

УДК 624.21.09

*Т. К. Акчури^а, Б. А. Бондарев^б, А. Б. Бондарев^б, А. А. Аузин^в, В. К. Жидков^г,
П. В. Борков^д, О. В. Мареева^е*

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *Липецкий государственный технический университет*

^в *Воронежский государственный университет*

^г *Тамбовский государственный технический университет*

^д *Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К. А. Тимирязева*

ОЦЕНКА КОНСТРУКТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОСТОВ НА ОСНОВЕ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ОБСЛЕДОВАНИЯ

Даны основные сведения о георадиолокации и работе технических средств измерения. 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 приемной антенной. Представлены результаты георадиолокационного обследования моста на автодороге А-133. Исследования выполнены с использованием экранированных антенных блоков, работающих на центральных частотах 500 и 900 МГц в режиме непрерывного профилирования. В результате георадиолокационного обследования моста определены характеристики его конструктивных элементов, воздушных полостей под бетонными плитами не обнаружено, каких-либо деформационных проявлений в сооружении не выявлено. Сделан вывод о функциональном назначении моста в его реальном состоянии.

К л ю ч е в ы е с л о в а: мост, георадиолокация, георадар, радарограмма, обследование.

Введение

Эксплуатационное состояние транспортных сооружений является основной безопасностью на автомобильных дорогах различных категорий. Этой проблеме уделяется пристальное внимание [1—5].

Основополагающая роль при этом принадлежит методам оценки и средствам метрологического контроля. От грамотного выбора этих элементов технической диагностики, а также адекватности научных подходов в интерпретации результатов обследования конструкций транспортных сооружений зависит выбор дальнейших инженерных решений по ремонту и восстановлению объектов в целом.

Развитие современных физических методов контроля и диагностики транспортных сооружений позволяет получать достаточно достоверные данные о состоянии материалов конструкции, наличии дефектов и повреждений, а также устанавливать геометрические характеристики объекта исследования, не прибегая к средствам разрушающего контроля или выполнению дополнительных трудоемких и экономически затратных работ.

Среди множества подобных методик следует особое внимание обратить на принцип георадиолокации [6, 7].

Основная часть

Принцип георадиолокации заключается в том, что электромагнитные импульсы, излучаемые передающей антенной георадара, распространяются в подповерхностных отложениях, и если на их пути встречаются различаю-

щиеся по электромагнитным свойствам участки среды, отражаются от них, возвращаются к антенному блоку и фиксируются приемной 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 ситуации являются железобетонные конструктивные элементы моста и вмещающие их грунты.

Техническим средством проведения георадиолокации является георадар, который в подготовленном к работе состоянии включает в себя блок управления в комплекте с компьютером типа notebook и антенный блок.

Георадиолокационное обследование моста выполнялось георадаром Zond-12e S/N 0226¹ с использованием экранированных антенных блоков, работающих на центральных частотах 500 и 900 МГц.

Обработка результатов исследований проводилась специализированной программой Prism2.5, поставляемой совместно с георадаром².

Блок управления в совокупности с компьютером предназначен для формирования сверхширокополосных наносекундных импульсов электромагнитного поля, излучаемых передающей антенной, управления режимами работы георадара, приема, обработки и отображения сигналов, поступающих с приемной антенны.

Антенный блок состоит из передающей и приемной антенн, предназначенных для излучения электромагнитных волн и приема отраженных от неоднородностей сигналов. В георадарах в качестве излучателей и приемников применяются антенны различных типов: электрические дипольные, рупорные и др.

Одной из важнейших характеристик антенны является ее направленность, графическое изображение которой представляет собой диаграмму. Под направленностью передающей антенны понимают ее способность излучать радиоволны в разных направлениях с различной интенсивностью. Под направленностью принимающей антенны понимают зависимость ЭДС на ее зажимах от направления прихода электромагнитной волны.

В неспециализированных георадарах широкого применения (в т. ч. Zond-12e) в качестве излучателей и приемников обычно используются электрические дипольные антенны — симметричные линейные полуволновые вибраторы или типа «бабочка» (рис. 1).

Полуволновая дипольная антенна состоит из 2 состыкованных с небольшим зазором линейных проводников (рис. 1, а), общая длина которых l приблизительно равна половине длины волны λ :

$$l \approx 0,5 \lambda.$$

¹ Георадар «Зонд 12е». Инструкция по эксплуатации. Рига : НПФ Георадарные системы, 2007. 35 с.

² Методические рекомендации по применению георадаров при обследовании дорожных конструкций. Росавтодор. М. : 2003.

РСН 64-87. Инженерные изыскания для строительства. Технические требования к производству геофизических работ. Электроразведка. URL: <https://docload.ru/Basesdoc/1/1779/index.htm>.

Программный пакет Prism 2. Инструкция пользователя. Рига : НПФ Георадарные системы, 2007.

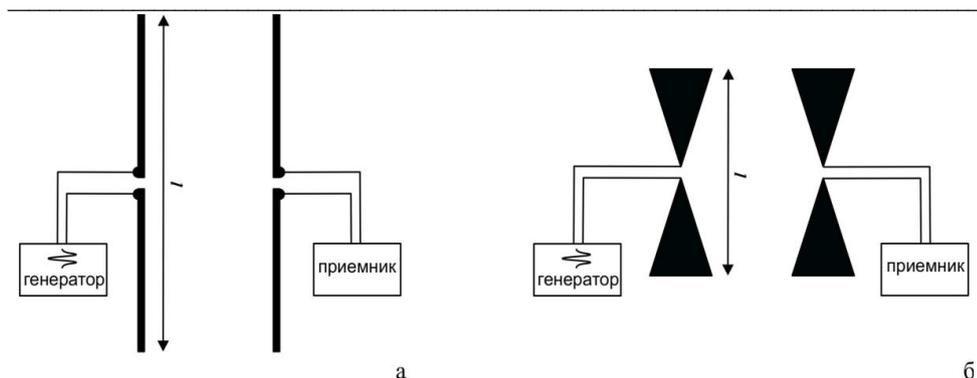


Рис. 1. Антенные системы георадаров: *a* — симметричные линейные полуволновые вибраторы; *б* — типа «бабочка»

У расположенного в воздухе полуволнового диполя излучение максимально в плоскости перпендикулярной оси антенны и проходящей через его центр и стремится к нулю на оси антенны (рис. 2, *a*). Представленная в трехмерном виде его диаграмма направленности по форме напоминает тороид (рис. 2, *б*).

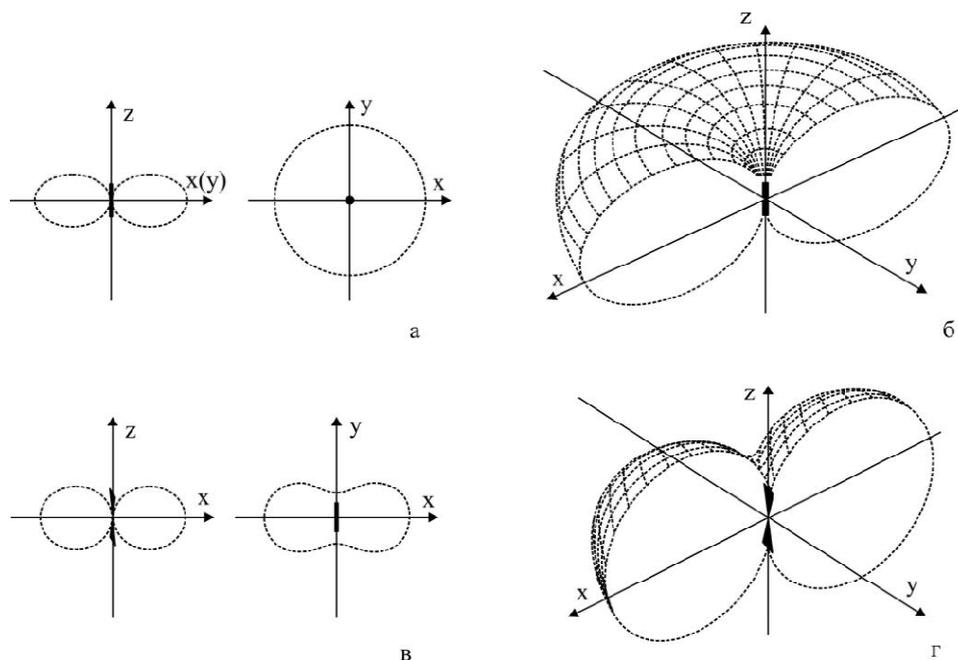


Рис. 2. Диаграммы направленности дипольных антенн:
a, б — симметричный линейный полуволновой вибратор; *в, г* — тип «бабочка»

Антенна-«бабочка» (в соответствии с формой антенны, англ. — BowTie) является электрическим диполем, элементы которого представляют собой плоские, имеющие форму равнобедренных треугольников проводники, сближенные вершинами (рис. 1, *б*). Такая конструкция придает антенне широкополосность.

У антенны-«бабочки» излучение максимально в плоскости перпендикулярной оси антенны и проходящей через его центр и стремится к нулю на оси антенны (рис. 2, б). Излучение вперед и назад (ось x) интенсивнее, чем влево и вправо (ось y). Трехмерный вид диаграммы направленности показан на рис. 2, г.

В рабочем положении ось x электрической дипольной антенны, как полуволнового вибратора, так и типа «бабочка», направлена в сторону исследуемой среды.

Если дипольная антенна находится в непосредственной близости от поверхности диэлектрической среды или лежит на ней, ее диаграмма направленности изменяется, при этом большая часть энергии, излучаемой передающей антенной, направляется в эту среду.

Оптимизировать область исследования антенны, направляя ее в сторону исследуемой среды, можно экранированием. Для этого над антенной монтируют экран из хорошо проводящего материала. Такой подход реализуется применительно к высокочастотным антеннам типа «бабочка».

Обработка материалов георадиолокации с использованием специализированной программы Prism 2.5

При обработке радарограмм часто используются следующие процедуры:

- усиление зарегистрированного сигнала;
- удаление звона.

Достаточно часто условия проведения исследований таковы, что в зарегистрированных по профилю сигналах присутствует «звон», приводящий к появлению на радарограмме серии горизонтальных линий, обусловленных наличием высокоинтенсивных синфазных сигналов («звона») во всех точках профиля. Присутствие на записи «звона» может маскировать целевые отражения. Способы борьбы со «звоном» [8—10]:

- горизонтальная низкочастотная фильтрация, примененная к сигналам, зарегистрированным вдоль профиля наблюдений, позволяет подавить быстроменяющиеся по профилю сигналы и выделить медленно меняющиеся, которые формируются значительными по площади объектами — протяженными субгоризонтальными границами и др.;
- горизонтальная высокочастотная фильтрация позволяет выделить быстроменяющиеся сигналы от относительно малоразмерных объектов, путем подавления слабо изменяющихся по профилю сигналов;
- косинусная полосовая фильтрация позволяет выделить сигнал определенного частотного диапазона путем подавления высоко- и низкочастотных помех;
- режекторная фильтрация используется для подавления сигнала-помехи в достаточно узком диапазоне частот;
- реверсирование зарегистрированных по профилю трасс позволяет, говоря условно, изменить на противоположное направление перемерения в процессе измерений, т. е. начало профиля становится его концом, а конец — началом. Такая процедура особенно полезна в случае, если исследования какой-то площади осуществлялось галсами;
- топография — эта процедура предполагает перестроение профиля наблюдений в соответствии с рельефом местности;

- X-интерполяция предназначена для устранения влияния неравномерности в скорости движения по профилю в процессе исследований;
- миграционное преобразование полученной на профиле волновой картины наиболее эффективно, когда в ней присутствуют сигналы от дифрагирующих объектов, как подземных, так и находящихся выше поверхности земли. Такая процедура позволяет не только пространственно локализовать такие объекты, но и устранить их влияние, маскирующее целевые отражения;
- построение огибающей сигнала, получаемой с помощью преобразования Гильберта, в ряде случаев позволяет подчеркнуть определенные особенности записи и связать их с изменениями физических свойств исследуемого разреза;
- построение гиперболы применяется для пространственной локализации локального дифрагирующего объекта и определения относительной диэлектрической проницаемости вмещающей его среды.

При обследовании моста на автодороге А-133 исследования выполнены с использованием экранированных антенных блоков, работающих на центральных частотах 500 и 900 МГц в режиме непрерывного профилирования, при котором в процессе измерений антенна радара постоянно перемещается над поверхностью изучаемой среды. Такая методика позволяет наиболее надежно выявлять вещественные и физические неоднородности в зондируемых средах, поскольку дает возможность получать непрерывную информацию о характеристиках обследуемой среды. Пространственная привязка к местности осуществлялась с помощью одометра (мерного колеса).

Использование антенн с различными рабочими частотами было обусловлено стремлением достигнуть максимальной информативности данных. Как известно, с увеличением частоты повышается разрешающая способность (детальность) исследований, но, вместе с тем, уменьшается их глубинность. При этом экранированные контактные антенны являются более помехозащищенными, чем открытые. Методика выполнения работ соответствовала основному документу, регламентирующему данную сферу исследований³.

Схема проведения георадиолокационного обследования моста представлена на рис. 4. На схеме показаны контуры конструктивных элементов моста, определенные по результатам интерпретации георадиолокационных данных.

Материалы, полученные с антенным блоком частотой 900 МГц, оказались менее информативными из-за меньшей глубинности данной высокочастотной антенны. Наиболее информативные данные получены с антенным блоком, работающим на центральной частоте 500 МГц.

Основные результаты георадиолокационного профилирования с элементами интерпретации полученных материалов приведены на рис. 5, 6.

На рисунке 6 представлена серия георадиолокационных профилей, начиная со стороны крайней правой полосы автодороги (направление на г. Липецк-центр) и заканчивая расположенными на газоне вблизи крайней левой полосы движения на Липецк-центр.

³ Методические рекомендации по применению георадаров при обследовании дорожных конструкций. Росавтодор. М. : 2003.

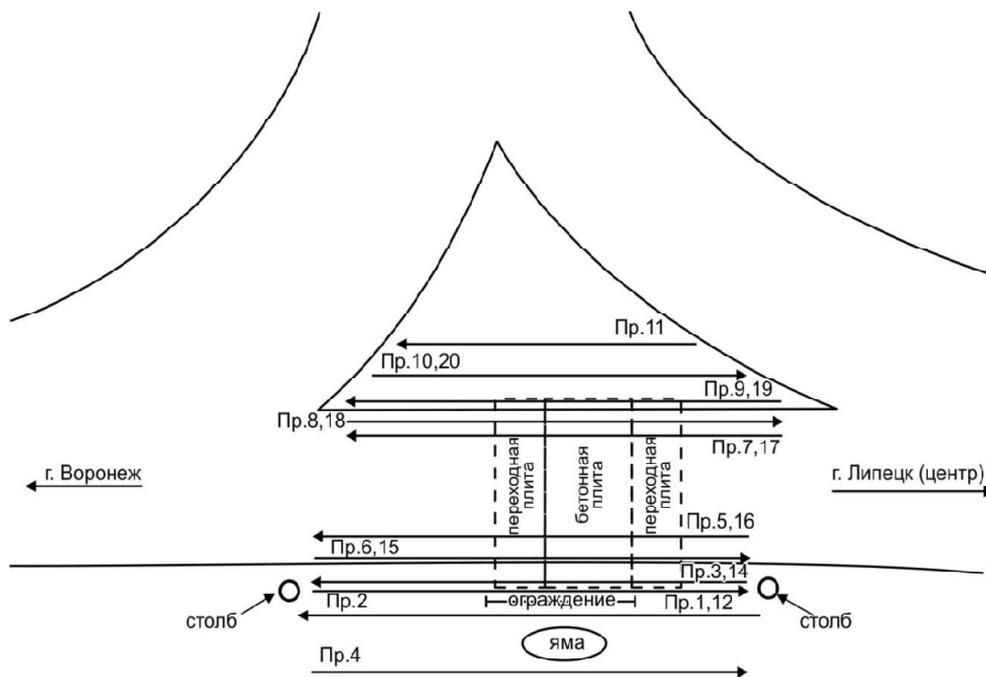


Рис. 4. Схема проведения георадиолокационного обследования моста (стрелками показаны профили георадиолокации и направления их прохождения): профили Пр. 1...Пр. 11 пройдены с антенной 500 МГц; профили Пр. 12...Пр. 20 — 900 МГц

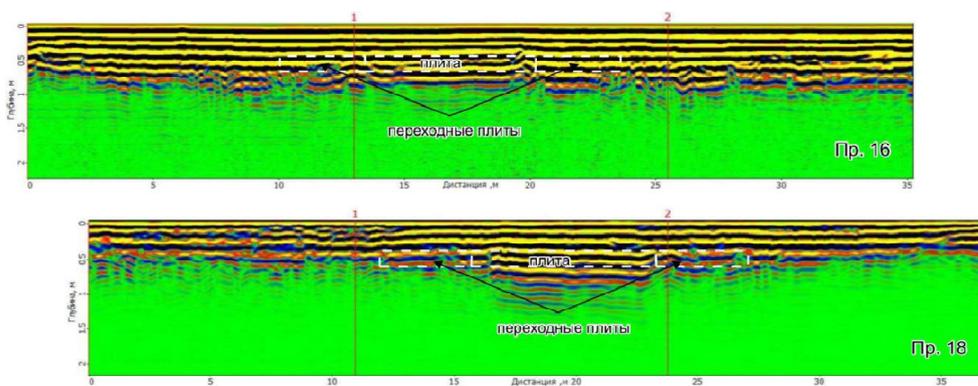


Рис. 5. Результаты георадиолокационного обследования моста, выполненного с антенной 900 МГц. Марками 1 и 2 обозначено положение на профиле барьерного ограждения

Результаты интерпретации материалов георадиолокационного обследования моста на автодороге А-133 позволяют оценить размеры его конструктивных элементов:

- размер бетонной плиты оценивается как $14...15 \times 7,5...8$ м;
- размеры переходных плит составляют около $14...15 \times 3,5...4$ м;
- поверхность моста находится на глубине около $45...55$ см от уровня земли.

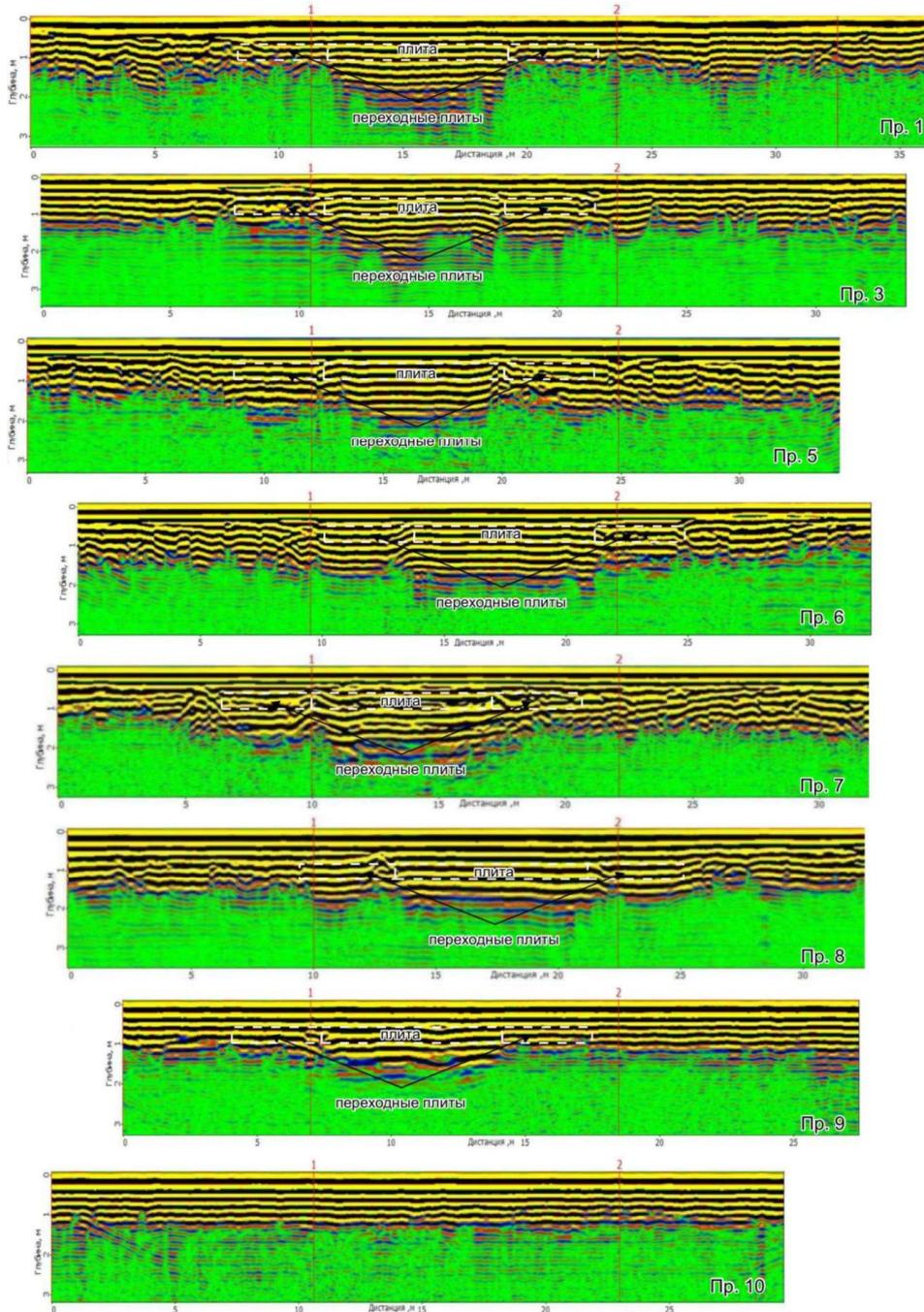


Рис. 6. Результаты георадиолокационного обследования моста с антенной 500 МГц.
Марками 1 и 2 обозначено положение на профиле барьерного ограждения

Выводы

Георадиолокационное обследование моста на автодороге А-133 достигло поставленной цели — определены характеристики конструктивных элементов транспортного сооружения.

Размеры конструктивных элементов моста оцениваются как:

- размер бетонной плиты около $14...15 \times 7,5...8$ м;
- размеры переходных плит составляют около $14...15 \times 3,5...4$ м.

Георадиолокационное обследование не обнаружило воздушных полостей под бетонными плитами. Каких-либо деформационных проявлений в сооружении не выявлено. В своем нынешнем состоянии мост не выполняет своего функционального назначения и, по существу, таковым не является, поскольку не служит для перевода транспортного пути через какое-либо препятствие.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Серых И. Р., Чернышева Е. В., Дегтярь А. Н. Определение технического состояния железнодорожного моста // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2020. № 4. С. 32—39. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-32-39.
2. Bondarev B. A., Borkov P. V., Bondarev A. B. An Outlook on the Application of Glass-Reinforced Plastic and Polymer Concrete Components in Bridge Construction // 2nd International Conference on Industrial Engineering. 2016. Pp. 1617—1622. DOI 10.1016/j.proeng.2016.07.139.
3. Применение полимерных композиционных материалов в конструкциях опор сооружений транспортной инфраструктуры / Т. К. Акчурин, Б. А. Бондарев, А. Б. Бондарев, П. В. Борков, В. К. Жидков, В. А. Баязов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 3-4(92). С. 94—102.
4. Анализ дефектов и повреждений материалов в конструкциях дорожных одежд автомобильных дорог промышленных предприятий и способы их устранения / Б. А. Бондарев, А. Б. Бондарев, П. В. Борков, С. К. Шулепов, В. К. Жидков, Д. А. Копалин // Строительные материалы. 2023. № 6. С. 70—74. DOI 10.31659/0585-430X-2023-814-6-70-74.
5. Бондарев Б. А., Бондарев А. Б., Борков П. В. Сопротивление полимерных композиционных материалов действию циклических напряжений. Саратов : ООО «Амирит», 2017. 154 с.
6. 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.
7. Аузин А. А., Каратаев Д. Д. Георадиолокационное обследование мостовых сооружений: вопросы методики проведения полевых исследований, обработки и интерпретации материалов. Часть 2 — свайные фундаменты мостовых опор // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2024. № 1. С. 102—110.
8. Аузин А. А. Георадиолокационное обследование фундаментов мостовых сооружений // Геотехника. 2017. № 6. С. 58—77.
9. Старовойтов А. В. Интерпретация георадиолокационных данных. М. : Изд-во МГУ, 2006. 192 с.
10. Финкельштейн М. И., Кутев В. А., Золотарев В. П. Применение георадиолокационного подповерхностного зондирования в инженерной геологии. М. : Недра, 1986. 128 с.

© Акчурин Т. К., Бондарев Б. А., Бондарев А. Б., Аузин А. А., Жидков В. К., Борков П. В., Мареева О. В., 2024

Поступила в редакцию
в сентябре 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Оценка конструктивных характеристик мостов на основе георадиолокационных методов обследования / Т. К. Акчурин, Б. А. Бондарев, А. Б. Бондарев, А. А. Аузин, В. К. Жидков, П. В. Борков, О. В. Мареева // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 4(97). С. 85—94. DOI: 10.35211/18154360_2024_4_85.

Об авторах:

Акчурин Талгать Кадимович — советник РААСН, канд. техн. наук, проф., проф. каф. строительных материалов и специальных технологий, Волгоградский государственный технический

университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1;
Scopus ID: 57190967539; info@vgasu.ru

Бондарев Борис Александрович — д-р техн. наук, проф. каф. строительного материаловедения и дорожных технологий, Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30; smidt48@mail.ru

Бондарев Александр Борисович — канд. техн. наук, доц. каф. строительного материаловедения и дорожных технологий, Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30; smidt48@mail.ru

Аузин Андрей Альбертович — д-р техн. наук, проф. каф. геофизики, Воронежский государственный университет. Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, Университетская пл. 1; geophysics@geol.vsu.ru

Жидков Владимир Константинович — аспирант каф. конструкций зданий и сооружений, Тамбовский государственный технический университет. Российская Федерация, 392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106/5; gidkov_vova_1999@mail.ru

Борков Павел Валерьевич — канд. техн. наук, доц. каф. инженерных конструкций, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К. А. Тимирязева. Российская Федерация, г. Москва, 127434, ул. Тимирязевская, 49; borkovpv@mail.ru

Мареева Ольга Викторовна — канд. техн. наук, доц. каф. инженерных конструкций, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К. А. Тимирязева. Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; mailbox@stu.lipetsk.ru

Talгат K. Akchurin^a, Boris A. Bondarev^b, Alexander B. Bondarev^b, Andrey A. Auzin^c, Vladimir K. Zhidkov^d, Pavel V. Borkov^e, Olga V. Mareeva^e

^a *Volgograd State Technical University*

^b *Lipetsk State Technical University*

^c *Voronezh State University*

^d *Tambov State Technical University*

^e *Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy*

ASSESSMENT OF STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF BRIDGES BASED ON GROUND PENETRATING RADAR SURVEY METHODS

The article provides basic information on ground penetrating radar and the operation of measuring equipment. The principle of ground penetrating radar is that electromagnetic pulses emitted by the transmitting antenna of the ground penetrating radar propagate in subsurface deposits and, if they encounter sections of the medium with different electromagnetic properties, are reflected from them, return to the antenna unit and are recorded by the receiving antenna. The article presents the results of a ground penetrating radar survey of the bridge on the A-133 highway. The studies were carried out using shielded antenna units operating at central frequencies of 500 and 900 MHz in continuous profiling mode. As a result of the ground penetrating radar survey of the bridge, the characteristics of its structural elements were determined; no air cavities were found under the concrete slabs, and no deformation manifestations were detected in the structure. A conclusion was made on the functional purpose of the bridge in its current state.

К е у w o r d s: bridge, ground penetrating radar, ground penetrating radar, radargram, survey.

For citation:

Akchurin T. K., Bondarev B. A., Bondarev A. B., Auzin A. A., Zhidkov V. K., Borkov P. V., Mareeva O. V. [Assessment of structural characteristics of bridges based on ground penetrating radar survey methods]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2024, iss. 4, pp. 85—94. DOI: 10.35211/18154360_2024_4_85.

About authors:

Talgat K. Akchurin — Candidate of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; Scopus ID: 57190967539; info@vgasu.ru

Boris A. Bondarev — Doctor of Engineering Sciences, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya st., Lipetsk, 398600, Russian Federation; smidt48@mail.ru

Alexander B. Bondarev — Candidate of Engineering Sciences, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya st., Lipetsk, 398600, Russian Federation; smidt48@mail.ru

Andrey A. Auzin — Doctor of Engineering Sciences, Voronezh State University. 1, University Square, Voronezh, 394006, Russian Federation; geophysics@geol.vsu.ru

Vladimir K. Zhidkov — Postgraduate student, Tambov State Technical University. 106/5, Sovetskaya st., Tambov, 392000, Russian Federation; gidkov_vova_1999@mail.ru

Pavel V. Borkov — Candidate of Engineering Sciences, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy. 49, Timiryazevskaya st., 127434, Moscow, Russian Federation; borkovpv@mail.ru

Olga V. Mareeva — Candidate of Engineering Sciences, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy. 49, Timiryazevskaya st., 127434, Moscow, Russian Federation; o.mareeva@rgau-msha.ru