УДК 550.837

# ВОЗМОЖНОСТИ ГЕОРАДАРНОГО МЕТОДА ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ПОДПОРНЫХ СТЕН И ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

# Фоменко Николай Евгеньевич<sup>1</sup>,

fnegeophyskohle@yandex.ru

# Гапонов Дмитрий Александрович<sup>2</sup>,

geophysics@land.ru

# Капустин Владимир Викторович<sup>3</sup>,

1391854@mail.ru

# Попов Виктор Владимирович<sup>4</sup>,

viktor popov 34@mail.ru

## Фоменко Людмила Николаевна5,

detush@yandex.ru

- <sup>1</sup> Южный федеральный университет, Россия, 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 40.
- <sup>2</sup> ОАО «Геострой-Ф», Россия, 344064, г. Ростов-на-Дону, ул. Днепроградская, 54.
- <sup>3</sup> ООО «НИИ Геотех», Россия, 110024, г. Москва, 2-ая ул. Энтузиастов, 5, стр. 39.
- <sup>4</sup> Южно-Российский политехнический университет, Россия, 346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132.
- <sup>5</sup> Донской государственный технический университет, Россия, 344022, Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162.

Актуальность работы обусловлена необходимостью решения инженерно-геологической задачи по неразрушающему обследованию монолитности и технического состояния подпорных стен, сооруженных в потенциально оползнеопасных зонах, экспрессными геофизическими методами.

**Цель работы:** оценка информативности георадарного метода в инженерно-строительной области при обследовании вертикальной подпорной стены с последующей обработкой натурных наблюдений специализированными программами ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ и ATRAN. Подчеркнута ограниченная мобильность ультразвуковых и акустических методов, в которых при измерениях требуется плотный контакт передающих и приемных датчиков сейсмоволнового поля с вертикальной поверхностью изучаемого объекта, что технически не позволяет выполнять регистрацию сигналов поля в движении.

**Методы исследования:** радиолокационная съёмка подпорной стены георадаром ОКО с антенным блоком 400 МГц посредством перемещения последнего по вертикальным профилям на специально смонтированных верёвочных лыжах с прижатием блока к стене с помощью деревянного шеста при регистрации и контроле радарограмм в режиме реального времени.

**Результаты.** Показаны возможности атрибутного анализа данных георадиолокации для изучения состояния подпорной стены на оползневом склоне правого берега р. Дон в г. Ростове-на-Дону с выявлением и оконтуриванием по значениям атрибута Q-factor зон относительно крепкой и относительно ослабленной кладки, а также местоположения металлических шпунтов (стальных труб) в теле лицевой и боковой стен. Интерпретация радарограмм выполнена на основе метода исследования осей синфазности дифрагированных волн и характерного «звона» в форме переотражений от точечных объектов. Дополнительно проведен анализ энергии отраженных сигналов в программе ATRAN. В результате исследований изучен контакт стены с грунтом, который можно считать относительно равномерно плотным, причём для боковой стены нижняя область более плотная, чем верхняя, а для лицевой стены наблюдается менее плотный контакт в диапазоне 20–25 метров от левого края стены.

#### Ключевые слова:

Геофизические методы неразрушающего контроля в строительстве, радарограммы, анализ динамических характеристик волнового поля, подпорная стена, потенциально оползневой объект.

#### Введение

Комплекс методов неразрушающего контроля, включающий ультразвуковые, акустические и георадарные методы, в настоящее время широко применяется при диагностике крупных железобетонных строительных конструкций. К ним относятся фундаментные плиты, перекрытия, сваи, ограждающие конструкции котлованов, подпорные стены, стены шлюзов, устои мостов и тому подобное. При правильном выборе комплекса может быть произведена оценка прочности, сплошности, толщины, контактных условий конструкций с вмещающим грунтом, наличия внешних и внутренних дефектов [1–16]. Используется портативная высокоразрешающая аппаратура. Учитывается: а) преимущественная роль ультразвуковых и акустических методов за счет возможности оценки прочностных характеристик материала посредством корреляционных зависимостей; б) селективность ультразвуковых методов (диапазон частот от 20 до 100 кГц), позволяющая исследовать только поверхностную часть бетонных конструкций; в) повышенная глубинность акустических методов (диапазон частот от 0,5 до 20 кГц) при понижении разрешающей способности по сравнению с ультразвуковым методом; г) ограниченная мобильность ультразвуковых и акустических методов по сравнению с георадарным, поскольку требуется плотный контакт передающих и приемных датчиков сейсмоволнового поля с поверхностью изучаемого объекта, что технически не позволяет выполнять регистрацию сигналов поля в движении [17-19]. По этим причинам визуальное и акустическое обследование бетонных конструкций производится, как правило, только с верхней (торцевой) поверхности и позволяет определить лишь интегральные характеристики объекта исследования, причем даже в тех случаях, когда этот объект частично вскрыт котлованом (рис. 1).

Детальное обследование лицевых поверхностей вертикальных бетонных и каменных конструкций технически более доступно посредством георадарного профилирования [20]. Это подтверждается результатами радиолокационных исследований подпорной стены на оползневом склоне правого берега реки Дон в г. Ростове-на-Дону на строительной площадке «Административно-жилого здания РО-ТЭПа».

Цель работ состояла в решении инженерно-технической задачи по обследованию монолитности стены с выделением в её конструкции ослабленных зон и изучения состояния прилегания (границы нагрузки) с потенциально оползнеопасной грунтовой толщей.



**Рис. 2.** Общий вид подпорной стены со стороны ул. Береговой в г. Ростове-на Дону

**Fig. 2.** General view of the supporting wall from the side of Beregovaya Street in Rostov-on-Don

Фотопанорама подпорной стены показана на рис. 2. Необходимость в её обследовании обусловлена «забутованностью» дренажных отверстий



*Рис. 1.* Макет натурной бетонной стены частично вскрытой котлованом (a) с отображением (метод t<sub>0</sub>) акустического поля (б) и распределением областей различной интегральной прочности (в). 1, 2 – кривые первых вступлений от подошвы стены в грунте и дна котлована вскрытия; 3 – отражения от локальных дефектов в бетоне; 4 – места проявления трещин; 5 – деформационный шов

**Fig. 1.** Layout of the full-scale concrete wall partially opened by the ditch (a) with displaying (method t<sub>0</sub>) acoustic field (6) and distribution of the areas of the different integral solidity. 1, 2 are the graphs of first entrances from the bottom of the wall into the ground and two ditches of opening; 3 are the reflections from local defects in concrete; 4 are the locations of cracks appearance; 5 is the dilatation joint

основания, частичным разрушением воздуховода и обсыпанием облицовочного камня из плитчатого песчаника.

#### Методика работ

Радиолокационная съёмка производилась георадаром ОКО с антенным блоком 400 МГц. Использовался непрерывный способ перемещения последнего по вертикальным профилям с записью и одновременным представлением информации в форме радарограмм на дисплее ноутбука. Для строгого перемещения антенного блока по вертикальной стене по заданным профилям была применена технология «верёвочных лыж» с одновременным прижатием блока к стене с помощью деревянного шеста. Конструктивно веревочные лыжи состояли из двух пластиковых труб, закрепленных на боковых торцах антенного блока (рис. 3).

Через трубы пропускались два капроновых шнура, закреплявшихся в основании и на верхней торцевой поверхности стены с помощью металлических швеллеров весом порядка 20 кг, которые последовательно перемещались по размеченным пикетам с шагом 5 м. Увязка профилей осуществлялась по верхней кромке стены. На ней также с помощью ноутбука производилась в режиме реального времени регистрация радарограмм. Выбор интервала наблюдений определялся пространственной разрешающей способностью (минимальное расстояние по горизонтали, на котором могут быть различимы два отражающих объекта или их детали). Развертка по глубине составляла 50 нс; накопление сигналов – 12 единиц; шаг зондирования – 50 мм.



**Рис. 3.** Технология георадиолокационной съёмки по вертикальной стене

# Fig. 3. Technology of the ground penetrating radar survey along a vertical wall

Обработка данных радиолокационной съемки основывалась на анализе динамических характеристик волнового поля. Полевой материал обрабатывался при помощи программ автоматизированной обработки георадиолокационных данных ГЕО-РАДАР-ЭКСПЕРТ (ISSN 1681–4568) [21, 22] и AT-RAN (блок атрибутного анализа, приложение к GeoScan-32). Алгоритмы, положенные в основу данных программ, позволяют построить приближенную модель среды в параметрах скорости электромагнитной волны или диэлектрической проницаемости либо другого атрибута волнового поля. Сущность алгоритма программы ГЕОРАДАР-ЭКС-ПЕРТ состоит в формировании набора точек, имеющих координаты и атрибуты в виде значений знаковых показателей (скорости, частоты и др.). Далее происходит отбраковка точек по скоростному критерию. То есть точки со значениями, превышающими скорости электромагнитной волны в вакууме, и точки с таковыми ниже минимальной скорости распространения электромагнитной волны в воде, не принимаются к рассмотрению в качестве опорных и удаляются. В оставшемся поле точек для выделения разуплотнённых и трещиноватых зон в стене производится анализ изменений атрибута волнового поля «Q-factor» (отношение ширины спектра сигнала к его центральной частоте) либо другого атрибута волнового поля. В результате строятся разрезы выбранного атрибута в 3D сборке. Относительно разуплотнённые и механически ослабленные зоны выделяются по признаку повышенных значений атрибута & (действительной части комплексной относительной диэлектрической проницаемости) [21, 22].

#### Результаты исследований

Результаты исследования прочности кладки представлены на рис. 4. Показаны сечения 3D сборки по лицевой (*a*) и боковой (*б*) стенам. Атрибут Q-factor характеризует электромагнитные потери в среде и корреляционно связан с прочностью кладки. Низкие значения атрибута Q-factor с интервалом значений 3,1–3,4 соответствуют относительно крепкой кладке, а места со значениями атрибута 3,7–3,9 – наиболее ослабленным зонам.

Сечения 3D сборки по линии контакта лицевой и боковой стенок с грунтовой толщей береговой зоны реки Дон приведены на рис. 5, a, d. Наблюдается поле небольшого разброса значений атрибута Q-factor в пределах полутора единиц. Следует вывод, что контакт стены с грунтом можно считать относительно равномерно плотным, причём для боковой стены нижняя область более плотная, чем верхняя, а для лицевой стены наблюдается менее плотный контакт в диапазоне 20-25 м от левого края стены. Подобный результат также может быть получен при анализе энергии или амплитуды отраженного сигнала в программе ATRAN от плоскости контакта подпорной стены с грунтом (рис. 6).

Задача по выявлению наличия металлических шпунтов в теле стены решалась посредством анализа радарограмм, полученных по данным РЛЗ на горизонтальном профиле, который был размечен на лицевой и боковой стенках на высоте  $\approx 1,5$  м от дневной поверхности. Для определения положения металлических шпунтов могут быть использованы различные способы атрибутного анализа ра-



Рис. 4. Сечение 3D сборки по лицевой и боковой стенкам Cross-section of 3D assembly along the front and side walls

Fig. 4.



Рис. 5. Сечение 3D сборки по линии контакта лицевой и боковой стенок с грунтовой толщей береговой зоны реки Дон

Cross-section of 3D assembly along the contact line of the front and side walls with ground thickness of the Don River side area Fig. 5.

дарограмм. К примеру хороший результат дает амплитудный анализ отраженного сигнала или величина энергии сигнала во временном окне, который может быть получен с помощью программы АТ-RAN (рис. 7).

Радарограммы и карт-графы обработки (амплитудные разрезы), полученные по модели ПОИСК в программе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ, приведены на рис. 8.

Интерпретация радарограмм выполнена на основе метода исследования осей синфазности дифрагированных волн и характерного «звона» в форме переотражений от точечных объектов [23]. На амплитудных разрезах маркерами показано положение отражений, которые с высокой вероятностью могут соответствовать металлическим вертикально ориентированным трубам. Определяемый шаг между трубами на лицевой и боковой стенках составляет более трёх метров. Не исключено, что в процессе строительства стены могли быть отступления от проектных решений, например осуществлена замена металлических труб свайными железобетонными столбами, которые по электромагнитным и прочностным свойствам не отличаются от материала стены.



Рис. 6. График энергии отраженного сигнала от поверхности контакта для профиля, проходящего по центру боковой стены

Graph of the energy of the reflected signal from contact Fig. 6. surface for profile in the centre of the side wall



**Рис. 7.** График энергии отраженного сигнала по горизонтальному профилю на боковой стене. Максимумы графика энергии соответствуют положению шпунтов

*Fig. 7.* Graph of energy of the reflected signal along the horizontal profile on the side wall. Maximums of the energy graph correspond to dowels location



**Рис. 8.** Радарограмма и амплитудный разрез по горизонтальному профилю на лицевой (а) и боковой (б) стенках

Fig. 8. Radargram and amplitude of the cross-section over the horizontal profile of the front (a) and side (b) walls

#### Обсуждение результатов

Результаты проведенных авторами исследований сводятся к апробации и внедрению современной технологии георадиолокации для решения инженерно-геологических и инженерно-технических задач при обследовании и мониторинговых наблюдениях бетонных конструкций. Как показывает аналитический обзор, решение этих задач с помощью методов неразрушающего контроля (преимущественно геофизических, основанных на использовании сейсмоакустических, электромагнитных и тепловых полей) было и остается перманентно актуальной проблемой.

Спецификой проведенных работ являлась постановка инженерной задачи по обследованию вертикальной бетонной стены на оползневом объекте в районе нового строительства, где на набережной р. Дон по проекту сооружалось 23-х этажное здание. Соответственно, необходимость в проведении обследования состояния этой стены, как решения инженерно-технической задачи, преимущественно вытекала и имела определенную экологическую значимость на предмет устойчивости стены воздействию оползня на строящийся строительный объект с его последующей эксплуатацией.

Во введении указывалось, что от существующего комплекса геофизических методов обследования бетонных конструкций георадарный отличается, прежде всего, мобильностью. По этому показателю другие методы не могут составить конкуренции георадарному при обследовании вертикальных и крутонаклонных бетонных сооружений по причине точечного опробования. Преимущество современной технологии георадиолокации при выявлении дефектов бетонных конструкций заключается и в создании новых программных продуктов обработки радарограмм, что позволяет наряду с анализом первичной волновой картины производить ее математическую фильтрацию посредством построения приближенной модели (моделей) среды в параметрах электромагнитного поля и тем самым высветить значимые объекты на фоне помех. Недостатком георадиолокационных измерений, в отличие от ультразвуковых и сейсмоакустических, является отсутствие на настоящий момент количественных корреляционных зависимостей, позволяющих оценивать физико-механические свойства бетона.

Перспективы совершенствования ультразвуковых и акустических методов видятся в разработке технологий непрерывной записи параметров поля в движении посредством использования специальных подошвенных гидравлических подушек. Другим направлением совершенствования используемых геофизических методов неразрушающего контроля бетонных и других твердотельных конструкций может явиться разработка малогабаритных многочастотных ультразвуковых, акустических, и георадарных приборов, содержащих два и более разноудаленных от генератора приемных блока.

#### Выводы

 Произведена апробация и внедрение современной технологии георадилокации для решения инженерно-технической задачи в процессе проектных и строительных работ на примере изучения состояния вертикальной подпорной сте-

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. М.: Стандартинформ, 2014. – 86 с.
- ГОСТ Р 53778–2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. М.: Стандартинформ, 2010. – 90 с.
- Рекомендации по проведению георадиолокационных измерений для решения геологических задач. – Раменское: ООО «Логические системы», 2005. – 49 с.

ны на оползневом склоне правого берега р. Дон в г. Ростове-на-Дону. Результатом явилось выявление и оконтуривание по значениям атрибута Q-factor зоны относительно крепкой и относительно ослабленной кладки стены. Установлено, что: а) контакт стены с грунтом можно считать относительно равномерно плотным, причём для боковой стены нижняя область более плотная, чем верхняя, а для лицевой стены наблюдается менее плотный контакт в диапазоне 20-25 метров от левого края стены; б) бетонная стена сооружена на свайном основании из металлических шпунтов (стальных труб) при том, что по лицевой стене шаг между трубами превышает проектный в два раза, предположительно по причине изменений проектных решений в процессе строительства стены, например заменой металлических труб свайными железобетонными столбами, которые по электромагнитным и прочностным свойствам не отличаются от материала стены.

- Преимущество современной технологии георадиолокации при выявлении дефектов бетонных конструкций заключается в мобильности натурных наблюдений и в создании новых программных продуктов обработки радарограмм, что позволяет наряду с анализом первичной волновой картины производить ее математическую фильтрацию посредством построения приближенной модели (моделей) среды в параметрах электромагнитного поля и тем самым высветить значимые объекты на фоне помех. Недостатком георадиолокационных измерений, в отличие от ультразвуковых и сейсмоакустических, является отсутствие на настоящий момент количественных корреляционных зависимостей, позволяющих оценивать физикомеханические свойства бетона.
- Актуальной задачей совершенствования методов неразрушающего контроля вертикальных бетонных сооружений является разработка:
   а) технологий непрерывной записи параметров поля в движении посредством использования специальных подошвенных гидравлических подушек в ультразвуковых и акустических приборах; б) малогабаритных многочастотных ультразвуковых, акустических и георадарных аппаратурных комплексов, содержащих два и более разноудаленных от генератора приемных блока.
- СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. – М.: Стандартинформ, 2004. – 43 с.
- Бауков А.Ю. Опыт комплексного применения геофизических методов неразрушающего контроля при обследовании подземных объектов и памятников культуры г. Москвы // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2005. – № 7. – С. 87–91.
- 6. Кириленко А.М., Знайченко П.А., Бауков А.Ю. Методы инженерной геофизики при решении специализированных задач

исследования строительных конструкций: проблемы и достижения. URL: http://znayugeo.ru/wp-content/uploads/2016/ 03/inj-geo2006.pdf (дата обращения 15.02.2017).

- Шилин А.А., Кириленко А.М., Знайченко П.А. Обследование подземной части зданий, сооруженных с помощью «стены в грунте» // Строительная геотехнология: сборник статей. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала). – М.: Изд-во «Горная книга», 2010. – С. 349–356.
- Kirilenko A., Znaychenko P., Kapustin V. Integrated Solutions in Structural Diagnostics // Structural Faults + Repair 2010: Proc. of the Int. Conf. – Edinburgh, UK, 2010. – P. 12–16.
- Клевеко В.И. Обслуживание и испытание зданий и сооружений. Обследование строительных конструкций. – Пермь: Изд-во Пермского нац. исслед. политех. ун-та, 2014. – 164 с.
- Carpinteri A., Xu J., Lacidogna G. Reliable onset time determination and source location of acoustic emissions in concrete structures // Cement and Concrete Composites. - 2012. - V. 35. - P. 529-537.
- Multimodal analysis of GRC ageing process using nonlinear impact resonance acoustic spectroscopy / V. Genove, C. Riestra, M.V. Borrachero, J. Eiras, T. Kundu, J. Paya // Composites. P. B: Engineering. 2015. V. 21. P. 105-111.
- Effect of the presence and size of a real macro-crack on diffuse ultrasound in concrete / A. Quiviger, C. Payan, J.F. Chaix, V. Garnier, J. Salin // NDT&E International. – 2012. – V. 45. – P. 128–132.
- Nondestructive evaluation of forced delamination in glass fiberreinforced composites by terahertz and ultrasonic waves / J. Dong, B. Kim, A. Locquet, P. McKeon // Composites. -2015. - V. 24. - P. 667-675.
- Yue Li, Chun-e Sui, Qing-jun Ding. Study on the Cracking Process of Cement-Based Materials by AC Impedance Method and Ultrasonic Method // Journal of Nondestructive Evaluation. 2012. V. 15. P. 83–90.

- Evaluation of Concrete Distributed Cracks by Ultrasonic Travel Time Shift under an External Mechanical Perturbation: Study of Indirect and Semidirect Transmission Configurations / D. Bui, S.A. Kodjo, P. Rivard, B. Fournier // Journal of Nondestructive Evaluation. - 2012. - V. 37. - P. 100-107.
- 16. Fursa T.V., Petrov M.V., Korzenok I.N. Influence of cyclic freezethaw on the parameters of the electric response to the pulse mechanical excitation of concrete reinforced by glass fiber reinforced polymer bars // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 110. - 2016. - 012088.
- Marfurt K.J., Kirlin S.L., Farmer M.S. 3D seismic attributes using a semblance-based coherence algorithm // Geophysics. 1998. – № 4. – P. 1150–1165.
- Klein P., Richard L., Yames H. 3D curvature attributes: a new approach for seismic interpretation // First Break. 2008. № 4. - P. 105-111.
- Капустин В.В., Кувалдин А.В. Применение комплекса геофизических методов при исследовании фундаментных плит // Технологии сейсморазведки. – 2015. – № 1. – С. 99–105.
- Капустин В.В., Хмельницкий А.Ю., Бакайкин Д.В. О возможности использования неоднородных электромагнитных волн для исследования фундаментных конструкций // Вестник Московского университета, Сер. Геология. – 2011. – № 1. – С. 52–55.
- Денисов Р.Р., Капустин В.В. Обработка георадарных данных в автоматическом режиме // Геофизика. – 2010. – № 4. – С. 76–80.
- 22. Гапонов Д.А., Фоменко Л.Н., Шеремет Р.Д. Применение георадара для контроля качества закрепления грунтов // Инженерный вестник Дона. – 2016. – № 3. URL: http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\_48\_Gaponov.doc..pdf\_ e245227f15.pdf (дата обращения 15.02.2017).
- Старовойтов А.В. Интерпретация георадиолокационных данных. М.: Изд-во МГУ, 2008. 192 с.

Поступила 17.02.2017 г.

# Информация об авторах

**Фоменко Н.Е.**, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геоэкологии и прикладной геохимии Института наук о земле Южного федерального университета.

Гапонов Д.А., кандидат геолого-минералогических наук, инженер-геофизик ОАО «Геострой-Ф».

Капустин В.В., кандидат физико-математических наук, технический директор ООО «НИИ Геотех».

**Попов В.В.**, доктор технических наук, профессор кафедры нефтегазовой техники и технологии Факультета геологии, горного и нефтегазового дела Южно-Российского политехнического университета.

**Фоменко** Л.Н., кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и вычислительной техники Академии строительства и архитектуры Донского государственного технического университета.

UDK 550.837

# OPPORTUNITIES OF GROUND PENETRATING RADAR AT SEARCHING SUPPORTING WALLS AND ENCLOSING CONSTRUCTIONS

# Nikolay E. Fomenko<sup>1</sup>,

fnegeophyskohle@yandex.ru

Dmitriy A. Gaponov<sup>2</sup>, geophysics@land.ru

Vladimir V. Kapustin<sup>3</sup>, 1391854@mail.ru

Viktor V. Popov<sup>4</sup>, viktor\_popov\_34@mail.ru

## Ludmila N. Fomenko<sup>5</sup>,

detush@yandex.ru

- Southern Federal University,
  40, Zorge street, Rostov-on-Don, 344090, Russia.
- <sup>2</sup> Geostroy-F, 54, Dneprogradskaya street, Rostov-on-Don, 344064, Russia.
- <sup>3</sup> NII Geotech Ltd, 5, Second Street of Entuziastov, Moscow, 110024, Russia.
- <sup>4</sup> South Russian Polytechnic University, 132, Prosveshcheniya street, Novocherkassk, 346428, Russia.
- <sup>5</sup> Don State Technical University,
  162, Sotsialisticheskaya street, Rostov-on-Don, 344022, Russia.

**Relevance** of the research is caused by the necessity to solve engineering geological tasks in non-destructive investigation of solidity and technical conditions of supporting walls, erected in potentially landslide dangerous areas, by express geophysical methods. **The aim** of the research is to estimate the informational content of the ground penetrating radar method in engineering and construction area at survey of vertical supporting wall with following processing of field observations by specialized programmes GEORADAR-ECSPERT and ATRAN. The paper highlights the limited mobility of the ultrasound and acoustic methods in which the intimate contact of transmitting and receiving sensors of seismic wave field with vertical surface of the studied object is required when measuring. This does not technically allow recording field signal in motion.

**Methods of the study:** ground penetrating radar survey of supporting wall by radar OKO with 400 MGz antenna unit by means of moving the latter along vertical profiles on specially installed rope skis pressing the unit to the wall with help of the wooden pole at registration and control of radargram in online mode.

**Results.** The paper demonstrates the opportunities of the attributive analysis of the ground penetrating radar survey data for studying the conditions of supporting wall on landslide slope of the right bank of the Don river in Rostov-on-Don with detection and contouring by the Q-favtor attribute values the areas with relatively solid and relatively weak masonry and location of metal dowels (steel pipes) into the front and side walls body. The diagrams were interpreted on the base of the diffracted wave pattern studying method and distinctive «ringing» in the shape of re-reflections from dotted objects. Additionally the authors have analysed the reflected signals energy in the program ATRAN. The contact of the wall with ground was explored. It is evenly dense. For the side wall the lower part is denser than the upper one, and for the front wall the less dense contact into range of 20–25 m from the left edge of the wall is observed.

#### Key words:

Geophysical methods of non-destructive control in construction, radargram, analysis of dynamic characteristics of wave field, supporting wall, potentially landslide object.

## REFERENCES

- GOST 31937-2011. Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya [State Standard 31937-2011. Buildings and constructions. Rules of the inspection and monitoring of the technical condition]. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 86 p.
- GOST R 53778-2010. Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya [State Standard

53778-2010. Buildings and constructions. Rules of the inspection and monitoring of the technical condition]. Moscow, Standartinform Publ., 2010. 90 p.

 Rekomendatsii po provedeniyu georadiolokatsionnykh izmereny dlya resheniya geologicheskikh zadach [Recommendations for conducting ground penetrating radar measurements for resolving geological tasks]. Ramenskoe, Logicheskie sistemy Publ., 2005. 49 p.

- SP 13-102-2003. Pravila obsledovaniya nesushchikh stroitelnykh konstruktsy zdany i sooruzheny [SP 13-102-2003. Rules of inspection of bearing building constructions of buildings and structures]. Moscow, Standartinform Publ., 2004. 43 p.
- Baukov A.Yu. Experience in complex application of geophysical methods of non-destructive control when inspecting underground objects and monuments of culture in Moscow. *Gorny informatsi*onno-analitichesky byulleten, 2005, no. 7, pp. 87–91. In Rus.
- Kirilenko A.M., Znaychenko P.A., Baukov A.Yu. Metody inzhenernoy geofiziki pri reshenii spetsializirovannykh zadach issledovaniya stroitelnykh konstruktsy: problemy i dostizheniya [Methods of engineering geophysics in solving specialized tasks of studies of building structures: problems and achievements]. Available at: http://znayugeo.ru/wp-content/uploads/2016/03/injgeo2006.pdf (accessed 15 February 2017).
- Shilin A.A., Kirilenko A.M., Znaychenko P.A. Obsledovanie podzemnoy chasti zdany, sooruzhennykh s pomoshchyu «steny v grunte» [Survey of underground parts of buildings erected using the «diaphragm wall»]. Stroitelnaya geotekhnologiya: sbornik statey. Otdelny vypusk Gornogo informatsionno-analiticheskogo byulletenya (nauchno-tekhnicheskogo zhurnala). Moscow, Gornaya kniga Publ., 2010. pp. 349–356.
- Kirilenko A., Znaychenko P., Kapustin V. Integrated Solutions in Structural Diagnostics. *Proceedings of the Int. Conf. Structural Faults + Repair 2010*. Edinburgh, UK, 2010. Pp. 12–16.
- Kleveko V.I. Obsluzhivanie i ispytanie zdany i sooruzheny. Obsledovanie stroitelnykh konstruktsy [Maintenance and testing buildings and structures. Examination of building structures]. Perm, Perm National Research Polytechnic University Press, 2014. 164 p.
- Carpinteri A., Xu J., Lacidogna G. Reliable onset time determination and source location of acoustic emissions in concrete structures. *Cement and Concrete Composites*, 2012, vol. 35, pp. 529–537.
- Genove V., Riestra C., Borrachero M.V., Eiras J., Kundu T., Paya J. Multimodal analysis of GRC ageing process using nonlinear impact resonance acoustic spectroscopy. *Composites. P. B: Engineering*, 2015, vol. 21, pp. 105–111.
- 12. Quiviger A., Payan C., Chaix J.F., Garnier V., Salin J. Effect of the presence and size of a real macro-crack on diffuse ultrasound in concrete. *NDT&E International*, 2012, vol. 45, pp. 128–132.
- 13. Dong J., Kim B., Locquet A., McKeon P. Nondestructive evaluation of forced delamination in glass fiberreinforced composites by

terahertz and ultrasonic waves. Composites. P. B: Engineering, 2015, vol. 24, pp. 667–675.

- Yue Li, Chun-e Sui, Qing-jun Ding Study on the Cracking Process of Cement-Based Materials by AC Impedance Method and Ultrasonic Method. *Journal of Nondestructive Evaluation*, 2012, vol. 15, pp. 83–90.
- Bui D., Kodjo S.A., Rivard P., Fournier B. Evaluation of Concrete Distributed Cracks by Ultrasonic Travel Time Shift under an External Mechanical Perturbation: Study of Indirect and Semidirect Transmission Configurations. *Journal of Nondestructive Evaluation*, 2012, vol. 37, pp. 100–107.
- 16. Fursa T.V., Petrov M.V., Korzenok I.N. Influence of cyclic freezethaw on the parameters of the electric response to the pulse mechanical excitation of concrete reinforced by glass fiber reinforced polymer bars. *IOP Conf. Series: Materials Science and En*gineering 110, 2016, 012088.
- Marfurt K.J., Kirlin S.L., Farmer M.S. 3D seismic attributes using a semblance-based coherence algorithm. *Geophysics*, 1998, no. 4, pp. 1150-1165.
- Klein P., Richard L., Yames H. 3D curvature attributes: a new approach for seismic interpretation. *First Break*, 2008, no. 4, pp. 105-111.
- Kapustin V.V., Kuvaldin A.V. Application of complex of geophysical methods in studying foundation slabs. *Tekhnologii seys*morazvedki, 2015, no. 1, pp. 99–105. In Rus.
- Kapustin V.V., Khmelnitsky A.Yu., Bakaykin D.V. On the possibility of using non-uniform electromagnetic waves for studying foundation structures. *Vestnik Moskovskogo universiteta, Ser. Geologiya*, 2011, no. 1, pp. 52–55. In Rus.
- Denisov R.R., Kapustin V.V. Processing georadar data in automatic mode. *Geofizika*, 2010, no. 4, pp. 76-80. In Rus.
- Gaponov D.A., Fomenko L.N., Sheremet R.D. Application of GPR for control of grouting quality. *Inzhenerny vestnik Dona*, 2016, no. 3. In Rus. Available at: khttp://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\_ 48\_Gaponov.doc. pdf\_e245227f15.pdf (accessed 15 February 2017).
- Starovoytov A.V. Interpretatsiya georadiolokatsionnykh dannykh [Interpretation of ground penetrating radar data]. Moscow, MGU Press, 2008. 192 p.

Received: 17 February.

#### Information about the authors

Nikolay E. Fomenko, Dr. Sc., professor, Southern Federal University.

Dmitriy A. Gaponov, Cand. Sc., engineer-geophysicist, Geostroy-F.

Vladimir V. Kapustin, Cand. Sc., technical director, NII Geotech Ltd.

Viktor V. Popov, Dr. Sc., professor, South Russian Polytechnic University.

Lyudmila N. Fomenko, Cand. Sc., associate professor, Don State Technical University.