

На правах рукописи

Ш И Л И Н

Виталий Геннадьевич

**ПРОГНОЗ НАДЕЖНОСТИ
УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИХ ОСНОВАНИЙ ЗДАНИЙ
И СООРУЖЕНИЙ**

05.23.02 – Основания и фундаменты, подземные сооружения

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

С.-ПЕТЕРБУРГ

2002

Работа выполнена в Санкт – Петербургском государственном
политехническом университете

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
А.К. Бугров

Официальные оппоненты: доктор технических наук
О.М. Финагенов
канд. технических наук, доцент
А.В. Иванов

Ведущая организация: ЗАО «НПО Геореконструкция –
Фундаментпроект»

Защита состоится «25» февраля 2003г. в 16 часов на заседании
диссертационного совета Д 212.229.15 при Санкт-Петербургском
государственном политехническом университете по адресу: 195251, Санкт-
Петербург, ул. Политехническая, 29, ПГК, ауд.411.

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной библиотеке
Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

Автореферат разослан «17» января 2003 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
профессор, докт. тех. наук:

А.Е. Андреев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Проектирование оснований и фундаментов зданий и сооружений в нашей стране сейчас осуществляется на основе метода предельных состояний в соответствии с действующими нормативными документами. Согласно последним все исходные параметры, случайные по своей природе, заменяются некоторыми усредненными детерминированными значениями, а влияние их изменчивости на проектируемое сооружение учитывается с помощью системы соответствующих коэффициентов «запаса», «надежности» и т.п. (за рубежом такой подход называют «полувероятностным методом»). При этом расчетами проверяются только так называемые предельные состояния, при достижении которых конструктивные элементы сооружения, сооружение в целом или его основание перестают удовлетворять заданным эксплуатационным требованиям.

Накопление информации о статистической изменчивости характеристик грунтов, материалов конструкций, нагрузок и других факторов, а также перерасход материалов, связанный с излишними запасами прочности при использовании недостаточно обоснованных величин коэффициентов «запаса» в методах предельных состояний, потребовали разработки вероятностных методов расчета, что особенно важно для оценки надежности грунтовых оснований сооружений промышленного и энергетического строительства. С учетом требований социальной и экологической безопасности проблемы надежности имеют особую значимость для АЭС, ТЭС, ГЭС, нефтегазопромысловых сооружений, гравитационных платформ на континентальном шельфе, высотных зданий и комплексов многофункционального назначения. Также актуальным становится разработка методов оценки проектной и эксплуатационной надежности зданий и сооружений массового промышленно-гражданского и транспортного строительства, в первую очередь при вынужденном использовании грунтов и территорий, ранее считавшиеся малопригодными для строительства.

По статистике наиболее часто недопустимые (аварийные) деформации наблюдались у зданий и сооружений на основаниях, грунты которых по тем или иным причинам (увлажнение, оттаивание, расструктуривание, техногенные воздействия и др.) проявляли значительную (нелинейную) деформируемость, не в полной мере учитываемую при применении традиционных (нормативных) расчетов, в основе использующих модель линейно-деформируемого грунта. Повышение достоверности расчетов таких оснований связано с применением моделей и методов нелинейной механики грунтов,

получившей в конце XX века значительное развитие и широкое практическое приложение. В отличие от линейных, существующие нелинейные (упругопластические, нелинейно-упругие и т.п.) детерминированные модели используют набор параметров, характеристик, отражающих одновременно как деформационные, так и прочностные свойства грунтов и изменение напряженно-деформированного состояний на всем диапазоне нагружения.

В силу стохастической, часто значительной, изменчивости большого числа характеристик, определение надежности, как вероятностной категории, для нелинейно-деформируемых (упруго-пластических) оснований существенно усложняется. Предложенные методики в большинстве своем ориентированы на расчет только линейно-деформируемых оснований. Поэтому разработка методов оценки проектной и эксплуатационной надежности, статистических характеристик деформируемости упругопластических оснований является своевременной и актуальной.

Цель и задачи диссертации. Основной целью работы является разработка методики оценки надежности оснований зданий и сооружений по деформациям с учетом нелинейного деформирования и стохастической изменчивости характеристик, описывающих как деформационные, так и прочностные свойства грунтов и определяющих деформирование основания на всем диапазоне нагружения. Для достижения этой цели были решены следующие задачи:

- в соответствии с положениями теории надежности конкретизировано понятие «отказ основания» и составлены схемы отказов по первой и второй группе предельных состояний;
- выделены основные случайные факторы (показатели свойств грунтов, параметры нагрузок и воздействий и т.д.), определяющие надежность оснований;
- разработаны методика, алгоритм и комплекс программ для оценки надежности упругопластических (нелинейно-деформируемых) оснований по деформациям на основе многопараметрических моделей;
- предложена методика применения предлагаемого вероятностного метода для проектирования фундаментов (отдельных, ленточных, плитных) с оценкой надежности и безопасности надфундаментных сооружений различного назначения.

Научная новизна работы.

1. Разработана методика оценки проектной и эксплуатационной надежности упругопластических оснований по второй группе предельных состояний (по деформациям).

2. С помощью разработанной методики исследована зависимость надежности оснований зданий и сооружений с учетом случайной изменчивости физико-механических свойств грунтов, действующей нагрузки и геометрии фундаментов – применительно к расчетным схемам:

- отдельного фундамента колонны промышленного сооружения;
- ленточного фундамента стены здания;
- плитного фундамента ледостойкой платформы для добычи нефти и газа на шельфе Северных морей;
- определения активного давления на ограждения (подпорные стены, стены подвалов и т.п.).

3. Для рассмотренных случаев разработаны методики определения вероятности безотказной работы оснований и составлены программы расчета на ЭВМ.

Практическая ценность работы. Разработанная методика может быть использована для оценки проектной и эксплуатационной надежности фундаментов зданий и сооружений различного назначения по деформациям упругопластических оснований с учетом вероятностной изменчивости физико-механических свойств грунтов.

Практическая реализация работы. Разработанная методика использовалась при расчете предельной осадки и надежности основания ледостойкой гравитационной платформы на шельфе Баренцева моря.

На защиту выносятся:

- постановка вероятностных задач расчета осадки упругопластического основания, в котором учитывается стохастический (случайный) характер свойств грунтов и внешних нагрузок;
- методика и алгоритм расчета упругопластических осадок в детерминированной постановке;
- результаты решения практических задач по определению упругопластических осадок в вероятностной постановке;
- применение системного подхода к определению надежности по осадке различных зданий и сооружений.

Апробация работы. Материалы исследований доложены на:

- Международном семинаре по механике грунтов, фундаментостроению и транспортным сооружениям ПГТУ (Пермь, 2000 г.);

- Международной конференции «Геотехника. Оценка состояния оснований и сооружений» (С-Петербург, 2001 г.);
- семинаре кафедры «Подземные сооружения, основания и фундаменты» СПбГПУ (С-Петербург, 2002 г.).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в пяти печатных работах.

Объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы (123 названия), четырех приложений; содержит 143 страницы основного текста, 17 рисунков, 34 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дана общая характеристика, обосновывается актуальность работы, указаны цели и задачи, отмечена научная новизна результатов и их достоверность, практическое значение работы, перечислены вопросы, выносимые на защиту.

В первой главе даются основные определения и понятия теории надежности, их интерпретация применительно к грунтовым основаниям зданий и сооружений, приводятся основные положения детерминистического и вероятностного подхода к решению задач надежности.

Первыми работами по теории надежности можно считать труды М. Майера и Н.Ф. Хоциалова. Существенным развитием их идей явились работы Н.С. Стрелецкого. Первые в СССР нормы расчета и проектирования были заложены работами Н.С. Стрелецкого, В.М. Келдыша, А.А. Гвоздева, В.А. Балдина, И.И. Гольденבלата и др., была принята новая схема расчетов по предельным состояниям, предложенная И.И. Гольденבלатом, М.Г. Костюковым и А.Н. Поповым.

Наиболее последовательно методы теории вероятностей в расчеты строительных конструкций были внедрены А.Р. Ржаницыным. Большую роль в развитии теории надежности сыграли работы В.В. Болотина, М.Ф. Барштейна. В области оптимизации нормативной меры надежности сооружений с чисто экономической ответственностью следует отметить работы А.Р. Ржаницына, Б.И. Снарскиса, С.А. Тимашева, А.Я. Дривинга, А.С. Пономарева и др.

Важную роль в становлении вероятностного направления в теории надежности сооружений, конструкций и оснований сыграли работы В.В. Болотина, М.Н. Гольдштейна, Н.Н. Ермолаева, К. Капура, П.Л. Клемяционка, С.А. Корнела, А.П. Кудзиса, Л. Ламберсона, М. Майера,

В.В. Михеева, В.Д. Райзера, А.Р. Ржаницына, А.П. Синицына, Н.С. Стрелецкого, Н.Ф. Хоциалова, А. М. Фройденталя. Данный подход активно развивался в работах Д. Аугусти, А. Баратта, Б.И. Беляева, А.Н. Бирбраера, И.И. Кандаурова, Ф. Кашиати, В.Д. Костюкова, Б.Е. Кочеткова, Б.П. Макарова, Н.Р. Моргенштерна, Н.Н. Складнева, Б.И. Снарскиса, Ю.Д. Сухова, С.А. Тимашева, А.В. Школы, С.Г. Шульмана, П.И. Яковлева и др.

Непосредственное использование вероятностных методов при расчетах надежности гидротехнических сооружений и их оснований было начато трудами Ц.Е. Мирцхулавы и получило развитие в трудах Т.С. Атраховой, Т.А. Бохуа, В.Н. Бухарцева, Г.А. Воробьева, Г.К. Габричидзе, Т.В. Гавриленко, Э.Г. Газиева, Н.Н. Гераськина, М.И. Гогоберидзе, И.Н. Иващенко, Н.А. Исханяна, В.Н. Кирьянова, С.М. Левиной, А.В. Львова, В.М. Лятхера, В.С. Пепояна, В.М. Придорогина, Л.Н. Рассказова, В.И. Речицкого, Л.А. Уварова, О.М. Финагенова, О.И. Флориной, Г.И. Чоговадзе, В.И. Шейнина, А.В. Школы, В.Б. Штильмана, С.Г. Шульмана, К. Бари, П. Боккотти, Е. Ванмарке, С. Вика, Т. Ву, Г. Кройцера, С. Лакаса, Ж. Маринье, Р. Приша, Ж. Серафима, А. Сильвейра, Р. Стюарта, К. Уитта, М. Харра, К. Хойега и др.

Анализ литературы показал, что вероятностный подход к оценке надежности оснований, сооружений и конструкций позволяет дать количественную оценку надежности сооружения. При этом в качестве основной характеристики надежности (меры надежности) принимается вероятность безотказной работы сооружения – вероятность того, что в течение срока его службы не наступит отказ, то есть потеря работоспособного состояния, последствием которой являются экономические и социальные потери.

Вероятностные модели ограничиваются указанием некоторого распределения и множества всевозможных решений. Такие методы являются основой современной теории надежности сооружений.

Для количественной оценки уровня надежности в вероятностной постановке в работах Н.Н. Ермолаева, В.В. Михеева, С.Г. Шульмана, О.М. Финагенова и др. вводится определение «совокупного» фактора Y как разности между «внутренним» фактором Y_1 (обобщенной несущей способностью) и «внешним» фактором Y_2 (силовым воздействием). Коэффициент запаса $k_{зан}$ определяется как отношение математических ожиданий «внутреннего» фактора m_{y1} к «внешнему» m_{y2} :

$$k_{зан} = \frac{m_{y1}}{m_{y2}} .$$

Величина, обратно пропорциональная коэффициенту вариации «совокупного» фактора V_y , является мерой надежности x и определяется по зависимости

$$x = \frac{1}{V_y} = \frac{m_y}{\sigma_y} = \frac{m_{y1} - m_{y2}}{\sqrt{\sigma_{y1}^2 + \sigma_{y2}^2}} = \frac{k_{зан} - 1}{\sqrt{V_{y1}^2 k_{зан}^2 + V_{y2}^2}}, \quad (1)$$

где m_y, m_{y1}, m_{y2} – математические ожидания соответствующих факторов;

$\sigma_y, \sigma_{y1}, \sigma_{y2}$ – средние квадратические отклонения;

V_y, V_{y1}, V_{y2} – коэффициенты вариаций.

Для вычисления надежности H в зависимости от коэффициента асимметрии A_y и эксцесса E_y используется формула (Н.Н. Ермолаев, В.В. Михеев):

$$H = \Phi_u(x) - \frac{A_y}{3!} \varphi_u^{(2)}(x) + \left[\frac{E_y}{4!} \varphi_u^{(3)}(x) + \frac{10 \cdot A_y^2}{6!} \varphi_u^{(5)}(x) \right], \quad (2)$$

где $\Phi_u(x)$ – стандартизованная функция распределения нормального закона; $\varphi_u(x)$ – плотность нормального распределения; $\varphi_u^{(n)}(x)$ – производная от $\varphi_u(x)$ порядка n .

В областях малых отказов Q для определения надежности $H = 1 - Q$ используется эмпирическая зависимость (Г. Аугусти, А. Баратта, Ф. Кашиати):

$$H = 1 - 460 e^{-4,3x}.$$

Определение статистик «совокупного» фактора m_y, σ_y , в зависимости (1) выполняется методом линеаризации. Вычисление же математических ожиданий m_{y1}, m_{y2} и стандартов σ_{y1}, σ_{y2} «внутреннего» и «внешнего» факторов осуществляется улучшенным методом линеаризации, который учитывает нелинейность функций Y_1 и Y_2 .

Вычисление надежности по зависимости (2) может происходить при использовании только первого слагаемого, которое дает вклад в сумму более 95%.

Во второй главе предлагается методика определения оценки надежности оснований и сооружений по деформациям и несущей способности методом статистических испытаний (Монте-Карло).

Методы статистического моделирования предполагают обязательное знание статистик входных случайных параметров. Затем каждое испытание состоит из выбора множества значений входных параметров, выполнении детерминированного расчета и получения таким образом множества выходных параметров (параметров реакции). Испытание повторяется n раз, и статистики реакции вычисляются по выборке ее значений.

В методе Монте-Карло особое внимание уделяется формированию реализаций случайной величины (СВ). Поэтому в диссертации рассмотрены следующие виды распределений: равномерное, дискретное, нормальное, нормальное усеченное, нормальное усеченное

нормированное, нормальное улучшенное, Грама-Шарлье. Расчеты показали, что применение последних двух распределений наиболее полно отражает стохастические свойства грунтов.

Алгоритм расчета надежности грунтового основания методом Монте-Карло, применяемый в литературе, содержит некоторые недостатки, связанные с невозможностью проверки и исправления моделируемых СВ. Кроме того:

– ряд значений моделируемых СВ имеет статистические данные, отличные от нормального распределения;

– основным допущением при определении надежности основания является предпосылка о нормальном распределении физико-механических и прочностных характеристик грунта;

– расчет меры надежности (1) производится по громоздким формулам с учетом первых производных для метода линеаризации и



Рис.1. Укрупненная блок-схема предлагаемого улучшенного алгоритма расчета надежности грунтового основания методом Монте-Карло.

вторых – для улучшенного метода линеаризации, а самой надежности – с учетом производных до пятого порядка по $\varphi_u(x)$.

В связи с вышеизложенным предлагается дополнить существующий алгоритм пунктом 4, а другие пункты исправить. Предлагаемая в диссертации блок-схема расчета представлена на рис.1.

В пункте 3 блок-схемы рис.1 определяется вид распределения каждого случайного параметра (СП) по результатам лабораторных испытаний или статического зондирования. Случайные величины моделируются распределением Грама-Шарлье. Каждая случайная величина определяется решением нелинейного уравнения относительно ξ методом половинного деления

$$\Phi_u(\xi) - A_x \varphi_0^{(2)}(\xi)/6 + E_x \varphi_0^{(3)}(\xi)/24 - \gamma = 0,$$

где γ – случайное или псевдослучайное число;

ξ – случайная величина, распределенная по закону Грама-Шарлье.

При отсутствии сведений о высших моментах распределения: коэффициенте асимметрии и эксцессе – распределение принимается нормальным, а частные значения СВ определяются формулой

$$\xi = -6 + \sum_{i=1}^{12} \gamma_i$$

В пункте 4 блок-схемы рис.1 проверяется массив значений СВ так, чтобы он удовлетворял условиям нормального распределения

$$M_x = 0; D_x = 1; A_x = 0; E_x = 0,$$

либо условиям распределения Грама-Шарлье

$$M_x = 0; D_x = 1; A_x = A_{исход}; E_x = E_{исход}.$$

В пункте 5 блок-схемы рис.1 моделируются вероятностные характеристики по формуле

$$x = M_x (1 + V_{МК} \cdot \xi_x),$$

где x – физико-механическая характеристика грунта.

Коэффициент вариации $V_{МК}$ уменьшается по отношению к опытному $V_{он}$ и принимается по эмпирической формуле

$$V_{МК} = V_{он} (0,04506 \cdot \mathbf{Ln}(n) + 0,536795),$$

где n – объем выборки (число определений) показателя.

При отсутствии сведений о числе определений показателя, объем выборки принимается в зависимости от надежности H . Как показали расчеты, для величины уровня надежности $H = 0,99$, объем выборки показателя составляет $n = 8$, для $H = 0,999$ – $n = 13$, для $H = 0,9999$ – $n = 24$, для $H = 0,99999$ – $n = 45$.

В пункте 9 блок-схемы рис.1 при расчете надежности основания по осадке при определении деформаций принимается детерминистическая

модель упругопластического основания. Для расчета нелинейной осадки основания в диссертации рассмотрены варианты:

- определение осадки с учетом нелинейного деформирования грунта по зависимости, предложенной М.В. Малышевым и включенной в Руководство к СНиП 2.02.01–83 в виде

$$S_p = S_R \left[1 + \frac{(p_u - R)(p - R)}{(R - \sigma_{zq0})(p_u - p)} \right], \quad (3)$$

где S_R – осадка, вычисленная для упругого основания по формулам Шлейхера, послойного суммирования или эквивалентного слоя при давлении $p = R$; p_u – предельное сопротивление грунта основания;

- определение осадки упругопластического основания по зависимости, обобщающей результаты работ СПбГПУ (Бугров А.К., Алексеев С.И., Андреев В.Н., Голубев А.И.) по решению смешанных задач теории упругости и пластичности грунтов

$$S_{y_{nl}} = S_l k_{nl}^s, \quad (4)$$

где k_{nl}^s — коэффициент «пластической» осадки; $S_l = S_R$. Для аппроксимации коэффициента «пластической» осадки k_{nl}^s как функции угла внутреннего трения, расчетного сопротивления и предельного давления на основание получены полиномы шестого порядка.

Расчет надежности H предлагается выполнять по «классической» схеме определения вероятности как отношения количества благоприятных исходов к общему числу исходов. Количество исходов n задается моделированием СВ, а количество благоприятных исходов k определяется из выполнения условия ненаступления предельного состояния $S_{y_{nl}} < [S]$ ($S_p < [S]$); в результате находим:

$$H = \frac{k}{n}. \quad (5)$$

Значение допустимого критерия, например $[S]$, по доверительной вероятности (надежности) определяется из формулы (5), тогда количество неблагоприятных исходов l

$$l = n - k = n - H n,$$

а для отсортированного (по убыванию) ряда предельное значение будет с индексом $l + 1$. Чем большее количество СВ моделируется, тем более точно определяется надежность и предельное значение допустимого критерия.

В третьей главе приводятся значения вероятностных характеристик грунтов по опубликованным данным лабораторных испытаний различных грунтов: математическое ожидание, стандарт, коэффициент вариации.

Предлагается способ определения изменчивости свойств грунтов (коэффициента вариации $V_{on.}$) через количество произведенных опытов и разброса их значений, вычисление исправленного коэффициента вариации $V_{МК}$ для моделирования СП методом Монте-Карло.

В зависимости от доверительной вероятности определено минимальное количество экспериментальных опытов, которое по результатам вычислений соответствует определенной надежности, в частности, для $H = 0,9 - n_{min} = 5$ опытов, для $H = 0,99 - n_{min} = 8$ опытов, для $H = 0,999 - n_{min} = 10$ опытов, для $H = 0,9999 - n_{min} = 13$ опытов.

Проведенный анализ работ В.В. Михеева, И.В. Шитовой, В.И. Шейнина, Ю.В. Лесового, Н.Б. Попова, О.И. Игнатовой, Н.Н. Ермолаева, А.В. Школы, А.В. Новского, П.Л. Клемяционка, Л.А. Аносовой, Г.И. Клиновой, О.Г. Гунешяна, О.В. Источникова, В.И. Чуприна, Л.Г. Мариупольского, М.Ю. Абелева, Н.Ф. Арипова, М.П. Лысенко, Г.Ф. Новожилова, Н.Н. Сидорова, А.А. Лызака, И.С. Лаврикова и имеющих в них данных о статистической природе механических свойств грунтов позволяет сделать вывод о том, что величины модуля деформации, угла внутреннего трения, сцепления имеют достаточно большую изменчивость, в частности, обобщенные количественные значения приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Тип грунта	Удельное сцепление C		Угол внутреннего трения ϕ		Модуль деформации E	
	Коэффициент вариации V_x					
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Глина	0,09	0,43	0,07	0,24	0,2	0,3
Песок	-	-	0,04	0,16	-	-
Суглинок	0,14	0,43	0,07	0,23	0,12	0,35
Супесь	0,08	0,244	0,08	0,11	0,12	0,21

Для оценки изменчивости характеристик грунтов были также использованы данные лабораторных исследований грунтов Псковской области, выполненные трестом «ПсковТИСИЗ» в 1984–1991 г.г. Анализ данных показал большую изменчивость свойств грунтов Псковского региона, статистические характеристики для выборочных свойств грунта приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Характеристика грунта	Тип грунта	Коэффициент вариации V_x		Эксцесс E_x		Коэффициент асимметрии A_x	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max
Плотность частиц грунта	Глина	0,0079	0,0079	-1,0037	-1,0037	-0,0456	-0,0456
	Песок	0	0,0029	-2,3333	-0,1038	-1,1147	0,3126
	Суглинок	0,0020	0,0063	-3,3333	3,0000	-1,4000	0,3195

	Супесь	0,0018	0,0065	-2,8000	4,0000	-2,0000	1,7321
Плотность грунта	Глина	0,0431	0,0431	0,0208	0,0208	-0,8423	-0,8423
	песок	0,0051	0,0322	-0,7993	8,6687	-2,7568	0,6620
	суглинок	0,0080	0,0370	-1,2000	5,0948	-0,3800	2,0724
	супесь	0,0051	0,0253	-6,0000	-0,0395	-1,5454	0,3542
Коэффициент пористости	глина	0,1934	0,1934	-0,9970	-0,9970	0,7694	0,7694
	песок	0,0113	0,0666	-1,1273	2,0720	-0,3062	1,6498
	суглинок	0,0352	0,1417	-2,8532	3,9032	-1,7529	0,5928
	супесь	0,0228	0,1647	-2,4652	0,7619	-0,4588	1,1312
Природная влажность	глина	0,1265	0,1265	3,4857	3,4857	1,5595	1,5595
	песок	0,0444	0,4906	-1,4988	9,7410	-2,8512	1,3705
	суглинок	0,0382	0,1494	-1,6996	1,8450	-1,0373	0,2984
	супесь	0,0620	0,2771	-1,9012	3,0734	-1,7050	1,7861
Модуль деформации E	суглинок	0,1860	0,6538	2,2295	2,2295	-0,5432	1,3711

Используя известные корреляционные соотношения между результатами статического зондирования и параметрами деформируемости и прочности, получены зависимости для определения статистических характеристик. Так, например, при определении значения модуля деформации E песков через удельное сопротивление q_3 ($E = 3 q_3$) из теории вероятностей получаем следующие формулы для определения математического ожидания, стандарта, коэффициента асимметрии, эксцесса:

$$M_x [E] = 3 M_x [q_3], D_x [E] = 9 D_x [q_3], \sigma_x [E] = 3 \sigma_x [q_3], \\ V_x [E] = V_x [q_3], A_x [E] = A_x [q_3], E_x [E] = E_x [q_3].$$

Аналогичные формулы можно использовать для вычисления других характеристик грунтов по результатам статического зондирования.

В четвертой главе приводятся численные расчеты надежности основания по осадке для отдельного квадратного в плане фундамента колонны и ленточного фундамента стены, шельфовой ледостойкой платформы с фундаментом в виде плиты, а также активного давления грунта на подпорную стенку по вышеприведенной методике.

1. Определение вероятностных характеристик и надежности оснований фундаментов промышленных зданий (отдельный фундамент, ленточный фундамент) выполнено для нелинейно-деформируемого (упругопластического) основания.

Расчет надежности отдельного фундамента для упругопластического однородного основания выполняется методом статистических испытаний (Монте-Карло) при учете 4 варьируемых параметров: угла внутреннего трения φ , сцепления c , модуля общих деформаций E , удельного веса грунта γ . Согласно расчетов определено: надежность основания по осадке H_s в большей мере зависит от изменчивости модуля общей деформации V_E ,

изменчивость угла внутреннего трения V_φ влияет в большей степени на несущую способность основания N_u , а изменчивость сцепления V_c – на расчетное сопротивление грунта R .

Расчет надежности ленточного фундамента на неоднородном двухслойном основании осуществляется методом статистических испытаний (Монте-Карло). Для каждого слоя грунта учитывается 4 вариационных параметра: угол внутреннего трения φ , сцепление c , модуль общих деформаций E , удельный вес грунта γ . Расчеты показали, что на изменчивость осадки в наибольшей мере влияет вариация угла внутреннего трения V_φ , при этом надежность H_s изменяется от ~ 1 до $0,978$ при изменении V_φ от $0,1$ до $0,3$.

2. Оценка надежности основания ледостойкой платформы для добычи нефти и газа на шельфе Баренцева моря (при глубине > 100 м) в условиях действия случайных (ледовых, волновых) нагрузок.

Расчеты выполнены методом линеаризации, улучшенным методом линеаризации, методом статистических испытаний (Монте-Карло) при учете 8 варьируемых параметров E_i (модуль общих деформаций) для всех 8 слоев грунта основания. При этом определяется упругопластическая осадка основания платформы, ее статистические характеристики и надежность по осадке, а также значения предельной осадки при обеспечении определенной (заданной) степени надежности. Расчеты показали, что на изменчивость коэффициента вариации осадки V_s оказывает большое влияние отрицательная асимметрия A_x и положительный эксцесс E_x . Результаты расчетов представлены в таблице 3.

Таблица 3

Исходные значения		$S_{max 1}$ м	$S_{max 2}$ м	$S_{max 3}$ м	$S_{ср}$ м	V_s	A_s	E_s
A_E	E_E							
1	1	1,015	0,854	0,825	0,581	0,107	0,678	5,625
-1	1	2,43	1,28	1,19	0,602	0,165	1,89	6,624
-1	-1	0,904	0,904	0,866	0,542	0,111	1,555	5,722
1	-1	0,692	0,681	0,674	0,546	0,083	0,057	5,4

3. Вероятностное определение активного давления грунта E_a на подпорную стенку.

Расчет выполнен методом линеаризации, улучшенным методом линеаризации, методом статистических испытаний (Монте-Карло) и учитывает 4 вариационных параметра: угол внутреннего трения φ , сцепление c , высоту подпорной стенки h , удельный вес грунта $\gamma_{ср}$. По расчетам значения математического ожидания M_{Ea} и коэффициента

вариации V_{Ea} активного давления грунта, выполненные методом Монте-Карло и улучшенным методом линеаризации, получаются примерно равными. Погрешность же в расчетах методом линеаризации для M_{Ea} изменяется от 1,5% до 28,8% , а для V_{Ea} – от 1,5% до 16,2% при изменениях коэффициентов вариации случайных параметров от 0,05 до 0,2. Изменчивость как угла внутреннего трения V_{φ} , так и удельного веса грунта $V_{\gamma_{gp}}$ существенно влияет на изменчивость V_{Ea} .

Обобщение результатов расчетов 1. – 3. позволяют сформулировать выводы и дать рекомендации по оценке надежности многопараметрических оснований, достоверное определение осадок которых возможно только с использованием упругопластических (нелинейных) детерминистических моделей.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана методика оценки надежности по деформациям упругопластических оснований зданий и сооружений при совместном учете комплекса случайных факторов, включающих характеристики деформационных и прочностных свойств. Методика основана на синтезе теории надежности сооружений, вероятностных методов расчета, а также теории надежности сложных технических систем. Методика позволяет осуществить количественный анализ надежности грунтовых оснований по деформациям во всем диапазоне нагрузок (вплоть до предельных), а также выявить основные факторы и параметры, оказывающие наибольшее влияние на надежность сооружения.

2. В рамках разработанной методики решен ряд частных задач оценки надежности грунтовых оснований по деформациям, в частности выполнено:

- определение статистических характеристик осадки упругого и упругопластического основания отдельного и ленточного фундаментов при учете изменчивости деформационных и прочностных свойств грунтов;
- определение осадки упругопластического основания в многопараметрическом вариационном подходе по зависимости (4);
- определение предельной осадки с заданной надежностью;
- определение проектной и эксплуатационной надежности грунтового основания ледостойкой гравитационной платформы на шельфе Баренцева моря с учетом изменчивости свойств грунтов и внешних нагрузок на платформу;
- оценка изменчивости активного давления грунта на подпорную стенку в зависимости от изменчивости свойств грунта.

3. Предложен алгоритм определения коэффициента вариации для моделирования методом Монте-Карло с использованием коэффициента вариации, полученного по результатам лабораторных опытов (из условия сохранения размаха выборки и количества произведенных опытов).

4. Получено решение для определения минимального количества опытных образцов-близнецов для обеспечения определенной доверительной вероятности.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Расчет надежности системы "упругопластическое основание – сооружение" методом статистических испытаний.– Тр. Международного семинара по механике грунтов, фундаментостроению и транспортным сооружениям. – Пермь: ПГТУ, 2000.

2. Расчет надежности по осадке упругопластического основания методом статистических испытаний.– Реконструкция городов и геотехническое строительство, 2000, № 2, (соавтор – Бугров А.К.).

3. Прогноз надежности нелинейно-деформируемых оснований методом статистических испытаний.– Тр. Межд. Конф. – Геотехника. Оценка состояния оснований и сооружений. – том 1 – СПб: 2001, (соавтор – Бугров А.К.).

4. Вероятностный подход к определению активного давления грунта. – Тр. Межд. Конф. – Геотехника. Оценка состояния оснований и сооружений.– том 2 – СПб: 2001.

5. Определение вероятностных характеристик активного давления грунта методом Монте-Карло.– Реконструкция городов и геотехническое строительство, 2002, № 5, (соавтор – Бугров А.К.).