

В.В. Набатов, Р.М. Гайсин, П.В. Николенко

ЛОКАЦИЯ ТЕЧЕЙ С ПОМОЩЬЮ ГЕОРАДАРОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Обобщен опыт георадиолокационного обследования однослойных и многослойных конструкций в контексте поиска нарушений и мест протечек вод в тоннели и коллектора. Данные получены с помощью георадара ОКО-2 с антенными блоками АБ1200 и АБ1700. Приведены результаты обследования вертикальных конструкций, многослойных конструкций коллектора, лотка тоннеля, лотка подстанционного коллектора.

Ключевые слова: георадар, георадиолокация, тоннели, коллектора, подземные коммуникации, протечки, многослойные конструкции.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-7-0-161-167

Введение

Нарушение гидроизоляции подземных сооружений приводит к поступлению в выработку грунтовых вод и вод нарушенных подземных коммуникаций [1, 2, 3, 4]. При небольших объемах поступающей воды она может выводиться через дренажную систему. Однако, это не снимает такие проблемы как развитие области разуплотнения в заобделочном пространстве в результате разгрузки ее в выработку, непрогнозируемости изменения водопритока, негативное влияния воды на обделку на нарушенном участке. Другими словами места течей требуют ремонта, предварительной стадией которого являются операции контроля. Задачи выявления и локации течей возникают при обследованиях таких объектов подземного строительства как тоннели метро, пристанционные помещения и вестибюли, подземные коллектора.

Используемые методы

Одним из удачных аппаратных выборов при решении задач локации течей (с обзором различных применяемых методов можно познакомиться по [5, 6]) являются высокочастотные георадары, использующие среднюю частоту излучения более 1000 МГц. Георадиолокационные методы характеризуются оперативностью и высокой разрешающей способностью. Их недостатками являются сложность и субъективность интерпретации; отсутствие количественных критериев [7]; трудоемкость обработки в случае больших объемов обследований, характерных для тоннелей.

Все приведенные в статье данные получены с помощью георадара ОКО-2 с антенными блоками АБ1200 и АБ1700. С помощью георадаров ОКО-2 можно произвести обследование обделок в пределах до 40–60 см, в некоторых опти-

мальных случаях до 80 см их толщины [8]. Глубинность определяется особенностями конструкции (ее многослойностью, свойствами материала, свойствами промежуточных слоев, характером армирования). Для увеличения глубины обследования нужны георадары более низких частот, однако большая длина волны приводит к снижению разрешающей способности. При снижении последней арматурные сетки используемых шагов становятся экраном для излучения [9]. Поэтому задачи обследования связанные с локацией течей обычно находятся в рамках либо обследования самих об-

делок, либо анализа границы «обделка–грунт». Массив для обследования за обделкой по большей части не доступен.

При локации течей помимо анализа радарограммы с различными вариантами подавления прямой волны [10, 11] наиболее удобно использовать обработку сочетающую амплитудное преобразование Гильберта и вычисления различных характеристик в скользящих окнах. Обработка описывалась в [12]. Идентификаторами течей обычно являются: «звон», хаотическая волновая картина, участки с резким возрастанием энергии волнового поля.

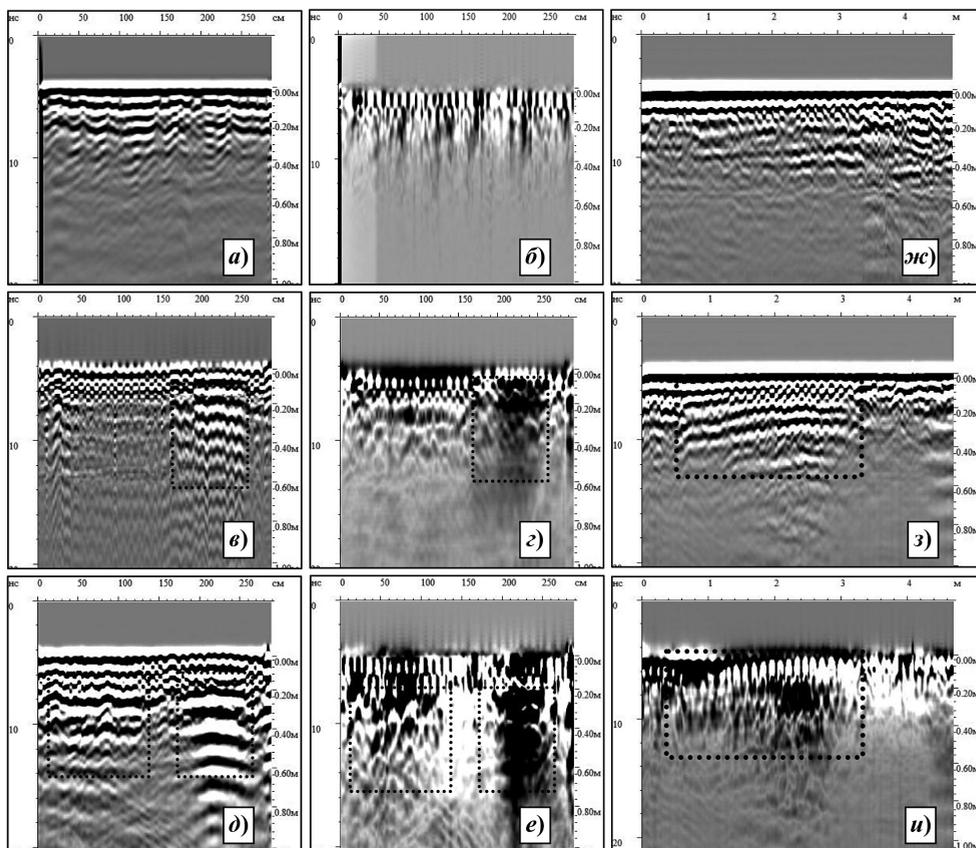


Рис. 1. Примеры результатов обследования вертикальных конструкций: ряд последовательных горизонтальных профилей пройденных на объекте № 1 (а–е): исходные радарограммы (а, в, д) и их варианты после амплитудного преобразования Гильберта (б, г, е); ряд последовательных горизонтальных профилей пройденных на объекте № 2 (ж, з); вариант обработки профиля 3 после амплитудного преобразования Гильберта (и)

Обобщение задач контроля при локации течей

При обследованиях течей перед контролем обычно ставятся задачи следующего характера.

Локация источника течи в плане

Известна зона притока воды, необходимо определить характер распределения влаги за конструкцией или в ней (в случае расслоения последней).

Если речь идет о вертикальных элементах конструкции (борта тоннеля, вертикальные стеновые блоки), то места нарушений лоцируются относительно легко. Подобные течи удобно находить серией горизонтальных профилей (площадная съемка), располагая их сверху вниз. Тогда верхние профили не содержат идентификаторы течей, в то время как на нижних они начинают проявляться.

На рис. 1 представлены примеры результатов обследования в двух вариантах — исходная радарограмма (рис. 1, а, в, д, ж, з) и радарограмма после обработки с применением преобразования Гильберта [12] (рис. 1, б, г, е, и). Рис. 1, а, б — самый верхний профиль объекта № 1, не содержащий идентификаторов, указывающих на влагу; рис. 1, в, г, д, е — два нижних профиля объекта № 1, на которых проявляются «звоны». В варианте с обработкой видно увеличение энергии сигналов, локализованных на определенных участках волнового поля. Подобная же картина наблюдается и для объекта № 2.

Верхний профиль рис. 1, ж содержит незначительные волновые аномалии, нижний профиль рис. 1, з, и, указывает не только на присутствие воды, но и, за счет изменения геометрии осей синфазности, говорит о расслоенности обделки.

Таким образом можно лоцировать место, где за обделкой находится полость заполненная водой, или где есть расслоение конструкции, по которому

вода перемещается вниз к точкам выхода воды в выработку.

В описываемых случаях проблемой может стать сложная картина распределения влаги, когда вода идет с верхних этажей пристанционного сооружения, либо когда источником водопритока являются не грунтовые воды, а внутренние водопроводные сети.

При обследованиях бетонных подушек и лотков коллекторов задача усложняется в связи с многослойностью этих конструкций. В ряде случаев лотки могут быть однослойными, что позволяет определять качество контакта «грунт-конструкция», а также давать предположения есть ли на границе вода, по вариациям коэффициента отражения. Идентификаторы остаются такими же как и в предыдущих случаях.

В качестве примера обследования подобных конструкций, на рис. 2 представлен профиль, пройденный по однослойному лотку подстанционного коллектора. Хорошо выделяется зона с повышенной энергией отраженных волн (цифра 1), рядом с аварийным участком присутствует не обводненный участок (2). Граница на нем тоже просматривается (она указана стрелкой), но достаточно слабо. Принимать решения о том присутствует ли на означенной границе воздушная прослойка, или между грунтом и плитой присутствует вода приходится только по степени выраженности описанных эффектов. Т.е. речь идет о субъективной интерпретации, которая проверяется только прямым обследованием.

При обследовании лотков коллекторов подобные легкие для интерпретации случаи встречаются реже. Лотки многослойны, к тому же в обследованных коллекторах лоток снизу нередко залит, поступающей из течи водой. Результаты георадиолокационного обследования через слой воды оказываются сильно зашумлены.

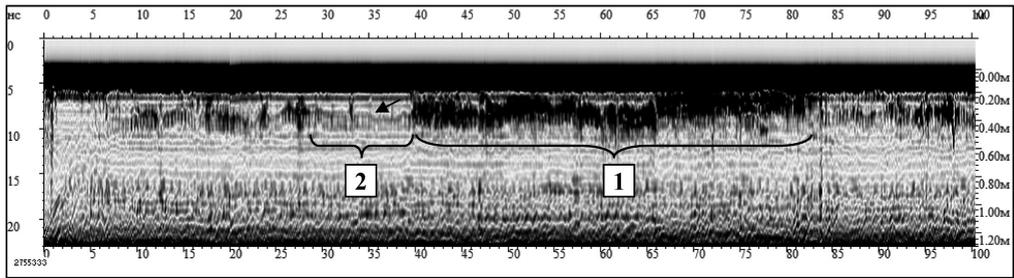


Рис. 2. Пример результатов обследования лотка подстанционного коллектора (радарограмма подвергнута преобразованию Гильберта): вода под лотком (1); участок с хорошим контактом «лоток–грунт» (2)

Локация источника течи по глубине

В случаях когда конструкции являются многослойными возникает задача локации нарушенных областей в глубину от поверхности тоннеля. При этом могут наблюдаться случаи когда в конструкциях имеются зазоры между слоями достаточные для распространения воды. Часто подобную ситуацию можно встретить в лотке, или в коллекторе, оборудованном защитной рубашкой. На

рис. 3 представлен случай обследования подобного коллектора. На радарограмме рис. 3, а можно выделить два ряда армирования (цифры 1 и 2), которые обозначают границы конструкции в глубину. По повышенным значениям энергии отраженных сигналов можно выделить несколько областей где на границе рубашка-конструкция присутствует вода (цифра 3). Помимо этого можно найти и нарушение на границе

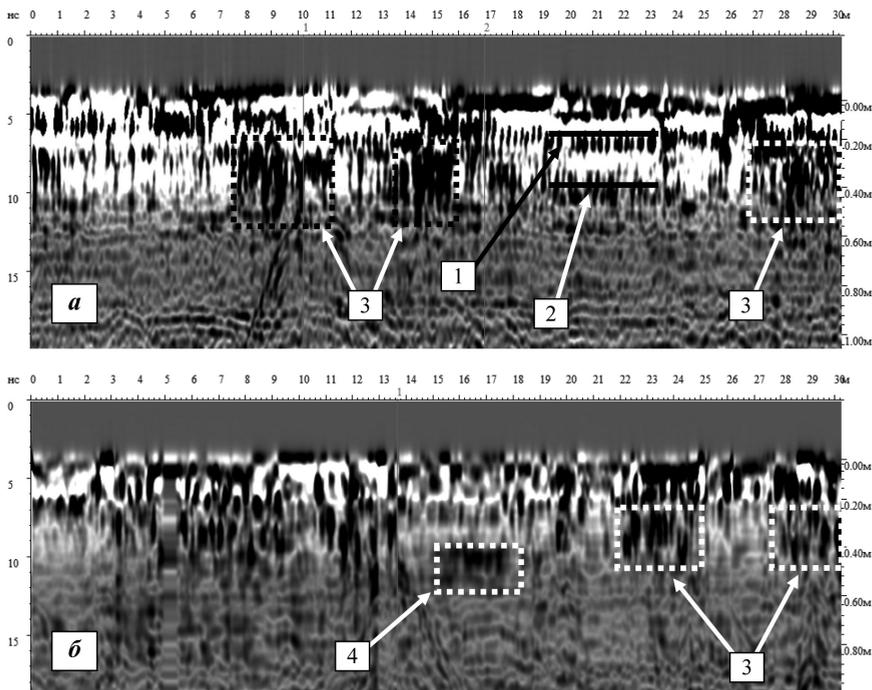


Рис. 3. Примеры а и б результатов обследования многослойных конструкций коллектора (обработка описана в [12]): 1, 2 – ряды армирования; 3, 4 – участки нарушенного контакта

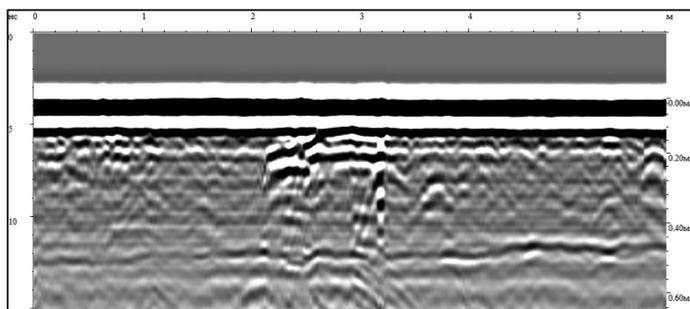


Рис. 4. Пример результатов обследования лотка тоннеля

грунт-конструкция. Пример где видны области разуплотнения и внутри стены тоннеля (цифра 3) и на границе грунт-конструкция (цифра 4) представлен на рис. 3, б.

Таким образом можно назначать области необходимые для ремонта. Однако лоцирование течи по глубине в многослойных конструкциях часто не решает проблему понимания откуда вода поступает в выработку. Точка выхода воды в коллектор или тоннель может существенно отстоять от мест где вода поступает в конструкции снаружи. Примером такой ситуации могут послужить результаты обследования лотка тоннеля, представленные на рис. 4 (радарограмма обрабатывалась минимально для того чтобы не исказить волновую картину). Область разуплотнения находится

между 2 и 3,4 м профиля. На этом же участке вода поступает в выработку. Обводненный слой находится на глубине 20 см, однако полная толщина конструкции более 40 см. Скорее всего вода поступает в направлении перпендикулярному линии съемки (профиль пройден вдоль тоннеля). Уточняющие профили, доступные для съемки, дополнительной ясности не принесли.

Вывод

С помощью георадаров можно лоцировать нарушения и течи, в том числе оценивать их расположение по глубине многослойной конструкции. Однако при определении мест где вода проникает в конструкцию возможно возникновение сложностей, особенно если речь идет о горизонтальных элементах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Porsani J.L., Ruy Y.B., Ramos F.P., Yamanouth G.R.B. GPR applied to mapping utilities along the route of the Line 4 (yellow) subway tunnel construction in Sao Paulo City, Brazil // Journal of Applied Geophysics. Vol. 80, May 2012, Pp. 25–31.
2. Ayala-Cabrera D., Campbell E., Carreno-Alvarado E.P., Izquierdo J., Perez-Garcia R. Water Leakage Evolution Based on GPR Interpretations / 16th Water Distribution System Analysis Conference, WDSA2014. Vol. 89, 2014. Pp. 304–310.
3. Гайсин Р.М., Набатов В.В., Дудченко Т.О. Опыт электротомографического исследования геомассива в зоне расположения коллекторов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2011. — № 10. — С. 118–121.
4. Набатов В.В., Морозов П.А., Семенихин А.Н. Выявление подземных коммуникаций на площадке строительства с помощью георадаров с резистивно-нагруженными антеннами // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2012. — № 10. — С. 120–134.
5. Шилин А.А., Кириленко А.М., Знайченко П.А. Современные методы исследования процессов влаго-переноса в ограждающих конструкциях метрополитенов // Транспортное строительство. — 2014. — № 10. — С. 3–6.

6. Шилин А. А., Кириленко А. М., Знайченко П. А. Комплексные обследования бетонных и железобетонных обделок транспортных тоннелей ультразвуковым и ударно-акустическим методом // Транспортное строительство. — 2014. — № 5. — С. 12–14.

7. Простов С. М., Никулин Н. Ю. Георадиолокационный мониторинг при укреплении грунтовых оснований горнотехнических сооружений в Кузбассе // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2015. — № 5 (111). — С. 11–19.

8. Блохин Д. И., Вознесенский А. С., Кудинов И. И., Набатов В. В., Шейнин В. И. Опыт использования геофизических методов для оценки фактических конструктивных параметров железобетонных фундаментных плит // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2011. — № 2. — С. 283–289.

9. Еременко А. В., Зверев Е. О., Клепикова С. М., Монахов В. В. Георадиолокация в присутствии железобетонных конструкций // Разведка и охрана недр. — 2004. — № 12. — С. 26–28.

10. Набатов В. В. Повышение эффективности георадиолокационного обследования конструкций тоннелей метрополитенов за счет уменьшения помехового влияния прямой волны // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — Об 1. — С. 43–55.

11. Набатов В. В. Уменьшение помехового влияния прямой волны при георадиолокационном обследовании тоннелей метрополитенов за счет подавления артефактов обработки экспериментальных данных // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 9. — С. 77–84.

12. Набатов В. В., Вознесенский А. С. Георадиолокационное обнаружение полостей в заобделочном пространстве тоннелей метрополитенов в условиях влияния помеховых факторов // Горный журнал. — 2015. — № 2. — С. 15–20. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Набатов Владимир Вячеславович*¹ — кандидат технических наук,

*Гайсин Роберт Мударасович*¹ — кандидат технических наук, доцент,

*Николенко Петр Владимирович*¹ — кандидат технических наук, доцент,

¹ МГИ НИТУ «МИСиС», e-mail: ftkp@mail.ru.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 7, pp. 161–167.

UDC 624.131.3; 622:51-7

V.V. Nabatov, R.M. Gaysin, P.V. Nikolenko

GPR WATER LEAKAGE DETECTION DURING BUILDING AND EXPLOITATION OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

Experience of ground penetrating radar surveys of underground constructions is generalized. Main task of surveys is detection of water leakages in tunnels and underground utilities with double lining. Data obtained with GPR OKO-2 with the antenna units АБ1200 and АБ1700. The results of observation of vertical structures, multilayer structures of the reservoir, tray, tunnel, tray collector substation.

Key words: ground-penetrating radar, GPR, water leakage, tunnels, underground utilities, double lining.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-7-0-161-167

AUTHORS

*Nabatov V.V.*¹, Candidate of Technical Sciences,

*Gaysin R.M.*¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,

*Nikolenko P.V.*¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,

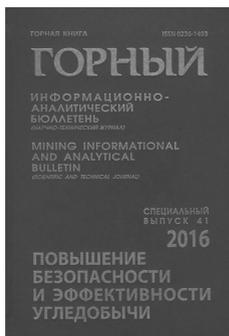
¹ Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia, e-mail: ftkp@mail.ru.

REFERENCES

1. Porsani J. L., Ruy Y. B., Ramos F. P., Yamanouth G. R. B. GPR applied to mapping utilities along the route of the Line 4 (yellow) subway tunnel construction in Sao Paulo City, Brazil. *Journal of Applied Geophysics*. Vol. 80, May 2012, Pp. 25–31.
2. Ayala-Cabrera D., Campbell E., Carreno-Alvarado E. P., Izquierdo J., Perez-Garcia R. Water Leakage Evolution Based on GPR Interpretations. *16th Water Distribution System Analysis Conference, WDSA2014*. Vol. 89, 2014. Pp. 304–310.
3. Gaysin R. M., Nabatov V. V., Dudchenko T. O. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2011, no 10, pp. 118–121.
4. Nabatov V. V., Morozov P. A., Semenikhin A. N. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2012, no 10, pp. 120–134.
5. Shilin A. A., Kirilenko A. M., Znaychenko P. A. *Transportnoe stroitel'stvo*. 2014, no 10, pp. 3–6.
6. Shilin A. A., Kirilenko A. M., Znaychenko P. A. *Transportnoe stroitel'stvo*. 2014, no 5, pp. 12–14.
7. Prostov S. M., Nikulin N. Yu. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2015, no 5 (111), pp. 11–19.
8. Blokhin D. I., Voznesenskiy A. S., Kudinov I. I., Nabatov V. V., Sheynin V. I. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2011, no 2, pp. 283–289.
9. Eremenko A. V., Zverev E. O., Klepikova S. M., Monakhov V. V. *Razvedka i okhrana nedr*. 2004, no 12, pp. 26–28.
10. Nabatov V. V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014. OV 1, pp. 43–55.
11. Nabatov V. V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 9, pp. 77–84.
12. Nabatov V. V., Voznesenskiy A. S. *Gornyy zhurnal*. 2015, no 2, pp. 15–20.



НОВИНКИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ГОРНАЯ КНИГА»



Горный информационно-аналитический бюллетень
Специальный выпуск № 41
Повышение безопасности и эффективности угледобычи
Год: 2016
Страниц: 332
ISSN: 0236-1493
УДК 622:658

Отражены методические подходы к повышению безопасности и эффективности производства и обобщен опыт их реализации на предприятиях угледобывающего производственного объединения АО «СУЭК-Красноярск». Описаны организационные, технологические и технические решения по улучшению деятельности объединения в целом, производственных единиц, их подразделений, рабочих мест, позволившие выявить и использовать возможности снижения риска травм и аварий и экономические резервы. Для руководителей и специалистов региональных производственных объединений и отдельных угледобывающих предприятий, занимающихся выработкой и реализацией наступательных стратегий развития.