

Д. Н. КУТЛИЯРОВ
А. Н. КУТЛИЯРОВ
Л. Р. ЗАГИТОВА
А. Ю. КОНОНОВА

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ И ИСПЫТАНИЯ ГРУНТОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

GEOTECHNICAL ENGINEERING SURVEYS AND SOIL TESTING
IN THE CONSTRUCTION OF BUILDINGS AND STRUCTURES

Предлагается способ повышения эффективности инженерно-геотехнических изысканий за счет рационального использования быстрых приближенных методов испытаний грунта («экспресс-методов»). Такие испытания рекомендуется выполнять в большом объеме и рассматривать как средство оценки геотехнического строения площадки в целом. В работе эти вопросы рассматриваются на примере определения несущей способности свай по данным статического зондирования и статических испытаний натуральных свай. Предложена математическая модель оценки информативности комплекса испытаний, основанная на понятиях теории информации. Расчеты по этой модели показывают, что информативность большого числа приближенных испытаний может (из-за неоднородности грунта) превышать информативность малочисленных точных испытаний.

Ключевые слова: испытания грунтов, точность (достоверность) испытаний, статическое зондирование грунтов, несущая способность свай, погрешность, строительство

Введение

Инженерно-геотехнические изыскания и испытания грунтов играют решающую роль в обеспечении надежности и безопасности при строительстве зданий и сооружений. Инженерно-геологические и инженерно-геотехнические изыскания часто связаны с проведением большого числа различных испытаний грунтов (статическое зондирование, динамические испытания свай, динамическое зондирование, статические испытания эталонных или натуральных свай, испытания грунта штампом, прессиомером, геофизические исследования и т. д.). Результаты таких испытаний могут существенно различаться по своей достоверности, количеству. Это обстоятельство затрудняет обобщение получаемых данных, так как изыскателю

The article suggests a way to increase the efficiency of geotechnical engineering surveys through the rational use of fast approximate methods of soil testing ("express methods"). Such tests are recommended to be carried out in large volume and considered as a means of assessing the geotechnical structure of the site as a whole. In this paper, these issues are considered by the example of determining the bearing capacity of piles according to static sounding data and static tests of full-scale piles. A mathematical model for assessing the information content of the test complex based on the concepts of information theory is proposed. Calculations based on this model show that the informativeness of a large number of approximate tests may (due to the heterogeneity of the soil) exceed the informativeness of a small number of accurate tests.

Keywords: Soil testing, accuracy (reliability) of tests, static sounding of soils, bearing capacity of piles, sinfulness, construction

приходится иметь дело с множеством частных значений искомого показателя, отражающих не только условия различных точек площадки, но и достоверность самих испытаний. Ни российские, ни зарубежные нормативные документы по вопросам геотехники не содержат четких указаний по анализу неравнозначных испытаний, что на практике приводит к упрощенному подходу, когда решения принимаются по результатам наиболее точного метода, а результаты прочих методов рассматриваются как «подстраховка» и практически не отражаются на принимаемых решениях. Естественно, что в условиях сжатых сроков работ это порождает у практика-изыскателя скептический вопрос: нужны ли вообще все эти приближенные испытания? Не ограничиться ли применением только «точных» испытаний?

Такое недоиспользование приближенных методов испытаний характерно не только для российской, но и зарубежной изыскательской практики. Возникающая ситуация представляется ненормальной, так как на проведение приближенных испытаний приходится затрачивать много времени и материальных средств, а влияние их на окончательный результат минимально.

Методика и постановка задачи

Описанная ситуация особенно часто проявляется в изысканиях для строительства объектов на свайных фундаментах, когда искомым показателем становится несущая способность свай, а для ее определения параллельно используются методы различной точности. Такими методами обычно становятся статическое зондирование грунтов и статические испытания натуральных свай (по современной терминологии «испытания грунтов сваями») [1–6]. Это наиболее точные методы оценки сопротивлений свай, но они существенно различаются по многим своим качествам, в связи с чем на их примере удобно рассматривать роль приближенных и «точных» методов испытаний в геотехнических изысканиях [4, 7, 8].

Статическое зондирование – это быстрый, дешевый метод оценки сопротивлений свай, получивший широкое применение во всем мире [3]. По достоверности оценки сопротивлений свай зондирование уступает статическим испытаниям натуральных свай, но статические испытания намного дороже и продолжительнее. Статическое зондирование, проведенное на глубину 10–15 м, позволяет (при использовании соответствующих компьютерных программ) за считанные минуты оценить сопротивление свай любой длины в рассматриваемом интервале глубин (например от 3 до 15 м). При этом «погрешность» определения искомого сопротивления свай обычно находится в пределах 30–35 % [1, 7]. Примерно такая же достоверность у зарубежных методов расчета сопротивлений свай по данным зондирования [7, 8]. В то же время статическое испытание сваи («испытание грунта сваей») продолжается несколько суток, причем перед этим требуется изготовление свай, доставка этих свай (испытываемой и анкерных) к месту испытания, забивка свай и двух- трехнедельная выдержка в грунте («отдых» свай). Все это требует затрат времени около месяца. Хотя достоверность результата такой оценки сопротивления сваи высока («погрешности» менее $\pm 5\%$), стоимость ее примерно в 20–30 раз выше стоимости определений по данным зондирования, а затраты времени (если

учитывать забивку и «отдых») в десятки и даже сотни раз больше, чем при использовании статического зондирования. При этом специалисты по геотехнике во всем мире рассматривают результаты статических испытаний свай условно как «точные», а результаты расчетов по данным зондирования – как «приближенные».

Результаты исследований

Для теоретической оценки информативности любого приближенного метода необходимо установить количественные критерии достоверности его результатов. Таковыми обычно являются данные прошлого опыта в виде результатов сопоставления «точных» и приближенных показателей. Для проверки достоверности определения сопротивлений свай по данным зондирования необходимо сравнить их сопротивление, определенное через зондирование, с результатами статических испытаний натуральных свай.

На рис. 1 приведены результаты таких сопоставлений, выполненные институтом БашНИИстрой [1] в период 60–80-х гг. прошлого века. Статическое зондирование выполнялось установкой С-832. Расчеты сопротивлений свай производились методом, изложенным в действовавших в то время российских нормативных документах – СНиП II-17-77, СНиП 2.02.03-85 (методика расчета сохранилась без изменения до настоящего времени).

Инженерно-геологические условия площадок, на которых проводилось сравнение, характеризовались в основном аллювиальными и делювиальными отложениями, преимущественно глинистыми, но в отдельных случаях встречались площадки с другими отложениями (флювиогляциальными, моренными и др.). Площадки располагались в европейской и западносибирской частях бывшего СССР (города Москва, Санкт-Петербург, Уфа, Пермь, Тюмень, Самара и др.). Использовались результаты испытаний более 500 свай сечением от 0,2×0,2 до 0,4×0,4 м (в основном 0,3×0,3 м), длиной от 3 до 18 м. В статических испытаниях свай за предельное сопротивление принималась нагрузка, при которой осадка составляла 2 см. Аналогичные результаты для других приближенных испытаний были получены в 80-е гг. специалистами института «Фундаментпроект» [7].

Отображенные на рис. 1 сведения позволяют оценивать точность отдельных (частных или обобщенных) значений сопротивлений свай. Однако на практике часто приходится сталкиваться с ситуацией, когда необходима оценка не отдельных значений сопротивлений, а площадки в целом, включая выяснение расположе-

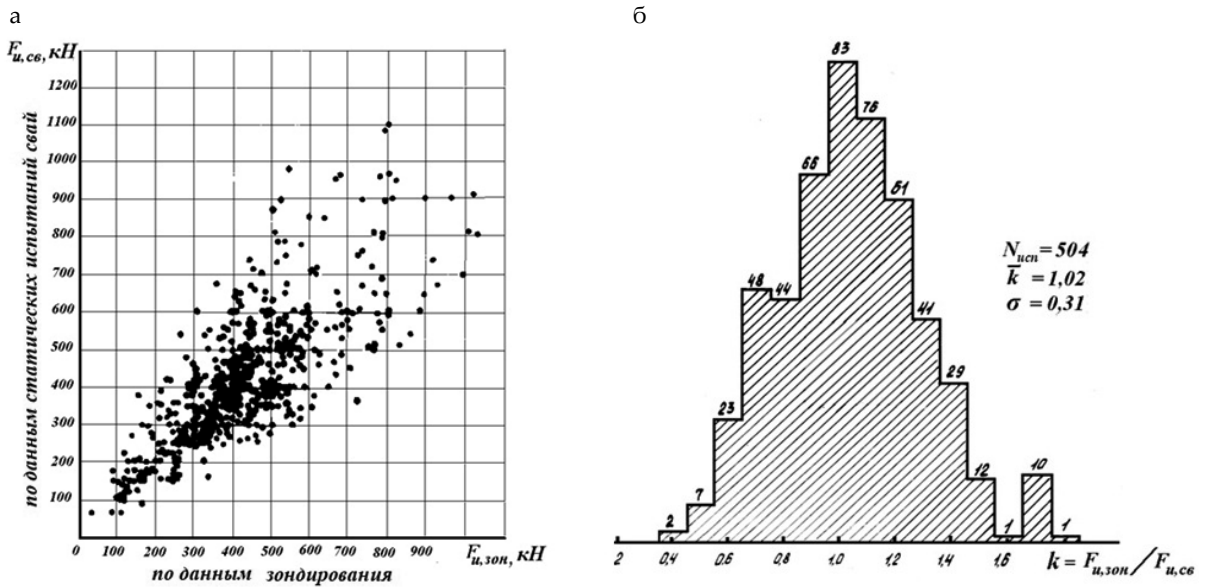


Рис. 1. Результаты сопоставления предельных сопротивлений забивных призматических свай, рассчитанных по данным зондирования, $F_{u,son}$ с сопротивлениями, полученными путем их статических испытаний, $F_{u,cb}$: а – диаграмма рассеяния « $F_{u,cb} \sim F_{u,son}$ »; б – гистограмма распределения отношений $F_{u,son} / F_{u,cb}$ построенная по тем же данным

ния ее участков с различными сопротивлениями свай. Иными словами, может возникнуть необходимость оценки числового «образа площадки» в виде картограммы распределения (в плане) сопротивлений свай. Если такая картограмма построена по приближенным данным, она неизбежно будет содержать искажения истинного «образа». При неточных исходных данных такой разрез тоже будет искаженным. Для теоретического анализа влияния точности исходных данных на получаемые картограммы необходимо ввести некоторые количественные критерии.

На рис. 2 приведена площадка произвольной формы, разбитая на n мелких участков,

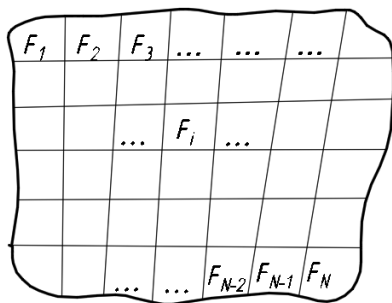


Рис. 2. Схема разделения площадки на участки (картограмма предельных сопротивлений свай F_i)

в пределах которых предельные сопротивления свай можно считать одинаковыми. Практически это возможно, например, при размерах участков 10–20 м².

Каждый участок будет характеризоваться своим предельным сопротивлением свай F_i , так что вся площадка может быть представлена в виде картограммы этих сопротивлений. Описанный подход применялся нами ранее, но используемые методические приемы в настоящее время представляются несколько устаревшими [7].

Рассмотрим вышесказанное подробнее с современных позиций.

Число возможных «образов площадки» N очень велико, оно должно составлять:

$$N = m^n, \tag{1}$$

где m – число возможных значений сопротивления свай (чаще всего они находятся в интервале 100–250 кН, что при точности ± 10 кН соответствует $m = 10\text{--}25$); n – число участков, на которые разбита площадка.

Для объектов средней величины (1000–2000 м²) при точности оценки сопротивлений свай ± 10 кН число «образов площадки» будет выражаться величиной с двумя-тремя десятками цифр.

Перед проведением испытаний считается, что существует «полная неопределенность», т. е. все возможные значения F_i считаются одинаково вероятными. Число «образов» площадки N ,

как отмечалось, должно быть равно m^n . После проведения на площадке каких-либо испытаний неопределенность будет уменьшаться, причем это уменьшение должно зависеть от точности проведенных испытаний и их количества (точнее – количества участков, на которых они проводились).

Количественный анализ таких ситуаций позволяет получить ряд интересных закономерностей, приведенных ниже. Необходимость операций с большими величинами устраняется при использовании в качестве математических моделей понятий и представлений теории информации. Так, для количественной оценки степени неопределенности сведений о сопротивлениях свай на площадке целесообразно использовать основополагающее понятие теории информации – энтропию (см. в [4, 7]). В общем случае под энтропией H (по К. Шеннону) понимается величина:

$$H = - \sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i, \quad (2)$$

где p_i – вероятность i -го состояния системы (в данном случае i -го «образа» площадки);

N – число состояний системы (в данном случае это число возможных «образов площадки»).

Если все значения F_i принимаются равновероятными до проведения испытаний, то вероятность каждого варианта («образов» площадки) до проведения испытаний равна $p_i = 1/(m^n)$. Если оценивать неопределенность данной ситуации с помощью энтропии H , то эта энтропия будет максимальной и равной (в битах):

$$H = -N \log_2 (1/N). \quad (3)$$

При точности определения сопротивлений свай ± 10 кН и интервале возможных значений $F_i = 0-2500$ кН, т. е. при $m = 250$ (250 возможных значений F_i), на каждом участке до проведения испытаний энтропия составит 8 битов.

После проведения первого испытания на любом участке неопределенность будет уменьшаться. Предположим, что на k -м участке было проведено испытание и получен результат F_k . Это приведет к изменению равенства вероятностей. Равенство вероятностей нарушится. На участке испытания (зона 1, закрашена черным цветом на рис. 3) величина показателя, соответствующая результату F_k , будет иметь максимальную вероятность. Близкие к ней значения F_{k-1} и F_{k+1} будут иметь меньшую вероятность, а более отдаленные (F_{k-1} и F_{k+1}) будут иметь еще меньшую

вероятность. Вероятности на соседних участках могут быть определены путем интерполяции между значениями на участке испытания и за пределами зоны экстраполяции. Распределение F_k (на k -м участке) будет зависеть от точности проведенного испытания и должно соответствовать распределению возможных погрешностей, известных для данного метода. Для статического зондирования такое распределение приведено на рис. 1, а.

Изменение вероятностей на k -м участке приведет к уменьшению энтропии H_k , что отразится на общей энтропии площадки H . Это объясняется тем, что энтропия составных частей системы равна сумме их энтропий. Общая энтропия значений F_i по всей площадке равна сумме энтропий отдельных участков. В данном случае общая энтропия значений F_i по всей площадке равна сумме энтропий отдельных участков:

$$H = H_1 + H_2 + H_3 + \dots + H_k + \dots + H_n. \quad (4)$$

Такое уменьшение энтропии будет тем больше, чем точнее проведено испытание. Например, если испытание было проведено без ошибки, неопределенность на k -м участке была бы полностью исключена, с вероятностью значения F_k равной единице, т. е. $p(F_k) = 1$, а энтропия H_k на k -м участке стала бы равной нулю ($H_k = 1 \cdot \log_1 1 = 0$). Таким образом, если учитывать результат на k -м участке, общая энтропия стала бы меньше на 8 битов.

Если результаты испытания распространяются на соседние участки, уменьшение энтропии H будет еще больше. Возможность такой экстраполяции зависит от неоднородности грунтов площадки. Неоднородность может быть максимальной, высокой, средней или площадка может быть однородной. Каждое новое испытание на площадке будет уменьшать энтропию и уменьшать неопределенность о значениях F_i в пределах площадки.

Рассмотрим вышеупомянутый идеализированный пример, когда энтропия на испытательном участке стала равной нулю. Размеры участков одинаковые и составляют 3×3 м. В таком случае результаты испытания можно использовать на расстоянии 10,5 м в каждом направлении в однородном грунте, и значение энтропии в этой зоне будет составлять 4 бита (промежуточное значение между 0 и 8 битами).

Ясно, что уменьшение общей энтропии H будет тем больше, чем более однороден грунт. Разница между энтропией до и после испытания описывает количество информации по К. Шеннону [7, 8]:

$$I = H_0 - H_1, \quad (5)$$

где H_0 и H_1 – энтропия до и после испытания соответственно.

Второе испытание на другом участке этой же площадки, как уже отмечалось, приведет к аналогичному уменьшению энтропии H . Третье испытание также дополнительно уменьшит энтропию и т. д. Разность между предыдущим и последующим значениями энтропии каждый раз будет указывать на количество информации о площадке (в битах), внесенное новым испытанием. Такой метод позволяет оценить общее количество информации, содержащееся в результатах любой группы испытаний при любой их точности и неоднородности грунта.

Рассмотрим вопрос, сколько информации способен принести тот или иной метод определения сопротивлений свай в зависимости от достоверности своих результатов и количества точек площадки, в которых проводилось такое определение.

На рис. 3 показаны кривые одинакового количества информации о сопротивлениях свай, получаемой двумя независимыми видами испытаний разной точности при различном числе таких испытаний. На рис. 3, а рассматривалось статическое зондирование и статические испытания свай. На рис. 3, б сравнивались динамические испытания свай (расчеты по «отказам» при забивке) и статическое зондирование.

Сплошные линии отражают «эквивалентные» по информативности объемы работ, пунктирные – одинаковую продолжительность полевых работ. Заштрихованные зоны соответствуют ситуации, когда затраты времени на испытания свай (без подготовительных и вспомогательных работ) меньше, чем на зондирование

при односменной (одинарная штриховка) или двухсменной (двойная штриховка) работе.

Отображенные на рис. 3 результаты расчетов выявляют парадоксальный на первый взгляд результат: *если на площадке имеется неоднородность грунта, то количество информации от малочисленных точных испытаний может быть меньше, чем от достаточно большого числа приближенных испытаний.* Это определено как парадокс. В данном случае понятие «неточность испытания» условно включает и недостаточную адекватность используемой расчетной схемы.

Расчет, проведенный для описанных выше идеализированных условий, показывает, что на площадке, разделенной на 100 участков в однородных грунтах, 20 приближенных испытаний с погрешностью $\pm 30\%$ могут характеризовать площадку примерно так же, как одно точное испытание с погрешностью $\pm 5\%$ в однородных грунтах. При неоднородности грунта такое же количество приближенных испытаний будет эквивалентно двум или пяти точным испытаниям, в зависимости от уровня неоднородности, а при «максимальной» неоднородности – девяти (при этом два точных испытания эквивалентны пяти приближенным).

К аналогичным выводам приводит и рассмотрение средних значений искомой характеристики \bar{F} . В этом случае удобнее пользоваться величиной стандартного отклонения результатов испытаний (σ) или ее относительной величиной – коэффициентом вариации ($v = \sigma/\bar{F}$) [7]. Само же рассмотрение средних характеристик также заслуживает внимания, так как усреднение результатов испытаний является одним из этапов установления расчетных характеристик (согласно международному стандарту ISO-2394 [8] и национальным стандартам многих государств, в том числе России).

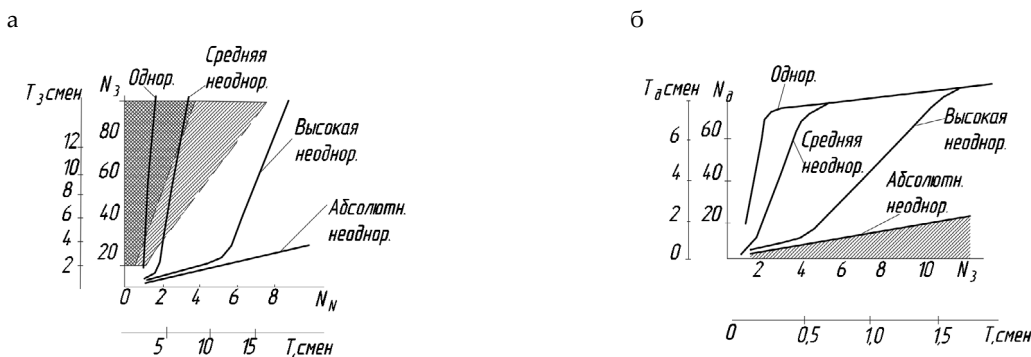


Рис. 3. Линии «эквивалентных» по своей информативности количества испытаний грунтов разной достоверности (т. е. вносящих одинаковое количество информации о сопротивлениях свай): а – сравнение статического зондирования с испытаниями свай статической нагрузкой; б – то же с динамическими испытаниями свай; $N_з, N_н, N_д$ – числа испытаний соответственно зондированием, статическими нагрузками, динамическими испытаниями; $T_з, T_н, T_д$ – продолжительность комплекса испытаний соответственно зондированием, статической нагрузкой, динамическими испытаниями

Коэффициент вариации может быть определен как $v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}$, где v_1 и v_2 – коэффициенты вариации, обусловленные соответственно неточностью испытания и неоднородностью грунта. Значения коэффициентов вариации для неоднородных грунтов и неточности испытаний задаются определенными значениями. Коэффициент вариации для однородных грунтов может быть принят равным 0,025, при средней неоднородности 0,1, при высокой неоднородности 0,2. Неточность испытаний может быть охарактеризована коэффициентами вариации 0,2 (приближенное испытание) и 0,025 («точное»). Относительные погрешности испытаний в соответствии с правилами теории ошибок должны быть равны:

$$\Delta = t_\alpha v, \quad (6)$$

где t_α – коэффициент Стьюдента, зависящий от принятой доверительной вероятности α и числа результатов испытания.

Расчеты показывают, что погрешность среднего результата испытаний также зависит от неоднородности грунта. Например, погрешность среднего результата из двух точных испытаний может быть такой же, как у среднего из 15 приближенных испытаний в однородных грунтах, 6 приближенных – в грунтах средней неоднородности, 3 приближенных – при высокой неоднородности.

Выводы, полученные из этих расчетов, применимы не только к площадке в целом, но и к отдельным инженерно-геологическим элементам.

Таким образом, неоднородность грунта в значительной мере снижает ценность «точных» испытаний. Она делает результаты таких испытаний как бы менее представительными. Если, например, предположить, что в какой-то точке площадки «точное» испытание выявило предельное сопротивление сваи 600 кН, есть ли гарантия, что в 15–20 м от этой точки предельное сопротивление не окажется в полтора раза ниже, если ни зондирование, ни бурение в этой части площадки не проводилось? Очевидно, что ответ на такой вопрос приходится давать отрицательный.

Недостаточное количество испытаний может быть опаснее, чем их недостаточная точность. Однако точные испытания являются дорогостоящими и требуют больших затрат времени, поэтому их применение в больших объемах с учетом неоднородности грунта невозможно. Вместо этого можно использовать более простой метод, такой как статическое зондирование, который решает данную проблему.

Однако следует отметить, что результаты любых испытаний могут содержать систематическую погрешность, которая не устраняется увеличением их числа. Чтобы устранить такую погрешность, необходимо сопоставлять приближенные результаты с «точными» данными.

В работах [1, 8] описан применяемый в Башкортостане метод совместного использования приближенного и «точного» методов определения различных геотехнических показателей, в том числе несущую способность свай. Сущность его в том, что приближенным методом («экспресс-методом») оценивается вся территория изучаемой площадки, а в наиболее типичном месте или в нескольких местах, именуемых «ключевыми участками», проводятся «точные» испытания, по которым производится корректировка приближенных оценок. Корректировка предполагает уточнение коэффициента надежности расчета применительно к условиям конкретной площадки γ_k .

Теоретической базой такой корректировки является «бейесовский» подход к совместному использованию данных, получаемых непосредственно на изучаемой площадке и в результате статистического анализа данных прошлого опыта [2, 7]. В роли «априорных гипотез» выступают статистически обработанные данные прошлого опыта. В рассматриваемом случае – это вероятности возможных значений несущей способности свай. Следует отметить, что отечественные специалисты обычно используют дискретные распределения, не задаваясь аналитическим законом распределения, зарубежные же специалисты предпочитают непрерывные распределения.

В процессе практического применения полученных результатов выявлены отдельные неточности, ненужные усложнения, которые удалось устранить, и ниже приводится их современная трактовка [8].

Коэффициент надежности γ_k предлагается определять по формуле

$$\gamma_k = \overline{\left(\frac{F_{u, \text{зон}}}{F_{u, \text{св}}} \right)} + \Delta_{\text{сл}}, \quad (7)$$

где $\overline{\left(\frac{F_{u, \text{зон}}}{F_{u, \text{св}}} \right)}$ – среднее значение отношения $F_{u, \text{зон}} / F_{u, \text{св}}$

на ключевых участках;

$\Delta_{\text{сл}}$ – поправка, отражающая влияние случайных величин, определяемая по таблице;

$F_{u, \text{зон}} + F_{u, \text{св}}$ – предельные сопротивления свай по данным зондирования и статических испытаний.

Как показала практика, значения коэффициентов k'_1 и k'_2 должны быть ограничены величинами 0,8 и 1,25, т. е. при значениях k'_1 или k'_2 меньших 0,8, – принимать 0,8, при k'_1 или k'_2

больших 1, 25, – принимать 1,25. Кроме того, предложено не принимать коэффициент надежности γ_k меньшим 0,95, т. е. при получении значений $\gamma_k < 0,95$ принимать $\gamma_k = 0,95$.

Величины Δ_{ca} при одном ключевом участке (одно статическое испытание сваи)

k	$\leq 0,7$	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,25
Δ_{ca}	0,12	0,11	0,10	0,10	0,08	0,02	0,00

Ясно, что количество результатов «точных» испытаний может быть незначительным и использование статического зондирования позволяет сократить его до оптимальных значений с экономической точки зрения.

В некоторых случаях информацию об изысканиях на соседних территориях с аналогичными инженерно-геологическими условиями можно использовать в качестве корректирующей информации.

Эти рассуждения показывают, что приближенные методы испытаний грунта, такие как статическое зондирование, следует рассматривать как необходимую составляющую изысканий, которая дополняет более точные испытания. Малочисленные точные испытания, несмотря на их тщательное проведение, охватывают только те участки, на которых они проводились и требуют использования более быстрых методов, которые могут охватить всю площадку.

Выводы. 1. Теоретический анализ показывает, что приближенные испытания, проводимые на изучаемой площадке в большом количестве, могут предоставить больше информации, чем небольшое количество «точных» испытаний. Это связано с тем, что в реальных условиях неоднородности грунта точность конкретного испытания не гарантирует его представительность для данной площадки.

2. Увеличение числа измерений не устраняет «систематические погрешности» (ошибки), поэтому оптимальным решением является сочетание статического зондирования с небольшим числом «точных» испытаний, по результатам которых можно скорректировать данные зондирования, минимизируя систематические погрешности (для данной площадки!)

3. Предлагается уточненная методика корректировки приближенных определений сопротивлений свай при наличии данных статического зондирования и статических испытаний свай.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ryzhkov I.B., Isaev O.N. Con penetration testing in geotechnics. Stockholm, Sweden: ASV Construction. 2016. 387 p.

2. Lunn T., Robertson P.K., Powell J.J.M. Cone penetration testing in geotechnical practice. London and New York: Spoon Press. 2004. 312 p.

3. Яглом А.М., Яглом И.М. Вероятность и информация. М.: Наука, 1973. 511 с.

4. Кутляров Д.Н., Кутляров А.Н., Файзуллин Э.В. Расчётная программа для определения показателей погружения железобетонных свай (MS Visual Basic) / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020614453, 09.04.2020. Заявка № 2020613307 от 23.03.2020.

5. Isaev V.I., Maltsev A.V., Karpov A.A. Исследование метода «плавающего» фундамента по определению осадки на модели фундаментной плиты // Градостроительство и архитектура. 2020. Т. 10. № 1(38). С. 9–15. DOI:10.17673/Vestnik.2020.01.2

6. Васильева М.Н., Баранова М.Н., Мальцев А.В., Соколова С. В. Инженерно-геологические и петрографические особенности техногенных слоев на территории г. Самары // Градостроительство и архитектуры. 2020. Т. 10, № 4. С. 4–15. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.04.1.

7. Рыжков И.Б., Норшайн А.В., Хамидуллин В.А. Статическое зондирование грунтов: краткая история и современное состояние // Сборник научных трудов. Юбилейный выпуск, посвященный 60-летию института БашНИИСтрой. Уфа: БашНИИСтрой, 2016. С. 11–31.

8. Рыжков И.Б., Кутляров Д.Н., Кутляров А.Н. Архитектура, проектирование и организация культурных ландшафтов. СПб.: Лань, 2021. 204 с.

REFERENCES

1. Ryzhkov I.B., Isaev O.N. Con penetration testing in geotechnics. Stockholm. Sweden. ASV Construction. 2016. 387 p.

2. Lunn T., Robertson P.K., Powell J.J.M. Cone penetration testing in geotechnical practice. London and New York. Spoon Press. 2004. 312 p.

3. Jaglom A.M., Jaglom I.M. *Verojatnost' i informacija* [Probability and information]. Moscow, Nauka, 1973. 511 p.

4. Kutliyarov D.N., Kutliyarov A.N., Fayzullin E.V. *Raschjotnaja programma dlja opredelenija pokazatelej pozgruzhenija zhelezobetonnyh svaj (MS Visual Basic)* [Calculation program for determination of concrete piles immersion parameters (MS Visual Basic)]. Patent RF, no. 2020613307, 2020.

5. Isaev V.I., Maltsev A.V., Karpov A.A. Study of the floating foundation method for determining settlement on the foundation slab model. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Planning and Architecture], 2020, vol. 10, no. 1(38), pp. 9–15. (in Russian) DOI:10.17673/Vestnik.2020.01.2

6. Vasilyeva M.N., Baranova M.N., Maltsev A.V., Sokolova S.V. Geotechnical and petrographic features of technogenic layers on the territory of Samara. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Planning and Architecture],

2020, vol. 10, no. 4, pp. 4–15. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2020.04.1

7. Ryzhkov I.B., Norshayan A.V., Khamidullin V.A. Static sounding of soils: brief history and current state. *Sbornik nauchnyh trudov. Jubilejnyj vypusk, posvjashhennyj 60-letiju instituta BashNIStroj* [Collection of scientific papers. Anniversary issue dedicated to the 60th anniversary of the BashNIStroy Institute]. Ufa, BashNIStroy, 2016, pp. 11–31. (In Russian).

8. Ryzhkov I.B., Kutlijarov D.N., Kutlijarov A.N. *Arhitektura, proektirovanie i organizacija kul'turnyh landshaftov* [Architecture, design and organization of cultural landscapes]. St. Petersburg, LAN, 2021. 204 p.

Об авторах:

КУТЛИЯРОВ Дамир Наилевич

кандидат технических наук, доцент кафедры природообустройства, строительства и гидравлики Башкирский государственный аграрный университет 450001, Россия, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34
E-mail: kutliarov-d@mail.ru

KUTLIYAROV Damir N.

PhD of Engineering Sciences, Associate Professor of the Environmental Engineering, Construction and Hydraulics Chair
Bashkir State Agrarian University
450001, Russia, Ufa, 50th Anniversary of October st., 34
E-mail: kutliarov-d@mail.ru

КУТЛИЯРОВ Амир Наилевич

кандидат экономических наук, доцент кафедры землеустройства Башкирский государственный аграрный университет 450001, Россия, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34
E-mail: kutliarov-a@mail.ru

KUTLIYAROV Amir N.

PhD of Economic Sciences, Associate Professor of the Land Management Chair
Bashkir State Agrarian University
450001, Russia, Ufa, 50th Anniversary of October st., 34
E-mail: kutliarov-a@mail.ru

ЗАГИТОВА Лариса Рашитовна

кандидат географических наук, доцент кафедры землеустройства Башкирский государственный аграрный университет 450001, Россия, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34
E-mail: l_zagitova@mail.ru,

ZAGITOVA Larisa R.

PhD of Geographical Sciences, Associate Professor of the Land Management Chair
Bashkir State Agrarian University
450001, Russia, Ufa, 50th Anniversary of October st., 34
E-mail: l_zagitova@mail.ru,

КОНОНОВА Александра Юрьевна

младший научный сотрудник кафедры землеустройства Башкирский государственный аграрный университет 450001, Россия, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34
E-mail: kononovaalexandrayurievna@gmail.com

KONONOVA Alexandra Yu.

Junior Researcher of the Land Management Chair
Bashkir State Agrarian University
450001, Russia, Ufa, 50th Anniversary of October st., 34
E-mail: kononovaalexandrayurievna@gmail.com

Для цитирования: Кутлиаров Д.Н., Кутлиаров А.Н., Загитова Л.Р., Кононова А.Ю. Инженерно-геотехнические изыскания и испытания грунтов при строительстве зданий и сооружений // Градостроительство и архитектура. 2024. Т. 14, № 3. С. 77–84. DOI: 10.17673/Vestnik.2024.03.09.

For citation: Kutliyarov D.N., Kutliyarov A.N., Zagitova L.R., Kononova A.Yu. Geotechnical engineering surveys and soil testing in the construction of buildings and structures. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2024, vol. 14, no. 3, pp. 77–84. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2024.03.09.