



DOI: 10.15593/2224-9826/2017.3.03

УДК 624.131.38

КОМПЛЕКСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

Г.Г. Болдырев¹, В.А. Барвашов², И.Х. Идрисов¹, О.В. Хрянина³

¹ООО «НПП «Геотек»», Пенза, Россия

²НИЦ «Строительство», Москва, Россия

³Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 06 мая 2017

Принята: 13 июля 2017

Опубликована: 29 сентября 2017

Ключевые слова:

зондирование грунтов, полевые испытания, технические и программные средства, характеристики грунтов, расчет осадки и крена сооружений, коэффициент жесткости основания

АННОТАЦИЯ

Приведено описание комплексной технологии инженерно-геологических изысканий, включающей зондирование грунтов с одновременным расчетом осадки и крена проектируемого сооружения, а также использование необходимых для этой цели технических и программных средств. Предлагается применение методов статического, динамического и бурового зондирования для исследования свойств грунтов в полевых условиях. С помощью данных зондирования и известных корреляционных уравнений находятся физические и механические характеристики грунтов. Количество точек зондирования грунтов определяется чувствительностью сооружения к вводимым в расчет осадки и крена данным испытаний, которые выполняются непосредственно в полевых условиях. Приведены основные технические и программные средства для испытаний грунтов в полевых условиях и обработки их результатов. Для сбора данных измерений при зондировании грунтов используется пакет «АСИС» и дополнительная программа для их интерпретации. Данные измерений передаются на компьютер в месте проведения полевых испытаний и используются для автоматического определения характеристик грунтов и расчета осадки и крена проектируемого сооружения непосредственно на месте испытаний. При необходимости данные испытаний могут быть переданы на удаленный сервер компании, проводящей изыскания. Расчеты осадок выполняются от среднего давления сооружения на основание по формулам суммирования с учетом неоднородности грунта, полученной по результатам испытаний. Такие расчеты выполняются для каждой точки зондирования или выработки, а не под всей подошвой фундамента. Затем определяются коэффициенты жесткости основания (коэффициент постели) над каждой скважиной, которые затем экстраполируются на всю поверхность основания по формуле Шепарда, причем рассматриваются варианты расчета при различных значениях в формулах аппроксимации Шепарда.

© ПНИПУ

© **Болдырев Геннадий Григорьевич** – доктор технических наук, профессор, e-mail: g-boldyrev@geotek.ru.

Барвашов Валерий Александрович – кандидат технических наук, ведущий сотрудник, e-mail: barvash@mail.ru.

Идрисов Илья Хамитович – кандидат технических наук, генеральный директор, e-mail: idrisov@npp-geotek.ru.

Хрянина Ольга Викторовна – кандидат технических наук, доцент, e-mail: olgahryanina@mail.ru.

Gennadii G. Boldyrev – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: g-boldyrev@geotek.ru.

Valerii A. Barvashov – Ph.D. in Technical Sciences, Leading Collaborator, e-mail: barvash@mail.ru.

Il'ia Kh. Idrisov – Ph.D. in Technical Sciences, General Director, e-mail: idrisov@npp-geotek.ru.

Ol'ga V. Khrianina – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: olgahryanina@mail.ru.

INTEGRATED TECHNOLOGY OF GEOTECHNICAL SURVEY

G.G. Boldyrev¹, V.A. Barvashov², I.Kh. Idrisov¹, O.V. Khrianina³

¹NPP “Geotek” Ltd., Penza, Russian Federation

²R&D Center “Stroytelstvo” Inc., NIIOSP, Moscow, Russian Federation

³Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 06 May 2017

Accepted: 13 July 2017

Published: 29 September 2017

Keywords:

standard penetration test, field testing, hardware and software tools, soil characteristics, calculation of settlement and tilts of structures, coefficient of base rigidity

ABSTRACT

The paper describes an integrated computer-based technology optimizing site survey operations (e.g. number of test holes) and office work (geological activities). This objective is achieved by analyzing structure settlements and tilts online at each current stage of the survey operations. To this end, the test data (e.g. q_c and f_s profiles) is uploaded online after each survey stage into a computer that processes the data and calculates the potential structures' settlement and respective tilts at this stage. Then the obtained data is downloaded back to the server, and the geological survey team decides to go on or to stop the survey, depending on the difference between the data of the current and the previous stage. The subsoil ratio distribution under future structure is calculated at each stage and sent to a Design Engineer at the last stage for future design work. The method does not require any office work or geological data processing, because no geological report is required, and all the above operations are carried out on site along with the survey. The Designer receives three values, such as one settlement and two tilts. Such sequence of operations is possible thanks to a new method for subgrade ratio distribution analysis and application which has been developed in GEOTEK. The respective software and hardware were patented.

Static, dynamic penetration and drilling sounding techniques are proposed to test soil properties in situ. Soil data is processed with the help of known correlation equations to obtain physical and mechanical soil parameters. The number of test holes is determined by the designed subsoil-structure sensitivity to the test data already available by online settlement and tilts analysis during the tests in situ. The associated hardware and software for soil testing in situ and data processing are described. Test data collection and processing is performed with ASIS software together with an additional software code for the test data interpretation. The data is uploaded online to the computer on site or elsewhere to calculate subsoil parameters, followed by structure settlements and tilts analysis online. If necessary, the test data can be uploaded to a remote server of the surveyor. The settlements at the test points that are caused by the mean structure pressure on the subsoil are computed for pressure. Firstly, they are computed at the test points, and then the subgrade ratios are computed at these points which are interpolated to the whole foundation surface according to Shepard's formulae, while the computation variants are considered for different values in Shepard's approximation formulae.

© PNRPU

Введение

В настоящее время проектирование оснований зданий и сооружений в России выполняется с учетом рекомендаций ряда нормативных документов, одним из которых является СП 22.13330–2011. В то же время некоторые требования к определению характеристик грунтов, как и общие правила проведения инженерно-геологических изысканий, изложены в СП 47.13330. Согласно требованиям перечисленных нормативных документов и учитывая требования ГОСТ 20522, геологу для того, чтобы подготовить исходную информацию для проектирования оснований, необходимо определить инженерно-геологический элемент (ИГЭ), инженерно-геологическую модель (ИГМ), расчетный грунтовый элемент (РГЭ) и расчетную геомеханическую модель (РГМ). В реальности геологи дают лишь отчет об инженерно-геологических изысканиях, который включает разрезы с ИГЭ без разделения слоев грунтов на расчетно-грунтовые элементы. В большинстве случаев ИГМ и РГМ, с нашей точки зрения, не делает никто: ни геологи, ни проектировщики.

Точность построения перечисленных выше моделей зависит от качества и объема инженерно-геологических исследований, особенно при наличии специфических грунтов и неоднородности в массивах грунтов. Определяющими факторами здесь являются инженерно-геологический элемент и его физико-механические характеристики. Согласно СП 47.13330 расстояния между ближайшими выработками назначаются в диапазоне от ≈ 20 до 100 м. При этом в поле зрения геолога не попадают особенности геологического строения: выклинивания слоев, линзы грунтов и др. Если было выявлено их наличие по одной или нескольким выработкам, то их граница назначается исходя из опыта геолога. Определение свойств грунтов путем отбора монолитов в выработках/скважинах не дает полной информации о свойствах массива исследуемого грунта из-за искусственно большого нормативного расстояния между выработками.

В то же время современные методы полевых исследований грунтов, такие как статическое, динамическое и буровое зондирование, позволяют получать непрерывную информацию о физических и механических свойствах грунтов по глубине и достаточно дешево с увеличением мест испытаний в пределах исследуемой площадки изысканий. Запись данных параметров зондирования может выполняться с любым интервалом по глубине зондирования, вплоть до 1 см. Используя известные корреляционные уравнения и данные зондирования, можно найти характеристики по глубине зондирования. Далее, вводя коэффициенты надежности, можно получить расчетные значения характеристик грунтов, а затем выполнить расчет оснований по деформациям. Все это можно сделать в полевых условиях непосредственно в процессе зондирования грунтов. Как видим, при подобном подходе не требуются инженерно-геологические элементы и инженерно-геологические разрезы, так информация непрерывно обрабатывается, накапливается и анализируется для принятия решения.

ООО «НПП “Геотек”» разрабатывает в настоящее время технические и программные средства для решения задачи в рассмотренной выше постановке. Если удастся реализовать данную задачу, то геологи будут освобождены от необходимости выполнения большого объема камеральных работ, поскольку обработка данных испытаний и, что самое неприглядное, расчет осадки и крена проектируемого сооружения, определение ряда характеристик грунтов, в том числе и распределения величины коэффициента жесткости основания, будут выполняться в процессе изысканий на площадке проектируемого объекта.

Рассмотрим необходимые инструменты для решения задачи изысканий и проектирования как единого технологического процесса.

1. Технические средства

Практически во всех случаях за рубежом и значительно реже в России определение физических и механических грунтов выполняется не только путем лабораторных испытаний образцов грунтов, но и в полевых условиях с использованием для этого методов статического и динамического зондирования. Метод статического зондирования конусом, называемый за рубежом сокращенно СРТ (cone penetration test), основан на погружении в грунт с постоянной скоростью цилиндра с конусообразным наконечником, называемого зондом, при помощи набора штанг и установки для задавливания. В процессе погружения зонда, обычно со скоростью 2 см/с (ГОСТ 19912–2010, ASTM D 5778, DIN 4094-1), выполняются непрерывные измерения лобового сопротивления (q_c) и сил трения (f_s). В том случае если зонд включает датчик (датчики) порового давления, то он называется пьезозондом и сокращенно обозначается СРТУ. Зонд, оборудованный геофоном, называется сейсмическим зондом и

обозначается SCPTU. В большинстве случаев все модификации зондов включают датчик наклона для контроля угла отклонения зонда от вертикали при его погружении. Некоторые зонды имеют ряд других датчиков для измерения различных физических величин [1, 2].

Полевые испытания грунтов пробоотборником или полым зондом называются за рубежом стандартными пенетрационными испытаниями, сокращенно они обозначаются SPT (standard penetration test). Подобный тип испытаний широко применяется за рубежом (EN ISO 22476, ASTM D 1586), в особенности в США, и не используется в России. Более подробную информацию об этом методе испытаний можно найти в работах [1, 3].

В нашей стране динамические испытания грунтом выполняются путем погружения зонда с конусным наконечником (ГОСТ 19912). Однако существуют различия не только в форме зонда, но и в его применимости. Вследствие широкого применения SPT в различных странах за рубежом получено очень много корреляционных зависимостей между параметрами зондирования и свойствами, преимущественно механическими свойствами грунтов. Надежность этих уравнений подтверждена практикой многолетних испытаний (более 80 лет). Исследования в этом направлении продолжаются и в настоящее время, несмотря на появление и широкое использование метода статического зондирования. В России подобные исследования прекратились в конце XX в., и найти корреляционные зависимости для конусного зонда можно только в источниках периода 1970–1980 гг. [1].

Буровое зондирование является новым методом исследования свойств грунтов и практически не применяется в практике инженерно-геологических изысканий. Несмотря на ряд преимуществ метода СРТ и его широкое применение на протяжении последних 45 лет по сравнению с другими полевыми методами испытаний, он не применим в мерзлых и скальных грунтах. При исследовании песчаных и гравелистых грунтов или на больших глубинах его возможности также ограничены, так как требуется использование более прочных зондов и машин с большой собственной массой, как правило, более 20 т. Для этого обычные автомашины утяжеляются добавочными грузами из монолитного бетона или стальных пластин.

Более перспективным методом полевых исследований свойств грунтов является, по нашему мнению, метод бурового зондирования (RDT) [4, 5]. Во-первых, он применим, в отличие от метода статического зондирования, не только в глинистых и песчаных грунтах, но и в крупнообломочных, скальных и мерзлых. Во-вторых, рассматриваемый метод позволяет прямым способом, без использования корреляционных зависимостей, определять модуль деформации грунта и силы сопротивления сдвигу [6]. В то же время, используя корреляционные зависимости, можно находить и другие характеристики грунтов, как и в случае статического зондирования.

Для практической реализации рассматриваемой технологии инженерно-геологических исследований ООО «НПП «Геотек»» и заказчиком внешнего благоустройства «Санкт-Петербург» была разработана специализированная мобильная установка, оснащенная комплексом технических средств для полевых и лабораторных испытаний грунтов [7]. Рассматриваемая установка позволяет проводить статические, динамические и лабораторные испытания грунтов, отбирать монолиты грунта с помощью приборов, размещенных внутри рабочего помещения.

2. Программные средства

Для сбора данных измерений при статическом зондировании грунтов используются пакет «АСИС» и дополнительная программа для их интерпретации Geotek Field. Данные измерений передаются на компьютер в месте проведения полевых испытаний и используются для автоматического определения характеристик грунтов, расчета осадки и

крена проектируемого сооружения непосредственно на месте испытаний. При необходимости данные испытаний могут быть переданы на удаленный сервер компании, выполняющей изыскания (рис. 1).



Рис. 1. Схема перемещения данных измерений в процессе испытаний грунтов
 Fig. 1. Scheme of measurement data transfer during soil testing

3. Определение типа и характеристик грунтов

3.1. Тип грунта

Тип грунта определяется по данным статического зондирования с использованием метода, предложенного Робертсоном [8–11]. Для этого используются приведенная ниже номограмма (рис. 2) и ряд параметров, которые измеряются при зондировании и вычисляются автоматически по мере поступления данных программой Geotek Field. Эта номограмма классифицирует грунты, основываясь на их поведении, на девять различных типов (табл. 1). Кружочками на рис. 2 показаны значения показателя I_c , определяемые по формуле

$$I_c = \sqrt{(3,47 - \log(Q_t))^2 + (\log F_r + 1,22)^2} \quad (1)$$

и приведенные в табл. 1.

Параметр I_c служит для формализованной классификации грунта на основании номограммы и является радиусом окружности с центром в ее левом верхнем углу.

Более подробную информацию о данном методе можно найти в работах [1, 8–11].

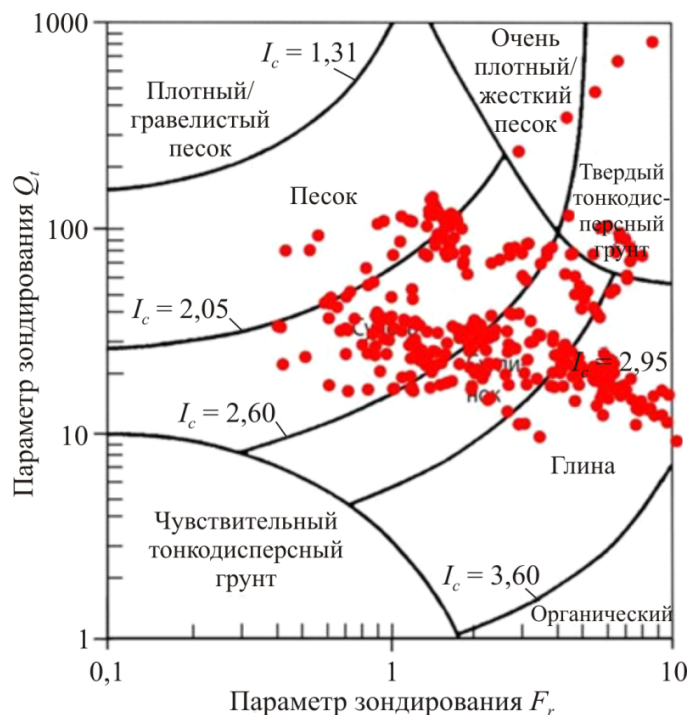


Рис. 2. Классификационная диаграмма Робертсона [10]
Fig. 2. Robertson's classification chart

Таблица 1

Общее представление типа грунта по Робертсону [10, 11]

Table 1

General representation of the soil type according to Robertson [10, 11]

СРТ-зоны (Robertson et al., 1986)	СРТУ-зоны (Robertson et al., 1990)	Предложенное общее СРТ-описание	Индекс I_c
1	1	Глинистые грунты в текучем и текучепластичном состоянии	Нет
2	2	Глина – органоминеральные грунты	Более 3,6
3	3	Глина – суглинок	2,95–3,6
4–5	4	Суглинок – супесь	2,6–2,95
6–7	5	Супесь – пылеватый песок	2,05–2,6
8	6	Пылеватый песок – чистый песок	1,31–2,05
9–10	7	Плотный песок – гравелистый песок	Менее 1,31
11	8	Цементированный песок – переуплотненная глина	Нет
12	9	Цементированная глина	Нет

3.2. Характеристики грунта

Физические и механические характеристики грунтов определяются с использованием параметров зондирования и корреляционных зависимостей различных авторов, а также с помощью таблиц СП 47.13330.

Ниже приведено несколько подобных уравнений, широко используемых в зарубежной практике геотехнических изысканий.

Удельный вес грунта (кН/м^3) можно найти из корреляционной зависимости, полученной на основании анализа СРТ-испытаний следующего вида [10]:

$$\gamma/\gamma_w = 0,27(\lg R_f) + 0,36[\lg(q_t/p_a)] + 1,236, \quad (2)$$

где R_f – коэффициент трения, $R_f = (f_s/q_t) \cdot 100$ %; γ_w – удельный вес воды; p_a – атмосферное давление.

Если выполнены SCPTU-испытания с измерением скорости поперечных волн V_s (м/с), то для песчаных грунтов Мэйн [12–14] предлагает определять удельный вес грунта (кН/м³) из выражения

$$\gamma = 8,32 \cdot \lg(V_s) - 1,61 \cdot \lg(z), \quad (3)$$

где z – глубина, м.

Если известны значения сил трения f_s кПа, то используется выражение

$$\gamma = 26 - \frac{14}{1 + [0,65 \cdot \lg(f_s + 1)]^2}. \quad (4)$$

Робертсон и Кампанелла [15] предложили корреляцию для оценки значения пикового угла внутреннего трения (φ') для кварцевых песков

$$\operatorname{tg} \varphi' = \frac{1}{2,68} \left[\lg \left(\frac{q_c}{\sigma'_{v0}} \right) + 0,29 \right]. \quad (5)$$

Все известные методы оценки модуля деформации основаны на корреляции между лобовым сопротивлением и одометрическим модулем деформации в виде линейной зависимости

$$E_{oed} = \alpha_k \cdot q_c. \quad (6)$$

В зависимости от вида грунта в работе [16] коэффициент α_k изменяется от 1 до 8 при лобовом сопротивлении в диапазоне от 0,7 до 2,0 МПа. При этом величина коэффициента α_k уменьшается с ростом лобового сопротивления.

Р.С. Зиангиров и В.И. Каширский [17] предложили зависимость для определения модуля деформации моренных суглинков в виде

$$E = 7,0 + 6,4q_c, \quad (7)$$

где q_c – лобовое сопротивление зонда. Для этой же цели можно использовать таблицы приложения СП 47.13330.

Подобных корреляционных уравнений предложено много, однако основной их недостаток заключается в следующем. Во-первых, они предложены преимущественно для песчаных грунтов, во-вторых, дают лишь оценочные значения характеристик грунтов, поэтому требуется их уточнение путем параллельного испытания образцов грунта и сопоставления с параметрами зондирования. Ситуация может быть улучшена путем разработки региональных зависимостей, подобных тем, которые приведены в СП 47.13330, но не общих для всей территории России, а конкретных для каждого региона.

4. Расчет осадки и крена проектируемых зданий и сооружений

После определения характеристик грунтов можно перейти к этапу расчета основания. Здесь же в поле с использованием решения СП 22.13330 выполняется расчет осадки и крена, значения которых являются определяющими при проектировании оснований зданий и сооружений. На экране монитора рабочего места бурового мастера отображается ситуационный план места изысканий с планом проектируемого здания, места зондирования, расчетных значений осадки и крена. Исходные данные в виде ситуационного плана, плана здания, размеры фундамента, нагрузки на основание и др. вводятся в программу до выхода в поле. Блок-схема расчета осадки и крена показана на рис. 3, а результаты тестового расчета – на рис. 4.

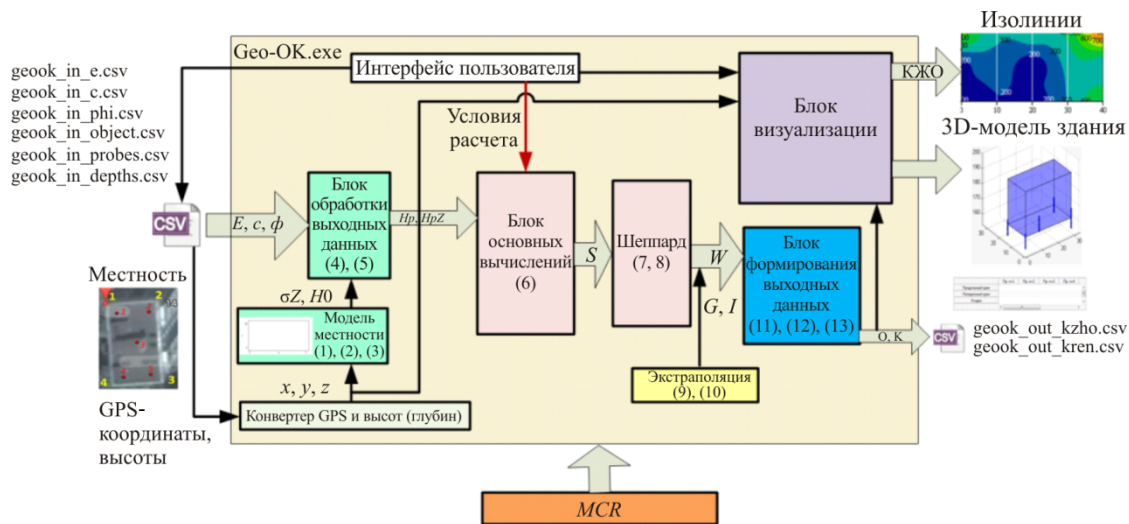


Рис. 3. Блок-схема вычисления осадки и крена сооружения
Fig. 3. Scheme of calculating the settlement and tilts of the structure

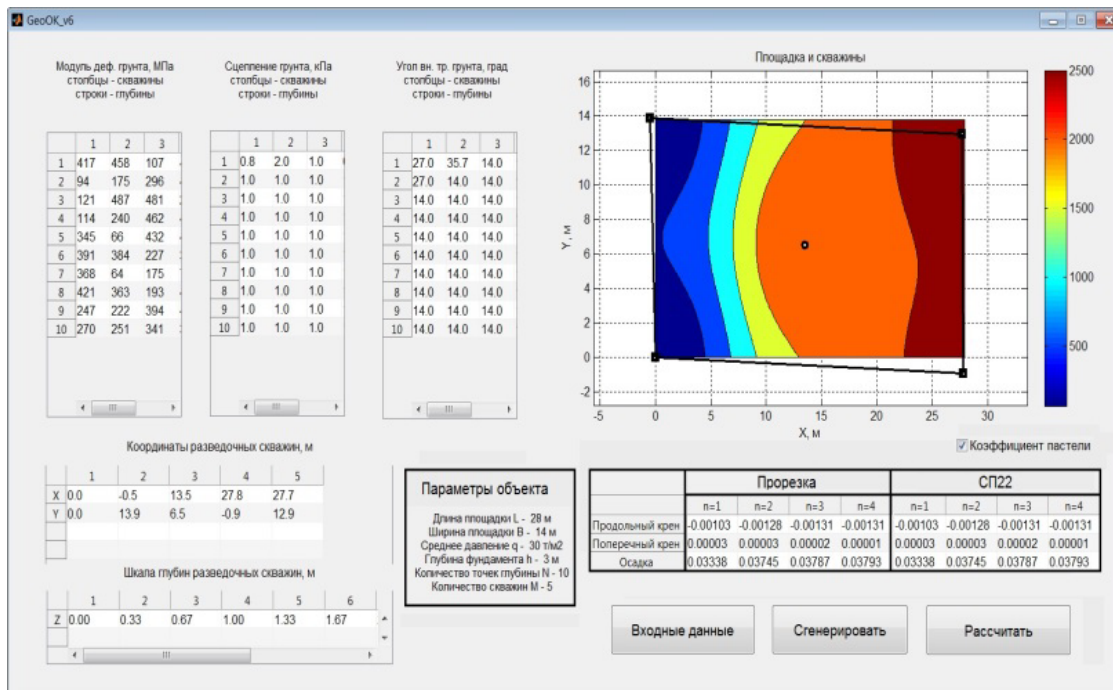


Рис. 4. Расчет осадки и крена прямоугольного фундамента по данным с пяти выработок
Fig. 4. Calculation of the settlement and tilts of a rectangular foundation according to data from five excavations

На рис. 4 представлен расчет осадки прямоугольного плитного фундамента с учетом образования зон разрушения под краями фундамента [18]. Характеристики грунтов следующие: модуль деформации, угол внутреннего трения и силы удельного сцепления определены в пяти выработках на глубину 10 м по данным статического зондирования с использованием корреляционных зависимостей. В верхней левой части рис. 4 показаны массивы вводимых характеристик грунтов по пяти выработкам (в центре и по углам фундамента), а в нижней правой части – вычисленные значения средней осадки, продольного и поперечного крена. Изолинии отображают значения коэффициента постели (t/m^3), приведенного в плоскости подошвы фундамента. Используя значения коэффициента постели и программ «ЛИРА» или SCAD, можно найти внутренние усилия (момент и поперечные силы) в теле фундамента.

5. Оценка неоднородности массива исследуемых грунтов

Целесообразно вначале изысканий провести геофизические исследования с целью выявления неоднородности напластования природных грунтов в основании проектируемого здания или сооружения. Анализ подобных исследований позволяет обоснованно назначить места выработок в виде скважин для отбора монолитов, выработок в виде статического, динамического, бурового зондирования и других видов полевых исследований.

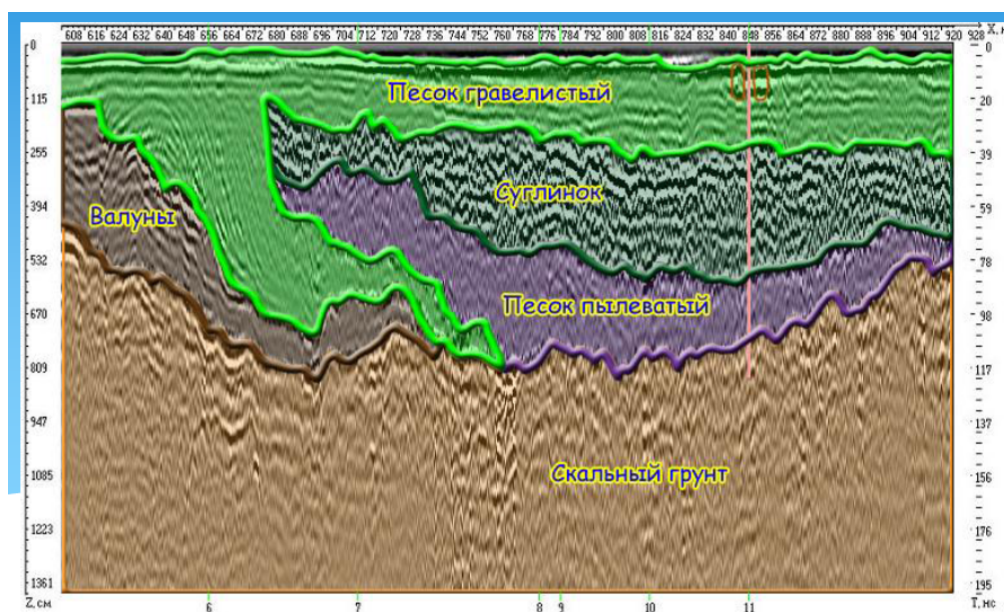


Рис. 5. Пример георадарных исследований [19]
Fig. 5. An example of georadar examinations [19]

На рис. 5 в качестве примера приведены данные георадарной съемки на одном из участков строительства [19]. Наглядно видно наличие выклинивающегося массива песка гравелистого, который мог бы быть не обнаружен при обычном подходе, с использованием нормативных расстояний между выработками. Имея данную информацию, следует скорректировать программу изысканий, изменив места выработок для отбора монолитов и зондирования.

6. Оценка требуемого количества выработок

Зондирование грунтов в пределах пятна проектируемого здания продолжается до тех пор, пока расчетные значения осадки и крена не станут изменяться существенным образом. Таким образом, мы уходим от нормативной установки назначения количества выра-

боток по СП 47.13330 к их определению, исходя из гипотезы предполагаемой априори неоднородности исследуемого грунтового массива. Естественно, что для однородного по свойствам массива грунта потребуется меньшее количество выработок, чем для неоднородного. На экране компьютера бурового мастера после проходки каждой точки зондирования появляются значения осадки и крена сооружения и отображается трехмерная модель здания. Это позволяет ему визуально анализировать поступающую информацию для принятия решения о завершении зондирования на рассматриваемой площадке изысканий.

Расчеты осадок выполняются от среднего давления сооружения на основание по формулам суммирования с учетом неоднородности грунта, полученной по результатам испытаний. Такие расчеты выполняются для каждой точки зондирования или выработки, а не под всей подошвой фундамента. Затем определяются коэффициенты жесткости основания над каждой скважиной, которые затем экстраполируются на всю поверхность основания по формуле Шепарда, причем рассматриваются варианты расчета при различных значениях в формулах экстраполяции Шепарда [18]. Такой подход позволяет избежать процедур построения разрезов и выделения ИГЭ.

Для дешифровки геофизических исследований и оценки достоверности используемых корреляционных зависимостей назначаются опорные скважины с отбором монолитов грунта и выполняются лабораторные испытания грунтов. Полученные данные применяются для оценки достоверности полученной информации и перерасчета в случае необходимости осадки и крена проектируемых зданий.

Заключение

Рассмотренная комплексная технология объединяет в единый производственный процесс инженерно-геологические изыскания и проектирование оснований сооружений. Результатом является сокращение сроков изысканий вследствие применения методов зондирования грунтов с автоматизированным контролем процесса испытаний и интерпретации данных испытаний. При этом результатом комплексных инженерно-геологических исследований является не только отчет о свойствах грунтов, но и оценка влияния деформационных и прочностных свойств грунтов на поведение проектируемого здания или сооружения.

Библиографический список

1. Болдырев Г.Г. Полевые методы испытаний грунтов. – Саратов, 2013. – 356 с.
2. Рыжков И.Б., Исаев О.Н. Статическое зондирование грунтов. – М.: АСВ, 2010. – 496 с.
3. Schnaid F. In-situ testing in Geomechanics: the main tests. – London: Taylor & Francis Group, 2009. – 330 p.
4. Буровое зондирование грунтов / Г.Г. Болдырев, Р.Г. Кальбергенов, Л.Г. Кушнир, Г.А. Новичков // Инженерные изыскания. – 2012. – № 12. – С. 38–45.
5. Automatic measurement of drilling parameters to evaluate the mechanical properties of soils / M. Cardu, P. Oreste, D. Pettinau, D. Guidarelli // American Journal of Applied Sciences. – 2013. – № 10 (7). – P. 654–663.
6. Болдырев Г.Г., Новичков А.Г. Технология полевых испытаний грунтов методом бурового зондирования // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2015. – № 1. – С. 64–78.

7. Болдырев Г.Г., Идрисов И.Х., Кондратьев Р.А. Новые технологии полевых и лабораторных испытаний грунтов как альтернатива зарубежным // Инженерные изыскания. – 2015. – № 8. – С. 48–57.
8. Lunne T., Yang S., Schnaid F. Session report 2: interpretation // 3rd International Symposium on Cone Penetration Testing. – Las Vegas, Nevada, USA, 2014. – P. 145–164.
9. Lunne T., Robertson P.K., Powell J.J.M. Cone penetration testing in geotechnical practice. – New York, 1997. – 312 p.
10. Robertson P.K., Cabal K.L. Guide to cone penetration testing for geotechnical engineering. – 2010. – 138 p.
11. Robertson P.K. The James K. Mitchell lecture: interpretation of in-situ tests – some insights // Proceedings ISC-4 “Geotechnical and Geophysical Site Characterization 4”, Pernambuco. – London: Taylor & Francis Group, 2012. – Vol. 1. – P. 3–24.
12. Mayne P.W. Interpretation of geotechnical parameters from seismic piezocone tests // Proceedings of 3rd International Symposium on Cone Penetration Testing (CPT'14, Las Vegas), ISSMGE Technical Committee TC 102. – 2014. – P. 47–73.
13. Mayne P.W. NCHRP synthesis 368: cone penetration test // Transportation Research Board. – Washington DC: National Academies Press, 2007. – 118 p.
14. Mayne P.W. In-situ test calibrations for evaluating soil parameters // Characterization & Engineering Properties of Natural Soils. – 2007. – Vol. 3. – P. 1601–1652.
15. Robertson P.K., Campanella R.G. Interpretation of the cone penetrometer test, part II: clay // Canadian Geotechnical Journal. – 1983. – Vol. 20, № 4. – P. 734–745.
16. Direct soil classification by static penetrometer with special friction sleeve / G. Sanglerat, T.V. Nhim, M. Sejourne, R. Andina // Proceedings of the First European Symposium on Penetration Testing, ESOPT-1, Stockholm, 5–7 June, 1974. – Vol. 2.2. – P. 337–344.
17. Зиангиров П.С., Каширский В.И. Оценка модуля деформации дисперсных грунтов по данным статического зондирования // Объединенный научный журнал. – 2004. – № 30. – С. 71–78.
18. Барвашов В.А., Болдырев Г.Г., Уткин М.М. Расчет осадок и кренов сооружений с учетом неопределенности свойств грунтовых оснований // Геотехника. – 2016. – № 1. – С. 12–29.
19. Кулижников А.М. Повышение качества реконструкции и капитального ремонта автомобильных дорог за счет применения инновационных георадарных технологий [Электронный ресурс]. – URL: http://scfi.rte-expo.ru/doc/scfi_2014_pdf/kulizhnikov_am_rosdornii.pdf (дата обращения: 12.04.2017).

References

1. Boldyrev G.G. Polevye metody ispytaniy gruntov [Field methods of testing soils]. Saratov, 2013, 356 p.
2. Ryzhkov I.B., Isaev O.N. Stichesкое zondirovanie gruntov [Static sounding of soils]. Moscow, ASV, 2010, 496 p.
3. Schnaid F. In-situ testing in geomechanics: The main tests. London, Taylor & Francis Group, 2009, 330 p.
4. Boldyrev G.G., Kal'bergenov R.G., Kushnir, Novichkov G.A. Burovoe zondirovanie gruntov [Drilling ground sounding]. *Inzhenernye izyskaniia*, 2012, no. 12, pp. 38–45.
5. Cardu M., Oreste P., Pettinau D., and Guidarelli D. Automatic measurement of drilling parameters to evaluate the mechanical properties of soils. *American Journal of Applied Sciences*, 2013, no. 10 (7), pp. 654–663.

6. Boldyrev G.G., Novichkov A.G. Tekhnologiiia polevykh ispytanii gruntov metodom burovogo zondirovaniia [Tests of soil by method of boring sounding]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2015, no. 1, pp. 64-78.

7. Boldyrev G.G., Idrisov I.Kh., Kondrat'ev R.A. Novye tekhnologii polevykh i laboratornykh ispytanii gruntov kak al'ternativa zarubezhnym [New technology of field and laboratory soil tests as an alternative to foreign]. *Inzhenernye izyskaniia*, 2015, no. 8, pp. 48-57.

8. Lunne T., Yang S., Schnaid F. Session Report 2: Interpretation. *Proceedings 3rd International Symposium on Cone Penetration Testing*, Las Vegas, Nevada, USA, 2014, pp. 145-164.

9. Lunne T., Robertson P.K., Powell J.J.M. *Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice*, New York, 1997, 312 p.

10. Robertson P.K., Cabal K.L. *Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering*. 2010, 138 p.

11. Robertson P.K. The James K. Mitchell Lecture: Interpretation of in-situ tests - some insights. *Proceedings of ISC-4, Geotechnical and Geophysical Site Characterization 4*, Pernambuco. London, Taylor & Francis Group, 2012, vol. 1, pp. 3-24.

12. Mayne P.W. Interpretation of geotechnical parameters from seismic piezocone tests. Report 2: Interpretation. *Proceedings 3rd International Symposium on Cone Penetration Testing*, Las Vegas, Nevada, USA, 2014, pp. 47-73.

13. Mayne P.W. NCHRP Synthesis 368: Cone Penetration Test. *Transportation Research Board*, National Academies Press, Washington DC, 2007, 118 p.

14. Mayne P.W. In-situ test calibrations for evaluating soil parameters. *Characterization & Engineering Properties of Natural Soils*. London, Taylor & Francis Group, 2007, vol. 3, pp. 1601-1652.

15. Robertson P.K., Campanella, R.G. Interpretation of the Cone Penetrometer Test, Part II: Clay. *Canadian Geotechnical Journal*, 1983, vol. 20, no. 4, pp. 734-745.

16. Sanglerat G., Nhim T. V., Sejourne, M., Andina, R. Direct soil classification by static penetrometer with special friction sleeve. *Proceedings of the First European Symposium on Penetration Testing, ESOPT-1*, June 5-7, Stockholm, 1974, vol. 2.2, pp. 337-344.

17. Ziangirov R.S., Kashirskii V.I. Otsenka modul'ia deformatsii dispersnykh gruntov po dannym staticheskogo zondirovaniia [Estimation of the modulus of deformation of disperse soils according to static sensing data]. *Moscow, Ob"edinennyi nauchnyi zhurnal*, 2004, no. 30, pp. 71-78.

18. Barvashov V.A., Boldyrev G.G., Utkin M.M. Raschet osadok i krenov sooruzhenii s uchetom neopredelennosti svoistv gruntovykh osnovanii [Calculation of sediments and rolls of structures, taking into account the uncertainty of properties of soil bases]. *Geotekhnika*, 2016, no. 1, pp. 12-29.

19. Kulizhnikov A.M. Povyshenie kachestva rekonstruktsii i kapital'nogo remonta avtomobil'nykh dorog za schet primeneniia innovatsionnykh georadarnykh tekhnologii [Improving the quality of reconstruction and major repairs of highways through the use of innovative georadar technologies], 2014. available at: http://srci.rte-expo.ru/doc/srci_2014_pdf/kulizhnikov_am_rosdornii.pdf (accessed 12 April 2017).