

УДК 621.3.09 (537.877)

Е.В. Плешакова

ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ БУРОВОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА В СЛОИСТОЙ ГЕОСРЕДЕ

Предложен новый метод геофизического контроля за отклонением пробойника от заданного курса при движении бурового рабочего органа в геосреде.

Ключевые слова: геофизический контроль, буровой рабочий орган, пневмопробойник, свойства геосреды.

Неделя горняка

Задача определения координат бурового рабочего органа, движущегося горизонтально в геосреде, является актуальной при использовании бесструнных способов прокладки подземных коммуникаций. В настоящее время в российской строительной практике для этих целей используют только импортное оборудование, например, навигационная система МАГстир (фирма Impacdrilling LTD, Англия) и системы позиционирования Mark III, IV, V, Eclipse (компании Digitrack, Германия). Сущность работы данных устройств заключается в использовании пневмопробойника в качестве источника электромагнитного поля посредством включения в его конструкцию постоянного магнита (система МАГстир), либо излучающего зонда (системы Mark). Приемник, расположенный на поверхности земли, отслеживает положение пневмопробойника в грунте по создаваемому им электромагнитному полю. Ввиду неоднородности грунта, использования низкочастотного диапазона волн и работе по неизвестной диаграмме направленности данные системы не всегда обеспечивают достоверность при определении координат подземного объекта.

Предлагается с целью повышения точности при определении угла откло-

нения пневмопробойника от заданного курса использовать его в качестве передающей антенны заданного типа – несимметричного вибратора, для формирования в радиочастотном диапазоне диаграммы направленности по электрической компоненте электромагнитного поля в виде воронки. Два приемных устройства, расположенные в приемном приямке, изначально устанавливаются в положение, при котором интенсивность принимаемых сигналов одинакова. Отклонение от заданного курса сопровождается появлением разности уровней принимаемых сигналов ΔU , и по знаку данного сигнала судят о направлении отклонения пневмопробойника – вправо или влево. Минимальное значение ΔU характеризует чувствительность устройства навигации.

На рис. 2. представлена электрическая схема несимметричного вибратора [1], где одно плечо представляет собой пневмопробойник по своей длине l соизмеримый с длиной волны λ , а другое более короткое плечо (меньше чем 0.1 длины волны) – металлический диск с диаметром, примерно равным диаметру пробойника.

Напряженность электрического поля несимметричного вибратора в воздухе определяется выражением [2]:

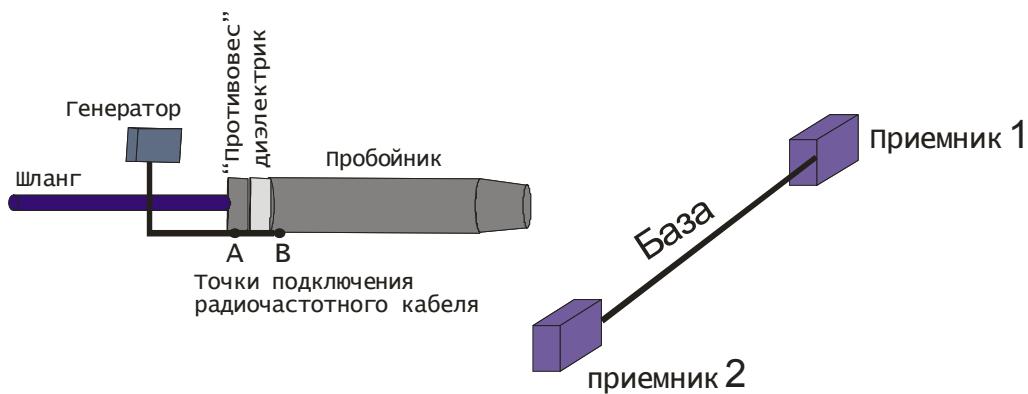


Рис. 1. Конструктивная схема реализации метода определения угла отклонения пневмопробойника от заданной траектории

$$E_0 = 60I \frac{\cos(2\pi \frac{l}{\lambda} \sin \varphi) - \cos(2\pi \frac{l}{\lambda})}{R \cdot \cos \varphi},$$

где R – расстояние от излучающей антенны до точки приема, φ – угол скольжения диаграммы направленности, I – ток в антенне.

В программе *HFSS Agilent 5.6*. производилось моделирование диаграммы направленности по электрической компоненте электромагнитного поля в воздухе и в средах с потерями. Симулятор *HFSS* (High Frequency Structure Simulator), разработанный в фирме Ansoft в 1990 году, – первая коммерческая программа, которая моделирует сложные трехмерные конфигурации произвольной формы. Основу решения трех- и двумерных задач электродинамики в *HFSS* составляет метод конечных элементов, который заключается в том, что пространство разбивается на простейшие элементы, имеющие форму тетраэдров. Размер тетраэдра должен быть достаточно мал для того, чтобы поле в его пределах можно было описать простой функцией или набором функций с неизвестными коэффициентами. Эти коэффициенты находятся с помощью уравнений Максвелла для граничных условий. В результате электродинамическая задача сводится к системе линейных алгебраических уравнений относительно этих коэффициентов, которое реализуется на компьютере.

Моделирование осуществлялось для модели пневмопробойника марки ИП4603 длиной 1500 мм, диаметром 130 мм; диаметр диэлектрика и противовеса равен диаметру пробойника, а их толщина – 20 мм.

При расчетах были приняты следующие допущения:

- среда является однородной в пределах зоны распространения электромагнитных колебаний;
- учитывается излучение только самого пневмопробойника;
- фронт волны электромагнитных колебаний плоский.

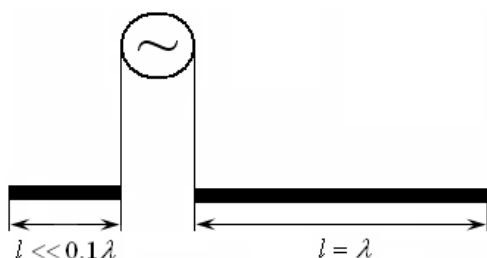


Рис. 2. Электрическая схема несимметричного вибратора

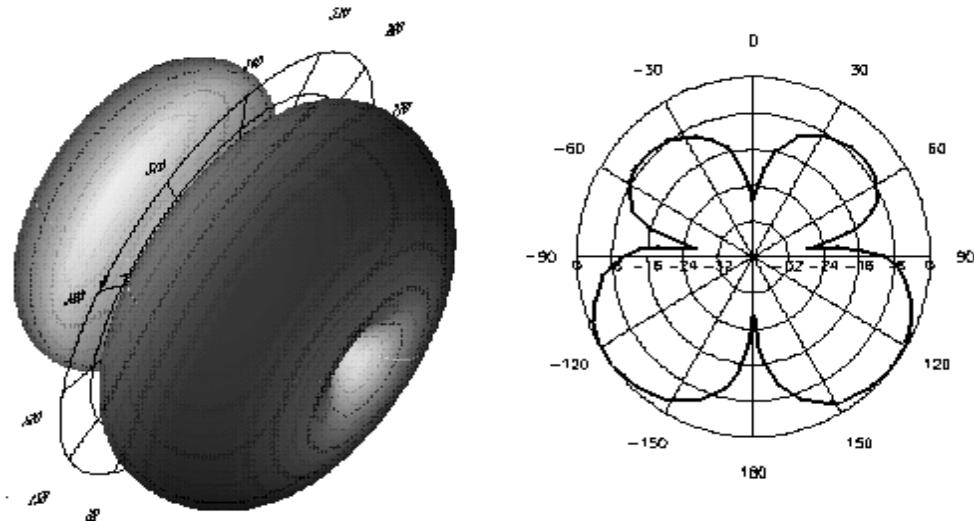


Рис. 3. Диаграмма направленности несимметричного вибратора в воздухе при $\lambda = \frac{4}{3} \cdot 1$

При $\lambda \leq \frac{4}{3} \cdot l$ (с учетом размеров пневмопробойника ИП 4603 рабочая частота составила 150 МГц) диаграмма направленности несимметричного вибратора по электрической компоненте электромагнитного поля в воздухе имеет вид воронки (рис. 3).

При помещении несимметричного вибратора в среду с потерями на плоскую границу раздела двух сред (воздух – суглинок или супесь) с электромагнитными параметрами соответственно ϵ_1 μ_1 σ_1 и ϵ_2 μ_2 σ_2 под углом φ к границе падает электромагнитная волна с плоским фронтом. В среде (суглинок или супесь) будет распространяться прошедшая (преломленная) волна [2]:

$$E_{\text{прош}} = W \cdot E_0 e^{i(k_2 x - k_2 z)}, \quad (1)$$

где W – коэффициент прохождения E компоненты в среде определяемый соотношением:

$$W = \frac{2 \frac{\mu_2}{\mu_1} \cos \varphi}{\frac{\mu_2}{\mu_1} \cos \varphi + n \cdot \cos \theta'}, \quad n - \text{показатель}$$

(коэффициент) преломления границы раздела: $n = \sqrt{\frac{\epsilon_2 \mu_2}{\epsilon_1 \mu_1}}$, θ' – угол преломления:

$\theta' = \arcsin\left(\frac{\sin \varphi}{n}\right)$, k_2 – волновое число в среде: $k_2 = \frac{2\pi \cdot f \cdot n}{c}$, где f – рабочая частота, а c – скорость света в воздухе, $k_{2x} = k_2 \sin \theta'$ и $k_{2z} = k_2 \cos \theta'$ – проекции волнового числа на соответствующие оси координат. Волной, отраженной от границы раздела двух сред в первом приближении пренебрегаем. На рис. 4 представлен результат моделирования посредством программы HFSS Agilent 5.6. диаграммы направленности несимметричного вибратора расположенного в среде типа суглинок (с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 8$).

По результатам моделирования, при помещении несимметричного вибратора из воздуха в хорошо проводящую

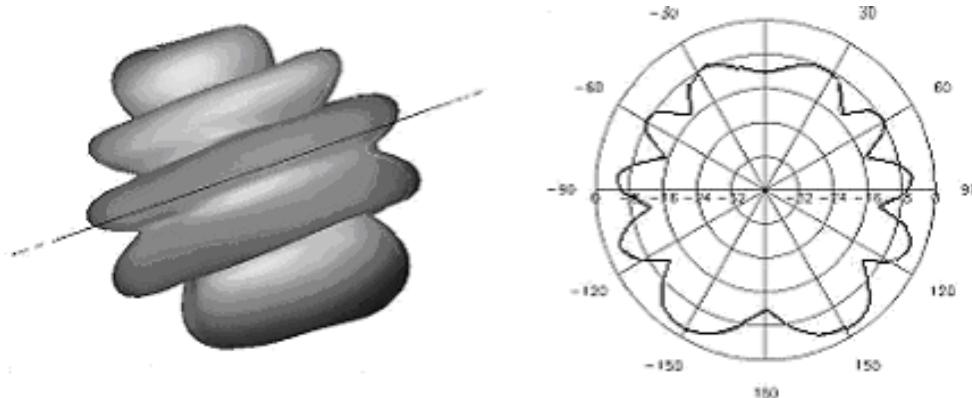


Рис. 4. Диаграмма направленности несимметричного вибратора в среде суглинок при $\lambda = \frac{4}{3} \cdot l$

среду (суглинок) отмечены значительные искажения диаграммы направленности – это появление дополнительных лепестков и сближение основных лепестков диаграммы. Изменение формы диаграммы направленности связано с изменением электромагнитных характеристик геосреды, в которую излучается радиоволновое поле. Степень изменения формы диаграммы направленности увеличивается с увеличением поглощающих свойств геосреды.

При падении электромагнитной волны на структуру, состоящую из нескольких (двух и более) однородных слоев с плоскими границами раздела, волновые процессы, возникающие вследствие многократных переотражений волн от каждой границы, внутри каждого слоя настолько усложняет общую волновую картину, что точное решение данной задачи по определению коэффициентов отражения и прохождения в такой многослойной структуре чрезвычайно сложно и громоздко. С целью возможности оценки амплитуд отраженных и проходящих сквозь многослойную среду электромагнитных волн используют приближенные методы расчетов коэффициентов отражения и пре-

ломления [2]. На рис. 5 представлены результаты моделирования диаграммы направленности модели пневмопробойника, расположенного горизонтально при переходе из среды типа сухой суглинок в среду влажный суглинок. По результатам моделирования видны характерные изменения диаграммы, а именно сужение и сближение основных лепестков, что на практике при реализации системы навигации позволит повысить точность при определении координат пневмопробойника в грунте.

С помощью математического моделирования в программе *HFSS Agilent 5.6* удалось проследить характер изменения диаграммы направленности электромагнитного поля в зависимости от свойств геосреды. На практике свойства грунта в пределах длины скважины до нескольких десятков метров резко изменяться не будут и поэтому диаграмму направленности пневмопробойника на протяжении всего участка проходки можно считать неизменной. Характерно, что для несимметричного вибратора практически для любых типов геосреды на выбранной радиочастоте 150 МГц диаграмма направленности имеет два основных лепестка, по которым приемники всегда смогут с

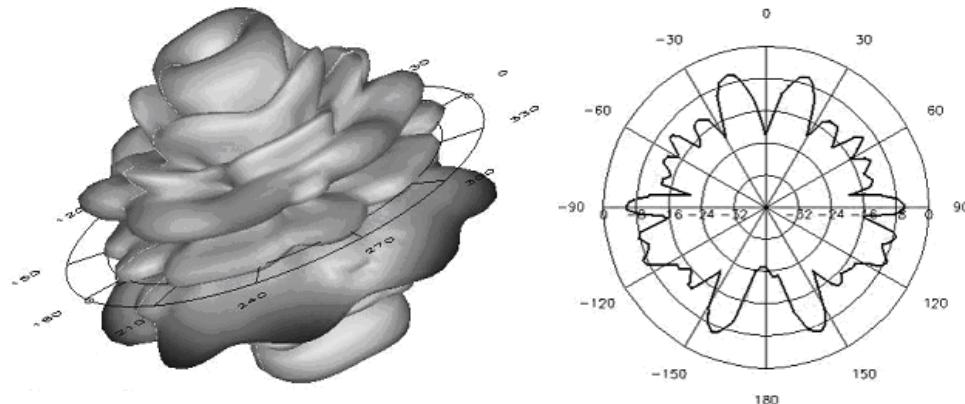


Рис. 5. Диаграмма направленности несимметричного вибратора при переходе из среды сухой суглиноч в среду влажный суглиноч при $\lambda = \frac{4}{3} \cdot l$

требуемой точностью отследить местоположение пневмпоробойника в грунте. За счет сужения диаграммы направленности, которое обусловлено поглощающими свойствами геосреды, про-

исходит формирование направленного по отношению к приемникам излучения, что позволит повысить разрешающую способность по углу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мейнке К., Гундлах Ф. Радиотехнический справочник– М.:Л.: Госэнергоиздат, 1960. – 416 с.
2. Рубан А.Д., Бауков Ю.Н., Шкуратник В.Л. Горная геофизика. Электрометрические методы геоконтроля. Ч.3. Высокочастотные электромагнитные методы. Учебное пособие. – М.: МГГУ, 2002. – 147 с. **ГИАБ**

Коротко об авторе

Плешакова Е.В. – ИГД СО РАН, yge@ngs.ru

