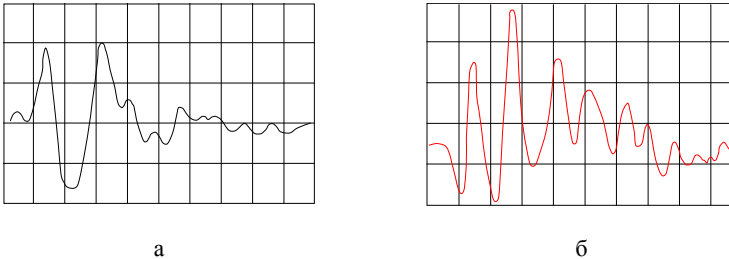


Рис. 1.

На рис. 2,а представлена спектрограмма продольной составляющей импульса сейсмоускорения, соответствующая осциллограмме рис. 1,а, полученная непосредственным измерением сигнала акселерометра на анализаторе спектра типа СК4-72 (инструментальная погрешность измерений по частоте и амплитуде 1% и 4% соответственно). Как видно из рисунка, максимум спектрального распределения приходится на частоту 320 Гц, что приблизительно соответствует удвоенной частоте разрядного тока емкостного накопителя энергии.

Компонента частотой 240 Гц характеризует демпфирующие свойства нагрузки сейсмоисточника – слоя грунта, участвующего в формировании волнового пакета продольных и поперечных излучаемых сейсмических волн. Спектральная компонента частотой 400 Гц описывает изгибные колебания заземленного диска; измеренное значение этой частоты (рис.1,б) составляет около 420 Гц, а рассчитанное по известному выражению для гидроакустического излучателя на основе заземленного круглого диска (с геометрическими и физико-механическими параметрами, аналогичными диску сейсмоисточника) составляет 416 Гц [7].

Представляет интерес характер распределения относительных значений спектральных компонент по радиусу ИДП. Этот процесс иллюстрирует рис. 2,б, на котором показаны отнормированные (за единицу принято значение амплитуды спектральной компоненты на частоте 320 Гц) величины некоторых спектральных компонент. Из рисунка можно сделать вывод о том, что высокочастотные импульсы сосре-

доточены в круге диаметром $0,4r$, где r - радиус диска сейсмоисточника ($r = 0,25$ м). Низкочастотная компонента импульса ($\cong 120$ Гц) практически постоянна вдоль радиуса и может быть интерпретирована как резонансная ("установочная") частота сейсмоисточника на грунте

Экспериментальное значение частоты "установочного" резонанса сейсмоисточника достаточно точно совпадает с оценочным значением – 136 Гц, вычисленным по выражению 2 [8]:

$$f_{\text{рез}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{m_{\text{и}} C_{\text{гр}}}}, \quad (2)$$

где $C_{\text{гр}} = 1/8(1-\gamma)\rho v_s^2 r$ - "гибкость" грунта; $m_{\text{и}}$ - масса сейсмоисточника.

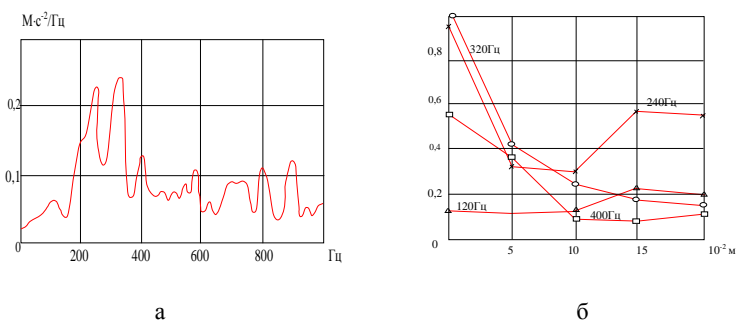


Рис. 2.

Эксперимент проведен на суглинистом грунте со следующими, экспериментально определенными параметрами: плотностью $\rho = 1,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; величиной скорости поперечных волн $v_s = 200$ м/с; отношение скоростей поперечных и продольных волн в грунте $\gamma = 0,5$.

Выводы.

1. Для импульсного сейсмического излучателя с электромеханическим преобразователем энергии индукционно-динамического типа, выполненным в виде заземленной мембраны, характерен максимум спектральной плотности излучения, численно равный удвоенной частоте разрядного тока емкостного накопителя энергии.

2. Нижняя граница ширина полосы излучения определяется физико-механическими свойствами грунта и размерами мембраны.

3. Путем изменения значений электрических параметров разряд-

ного контура емкостного накопителя энергии возможна резонансная настройка сейсмоисточника для конкретных сейсмогеологических условий.

4. Изгибные колебания мембраны не оказывают существенного влияния на процесс формирования импульса сейсмического излучения.

Список источников информации: 1. *Ивашин В.В., Иванников Н.А.* Импульсные электромагнитные сейсмоисточники: особенности и перспективы совершенствования // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2005. – №2. – с. 9-15. 2. *Карпенко Л.Н.* Быстродействующие электродинамические отключающие устройства. – Л.: Энергия, 1973. – 158 с. 3. *Дубров Н.Н., Заславский Ю.М., Мостовой С.П.* Короткоимпульсный сейсмический геолокатор на объемных Р – волнах // Известия РАН, Физика Земли. – 1992. – №11. – С. 54-63. 4. *Алешин А.С.* Опыт оценки характеристик излучения вибратора СВЧ // Исследование Земли невзрывными сейсмическими источниками – М.: Наука, 1981. – с. 220-228. 5. *Нациф А., Джоунс Д., Хендерсон Дж.* Демпфирование колебаний. – М.: Мир, 1988. – 448с. 6. *Сейморазведка: справочник геофизика / Под ред. В.П. Номоконова. т.1.* – М.: Недра, 1990. – 336 с. 7. *Свердлин Г.М.* Гидроакустические преобразователи и антенны. – Л.: Судостроение. – 1988. – 200 с. 8. *Чичинин И.С.* Вибрационное излучение сейсмических волн. – М.: Недра, 1984. – 224 с.

Поступила в редколлегию 01.07.2010