

ГЛАВНЫЙ РЕЛАКТОР

Вознесенский Евгений Арнольдович

Доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, вице-президент по Европе Международной ассоциации по инженерной геологии и окружающей среде (IAEG), член-корреспондент РАЕН (Москва, Россия)

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Богданов Михаил Игоревич

Кандидат геолого-минералогических наук, генеральный директор ООО «Институт геотехники и инженерных изысканий в строительстве», президент Координационного совета Ассоциации «Инженерные изыскания в строительстве», председатель Правления «Союз изыскателей», член Общественного совета при «Роснедра», Международной ассоциации по инженерной геологии и окружающей среде (IAEG), Технического комитета ISO/TC 182 «Геотехника» Международной организации по стандартизации (ISO), действительный член Института минералов, материалов и горного дела (IOM³, Великобритания) (Москва, Россия)

Шашкин Алексей Георгиевич

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ангелов Кирилл

Кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геотехники и инженерной геологии строительного факультета Университета транспорта им. Тодора Каблешкова, директор «Geolobby» LTD и «Bondys» LTD, президент Болгарской национальной группы Международной ассоциации по инженерной геологии и окружающей среде (IAEG), член Международного общества по механике грунтов и геотехническому строительству (ISSMGE) (София, Болгария)

Барвашов Валерий Александрович

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

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)

Жусупбеков Аскар Жагпарович

Доктор технических наук, профессор кафедры «Проектирование зданий и сооружений» архитектурно-строительного факультета и директор геотехнического института Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, директор TOO «Kazakhstan Geotechnical Service», председатель технического комитета ТС305 Международного общества по механике грунтов и геотехническому строительству (ISSMGE), член Американского общества гражданских инженеров (ASCE), геотехнической ассоциации стран Юго-Восточной Азии (SEAGS), почетный член немецкого геотехнического общества (GGS), академик Национальной инженерной академии Республики Казахстан (НИА РК), президент Казахстанской геотехнической ассоциации (Нур-Султан, Казахстан)

Капустин Владимир Викторович

Кандидат физико-математических наук, технический директор ООО «НИИ Геотех» (Москва, 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 Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (МИИТ), член Международного общества по механике грунтов и геотехническому строительству (ISSMGE) (Москва, Россия)

Мирный Анатолий Юрьевич

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории исследования влияния геологических факторов на физико-химическое закрепление грунтов геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, член Международного общества по механике грунтов и геотехническому строительству (ISSMGE) (Москва, Россия)

Тер-Мартиросян 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), член президиума Российского общества по механике грунтов, геотехнике и фундаментостроению (РОМГГиФ) (Москва, Россия)

Тер-Мартиросян 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 (РААСН) (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)

Улицкий Владимир Михайлович

Доктор технических наук, заведующий кафедрой оснований и фундаментов факультета промышленного и гражданского строительства Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра Первого, профессор, председатель технического комитета ТС207 Международного общества по механике грунтов и геотехническому строительству (ISSMGE), член президиума Российского общества по механике грунтов, геотехнике и фундаментостроению (РОМГГиФ) (Санкт-Петербург, 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 29.03.2019.

Формат издания 50х70/8. 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», 2019

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, Vice-president for Europe of the International Association for Engineering Geology and the Environment (IAEG), corresponding member of Russian Academy of Natural Sciences (Moscow, Russia)

DEPUTY EDITORS IN CHIEF

Mikhail I. Bogdanov

PhD (Candidate of Science in Geology and Mineralogy), General Director of the "Russian Geotechnical Institute" LLC, President of the Coordination Council of the "Russian Geotechnical Association", Chairman of the Board "The Union of Prospectors", member of the Public Council at "Rosnedra", International Association for Engineering Geology and the Environment (IAEG), Technical Committee ISO/TC 182 "Geotechnics" of the International Organization for Standardization (ISO), full member of the Institute of Materials, Minerals and Mining (IOM³, UK) (Moscow, Russia)

Alexey G. Shashkin

DSc (Doctor of Science in Geology and Mineralogy), General Director of the "Design Institute Georekonstrukciya" LLC, associate professor of the Department of Bases and Foundations, Faculty of Civil Engineering, Emperor Alexander I Saint-Petersburg State Transport University, 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) (Saint-Petersburg, Russia)

EDITORIAL BOARD

Kiril Anguelov

PhD (Candidate of Science in Geology and Mineralogy), associate professor of the Department of Geotechnics and Engineering Geology, Faculty of Civil Engineering, Todor Kableshkov University of Transport, director of the "Geolobby" LTD and "Bondys" LTD, President of the Bulgarian National Group of International Association for Engineering Geology and the Environment (IAEG), member of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE) (Sofia, Bulgaria)

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), "Research Center of Construction" JSC member of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE) (Moscow, Russia)

Gennadii G. Boldyrev

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

Askar Zh. Zhussupbekov

DSc (Doctor of Science in Technics), professor of the Department of Design of Buildings and Constructions, Faculty of Architecture and Construction and director of Geotechnical Institute, Gumilyov Eurasian National University, director of the "Kazakhstan Geotechnical Service" LLP, chairman of the Technical Committee TC305 of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE), member of the American Society of Civil Engineers (ASCE), Southeast Asian Geotechnical Society (SEAGS), honored member of the German Geotechnical Society (GGS), academician of the National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan, President of the Kazakhstan Geotechnical Society (Nur-Sultan, Kazakhstan)

Vladimir V. Kapustin

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

Valeriy L. Kubetskii

DSc (Doctor of Science in Technics), head of the Center for Monitoring Construction of Buildings and Structures, Basis and Foundations at "Research Institute Mosstroy", professor of the Department of Buildings and Constructions at Transort, Russian Open Transport Academy, Russian University of Transport (MIIT), member of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE) (Moscow, Russia)

Anatoly Yu. Mirnyy

PhD (Candidate of Science in Technics), senior research scientist of the Laboratory of Researching the Geological Factors Influence on Physicochemical Soil Consolidation, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, 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, 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), bureau member of the Russian Society for Soil Mechanics, Geotechnics and Foundation Engineering (RSSMGFE) (Moscow, Russia)

Zaven G. Ter-Martirosyan

DSc (Doctor of Science in Technics), professor of the Department of Soil Mechanics and Geotechnics, 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 academician of the Russian Academy of Architecture and Construction (Moscow, Russia)

Alexander N. Trufanov

PhD (Candidate of Science in Technics), head of the Laboratory of Soil Research Methods, Gersevanov Research Institute of Bases and Underground Structures (NIIOSP), "Research Center of Construction" JSC, member of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE) (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 Saint-Petersburg State Transport University, professor, chairman of the Technical Committee TC207 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) (Saint-Petersburg, Russia)

Certificate of registration of mass media: PI № ΦC77-48919 12.03.12.

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 29.03.2019.

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, 2019

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) Префикс DOI: 10.25296

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

Лихонкина Ольга Геннальевна Отдел рекламы

Якимчик Ольга Леонидовна Отдел подписки

АДРЕС РЕДАКЦИИ

ООО «Геомаркетинг» 107076, РФ, Москва, ул. Электрозаводская, 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

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРУНТОВ

Васенин В.А. Компрессионная сжимаемость глинистых грунтов Санкт-Петербурга. Часть 2. Сопоставление корреляционных зависимостей ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ Попсуенко И.К., Миронов Д.Б. Определение длительных осадок уплотнения от собственного веса

объемных массивов глинистых техногенно-перемещенных грунтов22

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ

Тер-Мартиросян З.Г., Тер-Мартиросян А.З., Анжело Г.О.

водонасыщенным глинистым грунтом и ростверком в составе Соловьев Д.Ю., Харичкин А.И., Курилло С.В., Драницын А.В., Федоровский В.Г. Экспериментальные исследования несущей способности анкерных Шулятьев О.А., Шарафутдинов Р.Ф.

Взаимодействие щебеночной фильтрующей сваи с окружающим

Расчет осадки основания фундамента с учетом зависимости модуля

ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРУНТОВ

Волков Н.Г., Соколов И.С.

Расчет несущей способности сваи на основе определения длительной прочности в массиве мерзлых грунтов методом

СОБЫТИЯ И МНЕНИЯ

Шарафутдинов Р.Ф.

О международном форуме высотного и уникального строительства



LABORATORY SOIL TESTING

Vasenin V.A. Clayey soils of Saint-Petersburg oedometric compression. Part 2. Comparison of correlation dependencies for Baltic region
NUMERICAL MODELING
Popsuenko I.K., Mironov D.B. Prediction of the long-term settlements due to self-weight compaction of the clayey soils massifs displaced by anthropogenic activity
BEDS AND FOUNDATIONS DESIGN
Ter-Martirosyan Z.G., Ter-Martirosyan A.Z., Anzhelo G.O. Interaction of the filtering pile of cobbles with the surrounding water-saturated clayey soil and the plate in the pile-slab foundation
Soloviev D.Yu., Kharichkin A.I., Kurillo S.V., Dranitsyn A.V., Fedorovsky V.G. Experimental study of anchor piles bearing capacity and its determination with calculation methods
Shulyatev O.A., Sharafutdinov R.F. Foundation settlement calculation taking into account the strain modulus on the stress state dependence
List of geotechnical conferences
IN SITU SOIL TESTING
Volkov N.G., Sokolov I.S. Estimation of pile bearing capacity in permafrost based on stress relaxation measured by cone penetration testing
EVENTS AND OPINIONS
Sharafutdinov R.F. About the international forum and expo on high-rise and special



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) Prefix DOI: 10.25296

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, Okruzhnov Proezd, 18

JOURNAL EDITORING

Ekaterina A. Torbina General Director

Anatoly Yu. Mirnyy Literary Editor

Olga G. Likhonkina 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

https://doi.org/10.25296/2221-5514-2019-11-1-68-78

УДК 621.396.96:551.34:625.7/8(571.56)

РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАИ НА ОСНОВЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ МЕТОДОМ СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В МАССИВЕ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ



ВОЛКОВ Н.Г.*

000 «ГЕОИНЖСЕРВИС» (группа компаний Фугро), г. Москва, Россия,

Адрес: пр. Вернадского, д. 29, офис 1104, г. Москва, 119331, Россия

соколов и.с.

000 «ГЕОИНЖСЕРВИС» (группа компаний «Фугро»), г. Москва, Россия, ssi@fugro.ru

Оригинальная статья

Поступила в редакцию 19.11.2018 / Принята к публикации 22.03.2019 / Дата публикации 29.03.2019

© 000 «Геомаркетинг». 2019

RNДАТОННА

Рассмотрен новый подход к методике проведения статического зондирования и обработке получаемых данных применительно к многолетнемерэлым грунтам. Известно, что механические свойства мерзлых грунтов носят реологический характер, что обусловлено их ползучестью. При приложении постоянной нагрузки на мерзлый грунт происходит развитие деформации во времени (ползучесть), а при приложении постоянной деформации — релаксация напряжений. В реологии принято различать мгновенную и длительную деформацию и прочность, которые отличаются друг от друга на порядки. Определение длительной прочности принципиально важно и является ключевым параметром для проектирования оснований в криолитозоне. Приводится подробное описание методики испытания мерзлых грунтов с помощью статического зондирования. Рассматривается пример расчета длительной прочности на основе специальных испытаний в релаксационном режиме при проведении статического зондирования. Расчет длительной прочности на сжатие и сдвиг выполнен на базе логарифмической функции уравнения длительной прочности. Проведено сравнение полученных результатов с результатами статического испытания сваи, расположенной в 2 м от точки статического зондирования. Получено хорошее совпадение результатов расчета несущей способности сваи по данным статического зондирования с натурными испытаниями сваи статической нагрузкой. Незначительное различие между полученными результатами может быть объяснено неоднородностью грунтового массива. Важной особенностью рассматриваемого подхода является то, что в расчет не включены какие-либо поправочные и/или эмпирические коэффициенты. Расчет несущей способности сваи был выполнен исключительно на основании прямых замеров лобового сопротивления и бокового трения, получаемых при статическом зондировании.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Статическое зондирование; полевые испытания мерзлых грунтов; реология грунта; температура грунта; длительная прочность грунта; испытание сваи: несущая способность сваи: механические свойства мерзлых грунтов

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Волков Н.Г., Соколов И.С., 2019. Расчет несущей способности сваи на основе определения длительной прочности в массиве мерзлых грунтов методом статического зондирования. Геотехника, Том XI, № 1, с. 68-78, https://doi.org/10.25296/2221-5514-2019-11-1-68-78.

ESTIMATION OF PILE BEARING CAPACITY IN PERMAFROST BASED ON STRESS RELAXATION MEASURED BY CONE PENETRATION TESTING

NIKOLAY G. VOLKOV*

«GEOINGSERVICE» LLC (Fugro Group), Moscow, Russia, ngv@fugro.ru Address: Bld. 29, Off. 1104, Vernadskogo Ave, 119331, Moscow, Russia

IVAN S. SOKOLOV

«GEOINGSERVICE» LLC (Fugro Group), Moscow, Russia, ssi@fugro.ru

Original paper

Received 19 November 2018 / Accepted 22 March 2019 / Published 29 March 2019 © "Geomarketing" LLC, 2019

ABSTRACT

A new approach to cone penetration testing (CPT) together with data processing is considered with respect to frozen soils. It is well known that mechanical properties of frozen soils show rheological behavior which is caused by their creep nature. Applying constant load on frozen soil causes deformation in time (creep) and likewise applying constant deformation causes stress relaxation. Rheology distinguishes instantaneous and long-term deformation and strength, which differ from each other by an order of magnitude. Knowing the long-term strength is of key importance to foundation design on permafrost soils. The detailed description of the new testing procedure on cone penetration is given in the article. The data processing technique example is considered in details, which was based on special tests in relaxation regime within regular cone penetration testing. Calculation of long term strength (compression and shear) is performed based on logarithmic relaxation memory function. The CPT results on long-term strength have been compared with the results on static pile load test which was located 2 m away from the CPT location. Good agreement between the results on static pile load test and CPT is shown. Insignificant difference in the obtained results can be explained by frozen soil heterogeneity. The main advantage of the new method is that no correction and/or empirical coefficients have been involved in the calculations. The calculation of pile bearing capacity was performed based only on direct measurements of cone resistance and sleeve friction, derived by cone penetration testing.

KEY WORDS

Cone penetration test; field testing of frozen soil; rheology; soil temperature; long-term soil strength; pile load testing; pile bearing capacity; mechanical properties of frozen soils

FOR CITATION:

Volkov N.G., Sokolov I.S., 2019. Estimation of pile bearing capacity in permafrost based on stress relaxation measured by cone penetration testing. Geotechnics, Vol. XI, No. 1, pp. 68-78, https://doi.org/10.25296/2221-5514-2019-11-1-68-78.

Введение

В статье представлен пример полевых испытаний мерзлого грунтового массива для установления предела длительной прочности при помощи зонда для статического зондирования. Рассматриваемый пример расчета несущей способности сваи позволяет получить дополнительные сведения для проектирования свайных оснований и оценки рисков, которые могут влиять на целостность и устойчивость оснований зданий и сооружений в зоне распространения многолетнемерзлых грунтов. При проектировании в условиях распространения многолетнемерзлых грунтов особое внимание следует уделять долговечности возводимых конструкций и особенностям их эксплуатации в условиях взаимодействия с мерзлыми грунтами.

В представленном примере приводится описание серии специальных поинтервальных испытаний мерзлого грунта, полученных на опытной площадке, а также методика и теоретические основы определения предела длительной прочно-

сти грунтов в полевых условиях. Также выполнен расчет несущей способности забивной сваи и проведено сравнение полученных данных с материалами натурных испытаний сваи статической вдавливающей нагрузкой.

Теоретические основы метода

Мерзлый грунт содержит незамерзшую воду и лед [10], что приводит к проявлению вязкопластического течения под воздействием нагрузки, обусловленного реологическими свойствами. Основной задачей реологии мерзлых грунтов является изучение закономерностей их напряженно-деформированного состояния и его изменения во времени [4]. Для проектирования оснований зданий и сооружений и прогноза их устойчивости на мерзлых грунтах, с точки зрения реологии, используются характеристики длительного разрушения, включая понятие длительной прочность. Под длительной прочностью подразумевается напряжение, до превышения которого раз-

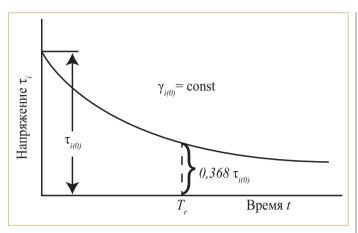


Рис. 1. Кривая релаксации напряжения [4]

Fig. 1. Stress relaxation curve [4]

рушения не наступает, в то время как при его превышении развивается прогрессирующая ползучесть, приводящая к разрушению. Соответственно, следует различить следующие значения прочности — условно-мгновенную прочность, длительную прочность и предел длительной прочности. Для мерзлых грунтов, по данным С.С. Вялова [4], длительная прочность в 5-15 раз меньше сопротивления быстрому разрушению или условно-мгновенной прочности.

Для проектирования свайных фундаментов и оснований на мерзлых грунтах одними из ключевых параметров является длительная прочность на сжатие (в частности, длительное сопротивление основания сваи) и длительная прочность на сдвиг по поверхности смерзания (длительное сопротивление по боковой поверхности сваи).

В реологии мерзлых грунтов для оценки длительной прочности существуют два подхода. В первом измеряется деформация грунта от приложенной постоянной нагрузки для описания процесса ползучести или изменения деформации во времени. Во втором измеряется изменение напряжения во времени в грунте (релаксация напряжения), вызванное постоянной деформацией [4, 10]. В данной работе рассматривается второй подход.

Релаксацией напряжения называют уменьшение во времени напряжения в грунтах, необходимого для поддержания постоянной деформации [4]. Релаксация является следствием перераспределения упругой и пластической деформаций. Одним из наиболее важных реологических параметров является время релаксации — T_{r} (рис. 1).

Известно, что все реальные тела обладают упругими (характерными для твердых тел) и вязкими (характерными для жидкости) свойствами [4]. Проявление этих свойств зависит от соотношения времени воздействия нагрузки и времени релаксации. Например, у горных пород время релаксации изменяется тысячелетиями, у стекла — столетиями, у льда — сотнями секунд, у воды — 10^{-11} с. Время релаксации льда составляет $10^2 - 10^3$ с, и в пределах этого времени лед ведет себя как упругое тело, хрупко разрушаясь при быстром ударе. При

большем же времени воздействия нагрузки лед течет подобно вязкой жидкости, как это происходит в ледниках. Аналогичное поведение — хрупкое разрушение при быстром приложении нагрузки и вязкое течение при длительном воздействии нагрузки — отчетливо наблюдается у мерзлых грунтов.

Мерзлый грунт начинает течь не при любой нагрузке, а только после того, как напряжение превысит некоторый предел. Это означает, что к грунтам в большей степени применима не теория идеально вязкой ньютоновой жидкости, а теория вязкопластического течения Бингама. Для мерзлых грунтов, в составе которых присутствует лед, справедливо проводить испытания на измерение релаксации напряжений в интервале времени большем времени релаксации льда, т.е. $10^2 - 10^3$ с.

Существует схожий по отношению ко времени релаксации параметр — время последействия (T_n) . Время последействия описывает процесс ползучести, другими словами — изменения деформации во времени. Важно отметить, что время релаксации не равно времени последействия. Время релаксации — это характеристика изменения напряжения во времени, а время последействия — это характеристика изменения деформации во времени (ползучесть). В свою очередь время последействия можно получить из опытов, где задается постоянная нагрузка (или напряжение), а время релаксации — из опытов с заданной постоянной деформацией. Поскольку процесс релаксации напряжений происходит гораздо быстрее процесса ползучести (время релаксации $T_r \ll$ времени последействия T_p), это позволяет существенно снизить время испытания грунта в режиме релаксации напряжения [4, 7, 9].

В данной работе авторы не затрагивают процесс ползучести. Статическое зондирование не измеряет деформацию грунта, в связи с этим вопросы ползучести не рассматриваются.

При протекании процесса релаксации напряжений происходит нарастание пластической деформации за счет уменьшения доли упругой при неизменной величине общей суммарной деформации. Одним из первых аналитическое выражение процесса релаксации дал Максвелл, который исходил из предположения о существовании прямо пропорциональной зависимости между скоростью убывания напряжения с течением времени и величинами действующих напряжений. Однако экспериментально эта теория не подтвердилась [5]. Попытки дать аналитическое выражение, отображающее весь ход релаксационной кривой, не увенчались успехом.

В металловедении более плодотворными оказались попытки дать аналитическое выражение для участков I и II кривой релаксации в отдельности (рис. 2). При этом ряд исследователей берет за основу такого деления представление о различных механизмах релаксации на I и II участках.

Предполагают, что I участок кривой релаксации определяется действием процессов, протекающих на границах зерен поликристаллического металла и представляющих собой диффузионные явления. ІІ участок кривой релаксации определяется действием процессов, протекающих в теле зерна и представляющих собой сдвиговые явления, имеющие, од $0,368 \tau_{i0}$

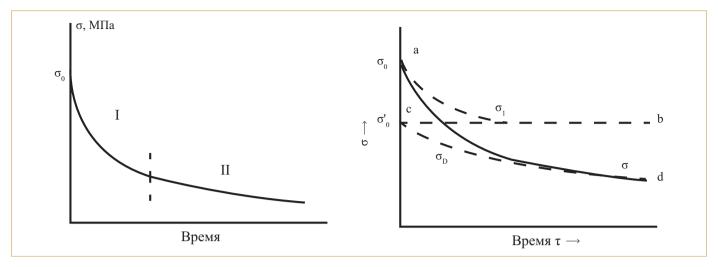


Рис. 2. Схема кривой релаксации напряжений и ее интерпретация (см. условные обозначения в [5])

Fig. 2. Schematic stress relaxation curve and its interpretation (for symbols see [5])

нако, некоторые отличительные особенности по сравнению с обычными сдвиговыми процессами при пластической деформации. По-видимому, более правильным является рассмотрение релаксации напряжений как результата наложения обоих процессов. Грачев С.В. с соавторами [5] отмечают, что пока неизвестно, имеют ли оба периода релаксации разный физический смысл или одинаковый.

Обобщая вышеизложенные теоретические основы, метод статического зондирования может быть использован для определения длительной прочности мерзлого грунта на сжатие и длительной прочности мерзлого грунта на сдвиг по поверхности смерзания.

Полевые испытания и обработка данных

Испытание мерзлых грунтов статическим зондированием было выполнено на строительной площадке в зоне распространения многолетнемерзлых грунтов (г. Салехард, Ямало-Ненецкий автономный округ). Графики записи величин лобового сопротивления и трения грунта по боковой поверхности в процессе движения зонда представлены на рис. 3. Измерение температуры мерзлых грунтов проводилось с помощью статического зондирования на основе отработанной методики по замеру температур грунтов [1] и подтвердили наличие мерзлых грунтов на исследуемой площадке.

Зондирование было выполнено с поверхности до глубины 16,0 м с замерами температуры и релаксации напряжения через 1 м. Испытания проводились 6 марта 2018 г. На момент проведения испытаний глубина промерзания составила 1,7 м. Ниже, с глубины 3,0 м залегают многолетнемерзлые грунты. Измеренные температуры в толще мерзлого грунта варьируют от $-0,67^{\circ}$ С до $-0,12^{\circ}$ С (см. рис. 3). Верхняя часть толщи мерзлых грунтов в интервале от 3,0 м до 7,8 м представлена льдистыми суглинками, желтовато-коричневыми, с включением гравия 1%, со слоистой криотекстурой. Ниже, в интервале 7,8-16,0 м залегают пы-

леватые пески, светло-серые, с включением гравия до 2% с массивной криотекстурой.

Результаты испытаний мерзлых грунтов были получены с помощью тяжелой установки статического зондирования на базе автомобиля-лаборатории УРАЛ массой 20 т. Максимальное усилие вдавливания зонда составляет 200 кН. Диапазон измерения удельного сопротивления грунта под наконечником зонда (q_c) составляет от 0 до 65 МПа, а удельное сопротивление грунта вдоль боковой поверхности муфты трения (f_s) от 0 до 3,75 МПа. Вертикальность погружения зонда контролируется с помощью встроенного инклинометра, который измеряет угол отклонения от вертикали в диапазоне от 0° до 20°. Температура грунта измеряется с помощью встроенного датчика температуры с точностью до 0,01°С [1]. Используемый зонд также оснащен датчиком порового давления, диапазон измерения которого составляет от -85 до +2000 кПа.

Испытание мерзлых грунтов выполнялось методом статического зондирования со стабилизацией по методике, представленной в 2018 году [2]. Движение зонда до намеченной глубины осуществлялось с постоянной скоростью 0,5–1 см/с. При достижении намеченной глубины движение зонда прекращалось, при этом зонд фиксировался в достигнутом положении. После остановки зонда оборудование автоматически переводилось в режим испытания на релаксацию напряжений. Запись показаний датчиков лобового сопротивления и трения грунта по боковой поверхности (релаксация напряжения) производилась непрерывно с частотой 2–4 считывания в секунду.

В работах С.С. Вялова [3, 4] предлагается использовать динамометрический прибор для проведения испытаний грунтов на длительную прочность. Принципиальная схема динамометрического метода реализована в релаксационном испытании грунта методом статического зондирования со стабилизацией. В процессе движения зонда грунту сообщается нагрузка, превышающая величину мгновенной прочности, но при остановке движения зонд фиксируется, и ведется за-

пись релаксации напряжений. Запись значений производится до момента, когда наступит условная стабилизация величины считываемых параметров. После чего полученные данные обрабатываются раздельно по датчикам лобового сопротивления и трения грунта по боковой поверхности с применением логарифмического уравнения длительной прочности (1). Таким образом, получаются индивидуальные значения длительной прочности грунта:

- длительная прочность грунта на сжатие для данных, полученных с помощью датчика лобового сопротивления;
- длительная прочность на сдвиг для данных, полученных с помощью датчика трения грунта по боковой поверх-

Логарифмическое уравнение длительной прочности записывается в следующем виде:

$$\tau = \frac{\beta}{\ln \frac{t_p + 1}{T}},\tag{1}$$

где т — замеряемое напряжение (лобовое сопротивление или боковое трение в МПа), t_n — время замера, c; β , T — коэффициенты, зависящие от характера релаксации напряжения.

Пример обработки линеаризованных данных по лобовому сопротивлению и боковому трению зонда в процессе испытания со стабилизацией подробно разобран ранее [2].

Учитывая новый подход к анализу кривых релаксации напряжения, который исходит из описанного выше деления кривой релаксации на два участка и представлен на рис. 2, предлагается рассмотреть новую методику для определения времени, начиная с которого кривая релаксации измеряемого напряжения (лобового сопротивления или бокового трения) подчиняется приведенному выше уравнению длительной прочности. Авторы разработали следующий алгоритм обработки данных статического зондирования.

После начала теста на измерение релаксации напряжения, выбирается интервал для обработки кривой. В данном примере использован интервал равный 100 с. Интервал может быть изменен, исходя из точности используемого оборудования. После первых 100 с компьютерная программа в процессе замера производит обработку записанных данных. Обработка производится при каждом считывании. Так, при частоте считывания данных 2 замера в секунду расчет производится дважды, и рассчитанные значения добавляются на отображаемую линию. На рис. 4 разобран пример расчета для теста на релаксацию напряжения длиною в 700 с, где обработка произведена с помощью программного комплекса MatLab для каждого интервала в 100 с: 0÷100 с, 100÷200 с, 600÷700 с — итого 7 раз. На рис. 4, а приведена кривая релаксации напряжения, измеренного с помощью датчика лобового сопротивления. Это прямые данные, измеренные зондом в поле. На рис. 4, b представлен тот же график зависимости напряжения от времени, но только в логарифмических и обратных координатах. На рис. 4, с представлены результаты обработки для каждого 100-секундного интервала кривой релаксации, выраженные в расчете длительной прочности на 10 дней и 100 лет, соответственно. Выбор интервала вычисления с шагом в 100 с выбран для удобства расчета и может быть изменен на любой другой, что не влияет существенно на конечный результат расчета.

Более подробно рассмотрена обработка кривой релаксации напряжения на примере интервала от 600-й до 700-й секунды. Для удобства обрабатываемый интервал изображен на рис. 4, а красным цветом. Кривая перестраивается в логарифмических и обратных координатах, а полученный отрезок аппроксимируется линейной функцией (интервал отображен красным цветом на рис. 4, b, а линия аппроксимации — черным), и вычисляются коэффициенты k и b для линии аппроксимации. Далее выводится функция длительной прочности, как показано в [2], и рассчитывается длительная прочность грунта на задаваемый отрезок времени. По выведенной функции можно рассчитать длительную прочность для любого временного отрезка, и для примера на рис. 4, с рассчитаны значения для 100 лет (красная звездочка) и 10 дней (красный квадрат). Таким образом, получается результат для одной итерации предлагаемой методики для выбранного отрезка кривой. В описании данного примера это седьмая итерация. Шесть предыдущих итераций были выполнены для участков кривой с 1-й по 100-ю секунду (первая итерация), с 100-й по 200-ю секунду (вторая итерация) и т.д. и отображен на рис. 4, с синим цветом, соответственно. Другими словами, данный вычислительный алгоритм был выполнен для предыдущих интервалов, а соответствующие значения длительной прочности для каждого интервала рассчитаны отдельно.

На представленном рис. 4, с видно, что рассчитанные значения длительной прочности, начиная с 400-й секунды, стабилизировались и равны 3,4 МПа для 100 лет и 5,1 МПа для 10 дней. Однако, на рис. 4, а видно, что напряжение, измеряемое непосредственно зондом, в интервале 400-700 с продолжает снижаться с течением времени. Это говорит о том, что график кривой релаксации напряжения, измеряемого с 400-й секунды, для рассматриваемого примера релаксации лобового сопротивления, подчиняется уравнению длительной прочности (1) и соответствует участку II кривой релаксация (см. рис. 2).

На рис. 4 для упрощения показано 7 итераций с шагом в 100 с. Однако, количество итераций может быть равно количеству считываний при сборе данных, что определяется частотой считывания данных. Если данные считываются каждую секунду, то и расчет длительной прочности может также выполняться каждую секунду. Для современной техники выполнение данного вычислительного алгоритма в реальном времени не представляет сложности.

Приведенный выше вычислительный алгоритм внедрен в используемое в полевых условиях программное обеспечение компании Фугро для статического зондирования и обеспечи0,368 τ.

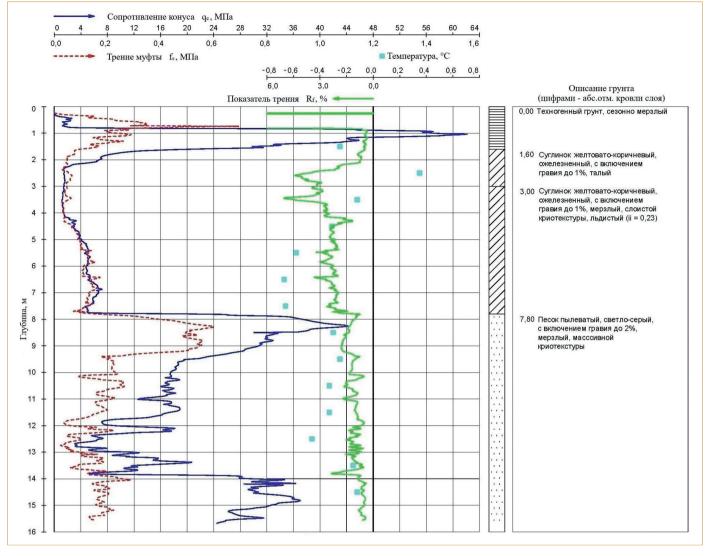


Рис. 3. График статического зондирования мерзлого грунта

Fig. 3. CPT Plot of permafrost

вает вывод на экран кривой рассчитанной длительной прочности на заданный промежуток времени. Это представляет собой большую ценность при полевых испытаниях, а именно:

- 1) оператор статического зондирования в полевых условиях может контролировать время испытаний, необходимое и достаточное для достижения стационарного режима релаксации напряжения;
- 2) полевой инженер-геолог может оценить качество выполняемого испытания и при необходимости, в случае неадекватных значений, повторить испытание;
- 3) данный вычислительный алгоритм позволяет в полевых условиях получить первичную информацию о прочностных характеристиках исследуемых грунтов, при необходимости скорректировать количество испытаний и передать эту информацию для корректной постановки лабораторных испытаний для определения механических свойств мерзлых грунтов;

4) использование программного обеспечения с описанным алгоритмом позволяет на месте проведения испытания задавать критерии его окончания, а именно величину изменения рассчитываемого значения длительной прочности и времени, в течение которого наблюдается данное изменение.

Расчет длительной прочности для оценки несущей способности сваи и сравнение с рекомендуемыми значениями

Для оценки несущей способности сваи были выбраны испытания на глубинах от 3,5 до 11,5 м с интервалом 1 м. Для каждого испытания были рассчитаны значений длительной прочности на сжатие (од) и сдвиг по поверхности смерзания (од) по описанному выше алгоритму. Рассчитанные значения σ и σ сравнивались с рекомендуемыми значениями давления под нижним концом сваи (R) и сопротивления сдвигу по по-

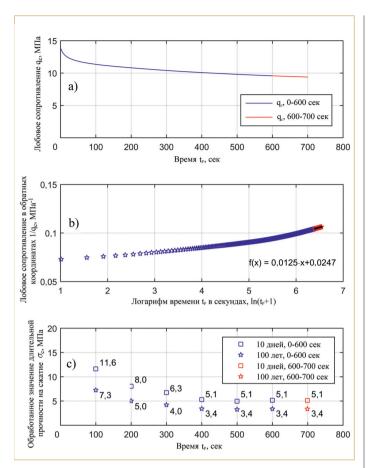


Рис. 4. Пример обработки кривой релаксации лобового сопротивления по предлагаемой методике, где а — кривая релаксации напряжения, получаемая в полевых условиях; b — линеаризация кривой в обратных и логарифмических координатах; с — расчетные значения длительной прочности, полученные путем решения уравнения (1)

Fig. 4. Example of cone resistance relaxation curve according to the proposed method, a — stress relaxation curve obtained in situ; b — curve linearization in reverse and logarithmic scale; c — design values of longterm strength, obtained from the equation (1) solution

верхности смерзания (R_{af}) согласно таблицам В.1 и В.3 СП 25.13330.2012 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88 (с изменениями № 1, 2)», соответственно.

В сводной табл. 1 представлены результаты статического зондирования. Видно, что для глинистых грунтов в интервале 3,5-7,5 м для расчетного интервала времени в 100 лет рассчитанные значения длительной прочности на сжатие (од) варьируют от 237 до 867 кПа, а значения $\sigma_{_{S}}$ — от 1,1 до 30,3 кПа. Если же расчетный период времени сократить до 10 дней, рассчитанные значения о увеличатся до 342–1215 кПа, а значения σ_s — до 2,0–44,1 кПа, соответственно. Для песчаных грунтов рассчитанные значения существенно выше по сравнению с глинистыми грунтами и составляют в интервале 8,5-11,5 м для расчетного интервала времени в 100 лет σ_c — от 1951 до 3512 кПа, а $\sigma_{\rm s}$ — от 7,9 до 25,6 кПа. Для расчетного интервала в 10 дней рассчитанные значения о также увеличатся до 2953-6183 кПа, а значения σ₆ — до 14,8-45,7 кПа, соответственно.

Из табл. 1 видно, что в целом полученные полевые данные статического зондирования сопоставимы с рекомендуемыми значениями СП 25.13330.2012, однако есть некоторые различия.

Для глинистых грунтов значения длительной прочности, замеренные в ходе измерения релаксации напряжений, достаточно близки к расчетным давлениям под нижним концом сваи R. Так, рассчитанная длительная прочность на сжатие для интервала времени 100 лет изменяется от 237 до 867 кПа, в то время как рекомендуемые значения давления под нижним концом сваи при исследуемой температуре и глубине варьируют от 400 до 750 кПа. Для песчаных грунтов на площадке исследований рассматриваемые значения (1951–3512 кПа) оказались выше рекомендуемых СП 25.13330.2012 (450-1500 кПа), что может быть связано с высокой плотностью исследуемых песков. Стоит отметить, что рекомендуемые значения давления под нижним концом сваи согласно СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85 (с опечаткой, с изменениями № 1, 2)» для талых песков от пылеватых до средней крупности на глубинах 7-10 метров варьируют от 1400 до 4000 кПа.

Величина трения по боковой поверхности зонда, рассчитанная для интервала времени 100 лет, оказалась ниже рекомендуемых СП 25.13330.2012 значений сопротивления сдвигу по поверхности смерзания R_{af} как для глинистых, так и для песчаных грунтов. Так, рассчитанные значения изменяются от 1,1 до 30,3 кПа, а рекомендуемые — от 40 до 60 кПа. Известно, что по опыту лабораторных исследований сдвиг по поверхности смерзания является сложным испытанием, и результаты испытаний часто достаточно сильно различаются между собой. Это объясняют различными причинами. Одной из возможных причин является то, что сдвиг происходит по грунту (льду), а при сдвиге по мерзлому грунту (льду) существует большая разница между сопротивлением трению льда о лед (два различных тела, не смерзшихся между собой) или мерзлого грунта по мерзлому грунту и между двумя смерзшими телами мерзлого грунта или льда. Возможно, что в процессе смерзания металла и мерзлого грунта металл подвергается коррозии, что приводит к падению его прочностных свойств. Данные объяснения имеют право на существование, однако, научных опубликованных исследований по этой теме найти не удалось.

Интересно отметить ценность другого предложения. Так в соответствии с рекомендациями И.Б. Рыжкова и О.Н. Исаева [8] предлагается измерять «срыв» муфты трения зонда после его смерзания с грунтом, что авторы монографии интерпретируют как величину силы смерзания. Авторами статьи были выполнены подобные замеры сопротивления муфты трения в процессе выполнения полевых работ. Величины этих замеров варьировали от 51 до 185 кПа, что несколько выше, чем рекомендуемые СП 25.13330.2012, они также приведены

Таблица 1 Table 1

Сравнение рассчитанных значений длительной прочности на сжатие и сдвиг с рекомендуемыми значениями из СП 25.13330.2012

Comparison of calculated values for long-term soil strength on compression and shear with corresponding recommended values from SP 25.13330.2012

Глубина замера, м	Тип грунта	Температура грунта, °С	Значения длительной прочности				ва грзания гда, кПа	Рекомендуемые значения (взято из СП 25.13330.2012, таблицы В.1 и В.3)	
			σ_c (лоб), к Π а		$\sigma_{_{_{S}}}$ (бок), к Π а		Значения срыва по поверхности смерзания грунта с муфтой зонда, кПа	давление под нижним концом сваи	сопротивление сдвигу по поверхности смерзания
			10 дней	100 лет	10 дней	100 лет	3 по пон грунта	<i>R</i> , кПа	R_{af} кПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3,5	Суглинок	-0,12	342	257	3,9	2,1	62	400–650	40
4,5		-0,31	368	237	2,5	1,4	51	400-650	40
5,5		-0,57	734	499	17,0	10,4	140	500-750	60
6,5		-0,67	858	575	2,0	1,1	173	500-750	60
7,5		-0,66	1215	867	44,1	30,3	145	500-750	60
8,5	Песок	-0,30	6183	3512	36,1	18,5	_	450–1500	50
9,5		-0,29	2953	1951	26,7	14,1	185	450–1500	50
10,5		-0,32	4654	3033	14,8	7,9	155	450–1500	50
11,5		-0,33	5113	3355	45,7	25,6	176	450-1500	50

в табл. 1, столбец 8. Таким образом, измерение сил смерзания и длительной прочности на сдвиг по поверхности смерзания с помощью статического зондирования дает результаты, согласующиеся с современными научно-техническими представлениями по данной теме.

Уравнение (1) позволяет рассчитать длительную прочность мерзлого грунта в любом интервале времени. Авторы выбрали интервалы времени в 10 дней и 100 лет по следующим соображениям. Интервал времени в 10 дней выбран для прямого сравнения полученных величин с испытанием сваи статической вдавливающей нагрузкой, что подробно описано ниже. Период в 100 лет был выбран по рекомендациям С.С. Вялова в качестве T_{∞} (стр. 295, [3]).

Расчет несущей способности свай и сравнение с результатами натурных испытаний

Расчет несущей способности сваи на основе полученных значений длительной прочности выполняется по формуле (2):

$$F_{ui} = R_c \cdot A + \Sigma \left(R_{afc,i} \cdot A_{af,i} \right), \tag{2}$$

где $R_c = \sigma_c$ — среднее значение прочности грунта на сжатие, полученное путем осреднения значений на один диаметр выше и четыре диаметра ниже наконечника зонда, Π а; A — площадь поперечного сечения сваи, м²; $R_{afc,i} = \sigma_s$ — прочность грунта на сдвиг, Па; A_{afi} — площадь поверхности смерзания *i*-го слоя грунта с боковой поверхностью сваи, м².

Важно обратить внимание на то, что последовательное суммирование значений лобового сопротивления и бокового трения выполняется без использования поправочных или иных эмпирических коэффициентов. Основой расчета служат полученные значения длительной прочности грунта. Значения берутся напрямую и суммируются. Расчет производился для сваи квадратного сечения 300 × 300 мм на основе вычисленных значений од и од каждого замера релаксации напряжения для интервала времени 10 дней и 100 лет. Результаты вычислений представлены в табл. 2.

Натурное испытание сваи статической нагрузкой проводилось на железобетонной свае квадратного сечения 300 × 300 мм. Способ погружения сваи — бурозабивной, диаметр лидерной скважины составляет 290 мм. Глубина погружения сваи составила 10,6 м. Натурное испытание сваи статической вдавливающей нагрузкой проводилось в соответствии с ГОСТ 5686-2012 «Методы полевых испытаний сваями» с применением 10 ступеней нагружения, начиная с 10 т с выдерживанием каждой ступени не менее 1 суток. По данным полевых испытаний последняя ступень нагрузки на сваю, при которой сохраняется затухающий характер осадки, составила

Значения несущей способности сваи, рассчитанные для интервала 10 дней и 100 лет

Pile bearing capacity calculated for 10 days and 100 years period

		10 дней		100 лет			
Глубина, м	Лобовое, кН	Боковое, кН	Общее, кН	Лобовое, кН	Боковое, кН	Общее, кН	
1	2	3	4	2	3	4	
3,00	36	37	74	27	13	40	
4,00	38	42	81	26	15	41	
5,00	63	46	109	42	18	60	
6,00	81	65	146	55	29	84	
7,00	175	70	246	111	32	144	
8,00	449	123	572	260	68	328	
9,00	452	166	617	271	90	361	
10,00	427	197	624	275	106	381	
11,00	446	217	662	292	117	409	

 $F_{\mu} = 55$ т. Нагрузка, при которой начала развиваться прогрессирующая осадка, составила $F_{_{\scriptscriptstyle H}}=60$ т. Далее по методике ГОСТ 20522-2012 «Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний» рассчитывались значения предельно-длительной несущей способности по формуле (3):

$$F_{\mathbf{u}}^{\mathbf{H}} = K_{t} \cdot F_{\mathbf{u}}, \tag{3}$$

где $K_{c} = 0.65$.

Таким образом, частное значение предельно-длительного сопротивления сваи составляет $F_{\rm u}^{\rm H} = 35,75 \text{ т.}$

Полученные результаты оказались достаточно близки друг к другу. Видно, что несущая способность забивной сваи длиной 10–11 м в мерзлом грунте при интервале времени 10 дней составляет порядка 62-66 т, а срыв сваи произошел при ступени нагрузки 60 т, приблизительно на 5% меньшей. В свою очередь рассчитанная несущая способность этой сваи при интервале времени 100 лет составляет от 38 до 41 т, а расчетное частное значение предельно-длительного сопротивления сваи составляет около 36 т, что лишь на 8% меньше, чем значение, рассчитанное на основе данных полевого испытания мерзлых грунтов статическим зондированием. Наблюдаемое различие полученных результатов может быть объяснено неоднородностью грунтового массива.

Заключение

Следует отметить, что приводится лишь один пример из большого объема накопленного фактического материала использования статического зондирования в районах распространения многолетнемерзлых грунтов, который подтвержден испытанием натурной сваи статической нагрузкой. Однако рассматриваемый авторами пример проведения полевых испытаний мерзлых грунтов на сегодня опробован на достаточно большом количестве точек статического зондирования в различных регионах [6, 11, 14, 15, 16]. Общий метраж выполненного статического зондирования многолетнемерзлых грунтов только по опыту компании Фугро на сегодня превышает тысячу метров, а максимальная глубина зондирования мерзлых грунтов составляет 62 м. Опробованные мерзлые грунты характеризуются широким диапазоном значений температуры (от 0°С до −6°С), литологическим рядом от песков до глин, различными значениями влажности, плотности и льдистости.

Авторы полагают, что применение статического зондирования для исследования мерзлых грунтов в дополнении к существующим широко распространенным методам геофизических исследований, бурению инженерно-геологических скважин, лабораторному испытанию грунтов существенно повысит качество выполняемых инженерных изысканий, упростит сложные работы в арктических условиях и существенно снизит их стоимость. Статическое зондирование мерзлых грунтов позволит получить дополнительную информацию для характеристики инженерно-геологических условий, необходимую для принятия проектных решений на площадках исследований.

Важно отметить, что предлагаемая методика позволяет определить как мгновенную, так и длительную прочность мерзлых грунтов на сжатие и сдвиг. Эта информация особенно востребована как при проведении лабораторных испытаний механических свойств мерзлых грунтов, так и при натурном испытании свай статической нагрузкой. Знание мгновенной и длительной прочности для мерзлых грунтов позволит уточнить нагрузки и оптимизировать время их приложения при

испытаниях в лабораторных и полевых условиях, что является очень востребованным для повышения качества инженерногеологических изысканий.

Выводы

1. Показано, что применение статического зондирования мерзлых грунтов со «стабилизацией» длительностью первые десятки минут достаточно для определения их реологических свойств. Предложен новый алгоритм расчета длительной прочности, встраиваемый в электронную систему сбора данных статического зондирования, который позволяет с заранее заданной точностью определить длительную прочность мерзлого грунта не-

- посредственно при проведении полевых испытаний статическим зондированием.
- 2. Методика обработки получаемых данных основывается на подходе, разработанном С.С. Вяловым и используемом в лабораторном динамометрическом методе для определения длительной прочности грунтов по кривым релаксации напряжений.
- 3. На примере парного испытания (натурная свая статическое зондирование) проведено сравнение и показана хорошая сходимость результатов расчета несущей способности сваи по данным статического зондирования с натурными испытаниями сваи статической нагрузкой в мерзлых грунтах.

Список литературы

- 1. Волков Н.Г., Соколов И.С., 2018. Сравнение температурных замеров грунтов с помощью статического зондирования и скважинной. Инженерные изыскания, Том XII, № 7-8, с. 16-24.
- 2. Волков Н.Г., Соколов И.С., 2018. Методика расчета несущей способности сваи в многолетнемерзлых грунтах на основе измерений релаксации напряжения, полученных с помощью статического зондирования. Современные технологии проектирования и строительства фундаментов на многолетнемерзлых грунтах, Сборник докладов Международной научно-технической конференции, Москва, 2018, с. 36-42.
- 3. Вялов С.С., 1959. Реологические свойства и несущая способность мерзлых грунтов. Изд-во АН СССР, Москва.
- 4. Вялов С.С., 1978. Реологические основы механики грунтов. Высшая школа, Москва.
- 5. Грачев С.В., Мальцева Л.А., 2005. Релаксация напряжений пружинной ленты при изгибе. УГТУ-УПИ, Екатеринбург.
- 6. Исаев О.Н., Волков Ф.Е., Минкин М.А., 1987. Определение несущей способности свай в пластично-мерзлых грунтах статическим зондированием. Основания, фундаменты и механика грунтов, № 5, с. 17–19.
- 7. Роман Л.Т., 2002. Механика мерзлых грунтов. МАИК «Наука/Интерпериодика», Москва.
- 8. Рыжков И.Б., Исаев О.Н., 2010. Статическое зондирование грунтов. АСВ, Москва.
- 9. Труфанов А.Н., 2015. Определение параметров консолидации грунта методом релаксации напряжений. Инженерные изыскания, № 12, с. 18–21.
- 10. Цытович Н.А., 1973. Механика мерзлых грунтов. Высшая школа, Москва.
- 11. Isaev O.N., Ryzhkov I.B., 2010. TCPT in permafrost: penetrometer soil thermophysical interaction. Proceedings of the Second International Symposium on Cone Penetration Testing., CPT'10, Huntington Beach, USA, Vol. 2, No. 2.
- 12. Lunne T., Robertson P.K., Powell J.J., 2004. Cone penetration testing in geotechnical practice. Spon Press, London and New York.
- 13. Ryzhkov I.B., Isaev O.N., 2016. Cone penetration testing of soils in geotechnics. Bokforlaget Efron and Dotter AB, Stockholm, Sweden.
- 14. Volkov N.G., Sokolov I.S., Jewell R., 2017. Investigation by cone penetration tests of piled foundations in frozen soil maintained by thermosyphons. American Scientific Research Journal for Engineering, Technology and Sciences, Vol. 31, No. 1, pp. 40-58.
- 15. Volkov N.G., Sokolov I.S., Jewell R., 2018. Cone penetration testing of permafrost soils. Proceedings 5th European Conference on Permafrost, Chamonix Mont Blanc, France, pp. 215-216.
- 16. Volkov N.G., Sokolov I.S., Jewell R., 2018. CPT Testing in Permafrost. Proceedings 4th International Symposium on Cone Penetration Testing, CPT'18, Delft, Netherlands, pp. 1258-1268.

References

- 1. Volkov N.G., Sokolov I.S., 2018. Comparison of soil temperature measurement by cone penetration testing and temperature logging in monitoring. Engineering Survey, Vol. XII, No. 7–8, pp. 16–24. (in Russian)
- 2. Volkov N.G., Sokolov I.S., 2018. Calculation technique for pile bearing capacity based on stress relaxation measurements by cone penetration testing in permafrost. Modern technologies for design and construction of foundations on permafrost, Proceedings of International of the scientific-practical Conference, Moscow, 2018, pp. 36-42. (in Russian)

- 3. Vyalov S.S., 1959. Rheological properties and bearing capacity of frozen soils. Publishing house of the Academy of Sciences of the USSR, Moscow. (in Russian)
- 4. Vyalov S.S., 1978. Rheological Fundamentals of Soil Mechanics. Vysshaya shkola, Moscow. (in Russian)
- 5. Grachev S.V., Maltseva L.A., 2005. Stress relaxation of spring strip under bending. Ural'skij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, Ekaterinburg. (in Russian)
- 6. Isaev O.N., Volkov F.E., Minkin M.A., 1987. Estimation of pile bearing capacity in plastic frozen soils by static sounding. Soil Mechanics and Foundation Engineering, No. 5, pp. 17-19. (in Russian)
- 7. Roman L.T., 2002. Mechanics of frozen soils. MAIK "Nauka/Interperiodika", Moscow. (in Russian)
- 8. Ryzhkov I.B., Isaev O.N., 2010. Cone Penetration Testing of Soils. ASV, Moscow. (in Russian)
- 9. Trufanov A.N., 2015. Determination of soil consolidation parameters by the stress relaxation method. Engineering Survey, No. 12, pp. 18–21. (in Russian)
- 10. Tsytovich N.A., 1973. Mechanics of frozen ground. Vysshaya shkola, Moscow. (in Russian)
- 11. Isaev O.N., Ryzhkov I.B., 2010. TCPT in permafrost: penetrometer soil thermophysical interaction. Proceedings of the Second International Symposium on Cone Penetration Testing., CPT'10, Huntington Beach, USA, Vol. 2, No. 2.
- 12. Lunne T., Robertson P.K., Powell J.J., 2004. Cone penetration testing in geotechnical practice. Spon Press, London and New York.
- 13. Ryzhkov I.B., Isaev O.N., 2016. Cone penetration testing of soils in geotechnics. Bokforlaget Efron and Dotter AB, Stockholm, Sweden.
- 14. Volkov N.G., Sokolov I.S., Jewell R., 2017. Investigation by cone penetration tests of piled foundations in frozen soil maintained by thermosyphons. American Scientific Research Journal for Engineering, Technology and Sciences, Vol. 31, No. 1, pp. 40-58.
- 15. Volkov N.G., Sokolov I.S., Jewell R., 2018. Cone penetration testing of permafrost soils. Proceedings 5th European Conference on Permafrost, Chamonix Mont Blanc, France, pp. 215-216.
- 16. Volkov N.G., Sokolov I.S., Jewell R., 2018. CPT Testing in Permafrost. Proceedings 4th International Symposium on Cone Penetration Testing, CPT'18, Delft, Netherlands, pp. 1258-1268.

Информация об авторах

ВОЛКОВ НИКОЛАЙ ГЕНРИХОВИЧ

Ведущий инженер 000 «ГЕОИНЖСЕРВИС» (группа компаний «Фугро»), P.Eng. (профессиональный инженер, Канада), к.г-м.н., г. Москва, Россия

СОКОЛОВ ИВАН СЕРГЕЕВИЧ

Инженер-геолог ООО «ГЕОИНЖСЕРВИС» (группа компаний «Фугро»), г. Москва, Россия

Information about the authors

NIKOLAY G. VOLKOV

Lead engineer of the «GEOINGSERVICE» LLC (Fugro Group), P.Eng., PhD (Candidate of Science in Geology and Mineralogy), Moscow, Russia

IVAN S. SOKOLOV

Geotechnical Engineer of the «GEOINGSERVICE» LLC (Fugro Group), Moscow, Russia

ГЕОТЕХНИКА

Журнал для изыскателей, проектировщиков и строителей

Периодичность в 2019 году:

4 номера

Цель журнала — ознакомление российских специалистов с передовым отечественным и зарубежным опытом в области геотехники

Стоимость годовой подписки:

2600 рублей

info@geomark.ru