

Новое в нормах по статическому зондированию грунтов в России

Исаев О.Н., НИИОСП, Москва

АБСТРАКТ: Приведены основные изменения в российских нормах по статическому зондированию грунтов. Изложены новые положения в межгосударственном стандарте ГОСТ 19912-2012 «Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием». Изложены основные положения нового раздела «Определение механических свойств и несущей способности оснований свай в многолетнемерзлых грунтах по результатам статического зондирования» в своде правил СП 25.13330.2012 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах».

1 ВВЕДЕНИЕ

Статическое зондирование как метод испытания грунта с помощью механизированных установок в России появилось в XX веке, однако в упрощенном виде оно применялось не менее 200 лет. В «Записке об исследовании грунтов земли» [1] некоего «подполковника Волкова», изданной в Санкт-Петербурге в 19836 г., приводится описание ручных зондов, которые рассматриваются автором как нечто давно известное строителям его времени.

Первые нормы, регулирующие испытания грунтов методом статического зондирования появились в России в период существования бывшего СССР во второй половине XX века. В 1972 г. появился документ СН 448-72 «Указания по зондированию грунтов для строительства» [2], в 1974 г. - государственный стандарт ГОСТ 20069-74 «Грунты. Метод полевого испытания статическим зондированием» [3]. В этих нормах излагались единые требования к: оборудованию, проверке, подготовке и проведению испытания, обработке результатов. Было установлено, что зонд и штанга должны иметь диаметр 36 мм, скорость погружения зонда - не более 1 м/мин, сопротивление грунта по боковой поверхности зонда может измеряться по всей его длине либо только по муфте трения. Эти и другие требования с небольшими изменениями и дополнениями вошли в измененную редакцию государственного стандарта ГОСТ 20069-81 [4], а затем в межгосударственный стандарт ГОСТ 19912-2001 [5], согласно которому испытания грунтов зондированием применяют в комплексе с другими видами инженерно-геологических работ или отдельно для:

- выделения инженерно-геологических элементов (толщины слоев и линз, границ распространения грунтов различных видов и разновидностей);
- оценки пространственной изменчивости состава и свойств грунтов;
- определения глубины залегания кровли скальных и крупнообломочных грунтов;
- количественной оценки характеристик физико-механических свойств грунтов (плотности, модуля деформации, угла внутреннего трения и сцепления грунтов и др.);
- определения степени уплотнения и упрочнения грунтов во времени и пространстве;
- оценки возможности забивки свай и определения глубины их погружения;
- определения данных для расчета свайных фундаментов;

- выбора мест расположения опытных площадок и глубины проведения полевых испытаний, а также мест отбора образцов грунтов для лабораторных испытаний;
- контроля качества геотехнических работ.

Строительные нормы и правила, устанавливающие требования к методам использования результатов статического зондирования для оценки геотехнических свойств грунтов (прочностные и деформационные свойства грунтов, несущая способность свай и др.) появились в России примерно в то же время, что и первый стандарт на испытание грунтов методом статического зондирования. Например, первым документом, нормирующим вопросы определения несущей способности свай по данным зондирования, явились введенные Госстроем СССР в 1962 г. строительные нормы и правила СНиП II-Б.5-67* "Свайные фундаменты. Нормы проектирования» [6], которые в 1977 г. были заменены на СНиП II-17-77 «Свайные фундаменты» [7]. В дальнейшем, несмотря на совершенствование и актуализацию строительных норм и правил, заложенные в СНиП II-17-77 методики расчета свай по данным зондирования существенно не менялись.

В 2012...2013 г.г. в Российских нормах по статическому зондированию произошли очередные изменения. Во-первых, появилась новая редакция межгосударственного стандарта ГОСТ 19912-2012 [8]. Во-вторых, в своде правил СП 25.13330.2012 [9] по проектированию оснований и фундаментов на вечномерзлых грунтах появился новый раздел «Определение механических свойств грунтов и несущей способности оснований свай в многолетнемерзлых грунтах по результатам статического зондирования».

Оба документа разработаны в НИИОСП им. Н.М Герсеванова (Москва, Россия) при участии ведущих геотехнических научно-исследовательских и проектно-изыскательских организаций России.

На протяжении нескольких десятилетий статическое зондирование в бывшем СССР (и, соответственно, в России и нынешних странах СНГ) развивалось в направлении, во многом отличном от путей, какими шли государства Западной Европы и американского континента. Сформировались разные научно-технические школы со своими теоретическими представлениями, своими практическими приемами, формулами, таблицами и проч., что, естественно, нашло отражение и в нормативных документах. В настоящее время, в условиях постепенной интеграции различных инженерных подходов представляется полезным объективный анализ этих подходов, с тем чтобы в дальнейшем по возможности сохранить положительные стороны обоих подходов.

Анализируя мировой опыт применения статического зондирования, Т. Лун и др. [11] называют более десяти характеристик грунта, определяемых по данным статического зондирования (не рассматривая работ, выполненных в СССР и России). В основном они относятся к оценке состояния грунтов, их прочности, деформируемости и фильтрационных качеств. Большинство из таких определений не противоречит содержанию российских нормативных документов, но некоторые из них все же имеют отличия, которые заслуживают особого внимания.

Таковыми, например, являются следующие:

- в российских нормах [14] по данным зондирования определяются два прочностных параметра грунта (φ и c), в то время как в западноевропейских нормах ограничиваются определением одного параметра s_u – прочности грунтов на срез (без привязки к нормальным напряжениям, т.е. при допущении $\varphi = 0$);
- сопротивление грунта на муфте трения f_s в западноевропейских нормах используется лишь при определении «фрикционного отношения» $f_s/q_c (\times 100\%)$, в то время как в российских нормах f_s используется для определения сопротивления грунта на боковой поверхности свай, при определении некоторых свойств грунтов (показателя текучести I_L) [13, 14];

Методика определения φ и c прошла многолетнюю производственную проверку, подтвердившую ее приемлемость, и, по-видимому, она вполне может использоваться за пределами России. Использование сопротивления грунта на муфте трения f_s при расчете несущей способности свай имеет еще более длительную историю, так как основанные на этом расчеты используются в бывшем СССР и России около 50 лет, и в настоящее время изложены в СП 24.13330.2011 [13].

Следует при этом отметить, что в российских зондах, применявшихся до настоящего времени, длина муфты трения составляла 310 мм, что больше основного размера, рекомендованного международными стандартами (133,7 мм). Исследования же, проводимые в бывшем СССР, показали, что удельные сопротивления грунта распределяются на муфте трения не равномерно, а проявляют тенденцию к убыванию по мере отдаления от конического наконечника [10]. В связи с этим сопротивление грунта на муфте трения у западноевропейских установок (Fugro, Van der Berg и др.) должно быть на 10...15% выше, чем у российских установок. По этой же причине «фрикционные отношения» f_s/q_c ($\times 100\%$) в одних и тех же грунтах у западноевропейских установок будут тоже на 10...15% выше, чем у российских установок с муфтой 310 мм.

2 НОВОЕ В МЕЖГОСУДАРСТВЕННОМ СТАНДАРТЕ ГОСТ 19912-2012

Стандарт ГОСТ 19912-2012 регламентирует методы полевых испытаний грунтов статическим и динамическим зондированием при их исследовании для проектирования и строительства. В данном докладе рассматриваются лишь изменения, касающиеся метода статического зондирования.

Основные изменения в стандарте, которые произошли по сравнению с его предыдущей редакцией, следующие.

Расширена область применения зондирования – зондирование может дополнительно применяться для оценки *состояния грунтов*. Например, в условиях распространения многолетнемерзлых грунтов по данным статического зондирования можно оценить, находится ли грунт в талом или мерзлом состоянии, определить глубину залегания кровли мерзлых грунтов.

Названия типов зондов для статического зондирования откорректированы - термины «зонд I типа» и «зонд II типа» заменены соответственно на термины «*механический зонд*» и «*электрический зонд*». Введенные термины являются общепринятыми в международной геотехнической практике, они более удобны при использовании.

Введен термин «*специальный зонд*», который охватывает группу зондов, позволяющих измерять кроме показателей сопротивления грунта внедрению зонда дополнительные характеристики грунта и (или) контролировать процесс зондирования. В качестве дополнительных устанавливаемых измерительных датчиков и устройств могут использоваться: датчики порового давления, температуры, радиоактивного каротажа, электрического сопротивления, сейсмодатчики, инклинометр и др. Появление нового термина вызвано тем, что такие зонды все чаще стали использоваться в практике российских изыскателей, прежде всего в особых грунтовых условиях.

Ведено положение о том, что при испытании грунтов на глубину более 10 м следует применять специальные зонды с наконечниками, оснащенными *инклинометром*, показания которого необходимо использовать для определения фактической глубины зондирования и предотвращения поломки зонда. Данное положение обусловлено увеличением глубин зондирования в современных условиях (особенно при высотном и подземном строительстве), что повышает погрешность измерений за счет отклонения зонда от вертикали и увеличивает опасность повреждения зонда.

Ведено положение о том, что при статическом зондировании электрическими зондами регистрация показателей и параметров на электронном запоминающем устройстве обязательна, независимо от других методов регистрации. Это вызвано увеличением информации, подлежащей фиксации при зондировании; необходимостью снижения погрешностей и неточностей измерений, вызванных человеческим фактором (в том числе в результате действий недобросовестных изыскателей); необходимостью компьютерной обработки данных зондирования, которая сегодня фактически применяется повсеместно.

Введена возможность применения дополнительных методик испытаний грунтов статическим зондированием. Это вызвано тем, что наряду со стандартной методикой, предусматривающей непрерывное задавливание зонда в грунт с постоянной скоростью, в российской и международной практике изысканий нередко используют прерывистое статическое зондирование, включаю-

щее периодические остановки зонда с заданным интервалом по глубине, при которых дополнительно выполняются испытания по нестандартным методикам (*диссипационные, квазистатические и релаксационно-ползучие испытания*). В стандарте приведены их определения.

Испытание *диссипационное* - испытание, при котором в процессе остановки специального зонда на заданной глубине с помощью установленного в его наконечник датчика измеряется рассеивание порового давления в прилегающем к зонду грунте. Продолжительность испытания, как правило, определяется моментом, когда начальное значение порового давления уменьшится на 50 %.

Испытание *квазистатическое* - испытание, при котором после остановки зонда на заданной глубине выполняется серия коротких погружений зонда на очень малых хорошо контролируемых ступенчато-возрастающих скоростях.

Испытание *релаксационно-ползучее* («со стабилизацией» зонда) - испытание, при котором в процессе остановки зонда на заданной глубине нагрузка на зонд и скорость его погружения в результате релаксации и ползучести окружающего зонд грунта плавно снижаются с уменьшающейся интенсивностью. Испытание выполняют путем прекращения подачи масла в гидродомкраты вдавливания зонда. В процессе испытания могут дополнительно измеряться осадка, температура зонда, поровое давление и др. Продолжительность испытания, как правило, составляет не менее 5 – 10 мин и определяется задаваемым условным критерием стабилизации одного из измеряемых параметров или задаваемым временем стабилизации.

Введено положение, что для предотвращения повреждения зонда в прочных грунтах допускается задавливать зонд с пониженной скоростью 0,5 м/мин. Это объясняется тем, что на практике задавливать зонд в прочные грунты на стандартной скорости 1,2 м/мин фактически не удастся и испытания выполняются на более низких скоростях, что нередко не указывается в журналах испытаний и соответственно не учитывается при использовании данных зондирования.

Введена возможность и понятие «*наклонное зондирование*», которое может применяться, например, при исследовании и контроле грунтов из котлованов и тоннелей.

Введена возможность «*комбинированного зондирования*». Когда сложно достичь заданную программой изысканий глубину вдавливания зонда (например из-за прослойки прочного грунта) испытание можно выполнять с забоя предварительно пробуриваемой скважины, которая при необходимости должна обсаживаться трубой с внутренним диаметром, превышающим диаметр зонда на 5 – 10 мм.

Откорректирован и расширен раздел «Термины и определения». Это вызвано отсутствием ряда важных терминов и определений, а также гармонизацией с терминами и определениями международных стандартов.

Составлено новое приложение «Термины и определения, используемые в международных стандартах на испытание грунтов методами зондирования», рассматривающее основные термины и определения международных и общеевропейских (IRTP for CPT, 1989; IRTP for CPT and CPTU, 2001; ISO 22476-1, ISO 22476-12), а также американского общества гражданских инженеров (ASTM D3441-98, ASTM D5778-07) стандартов. Появление данного приложения вызвано тенденцией более широкого использования импортных зондов и зарубежных методик испытаний в практике российских изыскательских организаций, а также участвовавшими случаями неточного перевода зарубежных терминов и как следствие некорректного использования получаемых данных.

3 СТАТИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ В СП 25.13330.2012

В новой редакции строительных норм и правил СП 25.13330.2012 «Основания и фундаменты на вечноммерзлых грунтах» появился раздел «Определение механических свойств и несущей способности оснований свай в многолетнемерзлых грунтах по результатам статического зондирования», регламентирующий требования к оборудованию, методике и использованию данных статического зондирования при проектировании оснований и фундаментов на вечноммерзлых грунтах.

Требования к оборудованию. Для испытаний должен использоваться электрический зонд с конусом и муфтой трения, оснащенный датчиком температуры, расположенным в конусе наконечника зонда. В международной практике испытания таким зондом часто называются «Cone penetration test with temperature measurement (ТСРТ)».

Отсутствие в документе возможности применения механического зонда обусловлено целым рядом его недостатков, делающих данный зонд в значительной степени «морально» устаревшим. В силу конструктивных особенностей он крайне сложно поддается оснащению дополнительными датчиками (в том числе температурным, что в условиях мерзлоты крайне важно) и устройствами, позволяющими определять дополнительные параметры грунта или контролировать процесс зондирования. Кроме этого, российская конструкция механического зонда не позволяет определять локальное сопротивление грунта вдоль боковой поверхности зонда – у него отсутствует муфта трения. Поэтому этот тип зонда российскими изыскателями почти не используется [10]. Аналогичная ситуация сложилась и в международной практике [11]. Так, например, в материалах последнего Международного симпозиума по статическому зондированию CPT-10 (Huntington Beach, USA, 2010) публикации, посвященные его применению, фактически отсутствуют.

Одна из ключевых проблем применения статического зондирования в условиях мерзлоты – сложность внедрения зонда в мерзлый грунт¹. Пути ее решения следующие:

- необходимо использовать установки тяжелого типа с усилием вдавливания зонда не менее 100 кН; для северных условий приоритет следует отдавать установкам на базе тяжелых вездеходов, позволяющих обеспечить требуемое усилие вдавливания зонда без применения анкерных устройств (надежно заанкериться на мерзлоте часто очень сложно) только за счет массы вездехода и имеющих высокую проходимость в труднодоступных районах;

- следует, из-за опасности потери устойчивости, максимально уменьшить длину свободной части штанги, выступающей над дневной поверхностью (при зондировании в обычных грунтах это одна из основных причин прекращения испытаний), путем использования гидрозажима (имеется например, на российской установке С-832М) или специальной направляющей обсадной трубы;

- при необходимости надо использовать «комбинированное» зондирование (испытание выполняется с использованием буровой установки, позволяющей попеременно разбуривать труднопроходимые твердомерзлые слои грунта и задавливать зонд);

- необходимо, как правило, над наконечником устанавливать уширитель; его диаметр должен превышать диаметр зонда на 10...20 мм и располагаться не ближе 300 мм от муфты трения, чтобы не вносить дополнительные погрешности при измерении сопротивлений грунта вдоль муфты трения.

Требования к методике испытаний. Статическое зондирование должно выполняться путем вдавливания зонда с постоянной скоростью $0,5 \pm 0,1$ м/мин с периодическими остановками по глубине (рекомендуемый интервал 0,5...1 м), при которых испытание переводят в релаксационно-ползучий режим («со стабилизацией» зонда), сопровождаемый вмерзанием зонда в грунт и изменением сопротивлений грунта зондированию во времени. «Стабилизацию» зонда заканчивают после завершения вмерзания зонда в грунт.

Стандартная, более высокая, скорость зондирования $1,2 \pm 0,3$ м/мин в нормах не предусматривается из-за повышенной прочности мерзлого грунта и как следствие опасности повреждения зонда. Ужесточение в нормах требования к точности выдерживания скорости зондирования обусловлено их реологичностью и повышенной чувствительностью к скорости погружения.

Введение требования испытания зонда в релаксационно-ползучем режиме позволяет без увеличения их длительности (периодические остановки зонда необходимы, прежде всего, для определения природной температуры грунта) получить ценную информацию о виде, состоянии и реологических свойствах грунтов. Эта методика испытаний не является абсолютно новой. Лабораторные испытания мерзлых грунтов в релаксационно-ползучем режиме, часто называемые «динамометрическими», начали применяться в СССР еще в 60-х годах прошлого века. Примерно

¹ Широкое внедрение статического зондирования на мерзлоте в значительной степени сдерживается из-за психологического фактора – устойчивого мифа о невозможности статического зондирования мерзлоты. Один из авторов статьи, отправляясь в свою первую экспедицию в начале 1980-х годов за полярный круг, столкнулся с полным неверием оператора зондирующей установки в ее успехе – в случае успеха он обещал станцевать танец «цыганочка» на крыше установки.

в это же время на обычных талых грунтах, одновременно с созданием и внедрением установки статического зондирования С-832, начал применяться метод зондирования «со стабилизацией» [10].

Фиксация параметров и результатов зондирования. В процессе испытаний должны измеряться и фиксироваться: удельные сопротивления грунта под конусом и вдоль боковой поверхности муфты трения при вдавливании (q_{cv} и f_{sv}), испытаниях в режиме «стабилизации» (q_{cs} и f_{ss}) и в начальный момент дополнительного вдавливания (додавливания) зонда после завершения его вмерзания в грунт в процессе «стабилизации» (q_{ci} и f_{si}); температура конуса зонда при его задавливании и «стабилизации» (T_{cc} и T_{cs}); глубина и скорость вдавливания (V_c) зонда; время t_s , прошедшее после начала режима «стабилизации» зонда.

Требования к способам и периодичности фиксации показателей зондирования в документе отсутствуют. Их выбор должен осуществляться в соответствии с указаниями межгосударственного стандарта ГОСТ 19912-2012, согласно которому при вдавливании зонда с постоянной скоростью значения q_{cv} , f_{sv} и T_{cv} следует регистрировать непрерывно или с интервалами по глубине погружения зонда не более 0,1 м. При релаксационно-ползучем режиме испытаний значения q_{cs} , f_{ss} и T_{cs} должны регистрироваться: в момент, предшествующий прекращению погружения зонда; сразу после начала «стабилизации»; через 0,5 мин; с 1 по 10 минуту – с интервалом 1 мин и далее с интервалом 2 мин.

Определение природной температуры мерзлых грунтов T_n можно осуществлять по показаниям температурного датчика в конусе зонда T_{cs} , фиксируемым в процессе его «стабилизации». С достаточной для практических целей точностью допустимо считать, что зонд принял природную температуру грунта, если изменение величины T_{cs} , за последние 5 мин составило не более 0,05 °С. До последнего времени температуру мерзлых, промерзающих и протаивающих грунтов определяли единственным методом – путем измерений в предварительно устраиваемых термометрических скважинах, согласно стандарту ГОСТ 25358-82.

Определение состояния грунтов (талое или мерзлое). Наличие информации о природной температуре грунтов недостаточно для оценки их физического состояния. Необходимо дополнительно знать температуру начала замерзания грунтов, которая зависит от целого ряда факторов - литологии, засоленности и т.д. Поэтому в нормы введена возможность определения состояния грунтов по диаграммам, составляемым на основе местного опыта сопоставления результатов бурения разведочных скважин и данных зондирования. При отсутствии местного опыта для глинистых пластичномерзлых незасоленных и незаторфованных грунтов допускается использовать приведенную в документе диаграмму « $q_{cv} - q_{cv}/q_{cs}$ », основанную на том, что глинистые пластичномерзлые грунты по сравнению с талыми имеют более высокие временную прочность и реологичность.

Помочь изыскателю идентифицировать состояние грунта могут и другие, не введенные в рассматриваемые нормы, признаки, также основанные на использовании зондирования:

– при переходе от талого грунта к мерзлому и наоборот наблюдается резкое изменение «скоростных» сопротивлений грунта под конусом зонда q_{cv} ;

– при испытаниях глинистых пластичномерзлых грунтов, после начала режима «стабилизации», сопротивления вдоль муфты трения f_{ss} в первые несколько минут увеличиваются (для талых глинистых грунтов это нетипично); данное явление объясняется интенсивным вмерзанием муфты трения в грунт и преобладанием этого процесса над процессом релаксации напряжений в грунте;

– погружение наконечника зонда в талый и твердомерзлый грунты, как правило, сопровождается их разогревом, степень которого может достигать соответственно 10 и 1 °С; в тоже время погружение зонда в пластичномерзлый грунт часто сопровождается проявлением эффекта «псевдоаномального» охлаждения зонда (примерно на величину до 0,5 °С); поэтому если грунт имеет отрицательную температуру, то данный эффект всегда свидетельствует о том, что грунт находится в мерзлом, а не охлажденном состоянии; этот признак особенно полезен при исследовании засоленных грунтов.

Определение механических свойств пластичномерзлых грунтов. Документ позволяют определить нормативные величины предельно длительных значений эквивалентного сцепления C_{eq} и компрессионного модуля деформации E_f пластичномерзлых грунтов. Это можно сделать по приведенным в стандарте в табличном виде эмпирическим зависимостям $C_{eq} = \psi_1(q_{cv})$ и $E_f = \psi_2(q_{cv})$. При расчетной температуре грунта $T_{m,z,e}$ откорректированные значения C'_{eq} и E'_f должны

определяться путем умножения их на поправочные температурные коэффициенты, рассчитываемые на основе использования эмпирических зависимостей $C_{eq}(T)$ и $E_f(T)$. Для этих целей можно использовать также откорректированные значения q'_{cv} , рассчитываемые с использованием эмпирических зависимостей $q_{cv}(T)$.

Следует обратить внимание, что знание эквивалентного сцепления C_{eq} позволяет при необходимости оценить и другие показатели прочностных свойств пластичномерзлых грунтов. Рассмотрим эти возможности.

«Чистое» сцепление C пластичномерзлых грунтов можно рассчитать по известной зависимости [12]

$$C = M (C_{eq}), \quad (1)$$

где M = поправочный коэффициент, равный $M = 1$ (при $\varphi < 5^\circ$), $M = 0,615$ (при $\varphi = 10^\circ$), $M = 0,285$ (при $\varphi = 20^\circ$).

Соппротивление пластичномерзлых грунтов одноосному сжатию R_c можно определить по заложенной в своде правил [9] формуле

$$R_c = 2C_{eq}. \quad (2)$$

Определение предельно длительного сопротивления основания вертикально нагруженной сваи. Согласно нормам, определение сопротивлений оснований забивных или бурозабивных свай F_u в пластичномерзлых грунтах по данным статического зондирования следует выполнять по формуле

$$F_u = k (RA + \gamma_{af} \sum R_{af,i} A_{af,i}), \quad (3)$$

где k = коэффициент, учитывающий различие в состоянии многолетнемерзлых грунтов в периоды испытаний и эксплуатации проектируемого сооружения; $R = \beta_1 q_{cv}$ = удельное предельно длительное сопротивление пластичномерзлого грунта под нижним концом сваи, β_1 = эмпирический коэффициент; A = площадь поперечного сечения сваи; γ_{af} = коэффициент, зависящий от вида поверхности смерзания; $R_{af,i} = \beta_2 f_{si}$ = удельное предельно длительное сопротивление пластичномерзлого грунта сдвигу по боковой поверхности смерзания сваи в пределах i -го слоя грунта, β_2 = коэффициент, принимаемый в зависимости от соотношения сечений лидерной скважины и сваи; $A_{af,i}$ = площадь поверхности смерзания i -го слоя грунта с боковой поверхностью сваи.

Результаты статического зондирования могут быть полезны при расчете оснований и других видов фундаментов. Например, используя зависимость $C_{eq} = \psi_1 (q_{cv})$ можно рассчитать удельное предельно длительное сопротивление мерзлых грунтов R под нижним концом буроопускных, опускных и бурообсадных свай, а также под подошвой столбчатых фундаментов

$$R = 5,7C_{eq} / \gamma_g + \gamma_1 d, \quad (4)$$

где γ_g = коэффициент надежности по грунту, γ_1 = расчетное значение удельного веса грунта, d = глубина заложения фундамента.

Список литературы

1. Записка объ изслѣдованіи грунтовъ земли, производимом въ строительнмъ искусствѣ / Соч. Корп. Инж. путей сообщения подполковника Волкова. – Санкт-Петербургъ: Тип. Гл. Упр. путей сообщения и публ. зданий, 1836. – 62с.
2. СН 448-72 «Указания по зондированию грунтов для строительства».- М.: Стройиздат, 1973.- 30 с.
3. ГОСТ 20069-74. Грунты. Метод полевого испытания статическим зондированием. – М.: Издательство стандартов, 1974.- 8 с.

4. ГОСТ 20069-81. Грунты. Метод полевого испытания статическим зондированием. . – М.: Издательство стандартов, 1981.- 12 с.
5. ГОСТ 19912-2001. Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием. - М.: Госстрой России, 2001.-19с.
6. СНиП II-Б.5-67* "Свайные фундаменты. Нормы проектирования». – М.: Стройиздат, 1968. – 39 с.
7. СНиП II-17-77 «Свайные фундаменты». – М.: Стройиздат, 1978. – 41 с.
8. ГОСТ 19912-2012. Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием. – М.: Стандартинформ, 2012. – 36 с.
9. СП 25.13330.2012 Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах.- М.: ОАО «ЦПП», 2013.- 162 с.
10. Рыжков И.Б., Исаев О.Н. Статическое зондирование грунтов. – М.: Издательство «АСВ», 2010. – 496 с.
11. Lunne T., Robertson P.K. and Powell J.J.,M. 2004. Cone penetration testing in geotechnical practice. London and New York: Spon Press. 312 p.
12. Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов. – М.: Высш. Школа, 1973. – 448 с.
13. СП 24.13330.2012 Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85* Свайные фундаменты.- М.: ОАО «ЦПП», 2011.- 85с.
14. СП 47.13330.2012 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11.02.03-96* - М.: ОАО «ЦПП», 2012.- 110с.