



<http://elementor.zaryamedia.ru/wp-content/uploads/2016/07/dokumenty.jpg>

О НЕКОТОРЫХ ПАРАДОКСАХ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ И ТРАДИЦИОННЫХ ПОДХОДОВ К ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМ ИЗЫСКАНИЯМ

ON SOME PARADOXES OF NORMATIVE DOCUMENTS AND TRADITIONAL APPROACHES TO ENGINEERING-GEOLOGICAL SURVEYS

БАРВАШОВ В.А.

Ведущий научный сотрудник АО «НИЦ «Строительство», к. т. н., г. Москва, barvash@mail.ru

БОЛДЫРЕВ Г.Г.

Профессор Пензенского государственного университета архитектуры и строительства, директор по научной работе и инновациям ООО «НПП «Геотек»», д. т. н., г. Пенза, g-boldyrev@geoteck.ru

BARVASHOV V.A.

Leading researcher of the "Stroitel'stvo" JSC research center, PhD (candidate of science in Technics), Moscow, barvash@mail.ru

BOLDYREV G.G.

Professor of the Penza State University of Architecture and Construction, director for research and innovation of the «Geotek» LLC R&D enterprise, DSc (doctor of science in Technics), Penza, g-boldyrev@geoteck.ru

Ключевые слова: нормативные документы; инженерно-геологические изыскания; инженерно-геотехнические изыскания; инженерно-геологическая модель; расчетная геомеханическая модель; инженерно-геологический элемент; расчетный грунтовый элемент; расчетное сопротивление грунта основания; коэффициенты надежности; представительность результатов.

Аннотация: в статье рассматривается ряд неопределенностей и взаимоисключающих положений, содержащихся в таких действующих нормативных документах, как СП 22.13330-2011, СП 47.13330-2012 и ГОСТ 20522-2012. Авторы обращают внимание читателей на следующие спорные вопросы: что такое инженерно-геологическая модель грунтового основания и как ее использовать в дальнейших расчетах фундаментов? Приводятся достаточно подробные доводы в пользу отступления от традиционной модели построения инженерно-геологических разрезов на основе разделения грунтовых массивов на инженерно-геологические элементы (ИГЭ). Представлены некоторые примеры из практики, которые показывают оправданность перехода к расчетной геомеханической модели основания, в которой принимается, что разрез основания не всегда одинаков под разными частями фундамента и что расчетные характеристики грунтов в его пределах могут или быть постоянными, или меняться в каком-либо направлении. Проблемы, изложенные в статье, являются спорными и требуют широкого обсуждения в профессиональной среде изыскателей и проектировщиков. Читатели приглашаются принять участие в этой дискуссии.

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 [11]. В разделе 5.3 данного свода правил приведены основные требования к определению нормативных и расчетных значений характеристик грунтов, которые в дальнейшем используются при проектировании оснований по первой и второй группам предельных состояний. В то же время некоторые требования к определению показателей свойств грунтов, как и общие правила проведения инженерно-геологических изысканий, изложены в СП 47.13330 [12].

Хотелось бы рассмотреть ряд неопределенностей и взаимоисключающих положений, содержащихся в СП 22.13330-2011¹, СП 47.13330-2012 и ГОСТ 20522-2012, и открыть на страницах журнала дискуссию по этому поводу.

В СП 47.13330 прописано понятие об *инженерно-геологической модели* — совокупности данных о пространственном положении *инженерно-геологических элементов* (ИГЭ) в зоне взаимодействия объекта и геологической среды.

В ГОСТ 20522 [8] находим, что *инженерно-геологический элемент* —

это основная единица при инженерно-геологической схематизации грунтового объекта, определяемая положениями пункта 3.4 этого стандарта, в котором говорится в том числе следующее: «За ИГЭ принимают некоторый объем грунта одного и того же происхождения и вида при условии, что значения характеристик грунта изменяются в пределах элемента случайно (незакономерно) либо наблюдающаяся закономерность такова, что ею можно пренебречь. В последнем случае должны выполняться требования 4.5. ИГЭ наделяют постоянными нормативными и расчетными значениями характеристик. Комплекс ИГЭ образует *инженерно-геологическую модель объекта*».

В этом же ГОСТ находим: «*Расчетный грунтовый элемент (РГЭ)* — основная грунтовая единица, выделяемая с учетом применяемого при проектировании грунтового объекта расчетного или экспериментального метода, определяемая положениями 3.4... За РГЭ принимают некоторый объем грунта не обязательно одного и того же происхождения и вида, в пределах которого нормативные и расчетные значения характеристик при проектировании грунтового объекта по условиям применяемого расчетно-

Key words: normative documents; engineering-geological surveys; engineering-geotechnical surveys; engineering-geological model; computational geomechanical model; engineering-geological element; design soil element; design resistance of foundation soil; safety factors; representativeness of results.

Abstract: the paper discusses a number of uncertainties and mutually exclusive provisions in the current normative documents, such as the SP 22.13330-2011, SP 47.13330-2012 and GOST 20522-2012. The authors draw attention of the readers to the following controversial questions: what is an engineering-geological model of foundation soils and how to use it in further calculations of foundations? They give rather detailed arguments in favor of departure from the traditional model of constructing engineering-geological sections on the basis of partition of soil bodies into engineering-geological elements. The authors present some examples from practice which justify transition to an analytical geomechanical model of foundation soils which assumes that the cross-section of a base is not always the same under various parts of the foundation and that the design soil characteristics within the base can be either permanent or changing in some direction. The problems outlined in the article are controversial and require extended discussion in the professional environment of engineering surveyors and designers. The readers are invited to take part in this discussion.

го или экспериментального метода могут быть постоянными или закономерно изменяющимися по направлению (чаще всего по глубине). РГЭ может включать часть одного или несколько ИГЭ. Комплекс РГЭ образует *расчетную геомеханическую модель объекта*».

Таким образом, для того чтобы геологу подготовить исходную информацию для проектирования оснований, необходимо определить: *инженерно-геологический элемент; инженерно-геологическую модель; расчетный грунтовый элемент; расчетную геомеханическую модель*. Это можно отнести к первому парадоксу существующих нормативных документов. Возникают очевидные вопросы: зачем столько понятий, почему они дублируют друг друга, можно ли без них обойтись?

Странности нормативных документов на этом не заканчиваются. Вот еще некоторые из них.

1. СП 47.13330 разделяет изыскания на инженерно-геологические и геотехнические. При этом *расчетная геомеханическая модель* создается на стадии геотехнических изысканий, а стратиграфия и физико-механические свойства грунтов определяются на стадии инженерно-геологических изысканий. Но в последнем случае не определяют-

¹ Один из авторов настоящей статьи (В.А. Барвашов) является сотрудником НИЦ «Строительство». Эта организация была разработчиком норм СП 22.13330 и участвовала в обсуждении СП 47.13330. Однако В.А. Барвашов добровольно вышел из списка авторов СП 22.13330 и неоднократно выражал свое несогласие с рядом положений СП 22.13330 и СП 47.13330, о чем не раз писал в своих статьях и докладывал на конференциях начиная с 1987 года [1–7].

ся параметры моделей грунтов, необходимые для нелинейных расчетов оснований, так как они не входят в состав искомых характеристик грунтов по СП 47.13330, но могут быть найдены по результатам геотехнических изысканий. Получается, что, если вы используете стандартные решения СП 22.13330, то вам достаточно провести инженерно-геологические изыскания, но если вы выполняете проектирование оснований с использованием численных методов расчета, то вы должны провести инженерно-геотехнические изыскания. Но так на практике не бывает — никто из заказчиков *не будет платить дважды* за одну и ту же работу.

2. В СП 47.13330 нет определения понятия «*инженерно-геологические изыскания*». Однако они даны для *инженерно-геотехнических изысканий*, под которыми следует понимать комплекс геотехнических работ и исследований с целью получения исходных расчетных значений для проектирования фундамента, опор и др. на участке размещения объекта капитального строительства или индивидуального проектирования, необходимых и достаточных для построения *расчетной геомеханической модели* взаимодействия здания или сооружения с основанием.

3. В СП 47.13330 нет определения понятия «*инженерно-геологический элемент*».

4. В СП 47.13330 введено понятие «*инженерная цифровая модель местности (ИЦММ)*». Это форма представления инженерно-топографического плана в цифровом векторно-топологическом виде для обработки (моделирования) на ЭВМ и автоматизированного решения инженерных задач. ИЦММ состоит из цифровой модели рельефа (ЦМР) и цифровой модели ситуации (ЦМС). Однако отсутствует необходимое проектировщику понятие «*цифровая инженерно-геологическая модель (ЦИГМ)*». Эта модель должна создаваться на стадии инженерно-геологических изысканий. В то же время при проектировании используется расчетная модель, которая представляет собой инженерно-геологическую модель с «врезкой» в нее здания или сооружения. Поэтому расчетная модель должна включать в себя цифровую модель местности, цифровую инженерно-геологическую модель и цифровую модель проектируемого здания или со-

оружения. Подобные геоинформационные системы разрабатываются в последнее время за рубежом. Нам пора перейти от разговоров к созданию цифровых моделей, которые можно по аналогии с терминологией ГОСТ 20522 назвать *цифровыми геомеханическими моделями (ЦГМ)* — формами представления в цифровом виде информации о модели местности (ИЦММ), модели инженерно-геологических и гидрогеологических условий (ЦИГМ) и модели проектируемого здания и сооружения (ЦМЗС).

5. Критерий допустимости линейных расчетов системы «основание — сооружение», называемый в СП 22.13330 *расчетным сопротивлением грунта основания*, отменяет необходимость учета влияния зон разрушения под краями фундамента на поведение сооружения в целом. Необходимо отменить этот критерий и использовать модели оснований для расчета осадок фундаментов, в которых учитываются зоны разрушения грунта под краями фундамента, так как они влияют на осадку и особенно на крены и внутренние усилия в теле фундамента².

6. До сих пор нет методики определения *границ инженерно-геологических элементов* между выработками. В большинстве случаев геологи проводят границы ИГЭ субъективно — «по наитию». Согласно СП 47.13330 расстояния между ближайшими выработками назначаются в диапазоне примерно 20–100 м. При этом в поле зрения геолога не попадают особенности геологического строения — выклинивание слоев, линзы и др. Если геологи предполагают наличие таких особенностей, не зная, где они находятся, то они их «подрисовывают». По умолчанию считается, что *геолог всегда прав*. Для этого в СП 47.13330 введен пункт 4.14, который исключает любое вмешательство в работу геолога.

Но это еще не все. Геологи дают в отчетах лишь несколько разрезов, поэтому проектировщикам приходится *субъективно «домысливать»* стратификацию и значения параметров грунта между разрезами. Обычно проектировщики занижают эти значения, ошибочно полагая, что этим создают «запас надежности» при расчете сооружения (но это в ряде случаев неверно, например при расчете кренов сооружения).

Кроме того, в СП 22.13330 рекомендованы *только понижающие норма-*

тивные значения коэффициентов надежности параметров грунта (модуля деформации E , удельного сцепления c , угла внутреннего трения ϕ), то есть превышающие единицу. При этом игнорируется следующий вероятный случай: сжимаемость грунта с одной стороны фундамента может быть меньше, а с другой — больше, что может привести к крену. Следовательно, коэффициент надежности должен иметь два значения — одно больше, а другое меньше единицы. Это подтверждается, например, наблюдениями за осадками жилых зданий в Санкт-Петербурге [13].

Но и это не все. Одной из серьезных и игнорируемых проблем является *представительность результатов инженерно-геологических изысканий*. По умолчанию считается, что в близко расположенных друг к другу выработках значения параметров грунтов практически одинаковы. Этот вопрос не исследуется и не обсуждается — он вытесняется в подсознание и игнорируется, что недопустимо. Для примера на рис. 1, 2 приведены данные исследований свойств грунтов, выполненных сотрудниками Университета штата Луизиана в США [14]. На рисунке 1 показаны места 16 выработок для статического зондирования грунтов, которые расположены достаточно близко друг к другу. Несмотря на то что были выбраны небольшие расстояния между точками зондирования, значения лобового сопротивления внедрению конуса в них различаются существенно (см. рис. 2). Однако столь противоречивые данные применяются у нас в последующем при проектировании оснований зданий и сооружений с использованием метода послойного суммирования [11].

В общем случае расчет осадок сооружений можно выполнять более точно, если сначала вычислять осадки в точках над выработками, используя метод послойного суммирования, а затем экстраполировать полученные дискретные значения осадок на всю площадь основания. Подробности этой простой методики изложены в работе [6]. При таком подходе геологи и проектировщики освобождаются от выполнения целого ряда сомнительных операций, но могут дополнительно вычислять коэффициент жесткости основания (коэффициент постели³), что необходимо для расчета системы «основание — фундамент — сооружение».

Например, НПП «Геотек» предполагает в ближайшее время объединить

² Речь идет о предложении учесть зоны разрушения грунта под краями фундамента вместо «расчетного сопротивления грунта основания». Эта тема обсуждалась в статьях авторов начиная с 1987 года [1–7].

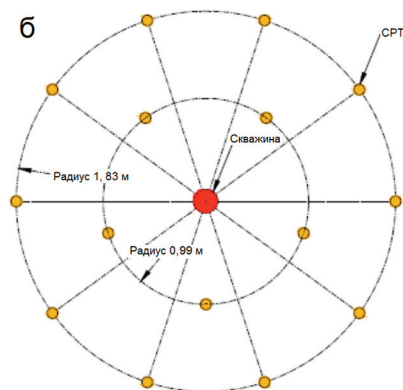


Рис. 1. Расположение экспериментальных геологических скважин для статического зондирования на фотографии (а) и на схеме (б) (по [14])

выполнение изысканий с расчетом осадок и кренов проектируемого сооружения. Это даст возможность не только получать значительно более достоверные данные, но и определять предствительное число скважин в процессе изысканий. Геологи будут освобождены от необходимости выполнения большого объема камеральных работ и составления громоздких отчетов, так как обработка данных изысканий и расчет осадок, кренов сооружения и распределения величин коэффициента жесткости основания будут заканчиваться в процессе изысканий на площадке строительства проектируемого объекта⁴. Рассмотрим последовательность решения данной задачи.

1. На первом этапе изысканий проводятся геофизические исследования с целью выявления неоднородности напластования природных грунтов в основании проектируемого здания или сооружения. Анализ их результатов позволяет обоснованно назначать места бурения скважин для отбора монолитов и точек статического, динамического, бурового зондирования и других видов полевых исследований. На рисунке 3 в качестве примера приведены данные георадарной съемки на одном из участков строитель-

ства [10]. Видно наличие выклинивающегося массива гравелистого песка, который мог бы быть не обнаружен в случае обычного подхода при использовании нормативных расстояний между выработками. Имея такую информацию, следует скорректировать программу изысканий, изменив места выработок для отбора монолитов и зондирования.

2. На втором этапе выполняются полевые работы с использованием статического, динамического или бурового зондирования, испытаний штампами и других методов. В процессе зондирования с помощью управляющего программного комплекса АСИС (разработанного в НПП «Геотек») и корреляционных зависимостей определяются деформационные и прочностные характеристики грунтов. Для этого можно использовать известные корреляционные зависимости. Например, в работе [9] приведена следующая зависимость для определения модуля деформации моренных суглинков⁵:

$$E = 7,0 + 6,4q_c,$$

где E — модуль деформации; q_c — лобовое сопротивление внедрению конуса.

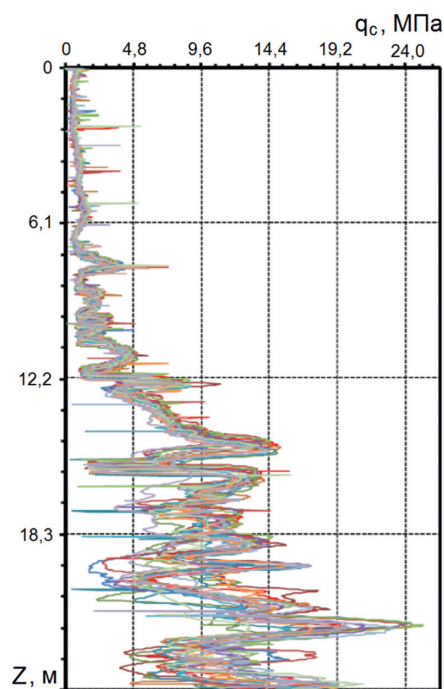


Рис. 2. Разброс измеренных величин лобового сопротивления внедрению конуса q_c (горизонтальная ось) (по [14]). Вертикальная ось — глубина Z . Разными цветами показаны зависимости, полученные в различных точках статического зондирования (см. рис. 1, б)

Для этой же цели можно использовать таблицы приложений СП 47.13330.

³ Авторы оперируют понятиями «модуль деформации», «коэффициент постели». У оппонентов может возникнуть вопрос: для чего нужно усложнять изыскания, если для расчета оснований нужны только упрощенные характеристики? Дело в том, что коэффициент постели — это не одно значение, а распределение его величин под фундаментом. В программах SCAD, «ЛИРА» и других используется итерационный метод Шварца для расчета неравномерного распределения коэффициента постели под фундаментом.

⁴ Авторам могут возразить, что выполнять расчет осадок на этапе инженерных изысканий невозможно, так как изыскания предшествуют этапу проектирования оснований и фундаментов. Но авторы считают, что это делать можно и нужно, оптимизировав изыскания и избавившись от субъективизма геологов и проектировщиков. Напомним возможным оппонентам, что осадка и два крена — это не поле, а всего три числа, а распределение коэффициента постели — это непрерывная функция $K(x,y)$. В геотехнике для решения контактных задач, в частности для расчета плитных фундаментов в программах системы SCAD Soft, используется метод Шварца, о котором впервые было сообщено в нашей стране в 1962 году известными советскими математиками академиками А.В. Курантом и В.И. Крыловым в книге «Приближенные методы высшего анализа» (М.: Госфизматгиздат, 1962). После испытаний грунта по методу НПП «Геотек» проектировщикам дистанционно передается поле коэффициентов постели $K(x,y)$ в виде цифрового массива для ввода в их программы расчета сооружений на грунтовом основании. Предполагается добавить к этому свайные фундаменты (свайное поле). Все это будет выполняться без каких-либо промежуточных операций и толстых отчетов. На этот метод уже есть заявка на патент.

⁵ Авторам могут возразить, что необходимы ограничения в применении этого выражения (например, для Санкт-Петербурга модуль деформации по этому выражению будет существенно завышен). С этим нельзя не согласиться, но других вариантов, кроме определения модуля деформации по корреляционным зависимостям от лобового сопротивления внедрению конуса, пока не существует.

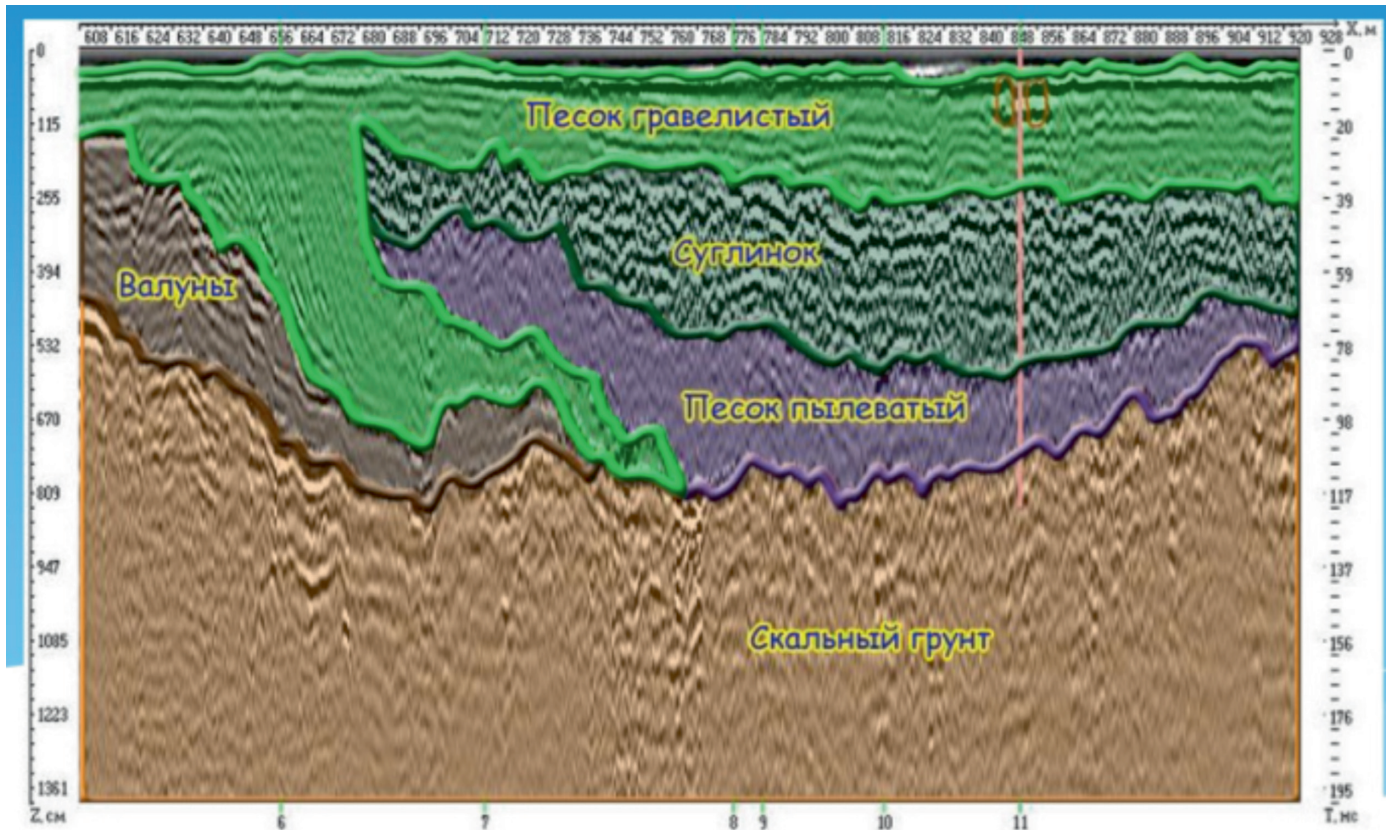


Рис. 3. Пример результатов георадарных исследований. Горизонтальная ось — расстояние X , м; вертикальная ось слева — глубина Z , см; вертикальная ось справа — время пробега электромагнитной волны t , мс

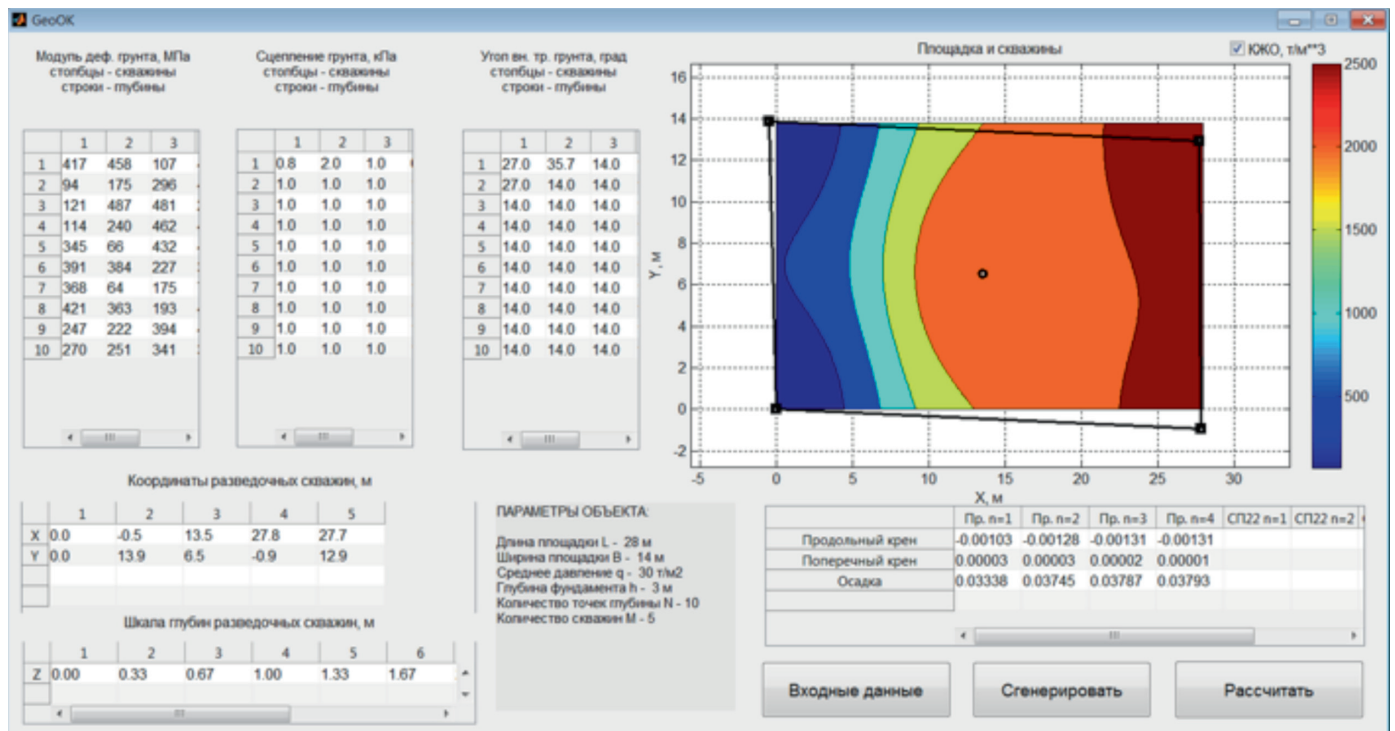


Рис. 4. Пример выведенного на монитор вычисления крена и осадки по данным для пяти выработок в программе «ЛИРА»

Здесь же в поле с использованием решений по СП 22.13330 или других выполняются расчеты 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, расчетные значения осадки и крена. Отметим, что исходные данные (си-

туационный план, план здания, размеры фундамента, нагрузка на основание и др.) вводятся в программу до выхода в поле.

На рисунке 4 показан выведенный на монитор расчет осадки прямоугольного

плитного фундамента с учетом образования зон разрушения под краями фундамента [6]. Характеристики грунтов (модуль деформации E , угол внутреннего трения φ , удельное сцепление c) определены в пяти выработках до глубины 10 м по данным статического зондирования с использованием корреляционных зависимостей. В верхней левой части рис. 4 показаны массивы вводимых характеристик грунтов по трем выработкам, а в нижней правой части — вычисленные величины средней осадки, продольного и поперечного крена. Изолинии отображают значения коэффициента постели (t/m^3) в плоскости подошвы фундамента. Используя эти величины коэффициента постели и программы «ЛИРА» (разработки компании «ЛИРА софт») или SCAD (разработки компании SCAD Soft), можно найти внутренние усилия (момент и поперечные силы) в теле фундамента.


3. Зондирование грунтов в пределах пятна проектируемого здания продол-

жается до тех пор, пока расчетные значения осадки и крена не станут постоянными. Таким образом, мы переходим от нормативной установки назначения количества выработок к их определению на основе априорной гипотезы о неоднородности исследуемого грунтового массива. Естественно, для однородного по свойствам массива потребуется меньшее количество выработок, чем для неоднородного.

4. Для дешифрирования результатов геофизических исследований и оценки достоверности используемых корреляционных зависимостей назначаются опорные скважины с отбором монолитов и выполняются лабораторные испытания грунтов. Полученные данные используются для оценки достоверности величин осадки и крена проектируемого здания или сооружения и их перерасчета в случае необходимости.

Таким образом, после выполнения комплекса перечисленных выше работ

результатами инженерно-геологических исследований являются не только отчет о свойствах грунтов основания, но и оценка влияния их деформационных и прочностных характеристик на поведение проектируемого здания или сооружения.

В заключение хотелось бы подчеркнуть, что в бесчисленном множестве публикаций по вопросам геотехники обходятся стороной насущные проблемы геотехнических расчетов. Традиционные подходы в этой области преобладают уже полвека. Вопрос о том, как неоднозначность, скудость и субъективизм инженерно-геологических данных сказываются на поведении системы «основание — фундамент — сооружение», практически не исследуется. Термин «чувствительность системы» чужд теории и практике геотехнических расчетов. И данная статья была написана в надежде на то, что эти вопросы заинтересуют специалистов и аспирантов. 

Список литературы

1. Барвашов В.А. К вопросу о расчете осадок по рекомендациям СП-50-101-2004 // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2006. № 1. С. 20–24.
2. Барвашов В.А. Неопределенность данных инженерно-геологических изысканий и поведение системы «основание — фундамент — сооружение» // Инженерные изыскания. 2014. № 7. С. 16–23.
3. Барвашов В.А. О рекомендациях по расчету осадок в актуализированных нормативных документах по основаниям зданий и сооружений. Критический анализ и предложения // Инженерные изыскания. 2011. № 9. 10–21 с.
4. Барвашов В.А. Расчет осадок грунтовых оснований и свайных фундаментов без допущения о конечности глубины сжимаемой толщи // Геотехника. 2010. № 4. С. 42–57.
5. Барвашов В.А. Чувствительность системы «основание — сооружение» // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2007. № 3. С. 10–14.
6. 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.
7. Барвашов В.А., Зиангиров Р.С., Маляренко А.А., Монахов В.В. О компьютеризации диалога между изыскателями и геотехниками // Материалы Международной геотехнической конференции «Геотехнические проблемы в мегаполисах (GeoMos 2010)». М., 2010. Т. 5. С. 1855–1860.
8. ГОСТ 20522-2012. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. М.: МНТКС, 2012.
9. Каширский В.И., Дмитриев С.В., Знаменский Е.Н., Балекин М.В., Бизов А.Н. Особенности исследований четвертичных и дочетвертичных дисперсных грунтов в Московской области // Веб-сайт ООО «ГрандГЕО». URL: <http://grandgeo.ru/science/kvi/82/82.pdf>.
10. Кулижников А.М. Повышение качества реконструкции и капитального ремонта автомобильных дорог за счет применения инновационных георадарных технологий // Материалы Международной научно-практической конференции «Модернизация дорожного хозяйства: опыт и перспективы в Приволжском федеральном округе». Самара, 2014. URL: http://srci.rte-expro.ru/doc/srci_2014_pdf/kulizhnikov_am_rosdornii.pdf.
11. СП 22.13330-2011 (актуализированная редакция СНиП 2.02-01-83). Основания зданий и сооружений. М.: Минрегион России, 2011.
12. СП 47.13330-2012 (актуализированная редакция СНиП 11-02-96). Инженерно-геологические изыскания для строительства. М.: Госстрой России, 2012.
13. Фадеев А.Б., Иноземцев В.К., Лукин В.А. О допустимых деформациях оснований плитных фундаментов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2004. № 2. С. 14–16.
14. Alshibli K.A., Okeil A., Alramahi B. Update of correlations between cone penetration and boring log data: report № FHWA/LA.08/439 for the Department of Civil and Environmental Engineering of the Louisiana State University, Louisiana Department of Transportation and Development, Louisiana Transportation Research Center, U.S. Department of Transportation of the Federal Highway Administration. Baton Rouge, LA: Louisiana State University Press, 2008. 147 p. URL: https://www.ltrc.lsu.edu/pdf/2009/fr_439.pdf.