

## **Разработка и измерение характеристик резистивно-нагруженной дипольной антенны.**

А.А. Аверин<sup>1</sup>, Т.В. Сахтерова<sup>1</sup>, Д.А. Смирнов<sup>1,2</sup>

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

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

<sup>2</sup> *ООО «НПО Радиолокация в геофизике и радиофизике»*

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

*E-mail: dsmirnov@izmiran.ru*

*В настоящее время в геологии и инженерной геофизике широко используются глубинные георадары со сверхширокополосными сигналами средней и повышенной мощности. В данных приборах используются антенно-фидерные устройства на основе резистивно-нагруженных дипольных антенн, имеющих различные параметры и различное конструктивное исполнение. Представлены программа расчетов резистивно-нагруженных дипольных антенн и результаты экспериментальных исследований рассчитанных антенн.*

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

## **Development and measurement of characteristics of a resistively loaded dipole antenna.**

A.A. Averin<sup>1</sup>, T.V. Sakhterova<sup>1</sup>, D.A. Smirnov<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup> *Limited Liability Company RL Radar in geophysics and radiophysics*

*Deep-penetrating radars with ultra-wideband signals of medium and high power are currently widely used in geology and engineering geophysics. These devices utilize antenna-feeder systems based on resistively loaded dipole antennas, which have various parameters and designs. A calculation program for resistively loaded dipole antennas and the results of experimental studies of the designed antennas are presented.*

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

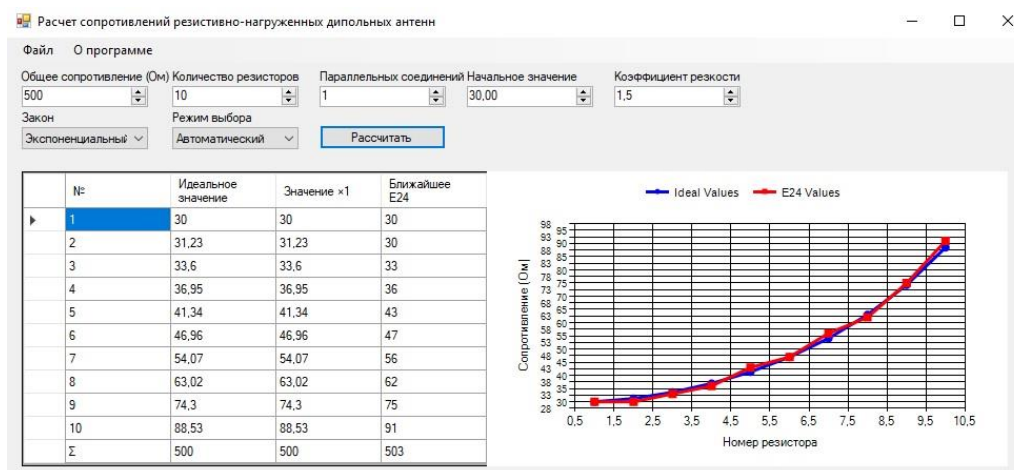
### **Введение**

В настоящее время в инженерной геофизике широко применяются классические малоглубинные и глубинные георадары. В малоглубинных георадарах (МГР) на основе стробоскопического осциллографа применяются дипольные антенны [1-3]. Данные георадары используются обычно 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]. При использовании импульсных передатчиков средней и повышенной мощности можно получить стабильные результаты георадиолокации до глубин 200-250 м, в некоторых случаях до 500-700 метров [7,8]. В связи со спецификой применения 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 [9]. Вследствие этого данные антенны обладают низкой эффективностью, но в комплексе ГГР имеют более высокий динамический диапазон. Для расчета антенн была разработана программа «Расчет сопротивлений резистивно-нагруженных дипольных антенн» [10]. Описание программы и некоторые результаты экспериментальных измерений докладывались на конференции и опубликованы в печати [11,12]. Представим результаты дальнейших исследований по расчетам и результаты экспериментальных измерений рассчитанных антенн на стенде [13].

### Программа «Расчет сопротивлений резистивно-нагруженных дипольных антенн»

На рис 1. представлен внешний вид интерфейса программы, для расчета сопротивлений вибратора антенны оператор выбирает общее сопротивление вибратора, количество резисторов, при этом возможно соединение нескольких резисторов в параллель, начальное сопротивление первого резистора и коэффициент резкости — как параметр экспоненциального изменения сопротивления. Также оператор может выбрать закон изменения сопротивления - экспоненциальный или линейный. Есть выбор режима расчетов по заданному алгоритму или возможность ручного ввода номиналов резисторов.



**Рис. 1. Внешний вид программы «Расчет сопротивлений резистивно-нагруженных дипольных антенн»**

Расчет производится при нажатии кнопки «Рассчитать». Ниже отображаются результаты расчетов в табличном и графическом виде. Слева в табличном виде отображаются расчетные данные для заданного количества резисторов и рекомендуемые значения сопротивлений по ряду E24.

На рис. 2. приведено фото вибратора дипольной антенны длиной 0,25 м, реализованного на фольгированном стеклотекстолите, с использованием бескорпусных резисторов, включенных параллельно, длина вибратора 100 мм, ширина 33 мм. Первый сегмент на 30 процентов длиннее, последний на 30% короче, длина внутренних сегментов одинаковая.

В таблице 1 приведены значения сопротивлений для двух дипольных антенн, отличающихся значением начального резистора (5 Ом и 20 Ом) и коэффициентом резкости, для наглядности на рис.3 приводится график изменения номиналов сопротивлений вибратора. При расчете было задано общее сопротивление вибратора 1

кОм, из-за использования резисторов ряда E24 полученные значения ниже 1 кОм и отличаются на 42,5 Ом.

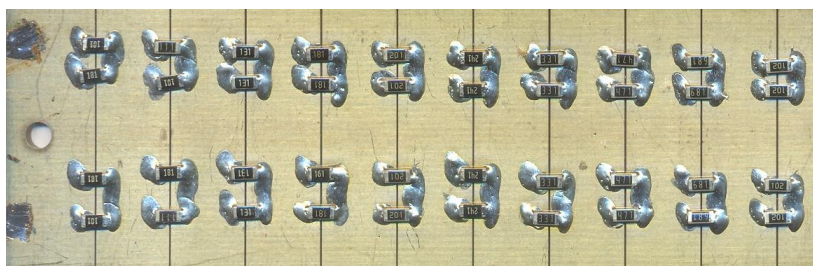


Рис. 2. Внешний вибратора дипольной антенны

Таблица 1. Значения сопротивлений в зависимости от начального значения

№ R	5 Ом	20 Ом
1	5,1	20
2	5,6	22
3	7,5	27
4	11	33
5	18	47
6	30	62
7	56	91
8	110	130
9	240	220
10	510	330
Σ	982,5 Ом	940 Ом

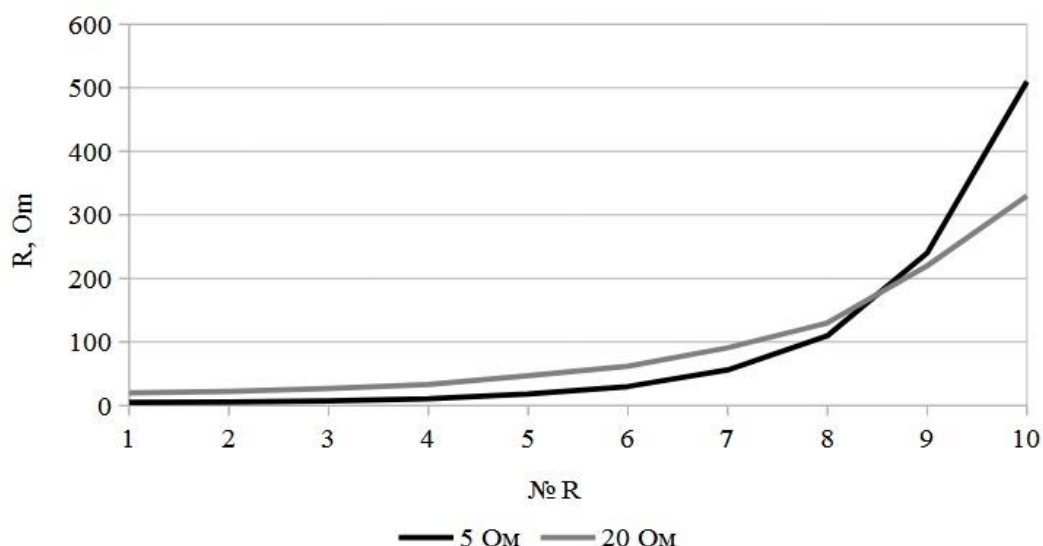
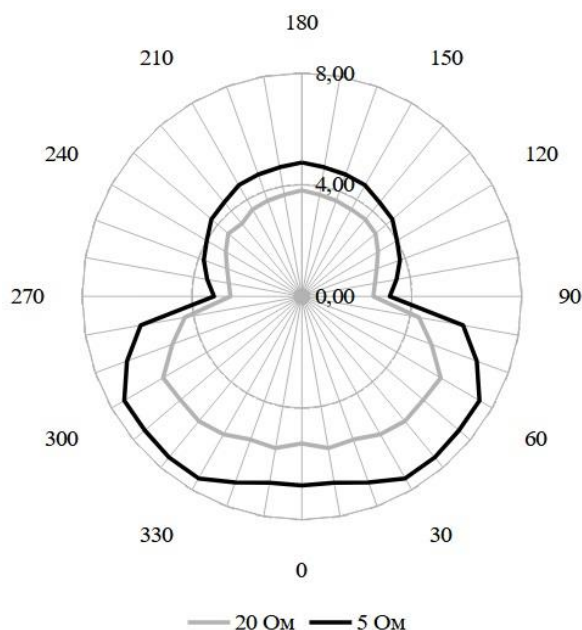


Рис. 3. График изменения номиналов сопротивлений вибраторов

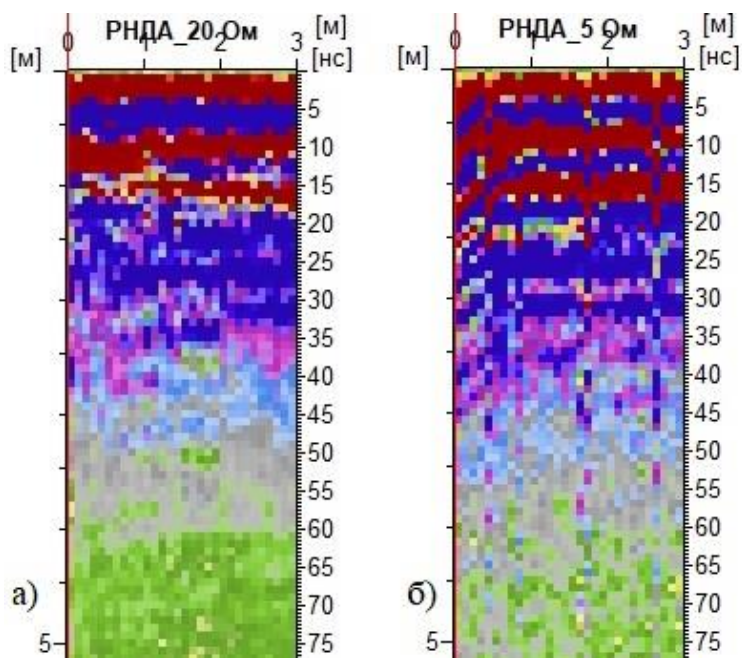
Далее проведем измерение характеристик полученных антенн на стенде и при обычном профилировании одного и того же участка. На рис.4 представлены диаграммы направленности (ДН) (в ближней зоне ее формирования), измерения проводились на расстоянии одной длины волны, фиксировалась амплитуда первого дельтаобразного импульса через  $10^\circ$ . Наблюдается увеличение амплитуды у антенны с начальным

номиналом резистора 5 Ом относительно второй на 27%. По результатам измерения можно сделать вывод, что менее низкоомная антенна будет более эффективной при параллельном расположении антенн.



**Рис. 4. Диаграмма направленности РНДА**

На рис.5 приведены результаты профилирования антеннами одного и того же участка. У антенны 5 Ом более четко выраженные границы сред, усиление её немного выше, чем у антенны 20 Ом, но, по замечанию оператора, она более склонна к паразитным автоколебаниям. Такую антенну можно использовать в качестве приемной.



**Рис. 5. Результаты профилирования антеннами 5 и 20 Ом**

## Выводы

Показан процесс разработки и измерения характеристик РНДА, применяемой для ГГР с передатчиками повышенной мощности. Данный способ ранее использовался для разработки многовибраторных антенн [14]. Как видно из результатов, можно увеличить глубину зондирования через повышение эффективности антенно-фидерных элементов. И если у ГГР есть возможность увеличения глубины зондирования через повышение мощности, то в МГР это возможно только через повышение эффективности антенн.

*Исследование выполнено при финансировании ООО «НПО РГР» и при частичной финансовой поддержке грантом РФФИ № 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. Волкомирская Л.Б., Гулевич О.А., Ляхов Г.А., Резников А.Е. Георадиолокация больших глубин // Журнал радиоэлектроники. 2019. № 4.
8. Кильпио Е. Ю., Щербаков И. А. О научных результатах в области физических наук, полученных в 2020–2021 гг. // Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. — 2022. — Т. 506, № 2. — С. 3—33. — EDN: FPQSTX DOI:10.31857/S2686740022070069.
9. 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.
10. Смирнов Д.А. Расчет сопротивлений резистивно-нагруженных дипольных антенн. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2026610763, 15.01.2026. Заявка № 2025694170 от 01.12.2025.
11. Смирнов Д.А., Сахтерова Т.В., Сахтеров В.И. Расчет резистивно-нагруженных дипольных антенн // Гелиогеофизические исследования. 2025. № 48. С.104-111. EDN: BBUSIA
12. Смирнов Д.А. Сахтерова Т.В. Разработка программного комплекса для расчета резистивно-нагруженных дипольных антенн // Радиозондирование на Земле и в космосе: сборник тезисов научно-технической конференции (Москва, Троицк, 1-2 октября 2025 г.). Электронное научное издание. Под ред. И.В. Прокоповича, Москва: ИЗМИРАН, 2025. С.29
13. 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

14. Аверин А.А., Горкин Д.С., Варенков В.В., Сахтеров В.И. Увеличение глубины зондирования импульсного георадара путем снижения импеданса антенны // Электромагнитные волны и электронные системы. 2024 №3 С.49-58/ EDN: [VQOAIQ](#) DOI: <https://doi.org/10.18127/j5604128-202403-06>