

На правах рукописи

Гареева Наталья Борисовна

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОСНОВАНИЙ  
ФУНДАМЕНТОВ ПО ЦИФРОВЫМ МОДЕЛЯМ ГРУНТОВЫХ  
МАССИВОВ НА БАЗЕ ДАННЫХ ЗОНДИРОВАНИЯ**

Специальность 05.23.02 – «Основания и фундаменты, подземные сооружения»

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Уфа - 2003

Работа выполнена в Уфимском государственном нефтяном техническом университете и Государственном унитарном предприятии «Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и производственный институт строительного комплекса Республики Башкортостан» (БашНИИстрой, г. Уфа).

Научный консультант доктор технических наук,  
старший научный сотрудник  
РЫЖКОВ Игорь Борисович.

Официальные оппоненты: заслуженный строитель РФ,  
доктор технических наук, профессор  
БАХОЛДИН Борис Васильевич;

советник РААСН,  
доктор технических наук, профессор  
БОГОМОЛОВ Александр Николаевич;

заслуженный строитель РБ,  
доктор технических наук, профессор  
МУЛЮКОВ Эдуард Инсафович.

Ведущая организация проектно-конструкторский институт ГУП  
«БАШПРОМСТРОЙПРОЕКТ» (г.Уфа).

Защита состоится 31 октября 2003 года в 10-00 на заседании диссертационного совета Д 212.289.02 при Уфимском государственном нефтяном техническом университете по адресу: 450062, Республика Башкортостан, г.Уфа, ул.Космонавтов,1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ сентября \_\_\_\_\_ 2003 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Денисов О. Л.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** В общем объеме капитального строительства на долю фундаментов приходится до 10% общего расхода материалов по стоимости, а в сложных инженерно-геологических условиях эта доля может достигать 20-25%.

Важное место в проектировании фундаментов занимают инженерно-геологические изыскания и расчет грунтового основания, от стоимости и продолжительности которых зависят технико-экономические показатели конструкции фундаментов, принятой для строительства.

Существующая практика проектирования фундаментов предполагает расчет грунтового основания по данным бурения и получения информации о грунтовом массиве в виде «образцов-представителей», которые проходят лабораторную обработку. Результаты представляются в виде разрезов массива, отражающих качественный характер напластований грунтов. Для расчетов грунтового основания фундаментов выдаются результаты статистической обработки результатов испытаний образцов в виде обобщенных данных по отдельным инженерно-геологическим элементам грунтового массива. При такой методике значительны сроки получения информации для расчетов, а также мало возможности проектировщикам более полно проследить неравномерность массива под проектируемым зданием, так как большая стоимость и трудоемкость бурения скважин и обработки образцов ограничивает сетку скважин на площадке и объем информации о грунтовом массиве.

**Актуальность работы.** Развитие технологии статического зондирования грунтов к настоящему времени позволяет считать, что информация по одной скважине при статическом зондировании получается в значительно более короткие сроки по сравнению с методом бурения разведочных скважин. Практика использования, например, зондирующей установки С-832 на базе автомобиля позволяет получить информацию по площадке в 8-10 раз быстрее традиционного метода бурения, при большем числе точек зондирования.

Успешное применение статического зондирования для проектирования свайных фундаментов, в результате которого значительно сократились сроки и стоимость проектирования, поставило проблему разработки методов проведения изысканий для фундаментов на естественном основании и компьютерной технологии проектирования на базе данных зондирования.

**Целью диссертационной работы** явилось решение научно-технической проблемы создания метода проектирования грунтового основания по цифровым моделям на базе данных статического зондирования, обеспечивающего:

- значительное снижение объемов бурения и лабораторной обработки образцов грунта на площадках проектируемых зданий за счет использования

статического зондирования;

- получение на базе данных зондирования более полной информации о грунтовом массиве с меньшими затратами для построения цифровых моделей и дальнейшего автоматизированного проектирования фундаментов.

**Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи:**

1. Разработать метод и предложить для проектирования расчетные зависимости для оценки расчетного давления на грунт по данным статического зондирования.

2. На базе экспериментальных исследований разработать и предложить методику и расчетные зависимости для определения модуля деформации по данным зондирования.

3. Разработать методику построения цифровых моделей разрезов массивов грунта со значениями расчетных характеристик по данным статического зондирования.

4. Провести проверку методики построения цифровых моделей и расчетов грунтового основания на их основе на реальных строительных площадках.

5. Исследовать возможность использования статического зондирования для предпроектной оценки площадок зданий на карстоопасных площадках.

**Методы и достоверность исследований.** Результаты, основные выводы и рекомендации, приведенные в диссертационной работе, базируются на основных положениях механики грунтов и подтверждены результатами крупных натурных экспериментов непосредственно на строительных площадках. Кроме того, проведено большое количество экспериментов в условиях полигона и лабораторных условиях, результаты которых легли в основу предлагаемых расчетных формул. При проведении экспериментальных исследований использовались современная электронная аппаратура, тензометрические приборы и оборудование для статического зондирования, а результаты обрабатывались с применением ЭВМ. Получена приемлемая сходимость между результатами расчетов по предлагаемым формулам и данными натурных испытаний фундаментов, расхождения не превышают 15%.

Методики экспериментальных исследований соответствуют действующим нормам, анализ полученных результатов проводился с использованием современных статистических методов.

**Научная новизна диссертационной работы** заключается в том, что в ней впервые разработано новое направление в методике проектирования грунтового основания фундаментов по цифровым моделям, полученным по данным статического зондирования, включающее:

- проектирование грунтового основания столбчатых и ленточных фундаментов по плоским цифровым моделям разрезов площадок с применением ЭВМ;

- проектирование грунтового основания фундаментов большой площади

по объемным цифровым моделям массива;

- методику применения объемных цифровых моделей для предпроектной оценки грунтового массива карстоопасных площадок;

- методику определения расчетных характеристик грунтового основания по данным статического зондирования.

**Практическое значение работы.** Диссертационная работа выполнялась в рамках выполнения целевой программы «Наука» Минпромстроя СССР на 1985-90 гг., раздел 8.27.4, «Подготовить комплект программ для ЭВМ по обработке данных скоростных изысканий и использования их при проектировании», а также «Программы научно-технического обеспечения строительного комплекса Республики Башкортостан на 1996-2000 гг.».

Разработаны «Рекомендации по расчету оснований, фундаментов мелкого заложения по данным статического зондирования», выпущенные институтом «НИИпромстрой». Разработано также программное обеспечение для расчетов грунтового основания по цифровым моделям на базе данных статического зондирования.

Использование разработанных предложений при проектировании фундаментов нескольких производственных зданий позволило существенно снизить объем инженерно-геологических изысканий, получить экономию бетона фундаментов и главное – значительно сократить сроки изысканий и проектирования фундаментов.

**Личный вклад в решение проблемы.** Представленная на защиту работа базируется на результатах многолетних исследований при научном руководстве автора и проведена в порядке выполнения научно-технических программ Минпромстроя СССР и Госстроя Республики Башкортостан.

Автором лично осуществлены: постановка проблемы, формулирование цели и задач, поиск их решения путем проведения теоретических и экспериментальных исследований, анализ полученных результатов и разработка практических рекомендаций, а также контроль за опытным внедрением. Автор принимал непосредственное участие в экспериментальных работах, проводимых в лабораториях, на полигонах и строительных площадках.

Работа выполнялась в Уфимском государственном нефтяном техническом университете и отделе механики грунтов института «БашНИИстрой» (НИИпромстрой).

Автор выражает личную глубокую признательность сотрудникам БашНИИстроя и кафедры «Строительные конструкции» за помощь и поддержку при выполнении работы.

Автор благодарит научного консультанта, доктора технических наук, профессора Рыжкова И.Б. и профессора Незамутдинова Ш.Р. за ценные советы и помощь при разработке программного обеспечения.

**На защиту выносятся:**

1. Метод проектирования грунтовых оснований по цифровым моделям на базе статического зондирования.

2. Результаты экспериментальных исследований взаимодействия зонда с грунтом при малых скоростях нагружения для обоснования методов получения прочностных и деформационных характеристик грунта, необходимых для расчета грунтового основания фундаментов.

3. Методика и расчетные зависимости для оценки прочностных и деформационных характеристик, необходимых для расчета основания по данным зондирования.

4. Методика построения плоских цифровых моделей и расчета по ним грунтового основания фундаментов.

5. Методика построения объемных цифровых моделей грунтового массива и предложения по ее использованию при расчете фундаментов больших площадей.

6. Результаты проверки предлагаемых методов построения цифровых моделей и расчета по ним фундаментов на строительных площадках.

7. Предложения по использованию разработанных методик построения цифровых моделей для оценки карстоопасных площадок при проектировании фундаментов.

8. Основные выводы экспериментальных и теоретических исследований и рекомендаций по применению предложенных методов в практике проектирования фундаментов.

**Апробация работы.** Основные результаты исследований были доложены на XI и XII научно-технических конференциях НИИпромстроя (Уфа, 1984-1985 гг.), II Всесоюзном совещании-семинаре «Механизированная безотходная технология возведения фундаментов» (Владивосток, 1988 г.), Всесоюзном семинаре «Системы автоматизированного проектирования оснований и фундаментов» (Челябинск, 1988 г.), VI Международной конференции по проблемам свайного фундаментостроения (Уфа, 1998 г.), Международной конференции «Усиление оснований и фундаментов аварийных зданий и сооружений» (Пенза, 2000 г.), Международной научно-технической конференции «Современные проблемы фундаментостроения» (Волгоград, 2001г.), X Congress International Council for Building Research (Чикаго, 1986 г.).

Отдельные результаты работы использованы в учебном процессе при подготовке инженеров-строителей в Уфимском государственном нефтяном техническом университете.

**Публикации.** Результаты диссертационной работы изложены в 28 печатных работах. Основные результаты включены в «Рекомендации по расчету оснований фундаментов мелкого заложения по данным статического зондирования», Уфа, 1985, НИИпромстрой.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка литературы и приложений. Она содержит 261 страницу машинописного текста, включая 32 таблицы, 109 рисунков, список литературы из 201 наименования и 7 приложений.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы использования данных статического зондирования для расчета грунтовых оснований и развития компьютерных методов расчета на этой базе.

### 1. Цифровые модели в геологии и геотехнике

Опыт использования автоматизированных систем проектирования показал, что возросла роль нового вида информационной продукции – цифровых моделей, которые становятся основой получения конечной графической информации и средством ее хранения для проектируемого объекта. Математические методы обработки данных с использованием ЭВМ в геологии начинают интенсивно развиваться в нашей стране с 60-х годов. При этом в геологии, где неоднородность изучается преимущественно с качественной стороны, основное внимание уделяется развитию методов аппроксимации геологических поверхностей.

В инженерной геологии используется количественная оценка неоднородности. Преобладает подход, когда характеристики неоднородности задаются зависимостью показателя свойств от пространственных координат. Традиционная система описания неоднородности грунтового массива в инженерной геологии основывается на выделении отдельных инженерно-геологических элементов (ИГЭ).

Первой успешной попыткой применения цифровых моделей в инженерной геологии были предложения В.Х.Мавроди и В.П.Чунихина (1983). Предложенная методика позволяла получать крупномасштабную цифровую модель инженерно-геологических условий местности и выделять с помощью автоматизированного расчета ИГЭ.

Для расчета грунтового основания массива, с которым непосредственно взаимодействует проектируемое сооружение, необходима оценка неоднородности при линейном масштабе на порядок меньше области взаимодействия сооружения с грунтом, что требует более частой сетки разведочных скважин.

Применение статического зондирования с использованием высокопроизводительных установок дало возможность проводить обследование площадок с более частой сеткой скважин.

На базе данных статического зондирования в конце 70-х годов БашНИИстрой предложил методику расчета свайных оснований по цифровым моделям с применением ЭВМ. Опыт использования маломасштабных цифровых моделей грунтового массива на базе данных зондирования для свайных оснований показал:

- статическое зондирование обеспечивает получение информации о грунтовом массиве по достаточно частой сетке, при этом значительно

сокращается время получения информации и объем лабораторных испытаний;

- методика построения цифровых моделей позволяет на всех стадиях обработки информации использовать ЭВМ;

- эксплуатация зданий и сооружений, фундаменты которых спроектированы с использованием цифровых моделей показала, что обеспечивается достаточная надежность.

Эти обстоятельства выдвинули проблему создания методики расчета грунтовых оснований естественного сложения с использованием цифровых моделей на базе данных статического зондирования, что и явилось целью данной работы.

Обзор публикаций за рубежом по вопросам применения в геотехнике компьютерных методов с использованием цифровых моделей показывает резкое возрастание числа работ за последнее десятилетие. За этот период проведено более десяти международных конференций и симпозиумов по этой тематике. Однако большинство публикаций посвящены расчету устойчивости склонов, подпорных стен, работе армированного грунта, механике скальных пород, экологическим задачам и в очень малой степени расчету фундаментов на естественном основании.

В диссертации приводится краткая история развития методов статического зондирования за рубежом и в нашей стране. Анализируется отечественный опыт применения зондирующих установок и делается вывод, что с использованием статического зондирования становится реальным и рентабельным построение цифровых моделей грунтовых массивов и автоматизированное проектирование фундаментов на базе этих моделей.

Особо подчеркивается роль отечественных исследователей и инженеров в развитии методов статического зондирования: Ю.Г.Трофименкова, Л.С.Амаряна, Б.В.Бахолдина, Г.К.Бондарика, Б.В.Гончарова, Ю.И.Ковалева, Г.С.Колесника, Б.И.Кулачкина, Л.Г.Мариупольского, В.Н.Макарова, И.Б.Рыжкова, В.Д.Фаерштейна, В.И.Ферронского, А.П.Хамова, В.Б.Швеца и др.

## **2. Экспериментальное исследование и методика определения прочностных расчетных характеристик по данным статического зондирования**

Рассмотрены, применительно к статическому зондированию, имеющиеся в отечественной и зарубежной литературе основные положения теории проникания цилиндрического стержня с коническим наконечником в грунт. Сделан вывод, что развитие этой области идет по трем направлениям:

- используются решения плоской и осесимметричной задачи предельного равновесия;

- используются решения упругопластической задачи о расширении цилиндрической полости в грунте;

- рассматривается комбинация теории предельного равновесия и теории расширения цилиндрической полости, при этом учитывается работа,

затраченная на продвижение конуса в жестко-упругом грунте и на расширение полости в упругопластической среде.

Практика использования данных зондирования показывает, что имеющиеся теоретические решения применяются для определения прочностных характеристик  $\varphi$  и  $c$  при взаимопроверке данных, полученных в полевых и лабораторных условиях в случаях их большого расхождения. Теоретические решения используются так же, как базовые, для обоснования эмпирических формул. Теоретические решения в отечественной практике проектирования фундаментов не применяются. Ю.Г.Трофименков приводит пример проверки формулы Весича на надежных лабораторных данных института «Фундаментпроект», показывающих расхождение в 2-3 раза.

В главе приводится краткий обзор эмпирических формул, полученных в отечественной практике применения статического зондирования.

Для проектирования фундаментов на естественном основании весьма желательно по данным зондирования без промежуточных характеристик определять непосредственно расчетное давление на грунтовое основание.

В основу отечественных норм расчета грунтового основания фундаментов на естественном основании СНиП 2.02.01-83 принята следующая методика определения расчетного давления на грунт. Безопасное давление на грунт (начальное критическое) определяется на основе решения Н.П.Пузыревского, и учитывается ширина фундамента, а также опыт эксплуатации фундаментов в подобных грунтах. Схема назначения расчетного давления по СНиП представлена на рис.1.

Для проведения экспериментальных работ принята рабочая гипотеза: искать корреляционную зависимость между сопротивлением грунта под наконечником зонда и начальным критическим давлением, как наиболее четко фиксируемым параметром при испытании штампов и натуральных фундаментов. Значения коэффициентов  $\gamma_{c1}$ ,  $\gamma_{c2}$  можно принимать, согласно СНиП, определив вид грунта по данным зондирования. Влияние ширины фундамента оценивалось в соответствии с

Рис.1. Схема назначения расчетного давления по СНиП

результатами численного анализа формулы СНиП для определения расчетного давления на грунт.

При выполнении экспериментальных работ для зондирования принята зондирующая установка С-832 конструкции НИИпромстроя. Основным измерительным элементом принят тензометрический зонд конструкции НИИпромстроя (рис.2).

На первом этапе экспериментальные работы проводились с зондами-штампами на полигоне НИИпромстроя. В табл.1 приведены физико-

механические характеристики грунтов на опытной площадке. Методика выполнения работы заключалась в следующем. На площадке проведено 8 погружений зондов на глубину 1,0...2,0м со случайным размещением на площадке. При каждом погружении регистрировались величины сопротивления грунта при погружении и в момент остановки. Далее каждый зонд подвергался нагружению статической нагрузкой по методике испытания штампов по ГОСТ 12374-77. При испытании зонда-штампа регистрировались: сопротивление грунта наконечнику, сопротивление по боковой поверхности и перемещение зонда. Для измерения сопротивления грунта в момент, близкий к остановке зонда, использовался специальный механизм зондирующей установки с компенсирующим воздушным цилиндром. Схема работы равновесного зонда приведена на рис.3.

Рис.2. Зонд конструкции  
НИИпромстройа

Таблица 1

$h$ , м	$\gamma$ , г/см <sup>3</sup>	$W$	$W_p$	$I_L$	$e$	$\phi$ , град	$c$ , МПа	Наименование грунта
0,5	1,89	0,275	0,226	0,04	0,791	17	0,063	глина полутвердая
1,0	1,89	0,292	0,206	0,35	0,877	19	0,060	глина тугопласт.
1,5	1,89	0,294	0,211	0,36	0,877	24	0,035	глина тугопласт.
2,0	1,79	0,234	0,311	0,56	1,076	17	0,063	глина мягкопласт.
>2,0	1,82	0,331	0,146	0,53	0,981	25	0,037	суглинок мягкопласт.

На рис.4 представлены графики статического испытания зонда-штампа №5. На рис.4,а приведен график  $S=f(p)$  для наконечника зонда-штампа, который показывает, что наконечник работает, как плоский штамп, выявлена упругая область, переходная и область значительных пластических деформаций. На этом графике показаны величины сопротивлений при движении зонда  $q_s$  и равновесного зонда  $q'_s$ . График, приведенный на рис.4,б, показывает, что сопротивление по боковой поверхности полностью реализуется при малых перемещениях 0,2-0,3 мм, после чего происходит «срыв».

Рис.3. Схема работы  
равновесного зонда

В табл.2 приведены результаты статических испытаний зондов-штампов, на рис.5 представлен график зависимости  $q'_s$  и  $p_{н.к.}$ . График показывает, что

Рис.4 Графики испытания зонда-штампа № 5

имеется корреляционная связь и в интервале 0,5...1,5 МПа  $q'_s$  ее можно считать линейной. Полученные результаты дали основание ожидать тесную связь между начальным критическим давлением при испытании стандартных штампов и сопротивлением под наконечником зонда.

Таблица 2

Наименование характеристики	Номер зонда-штампа							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Предел пропорциональности $P_{нк}$ , МПа	0,80	1,05	0,85	0,60	0,80	0,65	0,50	1,10
Предельное давление $P_{np}$ , МПа	1,20	1,40	1,20	0,90	1,10	1,10	0,80	1,20
Сопротивление наконечнику равновесного зонда $q'_s$ , МПа	1,05	1,30	1,10	0,75	0,90	0,80	0,60	1,35
Сопротивление при установившейся скорости $q_s$ , МПа	1,85	2,20	1,70	1,05	1,70	1,35	1,05	2,20

Проводились испытания стандартных штампов и зондирование в месте испытания штампа. Выбирались площадки с различными пылевато-глинистыми грунтами от твердой до текучепластичной консистенции. Обработаны результаты испытаний на 53 площадках.

Результаты испытаний штампов и зондирования на всех площадках позволили получить экспериментальную зависимость  $P_{нк}$  и  $q_s$ . Эта зависимость представлена на рис.б.

Рис.5. Зависимость между  $P_{нк}$  и  $q'_s$

Рис.6. Зависимость между  $P_{нк}$  и  $q_s$

$$P_{нк} = 0,14 q_s^{0.5}. \quad (1)$$

При этом корреляционное отношение оказалось равным 0,87, что указывает на тесную связь.

Проведено сравнение значений  $P_{нк}$ , полученных по результатам зондирования, по значениям  $\varphi$  и  $c$ , полученным в лаборатории (формула Н.П.Пузыревского) и по данным зондирования. График рассеивания результатов приведен на рис.7.

Рис.7. График рассеивания

Схема назначения расчетного давления по СНиП представлена на рис.1. Предложено основную величину  $P_{нк}$  определять по данным зондирования с использованием зависимости (1). Для удобства расчетов эта зависимость заменяется кусочно-линейной (рис.8), при этом предлагаются расчетные уравнения для двух участков:

$$\text{участок } 0,5 \leq q_s \leq 2,0 \text{ МПа} - P_{нк} = 0,12q_s + 0,05; \quad (2)$$

$$\text{участок } 2,0 \leq q_s \leq 12,0 \text{ МПа} - P_{нк} = 0,02q_s + 0,24. \quad (3)$$

Влияние ширины фундамента  $b$  оценивалось проведение численного анализа формулы СНиП для грунтов с различной величиной индекса текучести. Расчеты показали, что для грунтов в интервале  $0,5 \leq q_s \leq 2,0$  МПа увеличение расчетного давления при изменении  $b$  от 1,0 до 10м составляет в среднем 5% от  $P_{нк}$ .

Рис.8. Кусочно-линейная зависимость между  $q_s$  и  $P_{нк}$

При сопротивлении зонда  $q_s \leq 2,0$  Мпа расчетное давление предложено определять:

$$R_s = 1,05 \gamma_{c1} \gamma_{c2} P_{нк} . \quad (4)$$

В случае залегания в уровне подошвы грунтов с сопротивлением зондированию  $q_s > 2,0$  МПа влияние ширины более существенно и учитывается как  $\Delta_b = K_b$  и расчетное давление определяется формулой

$$R_s = \gamma_{c1} \gamma_{c2} (P_{нк} + K\sigma). \quad (5)$$

Величина  $K$  принимается по табл. 3.

Таблица 3

$q_s$ , МПа	2,0-3,0	3,0-5,0	5,0-7,0	> 7,0
$K$ , МПа/м	0,01	0,015	0,020	0,025

Величины коэффициентов  $\gamma_{c1}$ ,  $\gamma_{c2}$  рекомендуется принимать по результатам зондирования согласно табл. 4.

Расчетные формулы предлагаются в виде:

$$\text{при } q_s \leq 2,0 \text{ Мпа} - R_s = 1,05 \gamma_{c1} \gamma_{c2} (0,12q_s + 0,05); \quad (6)$$

$$\text{при } q_s > 2,0 \text{ Мпа} - R_s = \gamma_{c1} \gamma_{c2} (0,02q_s + K\sigma + 0,24). \quad (7)$$

Таблица 4

$q_s$ , МПа	$\gamma_{c1}$	$\gamma_{c2}$
$q_s > 5,0$	1,23	1,2
$3,0 < q_s \leq 5,0$	1,2	1,1
$1,0 < q_s \leq 3,0$	1,0	1,0
$q_s \leq 1,0$	1,0	1,0

Были проведены испытания семи фундаментных плит на площадках с грунтами мягкопластичной и тугопластичной консистенции. Результаты испытаний двух плит представлены на рис.9.

Рис.9. Результаты испытаний  
плит

Из графиков видно, что величина расчетного сопротивления согласуется с характером работы фундаментной плиты под нагрузкой.

### 3. Экспериментальные исследования и методика определения деформационных характеристик

В работе приведен обзор ранее выполненных экспериментальных работ по оценке модуля деформации по данным зондирования. Сделан вывод, что при проведении экспериментальных работ не привлекалась теоретическая база.

Ставится задача, в первую очередь, для мягкопластичных и тугопластичных глинистых грунтов, для которых расчет осадок является определяющим, получить эмпирические формулы, проводя работы по трем направлениям:

- получение эмпирических коэффициентов к теоретически полученной зависимости В.И.Ферронского;
- использовать формулу Шлейхера с определением экспериментально-статистическим путем величины относительной осадки при достижении  $P_{нк}$ ;
- обработка статистическими методами прямой корреляции парных данных зондирования и испытаний штампом.

На втором этапе полученные зависимости оценивались с точки зрения точности и выбирались наиболее надежные.

В.И.Ферронским предложено использовать при определении модуля деформации грунта по данным зондирования решение задачи Кельвина. Для зонда с полусферическим наконечником решение интегрального уравнения, связывающего давление наконечника на грунт и полное перемещение, представлено в виде

$$W_m = \frac{(1+\mu)(3-4\mu)}{8\pi E(1-\mu)} \iint p d\varphi ds,$$

и получено выражение для определения модуля деформации грунта при известном лобовом сопротивлении:

$$E = \frac{3\pi(1+\mu)(3-4\mu)q}{32(1-\mu)}. \quad (8)$$

Зависимость (8) должна рассматриваться с учетом реальных условий работы зонда в грунте: в отличие от теоретической схемы работы зонда, в упругой среде верхняя половина нагрузки зонда, как растягивающая, не воспринимается грунтом и также вызывает напряжение ниже наконечника зонда. И кроме того, имеется значительное уплотнение первоначальной структуры грунта под наконечником. При этом следует учитывать скорость движения зонда и форму наконечника, а также масштабный фактор, учитывающий разные диаметры стандартных штампов и зонда. Экспериментальные работы проводились с целью оценки перечисленных

факторов.

На площадке полигона БашНИИСтроя проведены испытания круглых штампов площадью  $A = 10 \text{ см}^2$ , стандартных зондов, испытываемых как штампы, и круглых зондов-штампов в обсадной трубе и на поверхности грунта. Результаты испытаний приведены на рис.10 и в табл. 5.

Рис.10. Результаты испытаний штампов

Таблица 5

Вид испытаний	Глубина 0,8 м			Глубина 1,5 м			
	№№ зондов-штампов			№№ зондов-штампов			
	1	2	3	4	5	6	7
Зондирование равновесным зондом $q_s$ , МПа	1,05	1,30	1,10	0,75	0,9	0,8	0,6
Испытание зонда-штампа $E_{ш}^3$ , МПа	29	39	35	28	43	28	22
Испытание штампа $E_{ш}$ , МПа	9,0			8,0			

Результаты позволяют считать, что модуль деформации, определенный по результатам испытаний зондов-штампов, значительно больше определенного по испытанию малого штампа на грунте естественного залегания. Отношение  $E_s/E_{ш}$  находится в пределах 3...5,5.

На следующем этапе оценивались влияние формы острия и масштабный фактор. Испытывались стандартные зонды с конусным наконечником и шаровым. При оценке результатов попарного зондирования была принята гипотеза, что распределение разностей величин  $q$ , как и распределение самих значений  $q_s$  и  $q_{ш}$ , подчиняется нормальному закону и смещение кривой покажет разницу в измерениях. На рис.11 представлена кривая распределения разностей при зондировании равновесным зондом. Из графика видно, что смещение отсутствует, следовательно, форма наконечника практически не оказывает влияние на результат измерения сопротивления грунта.

Оценивая влияние скорости движения зонда следует принимать во внимание, что при экспериментальных работах зондирование проводилось равновесным зондом и влияние скорости несущественно.

Рис.11. Кривая распределения разностей  $\Delta q = q'_s - q''$

Были проведены опытные работы, которые могли охарактеризовать влияние масштабного фактора. На опытной площадке, сложенной мягкопластичными суглинками, проведены испытания штампов различных диаметров, в табл. 6 приведены результаты испытаний.

Таблица 6

Диаметр штампа, см	d = 3,6	d = 11,3	d = 35,7	d = 79,8
Площадь штампа, см <sup>2</sup>	10	100	1000	5000
E <sub>0</sub> , МПа	7,5	8,0	8,5	8,0

Результаты показывают, что влияние масштабного фактора можно не учитывать в использованном интервале диаметров штампов.

Если Принимать среднюю величину коэффициента  $\mu=0,35$ , обобщенный поправочный коэффициент  $\beta$  для теоретической формулы (8) будет

$$\beta = \beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_4 = (6 \div 11) \text{ и } E = (6 \div 11) q'_s. \quad (9)$$

Для экспериментальной проверки использованы данные 22 попарных испытаний грунта штампами и зондированием. Предполагается, что распределение величин  $\beta$  подчиняется распределению Стьюдента и с вероятностью 0,95 среднее значение совокупности лежит:

$$15,263 - 3,192 < \beta < 15,263 + 3,192.$$

Принята нижняя граница, и эмпирическая формула будет иметь вид

$$E_s = 12,07 q'_s. \quad (10)$$

По такой же методике обработаны результаты при зондировании со

стандартной скоростью, и получена формула

$$E_s = 7,15 q_s . \quad (11)$$

При использовании формулы Шлейхера предполагалось, что распределение величины относительной осадки подчиняется распределению Стьюдента. Вычислены основные отклонения этой величины с вероятностью 0,95, которые оказались:

$$134,7 - 17,51 < \frac{d}{s} < 134,7 + 17,51 .$$

Принимая нижнюю границу  $\frac{d}{s}=117,9$  и величину  $\mu=0,385$ , получена эмпирическая формула для определения модуля деформации при зондировании равновесным зондом

$$E_s = 14,19 q_s^{0,5} \quad (12)$$

и при зондировании со стандартной скоростью

$$E_s = 11,04 q_s^{0,5} . \quad (13)$$

Использована прямая корреляция парных испытаний, в результате получены эмпирические формулы:

$$E_s = 5,15 + 6,37 q_s' , \quad (14)$$

$$E_s = 4,85 + 3,98 q_s \quad (15)$$

при величине коэффициента корреляции 0,83 и 0,82 соответственно.

Полученные эмпирические формулы оценивались методом сравнения отклонений между величинами модуля, полученными по результатам испытания штампов и по данным зондирования. Оценка производилась путем статистической обработки величин разностей  $\Delta = E_{ш} - E_s$ .

Результаты проверки приведены в табл.7 и на графиках (рис.12).

Таблица 7

Метод зондирования	Вид зависимости	$\sigma$ МПа	$2\sigma$ МПа	$2\sigma +  x $	Номер графика
Стандартное зондирование	$E=11,04q_s^{0,5}$	3,13	6,26	10,31	1
	$E=4,85+3,98q_s$	3,24	6,48	6,48	2
	$E=7,15q_s$	4,99	9,98	10,31	3
Равновесный зонд	$E=14,19q_s^{0,5}$	2,18	4,36	6,16	5
	$E=5,15+6,37q_s'$	2,34	4,68	4,63	6
	$E=12,07q_s$	4,06	8,12	8,01	7

Рис.12. Совмещенные  
выравнивающие кривые

Для практических расчетов предлагается расчетная формула с простой размерностью

$$E = 4,9 + 4q_s . \quad (16)$$

Так как зондирование равновесным зондом связано с заметным снижением производительности установки для расчета модуля только в случае залегания мягкопластичных грунтов, рекомендуется использовать формулу в виде

$$E = 5,2 + 6,4q'_s . \quad (17)$$

#### **4. Методика построения цифровых моделей грунтового основания по данным статического зондирования**

Рассмотрена общая концепция инженерно-геологических изысканий для строительства, регламентируемая СНиП 11-02-96 и «Сводом правил СП-11-105-97». Эта концепция предусматривает три стадии проведения изысканий.

Если были произведены изыскания для разработки предпроектной документации, проекта предприятия или микрорайона, то для рабочего проектирования зданий и сооружений II и III уровней надежности, «Свод правил» рекомендует использовать статическое зондирование.

Предлагаемая методика расчета грунтового основания по цифровым моделям на базе данных статического зондирования удовлетворяет требованиям СНиП и «Свода правил» и, по существу, представляет грунтовой массив под сооружением как расчетный грунтовой элемент в виде цифровой модели с прочностными или деформационными характеристиками. Цифровая модель образует расчетную геомеханическую модель массива.

Плоские цифровые модели выполняются в задаваемых направлениях по разрезам массива вертикальными плоскостями. Для построения модели, достаточно точно отражающей характеристики грунта во всех областях, следует назначить оптимальное расстояние между скважинами. В работах В.П.Огопоченко показано, что минимальный радиус переноса информации от скважины  $r=6,0$  м дает полноту информации даже в сложных инженерно-геологических условиях. Величины расстояний между скважинами рекомендуется назначать согласно данным табл. 8.

Таблица 8

Категория сложности условий	Расстояние в м при уровне надежности	
	II	III
I (простая)	20	20
II (средней сложности)	12	15
III (сложная)	10	12

Глубина скважин назначается в зависимости от глубины ожидаемой рабочей толщи под фундаментом. На рис.13 представлены примерные схемы размещения скважин зондирования для некоторых типов секций зданий.

Данные, полученные в результате зондирования для построения модели разреза, обрабатываются на ЭВМ. Цифровая модель строится путем линейной интерполяции значений характеристик грунта в каждой четырех опорных точках плоскости разреза по горизонтальному и вертикальному направлениям. Фрагмент цифровой модели с характеристикой  $q_s$  (МПа  $\times 10^2$ ) представлен на рис.14.

Методика расчета грунтового основания предусматривает определение площади подошвы фундамента и расчет ожидаемых осадок согласно СНиП по данным зондирования. Ниже излагается последовательность проведения расчетов.

1. Первым этапом расчета является построение плоской цифровой модели с характеристиками грунта  $q_s$  (рис.14).

2. Второй этап предусматривает построение цифровой модели путем

пересчета величин  $q_s$  в  $R_s$  с использованием программы «POISK». При этом предусмотрены два случая:

а) на глубине заложения подошвы фундамента залегают грунты с  $q_s \leq 2,0$  МПа, в этом случае для определения  $R_s$  используется формула (6);

б) на глубине подошвы залегают грунты с  $q_s > 2,0$  МПа, в этом случае используется формула (7) и предварительно определяется условное расчетное сопротивление при ширине фундамента  $b=1,0$  м, а по этой величине определяется площадь фундамента и задается ширина фундамента; по этой ширине вновь пересчитывается величина расчетного сопротивления при полученной ширине фундамента, после чего повторно рассчитывается площадь подошвы.

Рис.13. Примерные схемы размещения скважин

3. Цифровая модель со значениями  $q_s$  пересчитывается в значения  $E$  с использованием формулы (16), и рассчитывается величина ожидаемой осадки методом послойного суммирования. При залегании под подошвой фундамента глинистых грунтов, имеющих  $q_s < 1,5$  МПа, зондирование рекомендуется выполнять равновесным зондом, а для расчета величин модуля деформации использовать формулу (17).

Наличие цифровой модели представляет большие возможности для вариантного проектирования фундаментов на нескольких задаваемых глубинах. Такая программа для расчета столбчатых фундаментов производственных зданий разработана с участием автора в БашНИИстрое.

Разработана методика построения объемных цифровых моделей. Новый образец регистрирующей аппаратуры

Рис.14. Фрагмент цифровой модели

зондирующей установки, разработанный в БашНИИСтрое, позволяет с использованием портативного компьютера получать непрерывную информацию по глубине скважины о величине характеристики сопротивления грунта  $q_s = f(h)$ . При наличии прямоугольной, достаточно частой сетке скважин на любой заданной глубине имеем значения  $q_s$  в виде заданного массива точек

$$(x_{ij}, y_{ij}, z_{ij}) \quad i=0,1\dots m \quad j=0,1\dots n .$$

Этот массив точек может служить базой для построения объемной эпюры изменения сопротивления грунта на заданной глубине. Для экспериментальной проверки намечены два направления в построении поверхностей, ограничивающих объемную эпюру.

Первое направление предусматривает построение в первом приближении многогранной чешуйчатой поверхности. После построения чешуйчатой поверхности производится ее рассечение горизонтальными плоскостями с равномерным шагом. В результате этих операций получают план распределения сопротивления зондированию, где области очерчиваются кусочно-линейными графиками.

Второе направление связано с использованием сглаживающих сплайн-функций. Использован метод сглаживания бикубическими сплайнами. Граничные условия задаются в виде:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 s}{\partial x^2}(x_i, y_j) &= 0 & i=0, m \quad j=0, 1, \dots, n ; \\ \frac{\partial^2 s}{\partial y^2}(x_i, y_j) &= 0 & i=0, 1 \dots m \quad j=0, 1, \dots, n ; \\ \frac{\partial^4 s}{\partial x^2 \partial y^2}(x_i, y_j) &= 0 & i=0, m \quad j=0, \dots, n . \end{aligned}$$

При построении с помощью бикубического сплайна поверхность пересекается горизонтальными плоскостями, и в результате имеем план с изолиниями  $q_s$ . При расчете фундаментов больших площадей значения  $q_s$  пересчитываются в значения  $E_s$  или в значение величины коэффициента постели по предложенным в работе формулам.

## **5. Результаты натурных экспериментов на строительных площадках с практическим использованием предложенной методики**

В качестве натурального эксперимента в работе приведен пример использования плоских цифровых моделей при проектировании двухпролетного производственного здания ремонтной базы СМУ-2 треста «Башспецнефтестрой» в г.Уфе. В здании шириной 30 м и длиной 54 м использованы столбчатые фундаменты. Геологические условия характеризуются (сверху вниз) следующими напластованиями грунтов:

насыпной слой мощностью 0,5-2,2 м представлен почвой, суглинками, строительным мусором; далее следуют суглинки и глины четвертичной системы делювиальные от тугопластичной до полутвердой консистенции, мощность слоя 11 м. На площадке пробурены 3 скважины и с учетом ранее выполненных изысканий выделены два инженерно-геологических элемента. Насыпной слой в ИГЭ не выделялся и подлежал удалению.

Проектирование фундаментов традиционным методом было выполнено Уфимским филиалом Тюменского института «Промстройпроект», глубина заложения фундаментов принята 1,65 м от уровня планировки. Расчет фундаментов выполнен по второй группе предельных состояний с использованием результатов традиционных изысканий.

Для построения цифровой модели до вскрытия котлована было проведено статическое зондирование. Схема расположения точек зондирования представлена на рис.15.

Расчет грунтового основания выполнен с использованием программы «POISK», разработанной с участием автора.

1-й этап. Строилась плоская цифровая модель разреза массива со значениями  $q_s$ . Цифровая модель по оси  $B$  приведена на рис.16.

2-й этап. Значения  $q_s$  пересчитывались в значения  $R_s$ , и определялись площади грунтового основания для каждого фундамента при заданных нагрузках. Расчет площади производился

Рис.15. Размещение скважин

согласно «Рекомендациям», разработанным при участии автора. В табл. 9 приведены данные по объему бетона фундаментов, запроектированных на рассчитанных площадях грунтового основания. Для сравнения приведены данные при традиционном методе расчета.

Таблица 9

Метод расчета	Фундаменты по осям, объем бетона, м <sup>3</sup>										Σ
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	
Традиционный	6,5	6,1	4,9	6,1	6,0	6,0	6,0	6,0	7,1	7,2	62
По цифровой модели	6,0	3,1	3,8	6,0	3,3	3,3	4,1	3,3	4,9	4,7	42,5

Рис.16. Цифровая модель разреза со значениями  $R_s$  [МПа x 10<sup>3</sup>]

Данные таблицы показывают, что при использовании цифровой модели получено снижение расхода бетона на 30%.

3-й этап. Расчет осадок проводился на ЭВМ по разработанной программе. Цифровая модель со значениями  $q_s$  пересчитывалась в цифровую модель со значениями  $E_s$ , и проводился расчет осадки каждого фундамента методом послойного суммирования. Расчетные осадки оказались в пределах нормы.

После вскрытия котлована на местах фундаментов В3 и В8 проведены статические испытания фундаментных плит с размерами 1,0х1,0 м. Результаты испытаний приведены на рис.17 и показывают, что при принятых расчетных давлениях  $R_s$  осадки составляют 1,7 см и 1,4 см. Осадки, рассчитанные по цифровым моделям для этих фундаментов составляют 2,3 и 1,9 см, что с учетом разности площадей рассчитываемых и испытанных фундаментов следует признать удовлетворительным соответствием.

Для расчета свайных кустов, по рекомендациям согласно методике СНиП, в работе рекомендовано использовать плоские эпюры изменения модуля деформации ниже подошвы условного фундамента, построенные по данным зондирования на глубину больше глубины подошвы условного фундамента. Приводятся данные определения предполагаемых осадок кустов из грунтобетонных свай на площадке очистных сооружений комбината «Полиэф». Данные расчета осадок свайных кустов и свай длиной 15 м и диаметром 0,6 м удовлетворительно совпали с данными статических испытаний кустов.

Проведены натурные эксперименты по проверке предлагаемой методики построения объемных цифровых моделей. На площадках комбината «Полиэф» проведены расчеты грунтового основания под плитный фундамент резервуара с глубиной заложения 2,0 м. Было проведено статическое зондирование по прямоугольной

Рис.17. Графики испытания плит

сетке с ячейкой 12 x 18 м. По данным инженерно-геологических изысканий, подошва плиты находится в одном ИГЭ, физико-механические свойства грунтов приведены в табл. 10.

Таблица 10

№ ИГЭ	Объемный вес, г/см <sup>3</sup>	Индекс текучести, $I_L$	Коэфф. пористости, $e$	Сцепление $c$ , МПа	Угол вн. трения $\varphi$ , град	Модуль деформ. $E$ , МПа
ИГЭ-2	1,80	0,51	0,93	0,018	17	8,0

На глубине  $h=1,0$  м по данным зондирования с использованием разработанных рекомендаций и программ построена чешуйчатая объемная эпюра, представленная на рис.18.

Рис.18. Объемная эпюра  $q_s$  на глубине  $h=1,0$  м

Для уровня заложения подошвы плиты  $h=2,0$  м построена объемная эпюра с использованием сглаживающих бикубических сплайнов, представленная на рис.19,а. На рис.19,б представлены изолинии значений  $q_s$  по всей площади подошвы.

Из рисунка видно, что значения модуля деформации, пересчитанные по предлагаемым формулам, находятся в пределах 6...10 МПа. Такая методика позволяет проектировщику оценить характер неоднородности основания и принять решение о возможности использования при расчете плиты средней величины модуля деформации или необходимости разбиения основания на участки.

В работе сделана попытка дать предложения по использованию цифровых моделей на базе статического зондирования для обследования карстоопасных площадок. Анализ опыта строительства на подрабатываемых территориях показал, что при сдвиге покровных грунтов и проседании появляются горизонтальные деформации, ослабляющие прочность грунтов, что экспериментально показано уменьшением сопротивления по боковой поверхности свай, работающих в зоне мульды проседания.

Рис.19. Объемная модель (а) и план изолиний (б)

Предложено оценивать наличие проседания грунта и размеры мульды проседания по цифровым моделям на базе данных зондирования. Для проверки этой рабочей гипотезы проведены эксперименты на площадке строительства ТЭЦ-5 в г.Уфе, где обнаружены проседания в зоне карстово-суффозионных колодцев, впоследствии затампонированных. Было выполнено зондирование по диаметральной линии мульды в пяти точках. На рис.20 приведены результаты обработки с изолиниями сопротивления на боковой поверхности зонда. Результаты этого эксперимента показывают, что предложенный метод перспективен для дальнейшей разработки при имеющихся зондирующих установках на глубине массива до 21м.

Рис.20. Результаты зондирования над карстово-суффозионным колодцем

При сооружении фундаментов зданий на карстоопасных площадках наиболее часто применяются плитные фундаменты. Предложено для оценки возможной мульды проседания использовать методику построения объемной цифровой модели грунтового массива. По результатам зондирования, проведенного по заданной сетке, и для каждой заданной глубины методом сглаживания бикубическими сплайнами строятся объемные эпюры  $q_s$  и планы с изолиниями. Полученные для каждой глубины планы комплектуются в объемную модель грунтового массива (рис.21). Наличие мульды проседания на каком-либо участке оценивается по следующим признакам:

- объемные эпюры  $q_s$  имеют впадины, расположенные на одной вертикали;
- планы изолиний имеют

Рис.21. Объемная модель грунтового массива

замкнутые области с минимальным значением  $q_s$  на данной глубине;

- центры замкнутых областей с минимальным значением на каждой глубине расположены примерно на одной вертикали.

Технико-экономический потенциал работы заключается в том, что при использовании разработанных методов проектирования грунтового основания на базе зондирования для стадии рабочего проекта снижаются затраты на инженерно-геологические изыскания и достигается ощутимая экономия материалов фундаментов за счет более полной информации о расчетных характеристиках грунта по всему массиву.

Применение предлагаемых методов при проектировании фундаментов реального производственного здания со столбчатыми фундаментами позволило получить экономию бетона фундаментов в размере 30% и при этом сократить сроки проектирования в восемь раз. Общая эффективность предложенной методики выразилась на этом объекте в размере 2,0% от сметной стоимости сооружения.

### **Общие выводы**

1. Новые строительные нормы на инженерно-геологические изыскания в строительстве значительно расширили возможности применения статического зондирования, разрешив для зданий II-го и III-го уровней надежности на стадии рабочего проектирования использовать только данные статического зондирования при наличии предпроектных изысканий.

2. Разработанный и предлагаемый метод расчета грунтового основания фундаментов позволяет по данным зондирования с использованием компьютерных технологий строить цифровые модели основания с расчетными значениями характеристик грунта и производить расчет грунтового основания и основных геометрических характеристик фундаментов.

3. Выполнен цикл работ, включающий:

- экспериментально-теоретические работы по исследованию процесса статического зондирования пылевато-глинистых грунтов и обоснованию зависимостей основных расчетных характеристик грунта от сопротивления под конусом зонда;

- разработку методики построения плоских цифровых моделей грунтового основания по данным зондирования, включающую программное обеспечение;

- разработку методики построения объемных цифровых моделей грунтового основания, включающей программное обеспечение;

- проведение натуральных экспериментов, обосновывающих и подтверждающих результаты выполненных исследований;

- выполнение реального проекта производственного здания со столбчатыми фундаментами с использованием предлагаемого метода;

- разработку предложения по направлениям использования метода при

оценке грунтовых массивов карстоопасных площадок.

4. Результаты проведенных испытаний в полевых условиях зондов-штампов, нагружаемых в режиме испытаний стандартных плоских штампов, позволили обосновать рабочую гипотезу о наличии достаточно тесной связи между начальным критическим давлением на грунт и сопротивлением грунта под конусом зонда при зондировании.

5. Проведенные в полевых условиях 53 испытания плоских штампов и параллельное зондирование грунтов показали, что имеется тесная корреляционная зависимость между величинами начального критического давления на грунт и сопротивлением грунта под конусом зонда. Предложены расчетные формулы для оценки величины начального критического давления на грунт по данным зондирования.

6. Полученные расчетные зависимости явились базой для разработки методики определения величины расчетного давления на грунт при расчете основания фундамента согласно строительным нормам, используя данные статического зондирования. Предложены формулы для определения расчетного давления на грунт для всего интервала глинистых грунтов по консистенции.

7. Проведены испытания натуральных фундаментов с параллельным зондированием, результаты которых достаточно точно отражают процесс работы фундамента при приложении статических нагрузок, с учетом прогнозируемой величины расчетного давления на грунт, определяемого по предложенным зависимостям.

8. Для получения расчетных зависимостей по определению модуля деформации проведены экспериментальные исследования на натуральных площадках, которые показали, что основным фактором, влияющим на разницу результатов в определении модуля стандартным штампом и зондом-штампом, является местное уплотнение грунта вокруг зонда и эта разница достигает 3-5 раз.

Работы проведены по трем направлениям:

- нахождение эмпирических коэффициентов к теоретической формуле, предложенной В.И.Ферронским;
- использование формулы Шлейхера с определением относительной осадки статистическим методом;
- обработка данных методом прямой корреляции.

Полученные результаты подвергнуты статистическому анализу, и предложены наиболее точные формулы.

9. Разработаны методика и программы, позволяющие характеризовать расчетный грунтовый элемент под проектируемым зданием цифровой моделью, отражающей изменчивость расчетных характеристик грунта по данным статического зондирования. Разработана также методика расчета грунтового основания под фундаментом и его осадки с использованием компьютерной технологии и цифровых моделей.

10. Проведено проектирование фундаментов нескольких производствен-

ных зданий, при этом получены экономия в объеме бетона фундаментов до 20-25%, снижение затрат на проведение изысканий до 50% при общем сокращении сроков проектирования.

11. Предложена и разработана методика построения объемных цифровых моделей грунтового основания, позволяющая уточнять неравномерность расчетных характеристик грунта при проектировании фундаментов большой площади.

12. Намечены основные направления использования методики построения плоских и объемных цифровых моделей для оценки площадок с возможными карстовыми проявлениями для проектирования фундаментов.

13. Техничко-экономический потенциал работы заключается в том, что использование предлагаемой методики расчета грунтового основания по цифровым моделям дает возможность получить экономический эффект в виде снижения сметной стоимости проектируемого объекта в размере до 2,5%. При этом за счет использования статического зондирования и предлагаемой методики расчета на базе компьютерной технологии достигается четырехкратное сокращение сроков проектирования фундаментов.

14. Таким образом, в работе изложены научно обоснованные технические и технологические разработки, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие методов проектирования фундаментов, с использованием новых скоростных методов изысканий на базе компьютерной технологии.

#### **Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах**

1. Гареева Н.Б. О результатах испытаний зондов-штампов // Свайные фундаменты: Тр. НИИпромстроя. – Уфа, 1983. – С.101-103. Соавтор Козловский А.Д.

2. Гареева Н.Б. Сравнительные испытания зондов с коническим и плоским торцами // Тр. НИИпромстроя. – Уфа, 1983. – С.107-109.

3. Гареева Н.Б. Об определении деформационных характеристик по данным статического зондирования // Основания и фундаменты в геологических условиях Урала. – Пермь: Пермский политехн.ин-т, 1983. – С.98-102.

4. Гареева Н.Б. О результатах сравнительных испытаний зондов с шаровым и коническим торцами // Основания и фундаменты в геологических условиях Урала. – Пермь: Пермский политехн.ин-т, 1984. – С.101-104.

5. Гареева Н.Б. Об определении модуля деформации грунтов статическим зондированием // Свайные фундаменты: Тр. НИИпромстроя. – Уфа, 1984. – С.94-99. Соавтор Рыжков И.Б.

6. Гареева Н.Б. О расчете осадок фундаментов по данным статического зондирования // Свайные фундаменты: Тр. НИИпромстроя. – Уфа, 1984. – С.100-103.

7. Гареева Н.Б. Об определении критического давления на грунт по данным статического зондирования // Вопросы фундаментостроения. Механика грунтов: Тр. НИИпромстроя. – Уфа, 1985. – С.104-111.

8. Гареева Н.Б. Об определении расчетного давления на грунт по данным статического зондирования // Вопросы фундаментостроения. Механика грунтов: Тр. НИИпромстроя. – Уфа, 1985. – С.111-116.

9. Гареева Н.Б. Рекомендации по расчету фундаментов мелкого заложения по данным статического зондирования / НИИпромстрой. – Уфа, 1985. – 75с. Соавтор Горбатова Н.Я.

10. Гареева Н.Б. Об использовании данных зондирования для расчета грунтового основания фундаментов // Вопросы фундаментостроения. Механика грунтов: Тр. НИИпромстроя. – Уфа, 1986. – С.40-45. Соавторы Бабичев З.В., Еникеев В.М., Горбатова Н.Я.

11. Гареева Н.Б. Программа для расчетов оснований фундаментов мелкого заложения по данным зондирования / НИИпромстрой. – Уфа, 1986. – 68с. Соавторы Рыжков И.Б., Горбатова Н.Я.

12. Гареева Н.Б. О представлении разреза грунтового массива цифровыми моделями // Вопросы фундаментостроения. Механика грунтов: Тр. НИИпромстроя. – Уфа, 1986. – С.45-60. Соавтор Горбатова Н.Я.

13. Gareeva N.B. Automatization of Calculation of foundations on the Basis of Static Sounding Date // Proceed. Of the 10<sup>th</sup> Congress of the International Council of Building Research and Documentation. Chicago. 1986 P.303-309. Co-authors: Contcharov B.V., Ryzhkov J.B., Corbatova N.Y.

14. Гареева Н.Б. О надежности проектирования фундаментов мелкого заложения по данным зондирования // Проектирование рациональных фундаментов и оснований: Тр. НИИпромстроя. – Уфа, 1987. – С.88-93.

15. Гареева Н.Б. Проектирование фундаментов по данным зондирования грунтов с применением ЭВМ // Проектирование рациональных фундаментов и оснований: Тр. НИИпромстроя. – Уфа, 1987. – С.105-109. Соавтор Горбатова Н.Я.

16. Гареева Н.Б. О расчете оснований по данным статического зондирования // Основания и фундаменты в геологических условиях Урала. – Пермь: пермский политехн.ин-т, 1987. Соавтор Горбатова Н.Я.

17. Гареева Н.Б. Расчет оснований фундаментов по данным статического зондирования // Основания и фундаменты в геологических условиях Урала. – Пермь: Пермский политехн.ин-т, 1987. – С.69-92. Соавтор Горбатова Н.Я.

18. Гареева Н.Б. Оптимизация параметров мелко-заглубленных фундаментов по данным зондирования // Докл. III Республиканской научно-техн.конф. – Уфа, 1988.

19. Гареева Н.Б. Автоматизация расчетов фундаментов по данным статического зондирования // Механизированная безотходная технология свайных фундаментов из свай заводской готовности: Тез. докл. II всесоюзн. координац. совещание. – Владивосток, 1988. – С.70-73. Соавторы Рыжков И.Б.,

Гончаров Б.В.

20. Гареева Н.Б. О расчете грунтового основания фундаментов мелкого заложения по данным зондирования с использованием ЭВМ // Системы автоматизированного проектирования: Тез. докл. Всесоюз. семинара. - Челябинск, 1988. Соавторы Рыжков И.Б., Гончаров Б.В.

21. Гареева Н.Б. О расчете фундаментов по цифровым моделям инженерно-геологических разрезов // Исследование прогрессивных конструкций фундаментов: Тр. НИИпромстроя. – Уфа, 1989. – С.105-111. Соавторы Рыжков И.Б., Гончаров Б.В., Горбатова Н.Я.

22. Гареева Н.Б. Проектирование фундаментов по цифровым моделям разрезов площадок, полученным статическим зондированием // Тр. VI Междунар.конф. по проблемам свайного фундаментостроения. – М., 1998. - Т.II. – С.85-91. Соавторы Рыжков И.Б., Гончаров Б.В., Коган Г.В.

23. Гареева Н.Б. О расчете осадок свайных кустов по данным статического зондирования // Тр. VI Междунар.конф. по проблемам свайного фундаментостроения. – М., 1998. - Т.I. – С.47-51. Соавторы Коган Г.В., Гончаров Б.В.

24. Гареева Н.Б. Использование зондирования для оценки мульды проседания при карстовых проявлениях // Усиление оснований и фундаментов аварийных зданий и сооружений: Сб. междунар. научно-практ. конф. – Пенза, 2000. – С.81-82. – Соавторы Жилин А.Н., Ковалев В.Ф., Гончаров Б.В.

25. Гареева Н.Б. Об определении расчетного давления при проектировании грунтового основания по данным статического зондирования // Современные проблемы фундаментостроения: Тр.Междунар.конф. – Волгоград, 2001. – Соавтор Гончаров Б.В.

26. Гареева Н.Б. Об использовании статического зондирования для обследования площадок с возможными карстовыми проявлениями // Современные проблемы фундаментостроения: Тр. Междунар.конф. – Волгоград, 2001. Соавторы Незамутдинов Ш.Р., Мухаметзянов Ф.З.

27. Гареева Н.Б. О расчете грунтовых оснований фундаментов по данным зондирования // Изв.вузов. Строительство – 2003. - №5. – С.139-142. Соавтор Гончаров Б.В.

28. Гареева Н.Б. Новый метод расчета оснований фундаментов по данным зондирования // Изв.вузов. Нефть и Газ – 2003. - № 5. – С. . Соавтор Гончаров Б.В.