



ГЕОТЕХНИКА

GEOTECHNICS

Том X, Vol. X

5-6
2018

ГЕОТЕХНИКА

Международный научно-практический журнал

Журнал включен в перечень научных журналов, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ для публикации научных результатов диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Издается с декабря 2009 г.

Выходит 4 раза в год.

ISSN: 2221-5514 (Print), ISSN: 2587-8239 (Online)

В журнале публикуются статьи ведущих специалистов в области механики грунтов, геотехники, проектирования оснований и фундаментов. Основные темы — теоретические и прикладные аспекты механики грунтов, описание механических свойств грунтов, проектирование и устройство оснований и фундаментов, подземных и заглубленных сооружений, методы численного моделирования в строительстве, контроль качества работ и обследование конструкций нулевого цикла, а также многие другие вопросы.

УЧРЕДИТЕЛЬ

ООО «Геомаркетинг», 105187, РФ, Москва, Окружной проезд, д. 18

ИЗДАТЕЛЬСТВО

ООО «Геомаркетинг», 105187, РФ, Москва, Окружной проезд, д. 18

РЕДАКЦИЯ

Торбина Екатерина Андреевна
генеральный директор

Мирный Анатолий Юрьевич
литературный редактор

Дмитриева Людмила Александровна
отдел рекламы

Якимчик Ольга Леонидовна
отдел подписки

АДРЕС РЕДАКЦИИ

ООО «Геомаркетинг»
107076, РФ, Москва, ул. Электrozаводская, д. 60
Тел. +7 495 210-63-90, +7 495 210-63-06
E-mail: info@geomark.ru
http://geomark.ru

ИП Гилманов М.А.
Допечатная подготовка, дизайн и верстка

ТИПОГРАФИЯ

ООО «Медиаколор», 105187, РФ, Москва, ул. Вольная, д. 28

Вознесенский Е.А.

Пороговые деформации в грунтах 6

Васенин В.А.

Исследование компрессионной сжимаемости глинистых отложений для инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга. Часть 1. Статистическая оценка параметров деформируемости при компрессионном сжатии 18

Устинов Д.В.

Влияние выбора модели вмещающего массива на результаты моделирования проходки перегонных тоннелей метрополитена. 34

Галай Б.Ф., Сербин В.В., Галай О.Б.

Опыт уплотнения просадочных грунтов на Северном Кавказе 42

Список геотехнических конференций 51

Ибрагимов Э.В., Кроник Я.А.

Оптимизация устройства оснований и фундаментов в криолитозоне (на примере вертикального стального резервуара РВС-20000 м³) 52

Капустин В.В., Чуркин А.А., Лозовский И.Н., Кувалдин А.В.

Возможности сейсмоакустических и ультразвуковых методов при контроле качества свайных фундаментов. 62

Чуркин А.А., Лозовский И.Н., Фролов В.Е., Бровиков Ю.Н.

Комплексное исследование качества буронабивных свай на опытной площадке с использованием методов неразрушающего контроля 72

Сенин Л.Н., Сенина Т.Е., Воскресенский М.Н., Парыгин Г.И.

Сейсмодинамический мониторинг инженерных сооружений с использованием аппаратно-программного комплекса «Регистр» (на примере здания станции технических газов Первоуральского новотрубного завода) 86



ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР**Вознесенский Евгений Арнольдович**

Доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, член Международной ассоциации по инженерной геологии и охране окружающей среды (МАИГ), член-корреспондент РАЕН (Москва, Россия)

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА**Богданов Михаил Игоревич**

Кандидат геолого-минералогических наук, генеральный директор ООО «ИГИИС», президент Координационного совета Ассоциации «Инженерные изыскания в строительстве», член Международной ассоциации по инженерной геологии и охране окружающей среды (МАИГ), действительный член Института минералов, материалов и горного дела (IOM³, Великобритания), член Международной организации по стандартизации (ИСО) (Москва, Россия)

Шашкин Алексей Георгиевич

Доктор геолого-минералогических наук, генеральный директор института «Геореконструкция», доцент кафедры оснований и фундаментов факультета промышленного и гражданского строительства Петербургского государственного университета путей и сообщения Императора Александра Первого, член Международного общества по механике грунтов и геотехническому строительству (ISSMGE) (Санкт-Петербург, Россия)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**Болдырев Геннадий Григорьевич**

Доктор технических наук, директор по научной работе и инновациям ООО «НПП “Геотек”», профессор кафедры «Геотехника и дорожное строительство» Пензенского государственного университета архитектуры и строительства, член Международного общества по механике грунтов и геотехническому строительству (ISSMGE) (Пенза, Россия)

Кубецкий Валерий Леонидович

Доктор технических наук, руководитель центра мониторинга строительства зданий и сооружений, оснований и фундаментов ГУП «НИИМосстрой», профессор кафедры зданий и сооружений на транспорте Российского Университета Транспорта (МИИТ), член Международного общества по механике грунтов и геотехническому строительству (ISSMGE) (Москва, Россия)

Тер-Мартirosян Армен Завенович

Доктор технических наук, профессор кафедры механики грунтов и геотехники НИУ МГСУ, руководитель НОЦ «Геотехника», член Международного общества по механике грунтов и геотехническому строительству (ISSMGE) (Москва, Россия)

Тер-Мартirosян Завен Григорьевич

Доктор технических наук, профессор кафедры механики грунтов и геотехники НИУ МГСУ, член Международного общества по механике грунтов и геотехническому строительству (ISSMGE), член президиума Российского общества по механике грунтов, геотехнике и фундаментостроению (РОМГГиФ), почетный академик Российской академии архитектуры и строительных наук (Москва, Россия)

Улицкий Владимир Михайлович

Доктор технических наук, заведующий кафедрой оснований и фундаментов факультета промышленного и гражданского строительства ПГУПС, член Международного общества по механике грунтов и геотехническому строительству (ISSMGE), председатель Санкт-Петербургского отделения Российского общества по механике грунтов, геотехнике и фундаментостроению (РОМГГиФ) (Санкт-Петербург, Россия)

Барвахов Валерий Александрович

Кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник экспертно-аналитического отдела НИИОСП им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ “Строительство”», член Международного общества по механике грунтов и геотехническому строительству (ISSMGE) (Москва, Россия)

Капустин Владимир Викторович

Кандидат физико-математических наук, технический директор ООО «НИИ Геотех» (Москва, Россия)

Мирный Анатолий Юрьевич

Кандидат технических наук, индивидуальный предприниматель, старший научный сотрудник геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, член Международного общества по механике грунтов и геотехническому строительству (ISSMGE) (Москва, Россия)

Труфанов Александр Николаевич

Кандидат технических наук, заведующий лабораторией методов исследования грунтов НИИОСП им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ “Строительство”», член Международного общества по механике грунтов и геотехническому строительству (ISSMGE) (Москва, Россия)

Свидетельство о регистрации средства массовой информации:
ПИ № ФС77-48919 от 12 марта 2012 г.

Подписка может быть оформлена в редакции,
через Агенство «Роспечать», ГК «Урал-Пресс»,
ООО «Информнаука» (подписной индекс 22780)

Электронная версия: <http://geomark.ru/journals/geotechnics/>

https://elibrary.ru/title_about.asp?id=32840

Подписано в печать 24.12.2018.

Формат издания 50x70/8. Бумага глянцевая. Печать офсетная.
Тираж 1000 экз.

В статьях представлена точка зрения авторов,
которая может не совпадать с мнением редакции журнала.

За содержание рекламных материалов редакция
ответственности не несет.

© ООО «Геомаркетинг», 2018

GEOTECHNICS

International scientific and practical journal

The journal is included in the list of scientific journals recommended by the Higher Attestation Commission of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation for the publication of scientific results of dissertations for the academic degrees of a doctor and candidate of sciences.

Published since December 2009.

Issued 4 times a year.

ISSN: 2221-5514 (Print), ISSN: 2587-8239 (Online)

The journal publishes articles by leading experts in the field of soil mechanics, geotechnics, foundation engineering. The main topics are theoretical and applied aspects of soil mechanics, description of soil mechanical properties, design and construction of foundations, underground and buried structures, methods of numerical modeling in construction, quality control and inspection of zero-cycle structures, as well as many other issues.

FOUNDER

“Geomarketing” LLC, 105187, Russian Federation, Moscow, Okruzhnoy Proezd, 18

PUBLISHER

“Geomarketing” LLC, 105187, Russian Federation, Moscow, Okruzhnoy Proezd, 18

JOURNAL EDITORING

Ekaterina A. Torbina
general director

Anatoly Yu. Mirnyy
literary editor

Lyudmila A. Dmitrieva
advertising department

Olga L. Yakimchik
subscription department

CONTACTS

“Geomarketing” LLC
107076, Russian Federation, Moscow,
Electrozavodskaya St., 60
Tel. +7 495 210-63-90, +7 495 210-63-06
E-mail: info@geomark.ru
<http://geomark.ru>

Individual entrepreneur Gilmanov M.A.
prepress, design and layout

PRINTING HOUSE

“Mediacolor” LLC, 105187, Russian Federation,
Moscow, Volnaya St., 28

Voznesensky E.A.
Threshold strains in soils 6

Vasenin V.A.
Evaluation of clay deposits compression properties for geological conditions of Saint-Petersburg. Part 1. Statistical estimation of compression parameters. 18

Ustinov D.V.
Impact of the enclosing massif model selection over the results of subway tunnels excavation modelling 34

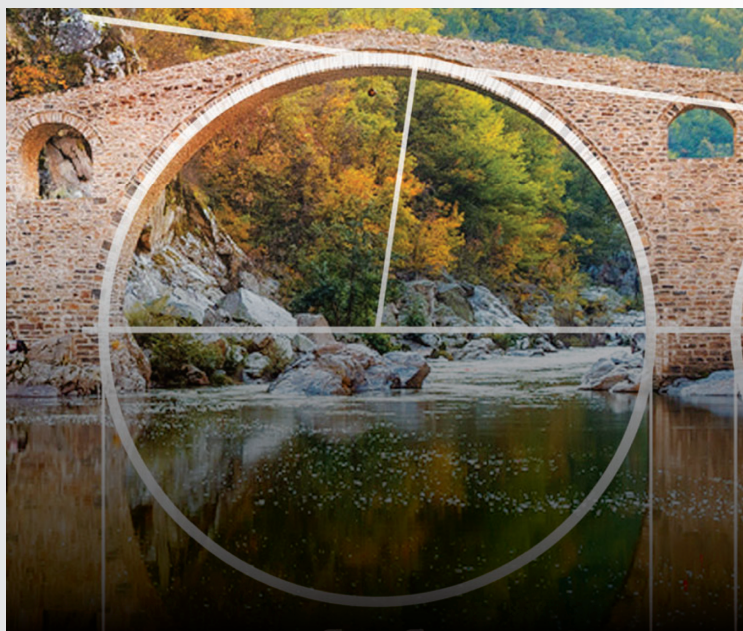
Galay B.F., Serbin V.V., Galay O.B.
Collapsing soil compaction experience in North Caucasus 42
List of geotechnical conferences 51

Ibragimov E.V., Kronik Ya.A.
Optimization arrangement of bases and foundations in permafrost (by example of a vertical steel tank VST-20000 m³) 52

Kapustin V.V., Churkin A.A., Lozovsky I.N., Kuvaldin A.V.
Capabilities of seismoacoustic and ultrasonic methods for quality control of pile foundations. 62

Churkin A.A., Lozovsky I.N., Frolov V.E., Brovikov Yu.N.
Complex study of bored piles quality on experimental site by nondestructive integrity testing methods 72

Senin L.N., Senina T.E., Voskresenskiy M.N., Parigin G.I.
Engineering constructions seismodynamic monitoring with hardware-software complex "Register" (on the example of Pervouralsky novotrubniy factory technical gas station) 86



EDITOR IN CHIEF**Eugene A. Voznesensky**

DSc (Doctor of Science in Geology and Mineralogy), professor of the Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, corresponding member of the Russian Academy of Natural Sciences (Moscow, Russia)

DEPUTY EDITORS IN CHIEF**Mikhail I. Bogdanov**

PhD (Candidate of Science in Geology and Mineralogy), director of "IGIIS" LLC, President of the Coordination Council of the Association "Engineering Surveys in Construction", member of the International Association for Engineering Geology and the Environment (IAEG), full member of the Institute of Materials, Minerals and Mining (IOM³, UK), member of the International Organization for Standardization (ISO) (Moscow, Russia)

Alexey G. Shashkin

DSc (Doctor of Science in Geology and Mineralogy), general director of "PI Georekonstrukciya" LLC, associate professor of the Department of Bases and Foundations, Faculty of Civil Engineering, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, member of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE) (Saint-Petersburg, Russia)

EDITORIAL BOARD**Gennadii G. Boldyrev**

DSc (Doctor of Science in Technics), director for research and innovation of the "NPP "Geotek" LLC, professor of the Department of Geotechnics and Road Construction of the Penza State University of Architecture and Construction, member of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE) (Penza, Russia)

Valeriy L. Kubetskii

DSc (Doctor of Science in Technics), Head of Buildings and Constructions Monitoring Center at GUP "NIIMosstroy", professor of the Department of Transport Buildings and Constructions of Russian Transport University (MIIT), member of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE) (Moscow, Russia)

Armen Z. Ter-Martirosyan

DSc (Doctor of Science in Technics), professor of the Department of Soil Mechanics and Geotechnics of Moscow State (National Research) University of Civil Engineering, head of Scientific Educational Center "Geotechnics", member of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE) (Moscow, Russia)

Zaven G. Ter-Martirosyan

DSc (Doctor of Science in Technics), professor of the Department of Soil Mechanics and Geotechnics of Moscow State (National Research) University of Civil Engineering, member of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE), bureau member of the Russian Society for Soil Mechanics, Geotechnics and Foundation Engineering (RSSMGFE), honorary member of the Russian Academy of Architecture and Construction (Moscow, Russia)

Vladimir M. Ulitsky

DSc (Doctor of Science in Technics), head of the Department of Bases and Foundations, Faculty of Civil Engineering, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, member of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE), head of Saint-Petersburg branch of the Russian Society for Soil Mechanics, Geotechnics and Foundation Engineering (RSSMGFE) (Saint-Petersburg, Russia)

Valery A. Barvashov

PhD (Candidate of Science in Technics), leading research scientist of the Expertise and Analytics Department of the Gersevanov Research Institute of Bases and Underground Structures (NIIOSP), «SIC "Construction"» JSC, member of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE) (Moscow, Russia)

Vladimir V. Kapustin

PhD (Candidate of Science in Physics and Mathematics), technical director of "NII Geotekh" LLC (Moscow, Russia)

Anatoly Yu. Mirnyy

PhD (Candidate of Science in Technics), individual entrepreneur, senior research scientist, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, member of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE) (Moscow, Russia)

Alexander N. Trufanov

PhD (Candidate of Science in Technics), Head of Soil Research Methods Laboratory of the Gersevanov Research Institute of Bases and Underground Structures (NIIOSP), «SIC "Construction"» JSC, member of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE) (Moscow, Russia)

Certificate of registration of mass media: PI № ФС77-48919 12.0312.

Subscription can be issued in the editorial board, through "Rospechat" agency, GK "Ural-Press", "Informnauka" LLC (subscription index 22780)

Electronic version: <http://geomark.ru/journals/geotechnics/>

https://elibrary.ru/title_about.asp?id=32840

Signed in print 24.12.2018.

Edition format 50x70/8. Glossy paper. Offset printing.

Edition 1 000 psc.

The article presents the authors' point of view, which may not coincide with the opinion of the editorial board.

The editorial board is not responsible for the content of advertising materials.

© "Geomarketing" LLC, 2018

ВОЗМОЖНОСТИ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ И УЛЬТРАЗВУКОВЫХ МЕТОДОВ ПРИ КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ

УДК 624.154.1

КАПУСТИН В.В.*

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
г. Москва, Россия, 1391854@mail.ru
Адрес: Ленинские горы, д. 1, г. Москва, 119991, Россия

ЧУРКИН А.А.

ООО «ЭГЕОС», г. Москва, Россия, piles@aigeos.ru
Адрес: ул. Миклухо-Маклая, вл. 8, стр. 3, г. Москва, 117198, Россия

ЛОЗОВСКИЙ И.Н.

ООО «ЭГЕОС», г. Москва, Россия; Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта
РАН, г. Москва, Россия, piles@aigeos.ru
Адреса: ул. Миклухо-Маклая, вл. 8, стр. 3, г. Москва, 117198, Россия;
ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1, г. Москва, 123242, Россия

КУВАЛДИН А.В.

ООО «ГЕОТЕХ», г. Москва, Россия, kuvaldin_a@mail.ru
Адрес: 2-ая ул. Энтузиастов, д. 5, стр. 39, г. Москва, 111024, Россия

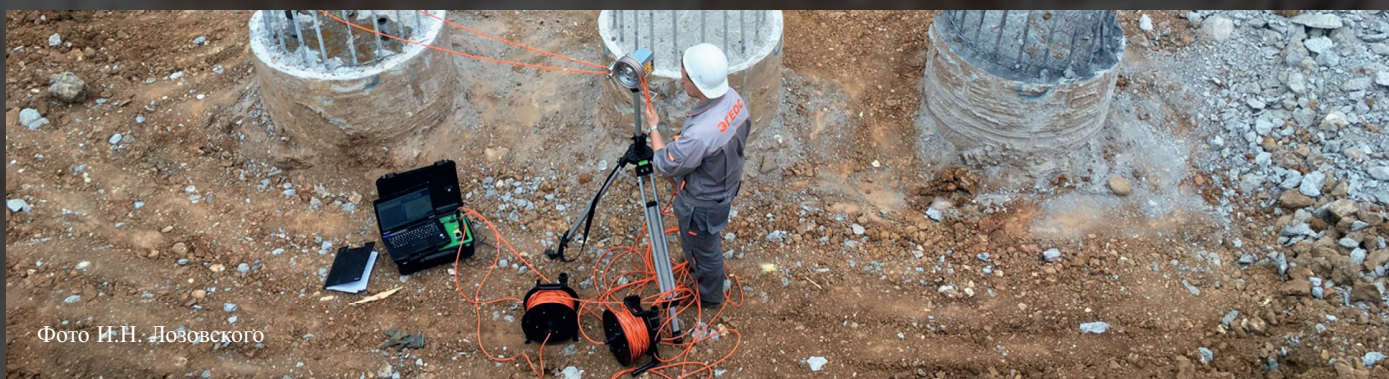


Фото И.Н. Лозовского

АННОТАЦИЯ

Нарушение технологии изготовления железобетонных свайных фундаментов может приводить к образованию дефектов, снижающих несущую способность и долговечность конструкций. Надзор за соблюдением требований нормативных технических документов и технических регламентов в процессе изготовления свай не является полной гарантией их качества, что обуславливает необходимость применения прямых и косвенных методов контроля. Прямые методы контроля часто не позволяют получить исчерпывающие сведения о качестве конструкций и требуют значительных финансовых затрат. Для косвенного контроля качества свайных фундаментов широко применяют неразрушающие геофизические методы, основанные на изучении распространения направленных упругих волн в теле конструкций. Представлена методика поверхностного сейсмоакустического, межскважинного и односкважинного ультразвукового, параллельного сейсмического метода, межскважинной сейсмической томографии. Изложены возможности и ограничения сейсмоакустических и ультразвуковых методов контроля сплошности бетона и определения длины свайных фундаментов. Приведены примеры использования данных методов при исследовании железобетонных конструкций различного типа — буронабивных и буроинъекционных свай, «стены в грунте» из бурокасательных свай и погруженной в грунтоцементный массив сваи. Особое внимание уделено применению параллельного сейсмического метода с целью определения глубины заложения свайных фундаментов и использованию метода в комплексе с межскважинной сейсмической томографией с целью определения контуров грунтоцементного массива. Обосновывается необходимость использования скважинных и поверхностных методов для получения достоверной информации о качестве изготовления конструкции в зависимости от поставленной задачи. Указывается на необходимость внесения рекомендаций по применению инструментальных методов в нормативную техническую документацию с учетом возможностей, ограничений и области применения каждого метода.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Испытания свай; неразрушающий контроль; контроль сплошности свай; сейсмоакустический метод; межскважинный ультразвуковой каротаж; межскважинная сейсмическая томография; односкважинный ультразвуковой каротаж; параллельный сейсмический метод

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Капустин В.В., Чуркин А.А., Лозовский И.Н., Кувалдин А.В., 2018. Возможности сейсмоакустических и ультразвуковых методов при контроле качества свайных фундаментов. Геотехника, Том X, № 5–6, с. 62–71.

CAPABILITIES OF SEISMOACOUSTIC AND ULTRASONIC METHODS FOR QUALITY CONTROL OF PILE FOUNDATIONS

VLADIMIR V. KAPUSTIN*

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, 1391854@mail.ru
Address: Bld. 1, Leninskie Gory, 119991, Moscow, Russia

ALEKSEI A. CHURKIN

“AIGEOS” LLC, Moscow, Russia, piles@aigeos.ru
Address: Bld. 8, Pde 3, Mikluho-Maklaya St., 117198, Moscow, Russia

ILYA N. LOZOVSKY

“AIGEOS” LLC, Moscow, Russia; Schmidt Institute of Physics of the Earth of RAS, Moscow, Russia, piles@aigeos.ru
Addresses: Bld. 8, Pde 3, Mikluho-Maklaya St., 117198, Moscow, Russia; Bld. 10, Pde 1, Bolshaya Gruzinskaya St., 123242, Moscow, Russia

ALEKSEI V. KUVALDIN

“GEOTECH” LLC, 111024, Moscow, Russia, kuvaldin_a@mail.ru
Address: Bld. 5, Pde 39, 2nd Enthusiasts St., 111024, Moscow, Russia

ABSTRACT

Violation of the reinforced concrete pile manufacturing technology can lead to the defects that reduce the bearing capacity and durability of structures. Supervision of compliance with the requirements of regulatory documents and technical manuals in the process of pile construction is not a complete guarantee of pile quality. That is the reason for using direct and indirect control methods. Direct methods often do not allow obtaining comprehensive information about the quality of structures and require significant financial costs. For indirect quality control geophysical methods, based on propagation of directional elastic waves in the body of structures are most often used. The article describes the methodology of low strain impact, crosshole and single-hole ultrasonic, parallel seismic and crosshole seismic tomography methods. The possibilities and limitations of seismic and ultrasonic methods are outlined. Examples shows integrity testing of reinforced concrete structures of various types – bored and injection piles, secant pile walls and a reinforced concrete pile immersed in a jet-grouted massive.

Particular attention is paid to the use of a parallel seismic method in order to determine the depth of the pile foundations and to use the method in combination with the crosshole seismic tomography. The necessity of using different methods to obtain reliable information about the state of the structure is substantiated. The importance to include instructions on the use of instrumental methods in the regulatory documentation, considering the possibilities and limitations of each method is pointed out.

KEY WORDS

Pile testing; nondestructive testing; pile integrity testing; low strain impact method; crosshole ultrasonic logging; crosshole seismic tomography; single-hole ultrasonic logging; parallel seismic method

FOR CITATION:

Kapustin V.V., Churkin A.A., Lozovsky I.N., Kuvaldin A.V., 2018. Capabilities of seismoacoustic and ultrasonic methods for quality control of pile foundations, *Geotechnics*, Vol. X, No. 5-6, pp. 62-71.

В качестве оснований зданий и сооружений широко применяются железобетонные свайные фундаменты, изготавливаемые непосредственно в грунтовом массиве. Нарушение технологии устройства фундаментов может приводить к образованию дефектов, снижающих несущую способность и долговечность строительных конструкций.

Как показывает практика, контроль соблюдения требований нормативных технических документов (НТД) и технических регламентов в процессе производства работ не является полной гарантией качества изготавливаемых фундаментов. В связи с отсутствием возможности визуального контроля качества готовых конструкций строительные правила СП 45.13330.2017 «Земляные сооружения, основания и фундаменты» и СП 46.13330.2012 «Мосты и трубы» требуют проведение контроля прямыми и косвенными методами.

Прямые методы контроля качества, такие как выбуривание образцов керна или экскавация сооружений, не позволяют получить исчерпывающие сведения о качестве конструкций и часто экономически не рентабельны. Косвенные геофизические методы контроля представлены в строительных правилах (СП) сейсмоакустическим, ультразвуковым и радиоизотопными методами. Однако нормативные технические документы, указывая на необходимость проведения исследований данными методами, не устанавливают требования к оборудованию, методике, обработке и интерпретации данных. Отсутствие необходимой нормативной базы и техническая сложность исследований часто приводят к предоставлению заказчику ложных выводов о качестве конструкций. Это обуславливает невысокую востребованность и недоверие к результатам испытаний. Отсутствие в НТД указаний на ограничения

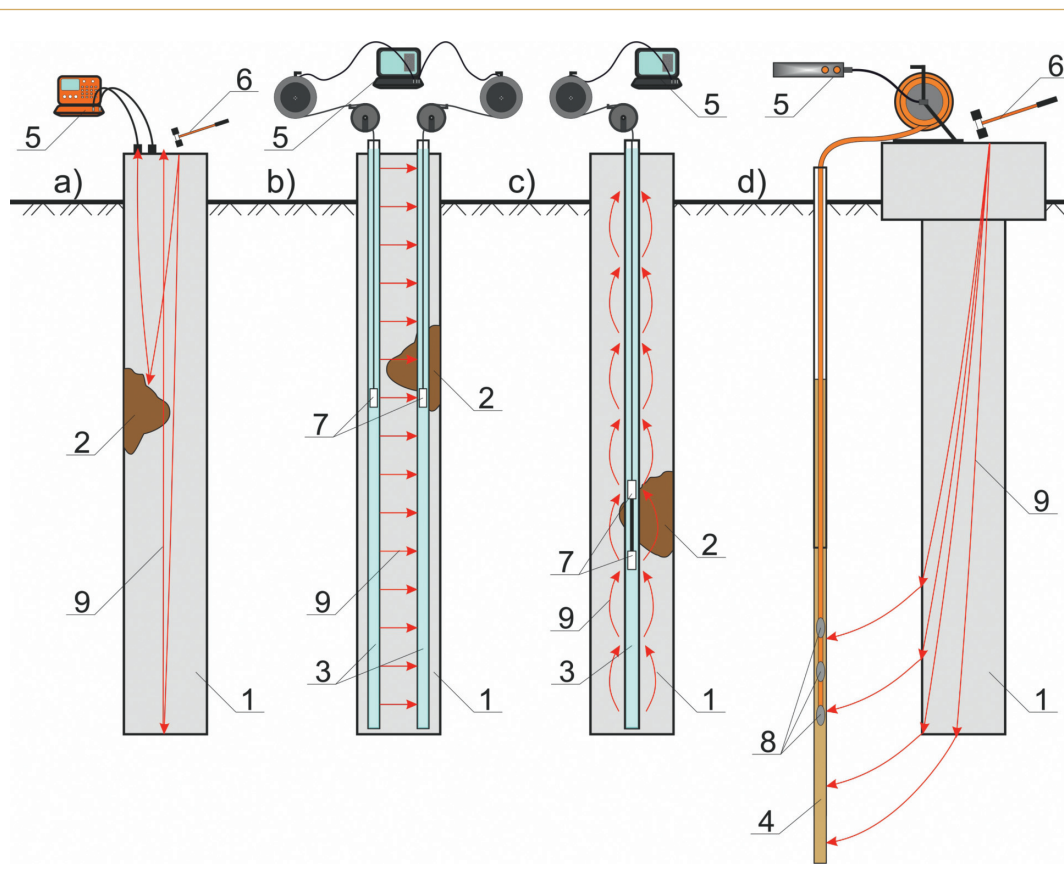


Рис. 1. Сейсмоакустические методы контроля сплошности и длины свай: а — сейсмоакустический, б — межскважинный ультразвуковой, с — односкважинный ультразвуковой, д — параллельный сейсмический. Обозначения: 1 — железобетонная свая, 2 — нарушение сплошности бетона свай, 3 — труба доступа, 4 — скважина, 5 — измерительное оборудование, 6 — ударный источник, 7 — ультразвуковые преобразователи, 8 — сейсмоприемник, 9 — траектории распространения упругих волн

Fig. 1. Seismoacoustic methods of pile integrity testing: a — low strain impact, b — crosshole ultrasonic, c — single-hole ultrasonic, d — parallel seismic. Designations: 1 — reinforced concrete pile, 2 — defect, 3 — access tube, 4 — well, 5 — apparatus, 6 — impact source, 7 — ultrasonic sensors, 8 — seismic receiver, 9 — propagation of elastic waves.

в области применения методов часто приводит к подмене технически сложных и требующих материальных затрат методов испытаний малозатратными, но непригодными для решения поставленных задач.

В качестве косвенных методов контроля качества свайных фундаментов наиболее широко применяют методы неразрушающего контроля, основанные на изучении распространения упругих волн в теле конструкции [1, 2, 3]. Железобетонное сооружение является акустическим волноводом по отношению к вмещающим грунтам, что позволяет планировать системы возбуждения и приема упругих волн, исходя из данной модели [6, 7]. Контролируемыми показателями являются изменения геометрических характеристик фундамента (глубина заложения и изменения поперечного сечения) и прочностных свойств материала (бетона) конструкции.

Сейсмоакустические методы отличаются по способу возбуждения и приема упругих волн: на поверхности свай, через

устанавливаемые в составе арматурного каркаса конструкции трубы доступа, в скважине, пробуренной в грунте параллельно оси конструкции (рис. 1).

Метод, основанный на возбуждении и приеме акустических волн на поверхности свай (рис. 1, а), известный как сейсмоакустический метод (low strain impact method, sonic или pulse echo method), предназначен для контроля качества отдельно стоящих свай (рис. 2). Метод позволяет определять длину изучаемой конструкции (с точностью около 10%) и наличие в ее теле крупных нарушений сплошности ($\pm 25\%$ от площади сечения). Полевые работы данным методом проводятся оперативно и отличаются небольшим объемом работ по подготовке свай к испытаниям [6].

Область применения метода имеет ряд ограничений [5, 6]:

1. В случае изготовления свай в грунтах с высокой акустической жесткостью (скальные грунты, плотные глины и др.) и/или высоких значений соотношения длина/диа-

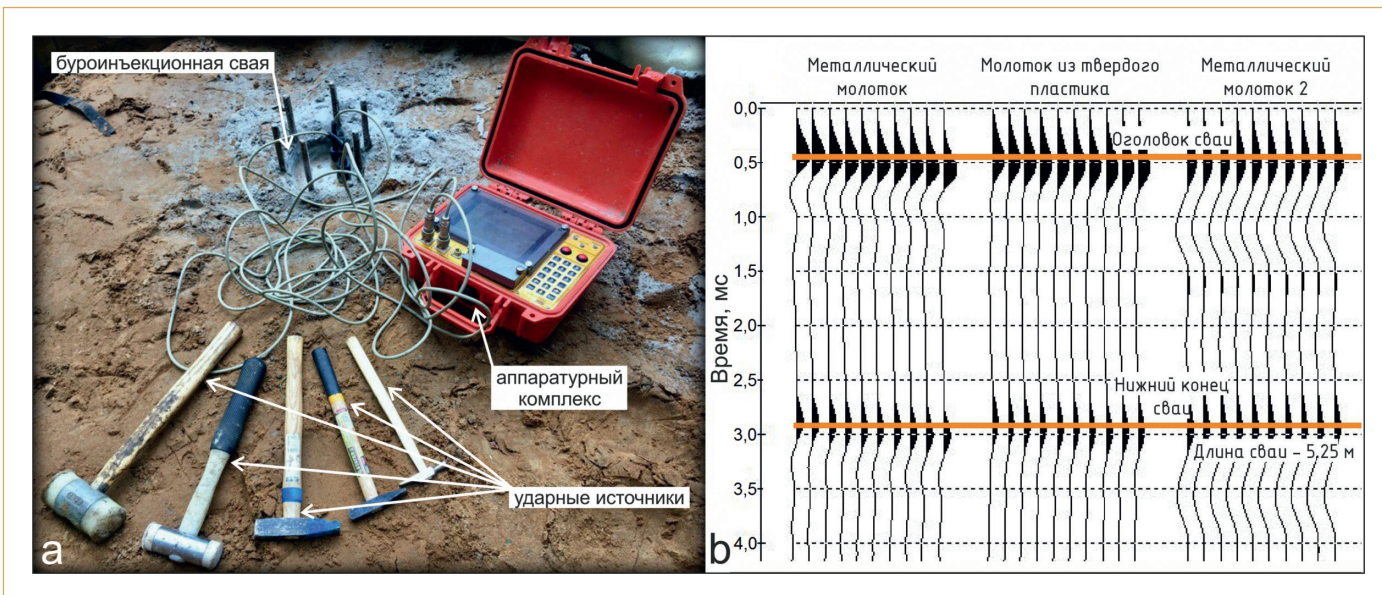


Рис. 2. Сейсмоакустический метод: а — проведение полевых работ, б — пример результатов интерпретации данных метода
 Fig. 2. Low strain impact method: a — field work, b — data interpretation example

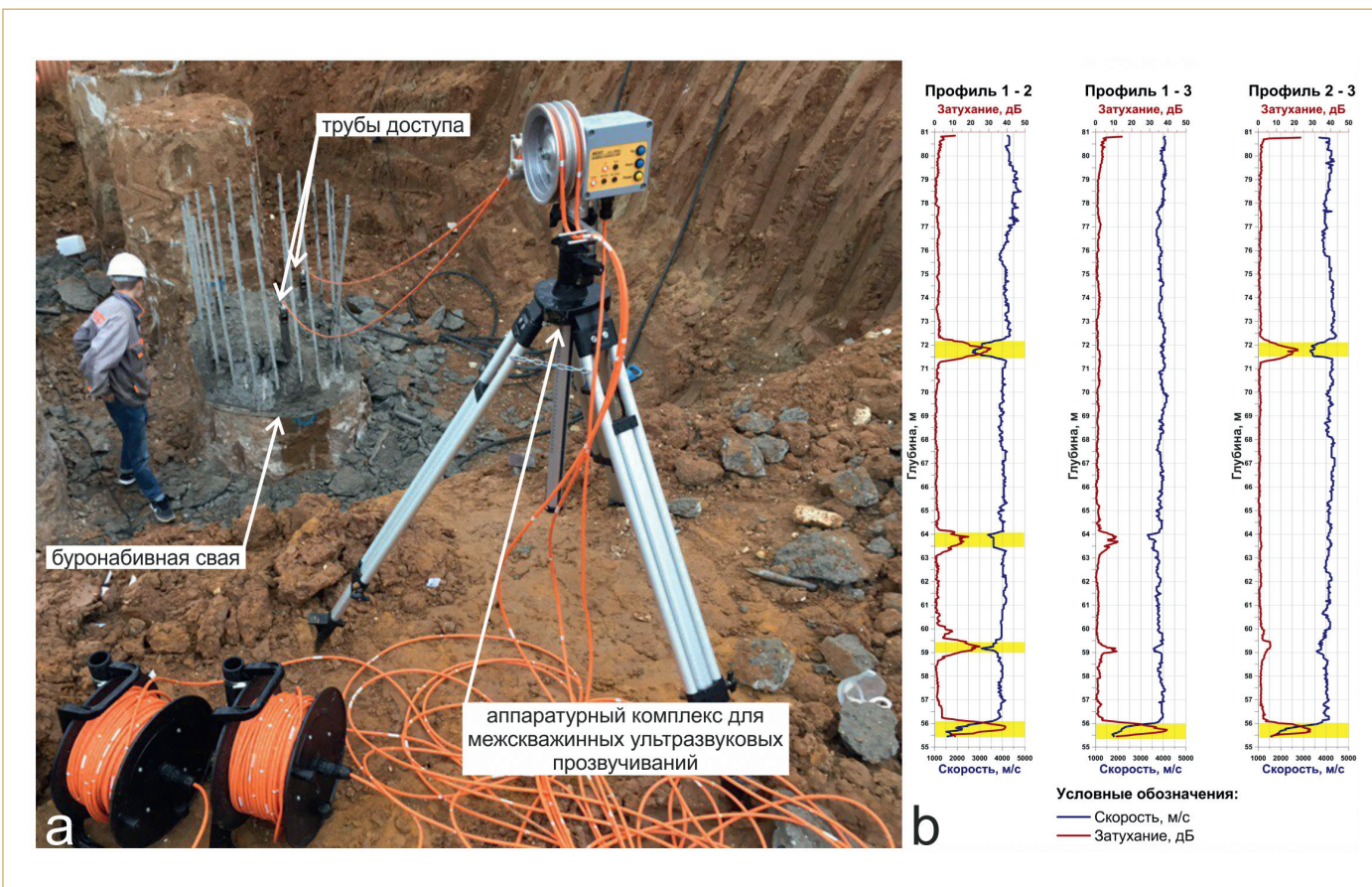


Рис. 3. Межскважинный ультразвуковой метод: а — проведение полевых работ, б — пример результатов с выделенными ультразвуковыми аномалиями
 Fig. 3. Crosshole ultrasonic method: a — field work, b — example of results with anomalies outlined



Рис. 4. Определение глубины заложения «стены в грунте» из буронабивных свай параллельным сейсмическим методом
Fig. 4. Determination of secant pile wall length by parallel seismic method

метр сваи не всегда возможно выделение отражения от нижнего конца сваи;

2. Метод не позволяет контролировать длину и сплошность свай с переменным сечением (свай-РИТ, буроинъекционные сваи в неоднородных грунтах, грунтоцементные сваи и др.) и составных забивных свай ниже первого стыка между секциями;
3. В большинстве случаев невозможно определить сплошность сваи ниже первой значительной акустической аномалии, обнаружить нарушения сплошности на участках у нижнего и верхнего концов конструкции, локализовать дефект в пределах поперечного сечения сваи.

Точность определения длины и расстояния до нарушений сплошности бетона свай сейсмоакустическим методом зависит от выбора значения стержневой скорости продольных волн [9]. Как правило, для расчетов используется значение скорости, принятое по данным справочных источников (3600–4000 м/с). Скорость волн зависит от класса, возраста, однородности бетона сваи, наличия армирования и других факторов, учет которых не представляется возможным. По эмпирическим данным ошибка, связанная с погрешностью определения скорости, может составлять до 10% от длины сваи [5, 6].

В случае, если проектом свайного фундамента была предусмотрена установка труб доступа в арматурный каркас кон-

струкции, возможно проведение измерений по методике межскважинного просвечивания. Возбуждение и прием упругих волн по данной методике чаще всего проводится в ультразвуковом диапазоне частот. В качестве труб доступа используют стальные или полимерные трубы внутренним диаметром 40–55 мм. Для проведения измерений межскважинным ультразвуковым методом (crosshole ultrasonic logging) в одну трубу доступа до нижней отметки погружают источник, а в другую приемник ультразвуковых волн (рис. 1, б). Источник и приемник синхронно поднимают и с заданным шагом производят возбуждение и регистрацию ультразвуковых сигналов. Для определения сплошности бетона производится анализ параметров ультразвуковых волн, таких как скорость их распространения и затухание [6] (рис. 3). Скорость распространения ультразвуковых волн в бетоне требуемого качества обычно составляет 3500–4500 м/с. Контролируемая область ограничена плоскостью, проходящей через трубы доступа, а разрешающая способность метода определяется центральной частотой возбуждаемых импульсов (30–80 кГц). Метод позволяет локализовать нарушения сплошности бетона по глубине и производить оценку их местоположения в пределах сечения сваи при наличии трех и более труб доступа.

Аномалии параметров ультразвуковых волн могут быть вызваны не только нарушением сплошности бетона конструкции, но и нарушением контакта (пустотами) между трубами

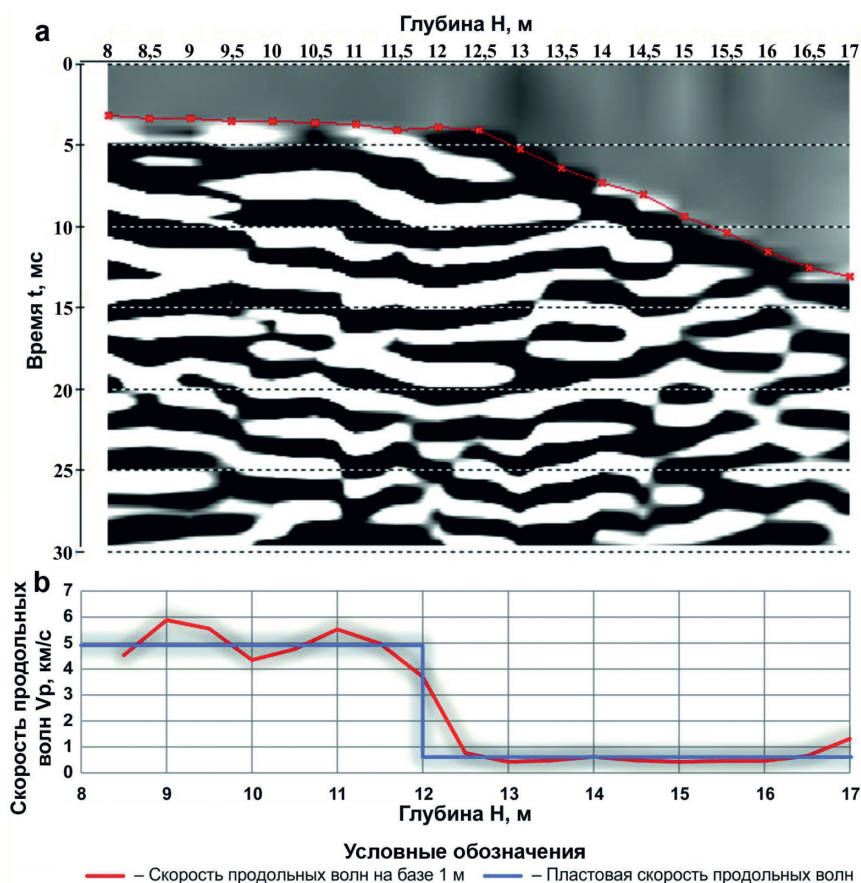


Рис. 5. Результаты работ параллельным сейсмическим методом для определения глубины заложения «стены в грунте» из буронасосных свай: а — сейсмограмма с выделенным годографом первых вступлений, б — график изменения скоростей продольных волн вдоль скважины

Fig. 5. The results of the parallel seismic method to determine the depth of the secant pile wall: a — seismogram with a selected hodograph of the first arrivals, b — change in the velocity of longitudinal waves along the well

доступа и бетоном в верхней части конструкции, наклоном труб доступа относительно оси арматурного каркаса сваи, отсутствием воды в трубах доступа, неравномерным набором прочности бетонной смеси и другими причинами [4].

Дополнительные исследования по методике межскважинной томографии позволяют производить оценку геометрических размеров, физических свойств и местоположения дефектов в теле конструкции.

Отдельно следует рассмотреть методику односкважинного ультразвукового метода (single-hole ultrasonic logging), основанного на измерении параметров головных P- и S-волн в полимерной трубе доступа по методике каротажа — источник и приемник с постоянным разнесом перемещаются по скважине (рис. 1, с). Небольшая контролируемая область (цилиндр радиусом около 10 см от центра трубы доступа¹), делает целесообразным применение метода только для свай небольшого диаметра.

В случае, когда в исследуемую конструкцию не установлены трубы доступа, а использование поверхностного сейсмоакустического метода не дает однозначных выводов, используют методики, требующие бурения разведочных скважин поблизости от конструкции.

Параллельный сейсмический метод (parallel seismic method) представляет собой адаптацию методики вертикального сейсмического профилирования (ВСП) для определения глубины заложения фундамента (рис. 1, d). Для проведения испытаний вблизи обследуемой конструкции пробуривается скважина, впоследствии заполняемая водой или бентонитовым раствором, глубина которой превышает предполагаемую отметку нижнего конца конструкции [8].

Возбуждение сигнала производится с поверхности исследуемой конструкции с помощью ударного источника (рис. 4). Сигналы, поступающие на перемещающийся по скважине при-

¹ Palm M., 2012. Single-hole sonic logging. A study of possibilities and limitations of detecting flaw in piles, M.Sc. Thes. Kungliga Tekniska högskolan, Stockholm.

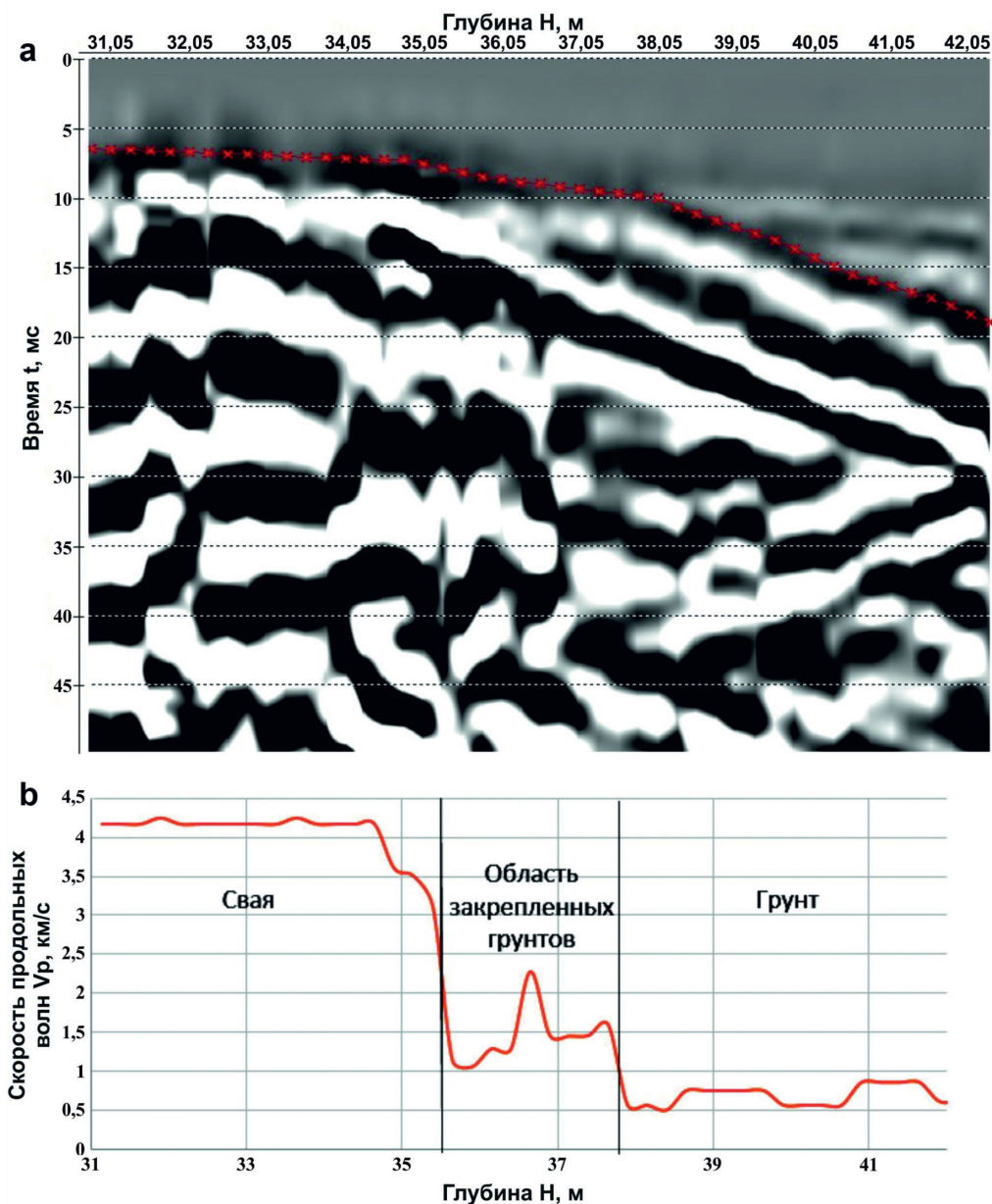


Рис. 6. Результат работ параллельным сейсмическим методом при исследовании погруженной в грунтоцементный массив железобетонной сваи: а — сейсмограмма с пропикированным годографом первых вступлений, б — график изменения скоростей продольных волн вдоль скважины

Fig. 6. The result of the parallel seismic method in the study of a pile immersed in jet-grouted soils: a — seismogram with a selected hodograph of the first arrivals, b — change in the velocity of longitudinal waves along the well

емник, составляют сейсмограммы, на которых выделяется годограф первых вступлений (рис. 5, а). Положение точек на годографе первых вступлений может быть определено из выражения:

$$t_a = \frac{S_1}{V_1} + \frac{S_2}{V_2},$$

где S_1 — путь пройденный волной в свае, S_2 — путь пройденный волной в грунте, V_1 — скорость волны в свае, V_2 — ско-

рость волны в грунте. Кажущиеся скорости распространения акустической волны в свае и в грунте могут быть найдены по наклонам годографа первых вступлений (рис. 5, б), а глубина — по координате точки излома годографов.

Точность определения длины сваи параллельным методом зависит от шага по глубине между точками приема сигнала и, как правило, составляет не более 0,5 м. Закономерность изменения скорости волн в свае может быть получена, если из-

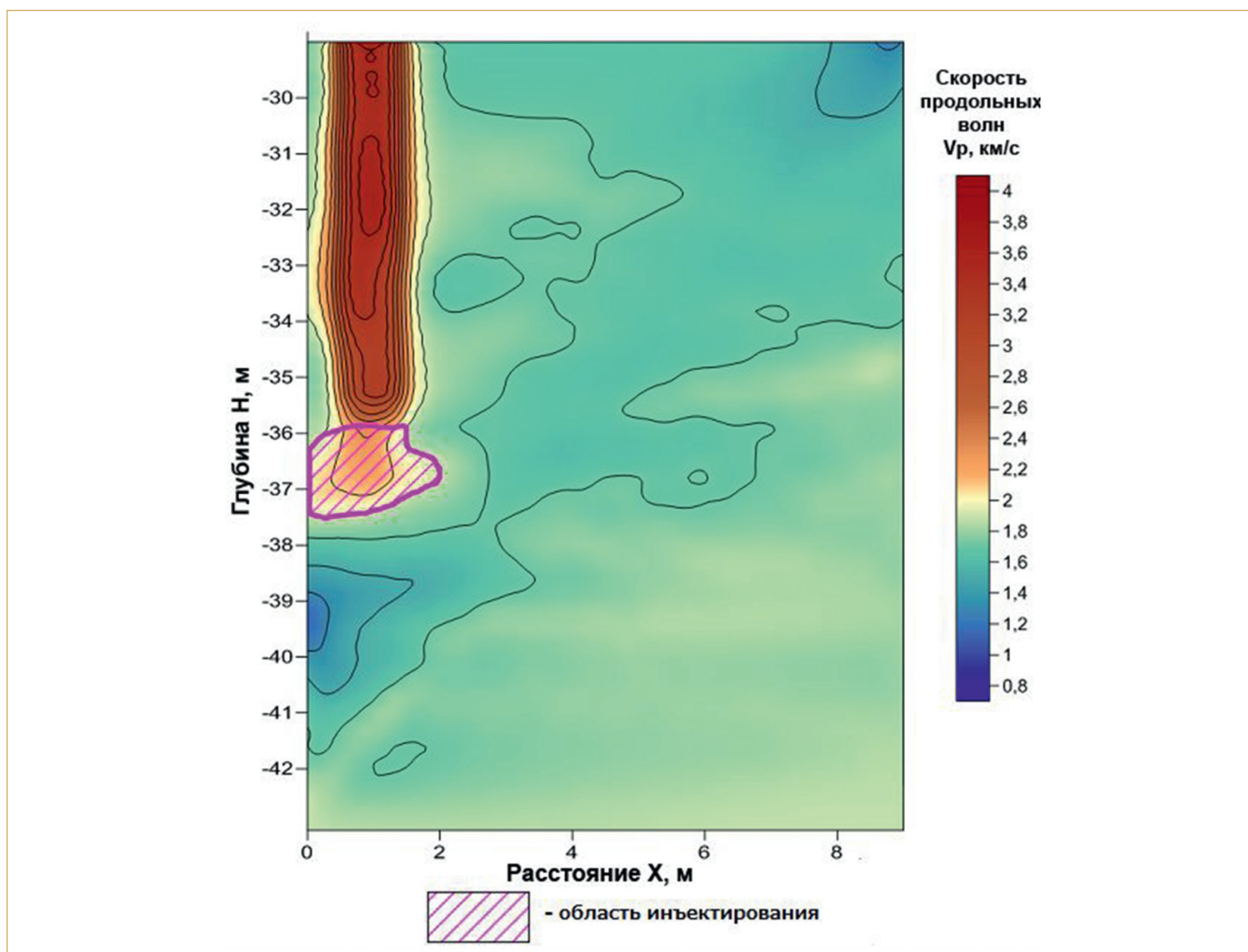


Рис. 7. Томографический скоростной разрез, полученный по результатам исследования погруженной в грунтоцементный массив железобетонной сваи, с выделенным контуром области инъецирования

Fig. 7. Tomographic velocity cross-section taken from a study of a bored pile immersed in jet-grouted soils with a marked contour of the injection area

вестен закон изменения скорости в грунте, который может быть определен при проведении акустического каротажа в скважине.

Область применения данного метода ограничена рядом условий: контрастностью акустических жесткостей сваи и грунта, степенью их однородности, параллельностью осей скважины и сваи и т.д. Ошибка, возникающая за счет изменения угла наклона скважины, может быть устранена после проведения инклинометрии [8]. Использование при интерпретации синтетических сейсмограмм и результатов численного моделирования может в ряде случаев обеспечить более точное решение задачи [10, 11].

Акустическая томография межскважинного пространства позволяет определить геометрические и прочностные характеристики свайных фундаментов и находит широкое применение при решении инженерно-геологических задач, связан-

ных со строением и свойствами грунтов в верхней части разреза. Принимается, что упругие свойства являются функциями X, Z в координатной плоскости, проходящей через каждую пару скважин. Точность определения упругих свойств в плоскости двух скважин возрастает по мере уменьшения скоростной контрастности и изменчивости упругих свойств среды в направлении нормальном к изучаемой плоскости.

Изучение среды в межскважинном пространстве проводится путем измерения времен пробега прямых проходящих волн между различными парами пунктов возбуждения (ПВ) и приема (ПП) сигнала. Шаг между последовательными ПВ и ПП выбирается, исходя из спектрального состава регистрируемых колебаний, инструментальной точности измерения времен пробега, а также величин корреляционных погрешностей, возникающих при измерении времен пробега проходящих волн. Как правило, именно данными погрешностями

определяется точность отсчета времен. Корреляционные погрешности достигают наибольшего значения в случаях, когда изучаемая среда имеет четкую слоистую структуру, и часто первыми оказываются не проходящие, а преломленные волны от выше- и нижележащих границ.

Для зарегистрированного массива данных производится расчет времен пробега и соответствующих лучевых траекторий. Расчет значений скорости для каждой ячейки производится с применением математических методов путем последовательных приближений [4].

С целью определения контуров области искусственно закрепленных грунтов в основании железобетонной сваи на объекте строительства были выполнены полевые исследования параллельным сейсмическим методом и методом межскважинной сейсмической томографии. Исследования параллельным сейсмическим методом позволили выделить на графике изменения скоростей продольных волн, верхнюю и нижнюю границы массива закрепленных грунтов, служащего основанием сваи (рис. 6). По данным метода межскважинной сейсмической томографии на скоростном разрезе были выделены контуры железобетонной сваи и грунтоцементного массива (рис. 7).

Выводы

1. Комплекс скважинных и поверхностных сейсмоакустических методов позволяет выполнить контроль качества свайных фундаментов, дать количественную оценку глубины заложения и качественную оценку сплошности бетона свай.
2. Для организации эффективной системы контроля качества свайных фундаментов необходимо внесение указаний по применению инструментальных методов в нормативную и проектную документацию с учетом возможностей и ограничений каждого метода.
3. Результаты сейсмоакустических исследований, включающих сейсмический каротаж и межскважинные просвечивания с последующим томографическим обращением, позволяют оценить в количественной мере степень однородности массива из бурокасательных свай и закрепленных цементированием грунтов.
4. «Параллельный метод» наряду с другими сейсмоакустическими методами может широко использоваться для контроля качества различных типов свайных фундаментов. 🌐

Список литературы

1. Капустин В.В., Хмельницкий А.Ю., 2013. Проблемы малоглубинной сейморазведки и георадиолокации в составе инженерно-геологических изысканий. Применение волновых методов для неразрушающего контроля фундаментных конструкций. Университетская книга, Москва.
2. Капустин В.В., 2008. Методика изучения особенностей распространения акустических волн в бетонных сваях с использованием методов численного моделирования. Вестник Московского университета, Серия 4 Геология, № 3, с. 65–70.
3. Капустин В.В., 2009. Применение волновых методов для определения длины свай. Технологии сейморазведки, № 2, с. 113–117.
4. Лозовский И.Н., Чуркин А.А., 2018. Контроль сплошности буронабивных свай методом межскважинной ультразвуковой томографии. Транспортное строительство, № 7, с. 6–9.
5. Мухин А.А., Чуркин А.А., Лозовский И.Н., 2018. Ограничения области применения сейсмоакустического метода контроля сплошности бетона свай. Транспортное строительство, № 9, с. 20–24.
6. Amir J.M., 2017. Pile Integrity Testing: History, Present Situation and Future Agenda. Proceedings of 3rd Bolivian International Conference Deep Foundations, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, pp. 17–32.
7. Fleming K. (ed.), 2008. Piling Engineering, Third Edition. CRC Press.
8. Niederleithinger E., Taffé A., Fechner T., 2005. Improved Parallel Seismic Technique for Foundation Assessment. SAGEEP 2005. Extended Abstracts, Atlanta, USA, 2005.
9. Niederleithinger E., 2008. Numerical simulation of low strain dynamic pile tests. Proceedings of Stresswave, 2008, Lisbon, Portugal, pp. 315–320.
10. Niederleithinger E., 2008. The Parallel Seismic Technique for Determination of Foundation Pile Length. Near Surface 2008 — 14th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Kraków, Poland, 2008, p. 5.
11. Schubert F., Kohler B., Pfeiffer A., 2001. Time Domain Modeling of Axisymmetric Wave Propagation in Isotropic Elastic Media with CEFIT — Cylindrical Elastodynamic Finite Integration Technique. Journal of Computational Acoustics, Vol. 9, No. 3, pp. 1127–1146.

References

1. Kapustin V.V., Khmelitsky A.Y., 2013. Subsurface seismic and GPR survey problems. Using wave methods for nondestructive quality control of foundations. Universitetskaya kniga, Moscow. (in Russian)

2. Kapustin V.V., 2008. Using of numerical simulation methods in studying of acoustic waves propagation in concrete piles. Vestnik Moskovskogo Universiteta, Series 4 Geology, № 3, pp. 65–70. (in Russian)
3. Kapustin V.V., 2009. Using wave methods to determine pile length. Seismic Technologies, № 2, pp. 113–117. (in Russian)
4. Lozovsky I.N., Churkin A.A., 2018. Application of cross-hole ultrasonic tomography technique for pile foundation integrity testing. Transport Construction, № 7, pp. 6–9. (in Russian)
5. Mukhin A.A., Churkin A.A., Lozovsky I.N., 2018. Limitations of application area of low strain pile integrity testing. Transport Construction, № 9, pp. 20–24. (in Russian)
6. Amir J.M., 2017. Pile Integrity Testing: History, Present Situation and Future Agenda. Proceedings of 3rd Bolivian International Conference Deep Foundations, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, pp. 17–32.
7. Fleming K. (ed.), 2008. Piling Engineering, Third Edition. CRC Press.
8. Niederleithinger E., Taffè A., Fechner T., 2005. Improved Parallel Seismic Technique for Foundation Assessment. SAGEEP 2005. Extended Abstracts, Atlanta, USA, 2005.
9. Niederleithinger E., 2008. Numerical simulation of low strain dynamic pile tests. Proceedings of Stresswave, 2008, Lisbon, Portugal, pp. 315–320.
10. Niederleithinger E., 2008. The Parallel Seismic Technique for Determination of Foundation Pile Length. Near Surface 2008 — 14th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Kraków, Poland, 2008, p. 5.
11. Schubert F., Kohler B., Pfeiffer A., 2001. Time Domain Modeling of Axisymmetric Wave Propagation in Isotropic Elastic Media with CEFIT — Cylindrical Elastodynamic Finite Integration Technique. Journal of Computational Acoustics, Vol. 9, No. 3, pp. 1127–1146.

Информация об авторах

КАПУСТИН ВЛАДИМИР ВИКТОРОВИЧ

Младший научный сотрудник кафедры сейсмометрии и геоакустики геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, к.ф.-м.н., г. Москва, Россия

ЧУРКИН АЛЕКСЕЙ АНДРЕЕВИЧ

Инженер-геофизик ООО «ЭГЕОС», г. Москва, Россия

ЛОЗОВСКИЙ ИЛЬЯ НИКОЛАЕВИЧ

Заведующий лабораторией ООО «ЭГЕОС», г. Москва, Россия; научный сотрудник лаборатории магнитотеллурических исследований Центра геоэлектромагнитных исследований Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Троицк, г. Москва, Россия

КУВАЛДИН АЛЕКСЕЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ

Ведущий инженер ООО «ГЕОТЕХ», г. Москва, Россия

Information about authors

VLADIMIR V. KAPUSTIN

Junior research scientist of the Department of Seismometry and Geoacoustics, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, PhD (Candidate of Science in Physics and Mathematics), Moscow, Russia

ALEKSEI A. CHURKIN

Geophysicist of the “AIGEOS” LLC, Moscow, Russia

ILYA N. LOZOVSKY

Head of the laboratory of “AIGEOS” LLC, Moscow, Russia; research scientist of the Laboratory of Magnetotelluric Studies, Center for Geoelectromagnetic Research, Schmidt Institute of Physics of the Earth of RAS, Troitsk, Moscow, Russia

ALEKSEI V. KUVALDIN

Leading Engineer of the “GEOTECH” LLC, Moscow, Russia



www.geomark.ru