

**Георадиолокационное обследование мостовых сооружений:
вопросы методики проведения полевых исследований,
обработки и интерпретации материалов.
Часть 1 – массивные фундаменты мостовых опор**

©2023 А. А. Аузин[✉], Д. Д. Каратаев

*Воронежский государственный университет,
Университетская пл., 1, 394018, Воронеж, Российская Федерация*

Аннотация

Введение: Обследование мостовых сооружений (мостов, путепроводов, и пр.), которые предназначены для перевода транспортных путей и различных коммуникаций через водные преграды, дороги и т. д., направлено на выяснение их конструктивных характеристик и технического состояния, определяющих не только саму возможность дальнейшей эксплуатации объектов, но и их ремонтпригодность [1–4]. Применительно к недоступным для прямого изучения элементам мостовых сооружений, которые находятся ниже поверхности земли, под слоем воды, льда, асфальта и пр., практически единственным источником информации об их конструкции являются данные обследования геофизическими методами, среди которых наиболее универсальным и информативным является георадиолокация [1–3, 5–8]. Важно отметить, что георадиолокационный метод входит в число рекомендованных ГОСТ [1] к применению при обследовании фундаментов опор мостовых сооружений. Разделенная на 2 части статья, в целом посвящена георадиолокационному обследованию мостовых сооружений. В представляемой читателю 1-ой части рассмотрены вопросы обследования массивных фундаментов мелкого и глубокого заложения. Во 2-ой части статьи представлены материалы, касающиеся особенностей обследования свайных фундаментов, видимых частей опор, переходных плит, а также подпорных и шкафных стенок.

Методика: Содержание статьи иллюстрируется материалами, полученными авторами публикации в результате георадиолокационного обследования фундаментов различных мостовых сооружений. Эти работы имели целью установление типов и геометрических характеристик фундаментов, а также привлекались для оценки их несущей способности.

Результаты и обсуждение: Представленные в статье материалы свидетельствуют, что георадиолокация является достаточно эффективным, а часто и единственным, инструментом решения целого ряда важнейших задач, связанных с обследованием элементов мостовых сооружений, расположенных как над, так и под поверхностью земли. Относительно не критичный к поверхностным условиям индуктивный способ возбуждения электромагнитных полей и измерения их параметров допускает проведение исследований без непосредственного контакта, как с изучаемым объектом, так и с вмещающей его средой. Получаемая в процессе георадиолокационного профилирования волновая картина, в сопровождении развитого механизма обработки радарограмм, облегчает процесс выявления и последующей интерпретации информативных участков записи, а также позволяет проследить пространственную динамику изменения электромагнитных свойств исследуемых объектов.



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

[✉] Аузин Андрей Альбертович, e-mail: AAuzin@yandex.ru

Заключение: Результаты выполненных работ позволяют говорить о том, что георадиолокационный метод может считаться наиболее универсальным и эффективным средством изучения конструктивных параметров и технического состояния погребенных частей мостовых сооружений. Возможность выбора методики и аппаратного обеспечения исследований, а также подходов к интерпретации материалов позволяют оптимизировать их проведение применительно к решению конкретных задач. При этом, в случае невозможности выполнения непрерывных профильных измерений, которые, в большинстве случаев, наиболее предпочтительны, георадиолокационное обследование может проводиться путем дискретных точечных зондирований.

Ключевые слова: георадиолокационное обследование, мостовые сооружения, скрытые элементы мостовых сооружений.

Для цитирования: Аузин А. А., Каратаев Д. Д. Георадиолокационное обследование мостовых сооружений: вопросы методики проведения полевых исследований, обработки и интерпретации материалов. Часть 1 – массивные фундаменты мостовых опор // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2023. № 4. С. 106–112. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/4/106-112>

Введение

Обследование строительного объекта подразумевает под собой комплекс работ, выполняемых с целью определения его конструктивных параметров и технического состояния [1]. Такого рода обследование совершенно необходимо в случае, когда данные о конструкции объекта отсутствуют или их достоверность сомнительна.

Для скрытых, в том числе, заглубленных в грунт элементов сооружений, которые недоступны для прямого визуального и инструментального изучения, выяснение их конструктивных параметров вызывает вполне очевидные трудности. Важнейшую роль при обследовании такого рода объектов играют геофизические методы. Широкий набор геофизических методов, имеющих различные физические основы и принципы возбуждения и измерения физических полей, позволяет, руководствуясь данными геофизического обследования, решать разноплановые и разномасштабные задачи, применительно к значительному кругу объектов.

С относительно недавнего времени, в комплексе исследований, выполняемых при проведении обследования различных инженерных и иных сооружений, все более уверенные позиции занимает георадиолокация [1–8].

Принцип георадиолокации заключается в том, что электромагнитные импульсы, излучаемые передающей антенной георадара, распространяются в подповерхностных отложениях и, если на их пути встречаются различающиеся по электромагнитным свойствам участки среды, отражаются от них, возвращаются к антенному блоку и фиксируются приёмной антенной. По времени прихода отраженного сигнала, ориентируясь на скорость распространения электромагнитного излучения в конкретной среде, можно определить глубину залегания отражающего объекта. На практике наиболее эффективными отражающими поверхностями являются границы раздела между средами, отличающимися по диэлектрической проницаемости, каковыми в данной конкретной ситуации являются железобетонные конструктивные элементы фундаментов опор и вмещающие их грунты.

Практика свидетельствует, что, в фиксируемых при проведении георадиолокации волновых полях, наличие в грунтах субвертикальных границ раздела по диэлектрической проницаемости (свай, фундаментов и т.п.) проявляется в виде участков так называемой «звучащей» записи. Данный феномен можно связать с распространением вдоль подобных границ поверхностных неоднородных электромагнитных волн, которые возникают на контакте сред с различной диэлектрической проницаемостью. Отражения могут формироваться на электрических неоднородностях в грунтах, как естественного происхождения, так и возникающих в результате того, что строительство фундаментов вызывает локальные изменения характеристик вмещающих их грунтов. Сказывается и неоднородность электромагнитных свойств самих железобетонных конструкций.

Георадиолокация, по сравнению со многими другими геофизическими методами, имеет ряд очевидных преимуществ:

- возможность работы в движении при непрерывной записи радарограмм;
- бесконтактные возбуждение электромагнитного поля и измерение его параметров делают возможным обследование объектов, расположенных ниже поверхности земли, в том числе скрытых под асфальтом, бетоном, льдом и др.;
- возможность применения разночастотных антенных блоков позволяет в известной степени оптимизировать соотношение между детальностью исследований и их глубиной (дальностью действия);
- компактность аппаратуры георадиолокации, в том числе, возможность применения малогабаритных выносных экранированных антенных блоков, допускает проведение работ в ограниченном пространстве в условиях значительных внешних помех [4, 5].

В числе задач, которые решаются по данным георадиолокационного обследования мостовых сооружений, можно выделить такие как:

- определение типов фундаментов, количества и расположения свай, наличия и размеров ростверков и др.;
- определение глубин заложения конструктивных

- элементов фундаментов – плит, ростверков, свай и др.;
- изучение стоек опор с целью выявления внутренних дефектов – скрытых трещин, каверн и т.п.;
- определение геометрических характеристик и технического состояния переходных плит;
- определение характеристик конструктивных слоев ездового полотна сооружения.

В конструктивном плане опоры мостовых сооружений могут составлять со своими фундаментами единое целое, в таком случае они представляют собой, в основном, сваи-стойки глубокого заложения, или иметь отдельные массивные фундаменты – мелкого заложения или в виде опускных колодцев глубокого заложения. Среди отдельных фундаментов, наибольшее распространение получили свайные фундаменты глубокого заложения.

Фундаменты мелкого заложения, глубиной не более 4 – 6 м, используют в случае, если кровля прочных, слабо сжимаемых грунтов достаточной мощности, залегает относительно не глубоко.

Свайные фундаменты используются, когда глубина залегания прочных грунтов превышает 5–6 м.

Задачи и результаты исследований

С целью иллюстрации возможностей георадиолокации рассмотрим результаты ее применения для решения практических задач, возникающих в процессе обследования различных мостовых сооружений. Георадиолокационные исследования были выполнены георадаром Зонд-12е с использованием антенных блоков, работающих на центральных частотах 900 МГц, 500 МГц, 150 МГц и 75 МГц, из которых, первые два построены на основе контактных экранированных приемных и передающих антенн, а в двух последних используются открытые дипольные антенны.

Приведенные ниже результаты исследований сгруппированы по типам обследованных фундаментов.

Массивные фундаменты мелкого заложения, получившие весьма широкое распространение, используются при неглубоком залегании слабо сжимаемых грунтов, глубина до кровли которых обычно не превышает 4 – 6 м. Результаты георадиолокационного обследования фундаментов данного типа представлены на рис. 1 – 3.

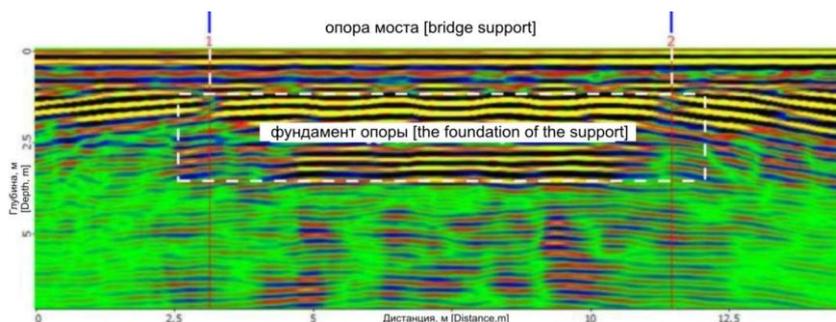


Рис. 1. Результаты георадиолокационного обследования промежуточной опоры моста на автодороге Р-258 в Иркутской области. [Fig. 1. Results of the geo-radar inspection of the intermediate bridge pier on the R-258 highway in the Irkutsk region.]

В соответствии с полученными данными, промежуточная опора моста имеет фундамент, покоящийся на естественном основании. Фундамент представляет собой прямоугольный параллелепипед следующих размеров: длина – ~ 9.5 м, ширина – ~ 2.3 м, толщина – ~

3.5 м. Его верхняя кромка залегает на глубине около 1.5 м от поверхности наблюдений.

Данные георадиолокационного обследования опоры путепровода через железную дорогу представлены на рис. 2.

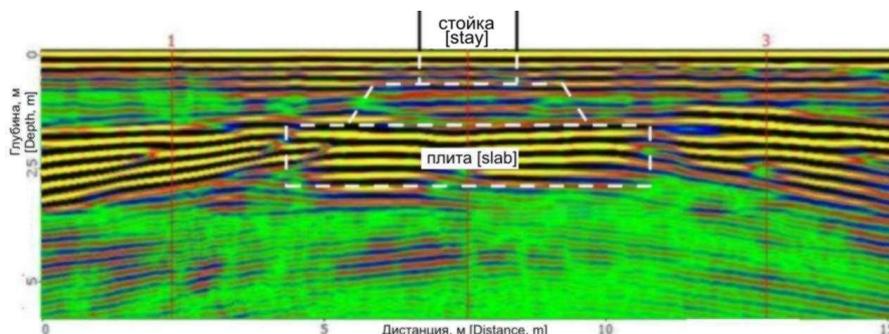


Рис. 2. Результаты георадиолокационного обследования опоры путепровода через железную дорогу в Тульской области. [Fig. 2. Results of the geo-radar inspection of the pier of the overpass through the railway in the Tula region.]

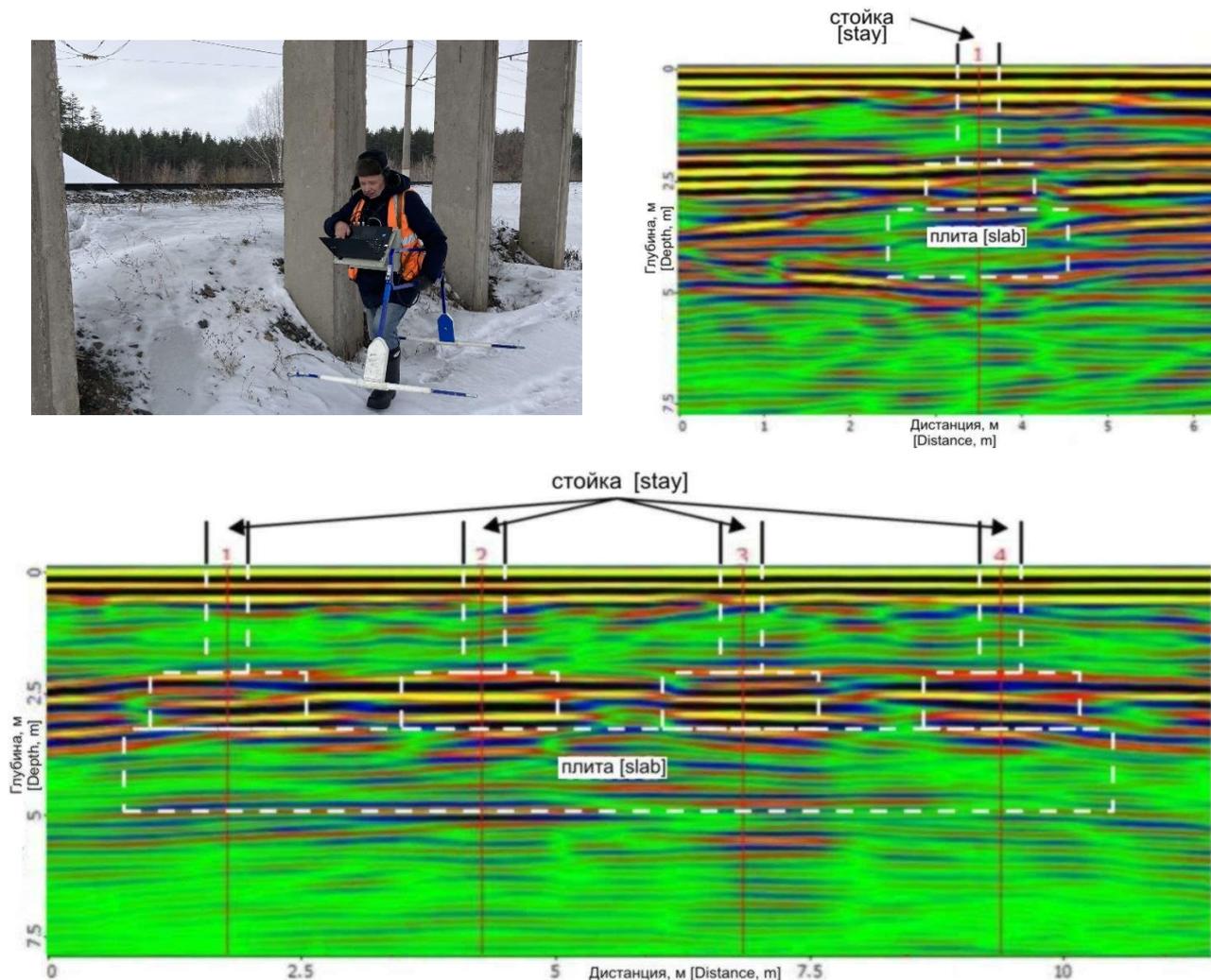


Рис. 3. Результаты георадиолокационного обследования опоры путепровода через железную дорогу в Нижегородской области. [Fig. 3. Results of the geo-radar inspection of the pier of the overpass through the railway in the Nizhny Novgorod region.]

Результаты интерпретации материалов георадиолокационного обследования промежуточных опор путепровода позволяют говорить о том, что опоры покоятся на плитах размерами приблизительно 7.0×3.2 м и толщиной 1.7 м. На плитах, посредством блоков (опорных стаканов) размерами около 4.0×2.6 м и толщиной 1.0 м, установлены стойки опор. Глубины залегания верхних кромок блоков – около 0.95 м, плит

– около 1.95 м.

На рис. 3 представлены материалы обследования опоры путепровода через железную дорогу в одном из районных центров Нижегородской области.

Схематические чертежи фундамента опоры, сформированные по результатам георадиолокационного обследования, приведены на рис. 4.

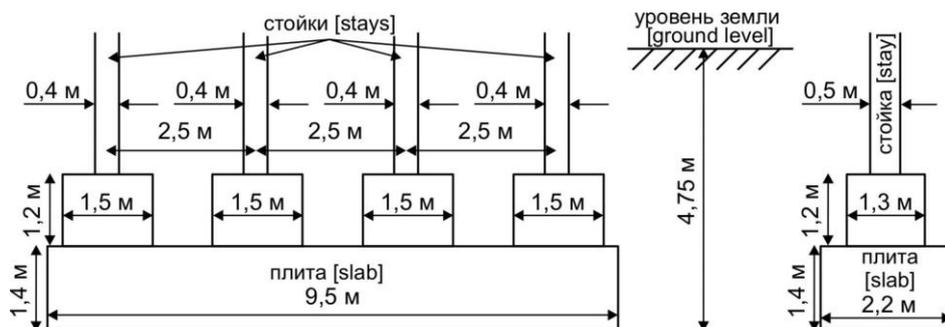


Рис. 4. Схематические чертежи фундамента опоры, сформированные по результатам георадиолокационного обследования.

[Fig. 4. Schematic drawings of the foundation of the pier formed by the results of the geo-radar inspection.]

Массивные фундаменты глубокого заложения в виде опускных колодцев были достаточно распространены в относительно недавнем прошлом, однако, к настоящему времени, значительно утратили свою актуальность.

Опускной колодец представляет собой конструкцию подобную открытому сверху и снизу железобетонному ящику, имеющему, обычно, прямоугольную форму. Опускные колодцы погружаются в грунт под действием собственного веса по мере извлечения грунта, как из самого колодца, так и из пространства, расположенного глубже его нижней кромки, имеющей заостренную, ножевидную форму. По достижении нижней кромкой колодца необходимой глубины, процесс погружения останавливают и его внутренняя полость бетонируется.

Фундаменты в виде опускных колодцев были исследованы в процессе обследования мостов через реки

Тульской и Саратовской областей. Результаты георадиолокационного обследования этих объектов представлены на рис. 5 и 6. Основной задачей исследований было определение геометрических параметров опускных колодцев с целью оценки их несущей способности, в частности – достигают ли их нижние кромки слабо сжимаемых грунтов и какова их площадь опоры.

Результаты георадиолокационного обследования свидетельствуют, что подошва фундамента заглублена в слабосжимаемые пески на 1.5 м и его несущая способность достаточно высока.

Обследование опоры свидетельствует, что ее фундамент представляет собой опускной колодец, ориентировочные размеры которого составляют $11 \times 4 \times 5$ м (длина×ширина×толщина), залегающий в пределах интервала глубин от 2.5–3 м до 7.5–8 м от поверхности земли. Его нижняя кромка заглублена в слабо сжимаемые грунты на 1.5–2 м.

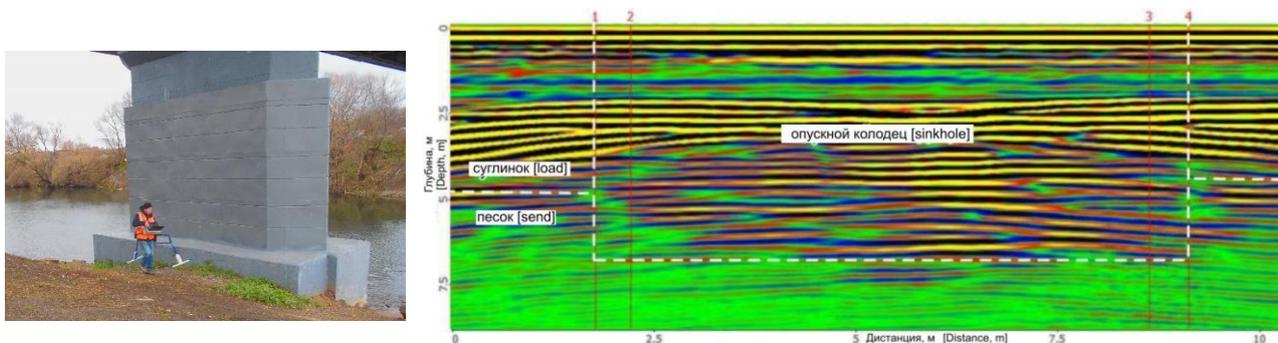


Рис. 5. Результаты георадиолокационного обследования промежуточной опоры моста в Тульской области. [Fig. 5. Results of the geo-radar inspection of the intermediate bridge pier in the Tula region.]

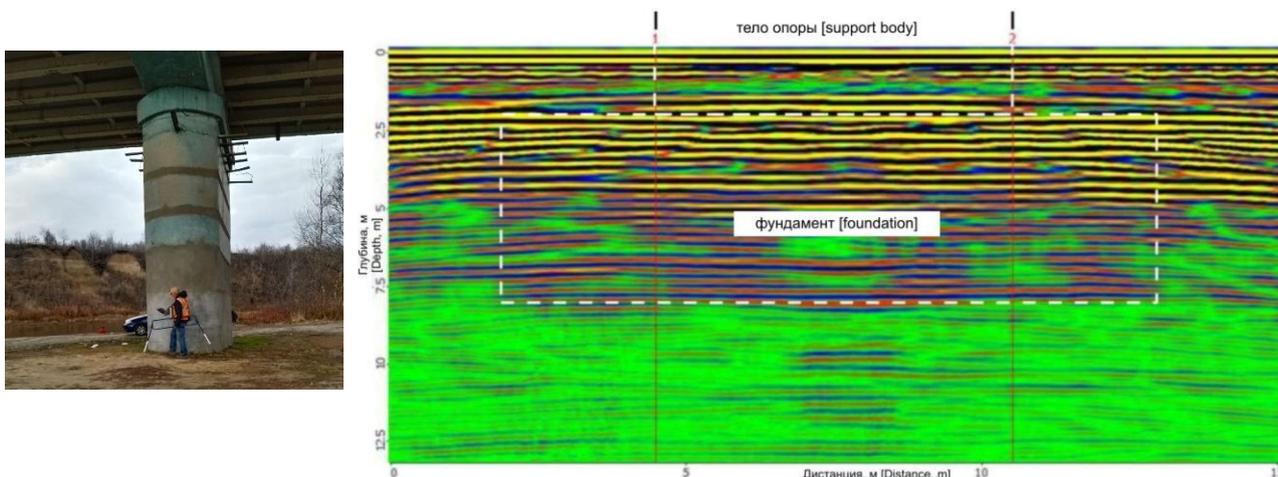


Рис. 6. Результаты георадиолокационного обследования промежуточной опоры моста на автодороге Р-228 в Саратовской области. [Fig. 6. Results of the geo-radar inspection of the intermediate bridge pier on the R-228 highway in the Saratov region.]

Заключение

Приведенные материалы обследования свидетельствуют, что георадиолокационный метод достаточно эффективен и универсален. Его применение позволяет решать широкий круг задач связанных с обследованием мостовых сооружений. Индуктивный способ

возбуждения и измерения электромагнитных полей допускает проведение исследований не только в непосредственном контакте с изучаемым объектом, но и на существенном удалении от него, в том числе, и в ситуациях, когда объект скрыт под слоем воды, асфальта и пр. Возможность выбора антенных блоков и методики

работ позволяет оптимизировать аппаратурно-методические решения под конкретные задачи и условия проведения исследований.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 59617-2021. Дороги автомобильные общего пользования. Правила обследования фундаментов опор. М.: Росстандарт, 2021. 28 с.
2. ГОСТ 33179-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Изыскания мостов и путепроводов. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2014. 36 с.
3. Аузин А. А. Георадиолокационное обследование фунда-

ментов мостовых сооружений // *Геотехника*. 2017. № 6. С. 58–77.

4. Аузин А. А. Информационные возможности георадиолокационного метода при обследовании строительных объектов // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2022. № 2. С. 54–62.

5. Аузин А. А., Зацепин С. А. Георадиолокационное обследование проблемных участков дорожно-транспортной сети // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2012. № 2. С. 242–246.

6. Старовойтов А. В. Интерпретация георадиолокационных данных. М.: МГУ, 2006. 192 с.

7. Ground Penetrating Radar. 2nd edition. Ed. Daniels D. J. IEE Press, London 2004. 726 p.

8. Ground Penetrating Radar. Theory and Applications. Ed. Jol H.M. Elsevier. Amsterdam. 2009. 544 p.

GEOPHYSICS

UDC: 550.837.76

ISSN 1609-0691

DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/4/106–112>

Received: 19.09.2023

Accepted: 12.12.2023

Published online: 25.12.2023

Georadiolocation survey of bridge structures: field research methodology, processing and interpretation of materials. Part 1 – massive foundations of bridge pier

© 2023 A. A. Auzin[✉], D. D. Karataev

*Voronezh State University,
Universitetskaya pl., 1, 394018, Voronezh. Russian Federation*

Abstract

Introduction: Inspection of bridge structures (bridges, overpasses, etc.), designed for the transfer of transport routes and various communications through water barriers, roads, etc., is aimed at clarifying their design characteristics and technical condition, which determine not only the very possibility of further operation of objects, but also their maintainability [1–4]. In relation to elements of bridge structures that are directly inaccessible for studying, located below the surface of the earth, under a layer of water, ice, asphalt, etc., the only source of information about their design is survey data using geophysical methods, among which the most universal and informative is georadiolocation [1–3, 5–8]. It is important to note that the georadiolocation method is among those recommended by GOST [1] for use when inspecting the foundations of bridge pier.

The article, divided into 2 parts, is devoted to the georadiolocation inspection of bridge structures. In the first part the assessment of massive foundations of shallow and deep foundations is considered. Part 2 of the article presents materials concerning the specifics of examining pile foundations, visible parts of pier, transition slabs, as well as retaining and cabinet walls.



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

[✉] Andrey Al. Auzin, e-mail: AAuzin@yandex.ru

Methodolog: The content of the article is illustrated by materials obtained by the authors as a result of georadiolocation examination of the foundations of various bridge structures. These works were aimed at establishing the types and geometric characteristics of foundations, and were also involved in assessing their bearing capacity.

Results and discussion: The materials presented in the article indicate that ground georadiolocation is a fairly effective, and often the only, tool for solving a number of important problems related to the inspection of elements of bridge structures located both above and below the surface of the earth. The inductive method of exciting electromagnetic fields and measuring their parameters, relatively unaffected by surface conditions, allows conducting research without direct contact with both the studied object and the surrounding environment. The wave pattern obtained in the process of ground penetrating radar profiling, accompanied by a developed mechanism for processing radargrams, facilitates the process of identification and subsequent interpretation of informative sections of the record, and also allows to trace the spatial dynamics of changes in the electromagnetic properties of the studied objects.

Conclusions: The results of the study suggest that the georadiolocation method can be considered the most universal and effective means of studying the design parameters and technical condition of buried parts of bridge structures. The ability to choose research methods and equipment, as well as approaches to interpreting materials, allows to optimize their implementation for the solution of the specific problems. At the same time, if the continuous profile measurements, which, in most cases, are most preferable, are impossible, a georadiolocation survey can be carried out by discrete point soundings.

Keywords: georadiolocation survey, bridge structures, hidden elements of bridge structures.

For citation: Auzin A. A., Karataev D. D. Georadiolocation survey of bridge structures: field research methodology, processing and interpretation of materials. Part 1 – massive foundations of bridge pier // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2023, no. 4, pp. 106–112. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/4/106-112>

Conflict of interests: The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

REFERENCES

1. GOST R 59617-2021. *Dorogi avtomobilnie obshego polzovania. Pravila obsledovaniya fundamentov opor* [GOST R 59617-2021. Public roads. Rules for inspection of foundations of supports]. Moscow, Russian Institute of Standardization publ., 2021, 28 p. (In Russ.)
2. GOST 33179-2014. *Dorogi avtomobilnie obshego polzovania. Iziskania mostov I puteprovodov* [GOST 33179-2014. Public roads. Surveys of bridges and overpasses. General requirements]. Moscow, Standartinform publ., 2014, 36 p. (In Russ.)
3. Auzin A. A. Georadiolokacionnoe obsledovanie fundamentov mostovykh sooruzheniy [Ground Penetrating Radar (GPR) investigations of the foundations of bridge structures]. *Geotekhnika – Geotekhnika*, 2017, no. 6, pp. 58–77 (In Russ.)
4. Auzin A. A. Informacionnie vozmozhnosti georadiolokacionnogo metoda pri obsledovanii stroitelnykh obektov [Information capabilities of the georadiolocation method in the survey of construction sites]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya. – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2022, no. 2, pp. 54–62 (In Russ.)
5. Auzin A. A., Zatsepin S. A. Georadiolokacionnoe obsledovanie problemnykh ychastkov dorogno-transportnoi seti [Ground Penetrating Radar (GPR) investigations of problem areas of the road transport network]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya. – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2012, no. 2, pp. 242–246 (In Russ.)
6. Starovojtov A. V. *Interpretatsiya georadiolokatsionnykh dannykh* [Interpretation of ground penetrating radars data]. Moscow, MGU publ., 2006, 192 p. (In Russ.)
7. Ground Penetrating Radar. 2nd edition. Ed. Daniels D. J. IEE Press, London 2004, 726 p.
8. Ground Penetrating Radar Theory and Applications. Ed. Jol H.M. Elsevier, Amsterdam, 2009, 544 p.

Аузин Андрей Альбертович, д.т.н., профессор, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация; e-mail: AAuzin@yandex.ru;
ORCID 0000-0002-3043-3726

Каратаев Дмитрий Дмитриевич, аспирант, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация; e-mail: ddk1997@yandex.ru;
ORCID 0009-0003-8451-4710

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Andrey A. Auzin, Dr. habil. In Techn., Professor, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation,
e-mail: AAuzin@yandex.ru;
ORCID 0000-0002-3043-3726

Dmitriy D. Karataev, Post-Graduate Student, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation,
e-mail: ddk1997@yandex.ru;
ORCID 0009-0003-8451-4710

Authors have read and approved the final manuscript.