

Разработка антенны георадара для исследований фундаментов сооружений

В.В. Антипов¹, В.И. Сахтеров^{1,2}

¹ *Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН*

108840, г. Москва, г.Троицк Калужское шоссе д.4.

² *ООО «НПО Радиолокация в геофизике и радиофизике»*

108840, г. Москва, г.Троицк Калужское шоссе д.4. корп.12, офис 14

E-mail: npo.rgr@mail.ru

В настоящее время в инженерной геофизике широко используются импульсные георадары со сверхширокополосными сигналами повышенной мощности. В данных приборах используются антенно-фидерные устройства на основе резистивно-нагруженных дипольных антенн, имеющих различные параметры и стандартное конструктивное исполнение. Предложено новое конструктивное исполнение резистивно-нагруженных дипольных антенн, представлены результаты экспериментальных исследований с использованием данных антенн.

Ключевые слова: георадар, дипольная антенна, резистивно-нагруженный вибратор, диаграмма направленности, расчет антенны

Development of a ground penetrating radar antenna for foundation surveys

V.V. Antipov¹, V.I. Sakhterov^{1,2}

¹ *Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation Russian Academy of Sciences.*

² *Limited Liability Company RL Radar in geophysics and radiophysics*

Pulsed ground penetrating radars with ultra-wideband, high-power signals are currently widely used in engineering geophysics. These devices utilize antenna-feeder systems based on resistively loaded dipole antennas, which have various parameters and a standard design. A new design for resistively loaded dipole antennas is proposed, and the results of experimental studies using these antennas are presented.

Keywords: Ground penetrating radar, dipole antenna, resistive-loaded vibrator, radiation pattern, antenna calculation

Введение

В настоящее время в инженерной геофизике широко применяются малоглубинные и глубинные георадары. В малоглубинных георадарах (МГР) на основе стробоскопического осциллографа в основном применяются дипольные антенны [1-3]. Данные георадары используются в основном для исследования первых метров, но они обладают высоким пространственным разрешением, что позволяет им занимать до 90% рынка георадаров. Глубинные георадары (ГГР) имеют более низкое пространственное разрешение, но большую глубину георадиолокации [4-6]. В связи со спецификой в ГГР используются резистивно-нагруженные дипольные антенны (РНДА), позволяющие излучить сверхширокополосный импульс и одновременно начать прием отраженных сигналов от границы сред и объектов без возникновения паразитных автоколебаний [7]. Но вследствие этого данные антенны обладают низкой эффективностью, их КПД 30% по сравнению с обычной дипольной антенной, но учитывая, что ГГР имеют более высокий динамический диапазон они имеют более глубокие глубины георадиолокации.

Для обследования состояния фундаментов сооружений георадары применяются, но при этом ведутся обследования в основном прилегающих грунтов или стены сооружения. Существующие георадары можно использовать при последовательном расположении. Предложена новая конструкция РНДА, предназначенная для обследования состояния самого фундамента.

Антенна для исследования состояния фундаментов сооружений

Для исследований характеристик РНДА и экспериментальных измерений рассчитанных антенн был разработан стенд [8]. На рис 1 представлены измеренные диаграммы направленности (ДН) основных георадаров, широко применяемых в настоящее время в инженерной геофизике. Измерения проводились через 10° , фиксировалась амплитуда первого импульса, остальные считаются отраженными от стенок стенда. Амплитуда принимаемого импульса приведена в вольтах. Наименьшая амплитуда у георадара «Око-2», по данным из открытых источников у георадаров на основе стробоскопического осциллографа пиковая амплитуда зондирующего импульса составляет не более 600 В. У георадара «Лоза» передатчик выпуска 2008 года, использовался разрядник на 5 кВ, у георадара «Грот» выпуска 2015 года используется разрядник на 5,5 кВ, что и отображено на диаграмме. Еще можно отметить у георадара «Око-2» в связи с более короткими антеннами, процесс формирования ДН на более поздней фазе, по сравнению с остальными георадарами.

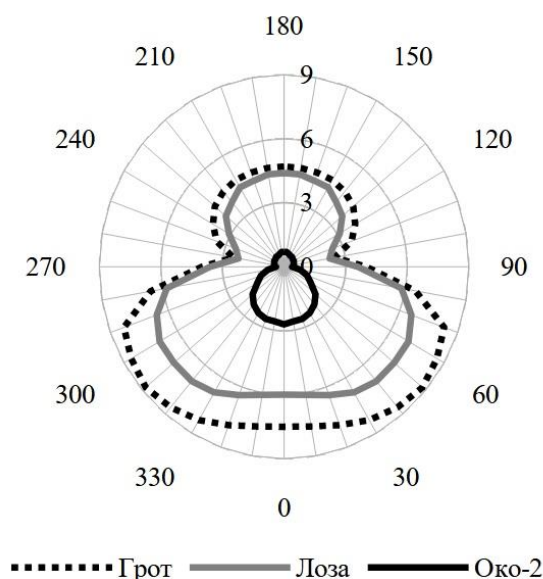


Рис. 1. Диаграммы направленности антенн георадаров, амплитуда в вольтах

При проведении инженерных работ по исследованию фундаментов сооружений, приведенная ДН вносит неопределенность в пространственное расположение обнаруженной неоднородности. Ранее предлагалось использование георадаров с управляемой диаграммой направленности как передающих и приемных антенн [9, 10]. На рис. 2 приведены трассы при использовании переключаемых приемных антенн, в данном случае приемная антенна состоит из вибраторов длиной 0,5 и 1 метр. В процессе георадиолокации в одной точке производится запись 4 сигналов от антенны общей длиной 1 м, длиной 2 м и две комбинации 1,5 м. При этом главный лепесток ДН при комбинациях 0,5+1м и 1+0,5м имеет отклонение в сторону более длинного вибратора.

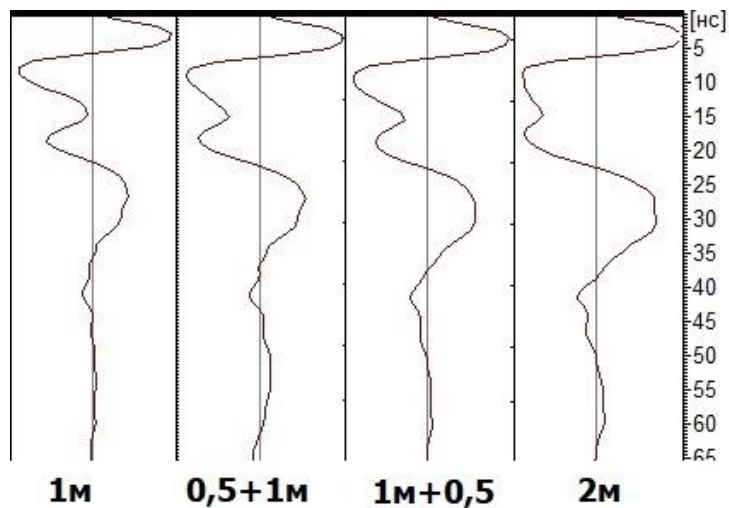


Рис. 2. Трассы в одной точке измерения при переключении антенн, вибраторы длиной 0,5 и 1

Георадар с такой коммутируемой антенно-фидерной системой обладает возможностью определения положения объекта в пространстве. Кроме того он позволяет осуществлять георадиолокацию с антеннами с разным пространственным разрешением. На практике антенна примерно различает объекту размерами, превышающими 0,25 от длины антенны.

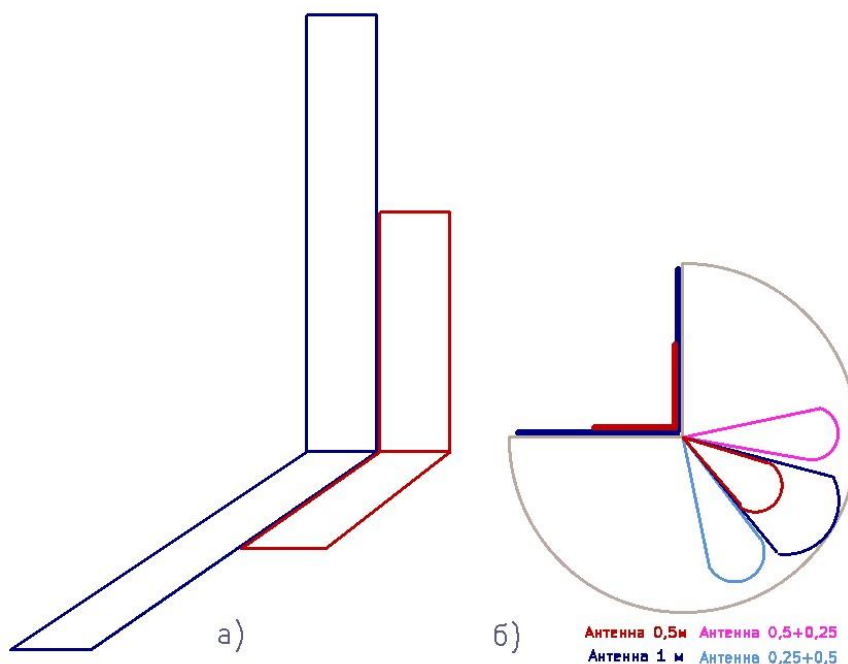


Рис. 3. Вид РНДА при L-образном расположении (а), предположительное изменение диаграмм направленности при соответствующей коммутации вибраторов

При исследовании фундаментов георадаром с управляемой диаграммой теоретически становится возможным более точно определять пространственное расположение обнаруженной неоднородности. Далее для повышения предлагается модернизировать антенны, расположив их в виде двух букв «L». Это даст возможность прикладывать георадар непосредственно к фундаменту сооружения. Управление диаграммой направленности даст возможность повысить качество получаемых

радарограмм. На рисунке 3а приведен вид расположения L-образных совмещенных антенн, с возможностью коммутации вибраторов разных длин. На рисунке 3б приведен предположительный вид стенда для измерения характеристик данных антенн и схематическое изменение ДН при различной коммутации вибраторов. При измерении характеристик с управляемой ДН излучающих антенн было измерено изменение главного лепестка ДН на $\pm 7^\circ$ относительно центра.

Выводы

Приведены результаты измерений характеристик резистивно-нагруженных дипольных антенн. Показано возможность использования антенн с управляемой ДН. Предложено направление разработки антенн для исследований фундаментов сооружений с возможностью пространственного распознавания обнаруженных неоднородностей.

Исследование выполнено при финансировании ООО «НПО РГР» и при финансовой поддержке грантом РНФ № 22-12-00083-П

Литература

1. Официальный сайт компании «Geoscanners». Георадарные системы [Электронный ресурс]. URL: <http://www.geoscanners.com> (дата обращения: 08.02.2026).
2. Официальный сайт компании «Геотех». Георадары и оборудование [Электронный ресурс]. URL: <http://www.geotech.ru> (дата обращения: 08.02.2026).
3. Официальный сайт компании «Логисис». Георадары и программное обеспечение [Электронный ресурс]. URL: <http://www.logsys.ru/> (дата обращения: 08.02.2026).
4. Волкомирская Л.Б., Гулевич О.А., Варенков В.В., Резников А.Е., Сахтеров В.И. Современные георадары серии «ПРОТ» для экологического мониторинга // Экологические системы и приборы №5 2012г., С.3-5. EDN: SJWFDH
5. Попов А.В., Прокопович И.В., Едемский Д.Е., Морозов П.А., Беркут А.И., Меркулов С.В. Глубинный георадар: принципы и применение // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2018. – Т. 23, № 4. – С. 28-36. EDN: OVTLJZ
6. Варенков В.В., Горкин Д.С., Смирнов Д.А., Сахтерова Т.В., Сахтеров В.И. Результаты экспериментов с георадаром «Сфера» // Электромагнитные волны и электронные системы. 2024. Т. 29. № 5. С. 66–70. EDN: UJVGKQ DOI: <https://doi.org/10.18127/j15604128-202405-10>
7. Wu T.T., King R.W.P. The Cylindrical antenna with nonreflecting resistive loading. IEEE Trans. Antennas Propag. 1965. V.13. No.3 P.369-373.
8. Сахтеров В. И. Измерение характеристик антенн георадаров // Распространение радиоволн: труды XXVII Всероссийской открытой научной конференции [Электронный ресурс]: научное электронное издание. — Калининград: Издательство БФУ им. И. Канта, 2021. - С.596-600. EDN: UVPVHN
9. V.I.Sakhterov, A.A.Averin, V.V.Varenkov, D.S.Gorkin, D.A.Smirnov Application of ground penetrating radar with controlled antenna pattern for detection of low-contrast objects / 2024 IEEE 9th All-Russian Microwave Conference (RMC) November 25-29, 2024 Moscow, Russia. P.21-24 / 979-8-3315-4094-4/24/\$31.00 ©2024 IEEE
10. Смирнов Д.А., Аверин А.А., Варенков В.В., Сахтерова Т.В., Сахтеров В.И. Обнаружение слабоконтрастных объектов георадаром с управляемой диаграммой направленности антенны // Электромагнитные волны и электронные системы. 2025. Т. 30. № 3. С. 105–113. EDN: TXDDLW DOI: <https://doi.org/10.18127/j15604128-202503-12>