

О компьютеризации диалога между изыскателями и геотехниками

Обработку данных инженерно-геологических изысканий (ИГИ) и проектирование зданий/сооружений можно объединить в рамках одного процесса, который обеспечит возможность интерактивного взаимодействия геологов-изыскателей и геотехников-проектировщиков на основе математического моделирования чувствительности системы "основание-фундамент-сооружение" (ОФС) к неопределенности и разбросу данных ИГИ. В статье приводится таблица чувствительности системы ОФС к вариациям исходных данных, показаны возможности варьирования неопределенности данных ИГИ для оценки чувствительности системы ОФС.

Геологи-изыскатели и проектировщики-геотехники работают в условиях *дефицита и неопределенности данных инженерно-геологических изысканий*. Данные ИГИ характеризуются разрозненностью (большие расстояния между точками измерения), неизбежными погрешностями, разбросом, невозможностью однозначной интерпретации. Оценка

проведенных измерений человеком субъективна, а ручная графическая обработка данных (например, построение границ инженерно-геологических элементов) не отличается высокой точностью. По этим данным с помощью весьма *приближенных* калибровочных формул определяются параметры для расчета зданий/сооружений. При больших разбросах эти данные *осредняются*. Де-

фицит данных восполняется субъективными оценками или интерполяцией, обычно линейной, которая не всегда достоверна (рис. 1).

Как видно на представленных разрезах (рис. 2-3), границы слоев грунта в основании могут быть далеки от прямолинейных, а по данным из скважин эти границы можно построить весьма условно. В то же время применение средств непрерывного измерения слоистости в пределах площадки (георадар, сейсмика), которые могут решить эту проблему, не регламентируется действующими нормативными документами [1, 2].

Удивительно, что в таких условиях неопределенности исходных данных ИГИ аварии зданий/сооружений весьма редки. Это можно объяснить несколькими причинами:

1) "*На фундаментах не экономят*". Нормативные документы четко разделяют зоны ответственности геологов-изыскателей и проектировщиков-геотехников. Но поскольку и у тех и у других существует общая цель (не допустить нештатных ситуаций), геологи занижают значения параметров грунта, а геотехники завышают запасы надежности. Это ведет к росту затрат, в чем заинтересованы производители работ, а зачастую и инвесторы: подобный подход позволяет увеличить капитализацию здания/сооружения. Однако надежность и консерватизм — не одно и то же. В других отраслях (космос, авиация, автомо-

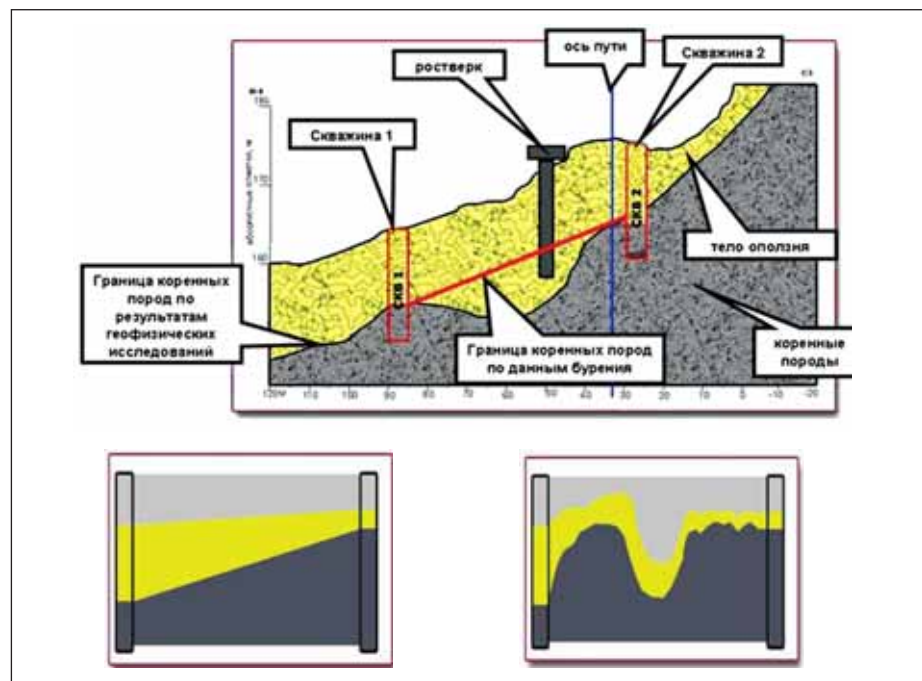


Рис. 1. Примеры погрешностей при построении прямолинейных границ слоев грунта по данным из скважин, которые затем были скорректированы по данным, полученным с помощью георадара (НПЦ "Геотех", Москва)

билестроение и т.д.) требования обеспечения прочности, надежности, ограничения веса и стоимости конечного изделия конфликтуют между собой, а компромисс достигается только после сравнения очень большого числа пробных вариантов проекта. В геотехнике для принятия решения рассматриваются лишь один или несколько вариантов.

- 2) *Существенных факторов мало.* В 1897 году итальянский математик Вильфредо Парето сформулировал свой принцип "80/20", современная трактовка которого принадлежит Джозефу Джурану (1941 г.): "80% следствий возникают от 20% причин, 80% причин вызывают только 20% следствий". Этот принцип противоречит предположению, что все причины и следствия существенны в равной мере и все их необходимо учитывать. Конечно, 80 и 20% не являются физическими константами, а соотношение 80/20 приблизительно, но работает практическое правило: "Существенных факторов мало, а несущественных много". Такая асимметрия характерна для всех сложных систем, к которым относится и система "основание-фундамент-сооружение" (ОФС). Важно определить, какие факторы и в каких случаях являются более существенными, а какие — менее.

Чтобы выявить существенные факторы, нужно исследовать *чувствительность* системы ОФС, то есть зависимость ее поведения от вариаций исходных данных. Это можно сделать с помощью *компьютерного моделирования*. Такие виртуальные исследования более доступны и дают намного больше информации, чем натурный мониторинг. Очевидно, что для выявления общих качественных трендов поведения системы ОФС достаточно ограничиться сравнительно небольшим числом характерных расчетных схем — *эталонов*.

Такие исследования уже проводились [3-8]. В таблице 1 обобщены результаты около 10 000 численных экспериментов, выполненных с помощью компьютерной программы, составленной в системе Mathcad на основе точного математического решения (не МКЭ) задачи определения осадок и усилий в фундаменте системы ОФС в условиях плоской задачи. Учитывались сжимаемость основания, образование зон разрушения грунта под краями фундамента, конечная жесткость фундаментной плиты и надфундаментной конструкции и сжимаемость несущих колонн.

В таблице даны оценки чувствительности поведения системы ОФС к вари-

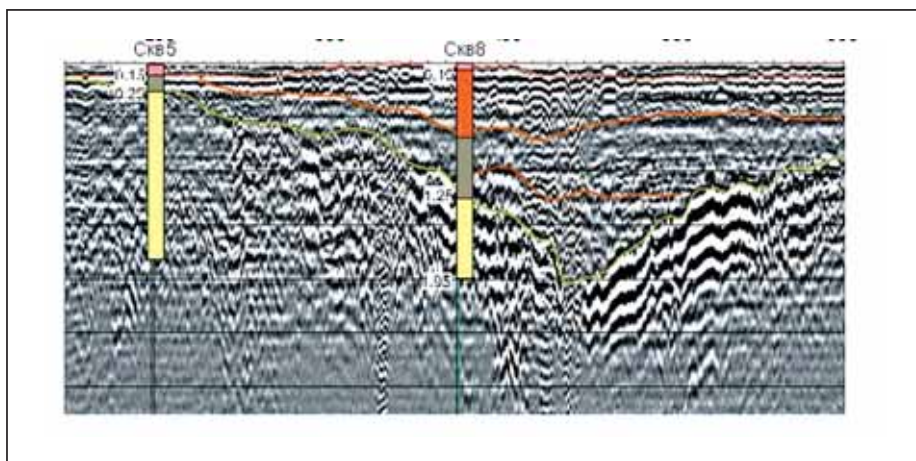


Рис. 2. Разрез, полученный с помощью георадара (НПЦ "Геотех", Москва)

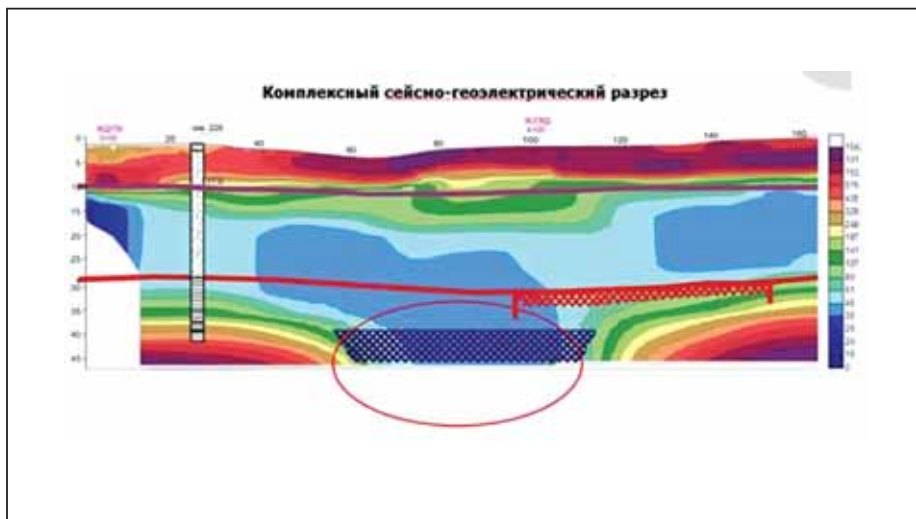


Рис. 3. Сейсмо-геоэлектрический разрез с выделением карстоопасной зоны между скважинами (НПЦ "Геотех", Москва)

циям исходных данных: 0 — влияние не существенно и его можно учитывать приближенно; 1 — влияние существенно; 2 — влияние весьма существенно, необходим его особо точный учет.

Отметим, что в коммерческих компьютерных программах (SCAD, Лира и др.) *не учитывается образование зон разрушения грунта под краями фундамента*, глубина которых зависит от параметров прочности грунта c и φ . В [3-8] было показано, что такой учет необходим для получения достоверных значений расчетных усилий в плите. К тому же при таком учете снижается чувствительность фундамента к вариациям других исходных параметров. Оказалось, что расстояние от края фундамента до ближайшей колонны (длина консоли) — весьма существенный фактор. Но система ОФС может быть чувствительна к величинам c и φ по периметру фундамента на небольшую глубину. В процессе изысканий эти величины измеряются по всему пятну сооружения до произвольной глубины, а затем осредняются.

Для обеспечения конструктивного диалога между изыскателями и проектировщиками требуется компьютеризировать все процедуры сбора, обработки и передачи данных ИГИ, а затем объединить их с компьютерным расчетом зданий/сооружений в рамках одного процесса, исключив субъективизм и ручные операции. Для этого необходимо следующее:

- 1) Оборудовать измерительные приборы дистанционными записывающими цифровыми датчиками. Такие миниатюрные датчики используются, например, при зондировании. Они записывают *всю* получаемую информацию в *цифровом виде* на электронных носителях.
- 2) Цифровые данные ИГИ с датчиков передавать в компьютер на электронных носителях или через Интернет.
- 3) Посредством интерполяции создавать непрерывные 3D-цифровые массивы данных с учетом возможности варьирования за счет свободных параметров интерполяции.

Рейтинг чувствительности системы ОФС						
Варьируемые исходные данные	Рейтинг чувствительности результатов расчета					
	Средние осадки	Прогибы	Крены	Изгибающие моменты		Поперечные силы
				+	-	
Модуль деформации основания E	1	1	1	0	0	0
Параметры прочности грунта c, φ	1	1	1	1	1	1
Глубина заложения фундамента h	1	1	1	1	1	1
Отношение жесткости надфундаментной конструкции (D_s) к жесткости фундаментной плиты (D)						
$D_s/D < 5$	0	1	1	1	1	1
$5 < D_s/D < 20$	0	1	1	0	0	0
$D_s/D > 20$	0	0	0	0	0	0
Сжимаемая толща основания H в реальном диапазоне величин	1	0	0	0	0	0
Неоднородность основания	0	1	1	1	1	1
Консоль (расстояние от крайней колонны до края плиты)	0	1	1	2	2	2
Жесткость опор	0	0	0	0	0	0
Изгибная жесткость фундамента D	0	1	1	0	1	1

- 4) Использовать 3D-цифровые массивы для расчета распределения коэффициентов жесткости основания, а затем для расчета сооружения.
- 5) Выполнять расчеты сооружения, варьируя значения свободных параметров интерполяции. Если выясняется, что система ОФС чувствительна к этим вариациям, необходимы дополнительные изыскания или повышение надежности фундаментов здания/сооружения. Решения принимаются на основе диалога между изыскателями и проектировщиками.

Отметим, что все необходимые компоненты этой системы уже существуют — требуется их интеграция.

Например, 3D-распределение характеристик грунтов основания определяется по дискретным данным в выработках. Следуя нормативным документам [1, 2], изыскатели должны "упаковать" эти характеристики в инженерно-геологические (ИГЭ) или расчетные геологические (РГЭ) элементы и представить их в виде нескольких разрезов на бумажном носи-

теле. Это трудоемкая ручная операция, требующая высокой квалификации: геометризация, которая неизбежно связана с субъективными оценками. Более того, несколько разрезов не дают информации о характеристиках в промежутках между ними. Чтобы получить из отчета 3D-распределение характеристик грунтов, проектировщик должен выполнить операцию, обратную геометризации: "распаковать" ИГЭ и/или РГЭ и субъективно назначить распределение характеристик между разрезами. После этого производится расчет осадок здания/сооружения. В то же время геометризация достаточно просто выполняется с помощью компьютера [9].

Эти ручные операции и субъективизм можно исключить, если строить распределения характеристик непосредственно по данным в выработках. Как уже сказано, такие распределения должны иметь свободные параметры формы для варьирования при оценке чувствительности системы ОФС. Если чувствительность мала, то исходных

данных достаточно, а если нет — нужны дополнительные данные ИГИ. Иными словами, малая чувствительность системы ОФС к этим вариациям является необходимым (но не достаточным) критерием репрезентативности объема данных ИГИ.

На рис. 4-5 показаны распределения характеристик грунтов, построенные с помощью интерполяционных формул Шепарда по данным в геологических выработках без выделения ИГЭ и РГЭ при различных значениях свободного параметра p [10].

Но малая чувствительность системы ОФС не является достаточным признаком полноты объема данных ИГИ. Если данные неполны, можно вводить "фиктивные" выработки и субъективно назначать в них величины характеристик грунтов, заведомо занижая их значения, а затем исследовать чувствительность системы ОФС. Такие численные эксперименты не регламентируются нормативными документами, но могут помочь при экспертных оценках [10].

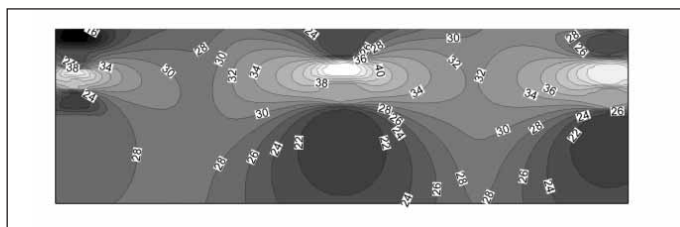
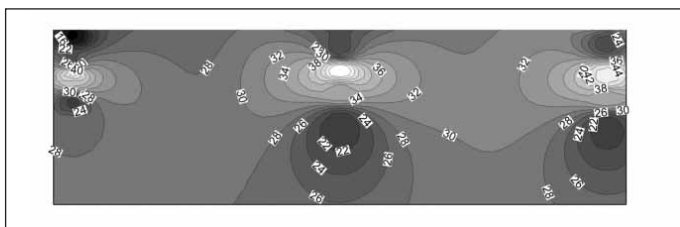


Рис. 4. Изолинии равных значений модуля деформации основания (панорамный разрез через три скважины)

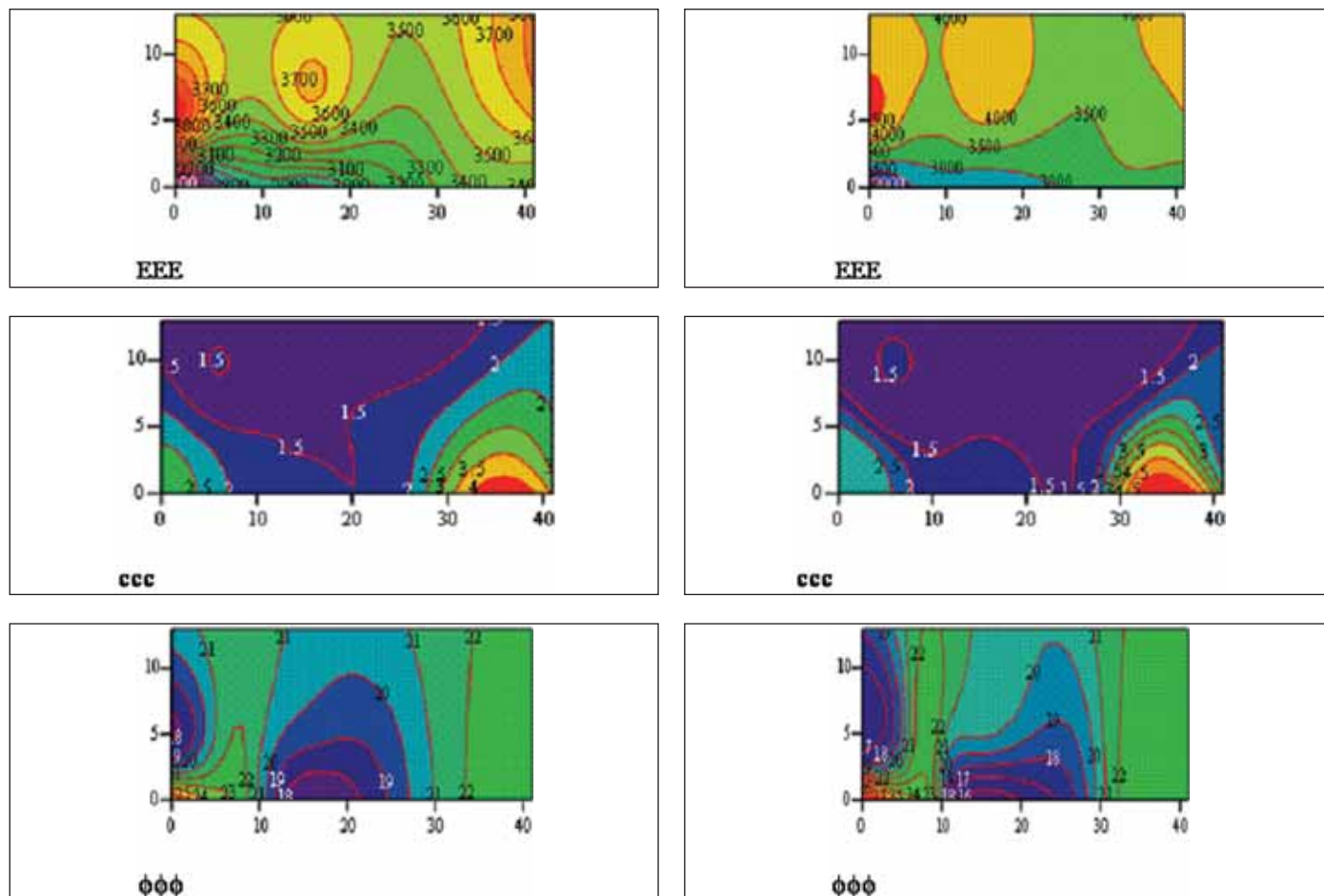


Рис. 5. Поля изолиний E , c и φ в разрезе 3D-массива плоскостью, не проходящей через скважины при значениях параметра формы $p=2$ и $p=4$

Выводы

- 1) Данные инженерно-геологических изысканий характеризуются неполнотой, большим разбросом, их получают из разрозненных выработок. Методы непрерывного сканирования стратиграфии грунтовых оснований не регламентируются нормативными документами.
- 2) Калибровочные формулы, используемые при определении параметров для расчета зданий/сооружений, имеют весьма условный характер.
- 3) На пути от выработки до проекта данные изысканий проходят обработку, связанную со значительным объемом ручных, а также взаимоисключающих операций, которые необходимо автоматизировать.
- 4) Нормативные документы разделяют зоны ответственности геологов-изыскателей и геотехников-проектировщиков. Это мешает их интерактивному диалогу и многовариантному проектированию с помощью компьютеров и информационных технологий.
- 5) Чувствительность системы "основание-фундамент-сооружение" может быть одним из критериев полноты объема данных инженерно-геологических изысканий.

Литература

1. ГОСТ 20522-96. Грунты: методы статистической обработки результатов испытаний. М., 1996.
2. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. М., 1997.
3. Барвашов В.А., Болтянский Е.З., Чинилин Ю.Ю. Исследование поведения системы "основание-фундамент-верхнее строение" методами математического моделирования на ЭВМ. — ОФМГ, 1987, №3.
4. Барвашов В.А., Болтянский Е.З., Чинилин Ю.Ю. Исследование поведения системы "основание-фундамент-верхнее строение различной жесткости" методами математического моделирования на ЭВМ (дополнение статьи, опубликованной в 1987 г.). — ОФМГ, 1990, №6.
5. Barvashov V.A. Sensitivity of Soil-Structure Systems. — VI International Congress on Mathematical Modeling. Nizhny Novgorod, Russia, 2003, Book of Abstracts, p. 315.
6. Барвашов В.А. Метод определения глубины зон разрушения под краями фундамента с учетом природного напряженного состояния. — Сб. научных трудов НИИОСП "75 лет НИИ-

ОСП им. Н.М. Герсеевского". М., 2006, с. 74-81.

7. Барвашов В.А. Чувствительность системы "основание-сооружение". — ОФМГ, 2007, №3.
8. Barvashov V.A., Naidenov A.I. Pareto principle and sensitivity of soil-footing-superstructure system. — Alexandria, 2008.
9. Барвашов В.А. О геометрии слоистых грунтовых оснований. — ОФМГ, 2006, №5.
10. Барвашов В.А., Найденов А.И. Учет зон разрушения грунта под краями фундамента в расчете системы "основание-фундамент-сооружение". — ОФМГ, 2009, №1.

Валерий Барвашов
в.н.с., к.т.н.

НИИОСП

Геннадий Болдырев

д.т.н.,

технический директор НПЦ "Геотек",

проф. ПГУ (Пенза)

Рэм Зиангиров,

д.г.-м.н., проф.,

Мосгоргеотрест

Анатолий Малайченко

генеральный директор НПФ "SCAD Soft"

E-mail: barvash@mail.ru;

g_boldyrev@penzadom.ru