

Л.Р. Ставницер

**СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ
ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ**

Л.Р. Ставницер

**СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ
ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ**



Издательство Ассоциации строительных вузов
Москва, 2010

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники,
почетный академик РААСН, президент ассоциации сейсмостойкого строительства
России *Я.М. Айзенберг;*

доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники
Е.А. Сорочан.

Ставницер Л.Р.

Сейсмостойкость оснований и фундаментов / Монография – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2010. – 448 с.

ISBN 978-5-93093-733-6

В книге изложены методы и результаты многолетних экспериментальных и теоретических исследований сейсмостойкости фундаментных конструкций зданий и сооружений и их грунтовых оснований.

Рассмотрено влияние сейсмических колебаний на прочностные свойства грунтов по результатам их трехосных динамических испытаний в вибростабилометре. Разработан метод расчета сейсмостойкости оснований, базирующийся на теории предельного состояния грунтов в поле динамических напряжений, накладываемых на предшествующее статическое состояние, обусловленное собственным весом грунта и действием внешних внецентренных наклонных нагрузок. Исследовано влияние направления сейсмического воздействия на устойчивость оснований и предложен оригинальный способ расчета сейсмостойкости оснований крупноразмерных фундаментных плит применительно к реакторным отделениям атомных электростанций.

По результатам анализа последствий землетрясений, а также лабораторных и полевых опытов определены условия образования необратимых деформаций грунтов и предложен метод прогноза накопления сейсмоосадов оснований с учетом повторяемости землетрясений. Приведено решение задачи о колебаниях свайных фундаментов при распространении сейсмических волн, изложены принципы расчета и проектирования фундаментов на сваях и в вытрамбованных котлованах. Рассмотрены сейсмостойкость траншей, анкерных плит и оползневых склонов, способы усиления фундаментов и закрепления грунтов при восстановительных работах.

Для работников проектных, строительных и научных организаций в области сейсмостойкого фундаментостроения и студентов строительных специальностей.

ISBN 978-5-93093-733-6

© Ставницер Л.Р., 2010
© Издательство АСВ, 2010

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	7
Глава 1. Задачи сейсмостойкого фундаментостроения	8
Глава 2. Экспериментальное исследование прочности грунтов при колебаниях	18
2.1. Постановка задачи	18
2.2. Установка для трехосных динамических испытаний грунтов.....	22
2.3. Методика проведения экспериментов.....	25
2.4. Результаты опытов.....	26
2.5. Интерпретация трехосных испытаний с учетом динамического напряженного состояния	32
2.6. Виброразжижение водонасыщенных грунтов.....	36
Глава 3. Теория расчета несущей способности оснований с учетом сейсмических ускорений	43
3.1. Анализ уравнений мгновенного предельного состояния при движении грунта с ускорением	43
3.2. Численные решения краевых задач методом конечных разностей ..	48
3.3. О подобии решений теории предельных состояний для связных грунтов	61
3.4. Алгоритм расчета.....	67
3.5. Реализация вычислений на ЭВМ и их анализ	71
Глава 4. Практические методы расчета оснований на особое сочетание нагрузок с учетом сейсмических воздействий	88
4.1. Исследование влияния определяющих параметров на несущую способность оснований и разработка способа расчета аппроксимированной эпюры предельного давления	88
4.2. Исследование влияния направления сейсмических колебаний грунта на устойчивость оснований	104
4.3. Приближенное аналитическое решение задачи об устойчивости оснований при динамических воздействиях	112
4.4. Особенности расчета сейсмостойкости оснований реакторных отделений АЭС	124
Глава 5. Принципы проектирования оснований сейсмостойких зданий и экспериментальное обоснование методов расчета	128
5.1. Проектирование сейсмостойких оснований ленточных и столбчатых фундаментов	128
5.2. Приближенный способ учета эксцентриситета нагрузки.....	131

5.3. Расчет сейсмостойкости оснований по первой группе предельных состояний.....	136
5.4. Экспериментальные исследования влияния колебаний грунта на несущую способность внецентренно нагруженных песчаных и глинистых оснований	144
5.5. Анализ экспериментальных данных и сопоставление их с расчетом предельного сопротивления оснований при сейсмических воздействиях	161
5.6. Сейсмостойкость оснований фундаментов с наклонной подошвой	169
Глава 6. Остаточные деформации оснований при землетрясениях	181
6.1. Анализ последствий землетрясений и необратимых перемещений фундаментов.....	181
6.2. Теоретический анализ условий образования остаточных осадков фундаментов при действии сейсмических волн	192
6.3. Штамповые исследования дополнительных осадков песчаного основания при колебаниях	207
6.4. Экспериментальное изучение деформаций образцов грунта при наложении динамических воздействий на статическое трехосное напряженное состояние	212
6.5. Экспериментальное определение осадки нагруженного слоя песка при горизонтальных колебаниях	220
6.6. Прогноз сейсмоосадки оснований с учетом повторяемости землетрясений	224
Глава 7. Сейсмостойкость свайных фундаментов	235
7.1. Вынужденные горизонтальные колебания свай при стационарных сейсмических воздействиях.....	236
7.1.1. Расчетная схема сваи.....	237
7.1.2. Уравнения изгиба сваи при статическом действии единичных сил	239
7.1.3. Определение динамической нагрузки на отдельный участок сваи	243
7.1.4. Составление уравнений для определения перемещений свай при поперечных воздействиях под действием волновой нагрузки	254
7.1.5. Удовлетворение граничных условий задачи о взаимодействии двумерных волн со сваем на поверхности контакта с грунтом	256
7.1.6. Определение динамических нагрузок на сваю от давления грунта при прохождении сейсмической волны ..	263
7.1.7. Амплитуды колебаний сваи и сооружения	264

7.1.8. Определение ординат эпюры поперечных сил и изгибающих моментов при сейсмических колебаниях свай	266
7.1.9. Алгоритм расчета свайных фундаментов на действие сейсмических волн.....	268
7.1.10. Пример расчета	274
7.1.11. Исследование влияния различных параметров на сейсмические колебания свай	276
7.2. Расчет и проектирование фундаментов на сваях	287
7.3. Применение буронабивных свай в сейсмических районах.....	305
7.4. Анализ горизонтальных колебаний свай - колонн с консолями при действии сейсмических волн	312
7.4.1. Расчетная схема свай - колонны.....	312
7.4.2. Определение волновой динамической нагрузки на произвольный участок свай	314
7.4.3. Составление уравнений для определения перемещений свай при колебаниях под действием волновой нагрузки.....	318
7.4.4. Постановка граничных условий при взаимодействии свай с сейсмической волной	322
7.4.5. Определение динамического давления грунта на сваю, амплитуду колебаний, поперечных сил и изгибающих моментов	327
7.4.6. Алгоритм расчета свай - колонн на действие сейсмических волн.....	330
7.4.7. Реализация расчета параметров колебаний свай - колонн	335
7.4.8. Исследование влияния различных параметров на сейсмические колебания свай - колонны.....	341

Глава 8. Влияние грунтовых условий на расчетную сейсмичность строительной площадки, сейсмостойкость траншей, анкерных плит и оползней	348
8.1. Учет грунтовых условий при нормативном определении расчетной сейсмичности зданий и сооружений.....	348
8.2. Рекомендации по застройке площадок с неблагоприятными инженерно-геологическими условиями в районах сейсмичностью 9 баллов и более.....	355
8.3. Теория расчета устойчивости траншей при строительстве способом «стена в грунте» в сейсмических районах	366
8.4. Несущая способность анкерных плит при колебаниях грунта	372
8.5. Экспериментальное исследование и расчет оползневого давления с учетом сейсмических воздействий	377
8.6. Противооползневые конструкции в виде продольных удерживающих стен	382

8.7. Зависимость скорости распространения волн от напряженного состояния грунта.....	391
8.8. Резонансный метод определения демпфирующих характеристик грунтов	393
Глава 9. Сейсмостойкость фундаментов в вытрамбованных котлованах.....	400
Глава 10. Сейсмический риск, оценка ущерба от землетрясений, способы усиления оснований	414
10.1. Оценка уровня сейсмической опасности	414
10.2. Сейсмический риск и оценка ущерба от землетрясений.....	417
10.3. Система сейсмоизоляции	421
10.4. Способы усиления оснований и фундаментных конструкций	427
10.4.1. Инженерно-геологические изыскания	427
10.4.2. Обследование фундаментов.....	429
10.4.3. Усиление ленточных и столбчатых фундаментов	430
10.4.4. Применение свай при усилении фундаментов	434
10.4.5. Закрепление грунтов в основаниях восстанавливаемых или реконструируемых зданий и сооружений	437
Список литературы	440
Сведения об авторе	447

ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие промышленности, сельского хозяйства и транспортных магистралей связано с освоением новых территорий, в том числе отличающихся высокой сейсмичностью (Восточная Сибирь, Камчатка, Сахалин, участки Байкало-Амурской магистрали, районы Крайнего Севера) и увеличением плотности застройки в освоенных районах; при этом часто возникает необходимость строительства в неблагоприятных инженерно-геологических условиях.

Народнохозяйственное значение проблемы сейсмостойкого строительства оценивается сотнями миллионов рублей, ежегодно выделяемых на антисейсмические мероприятия по усилению строительных конструкций, в том числе фундаментов и их оснований. Трудоемкость возведения фундаментов составляет 10–20% общей трудоемкости строительного-монтажных работ. Поэтому при выполнении задач, направленных на сокращение сроков работ в капитальном строительстве, немалая роль принадлежит сейсмостойкому фундаментостроению, где имеются большие резервы для снижения стоимости, трудоемкости и продолжительности работ.

Одной из важнейших задач сейсмостойкого фундаментостроения является выявление резервов прочности грунтов при сейсмических колебаниях и снижение затрат на дополнительное усиление оснований и фундаментов до минимально возможного уровня при одновременном обеспечении их достаточной надежности по условиям предельных состояний первой группы.

В книге изложены методика и результаты комплексных исследований сейсмостойкости грунтовых оснований и фундаментных конструкций (в том числе свайных), которые производились начиная с 1970 г. в основном в НИИОСП им. Н.М. Герсееванова, а также в других организациях, связанных с задачами строительства в сейсмических районах.

Автор благодарит профессора В.А. Ильичева и коллектив лаборатории динамики грунтов НИИОСП им. Н. М.Герсееванова за многолетнее сотрудничество.

ГЛАВА 1. ЗАДАЧИ СЕЙСМОСТОЙКОГО ФУНДАМЕНТОСТРОЕНИЯ

По статистическим данным, в мире ежегодно происходит более 300 тыс. землетрясений, в том числе 10-балльных – 3, 9-балльных – 11, 8-балльных – 80, 7-балльных – 400, 6-балльных – 1300, а в СНГ к сейсмически активной относится 28% территории и ежегодно регистрируется до 75 землетрясений, причем в среднем раз в три года происходит одно разрушительное землетрясение.

По карте сейсмического районирования СНГ Института физики Земли РАН территории с расчетной сейсмичностью 7 и более баллов имеют общую площадь около 3 млн квадратных километров, при этом 7-балльные районы составляют 58,13% этой площади, 8-балльные – 27,92%, 9-балльные – 13,95%. Примерное соотношение грунтовых условий в этих районах показано в табл. 1.1. При классификации грунтов по сейсмическим свойствам в соответствии с табл. 1 главы СНиП П-7-81* «Строительство в сейсмических районах» грунты I категории занимают 8%, II категории – 75% и III категории – 17% общей площади районов с сейсмической активностью 7–9 баллов.

Таблица 1.1

Распределение грунтов в сейсмических районах России (в %)

Рас- четная сейс- мич- ность (бал- лы)	Виды грунтов									Озера и во- дохра- нилища
	Скаль- ные и полу- скаль- ные	Круп- но- обло- моч- ные	Песча- ные с вклю- чения- ми	Пески	Песча- но- глини- стые	Глини- стые с вклю- чения- ми	Гли- ны	Лессо- вые I типа	Лессо- вые II типа	
7	10,0	18,0	4,4	24,0	1,7	2,3	2,7	26,0	9,7	1,2
8	25,8	24,2	7,6	7,9	0,7	2,6	2,4	14,0	13,3	1,7
9	21,8	19,5	9,9	3,4	1,6	–	1,6	6,6	12,5	22,9
7-9	16,9	20,2	6,4	15,5	1,4	2,0	2,4	18,8	11,3	5,1

Усовершенствование теории расчета сооружений на сейсмические воздействия, позволяющее вскрывать резервы несущей способности строительных конструкций, в том числе фундаментов и их оснований, при одновременном обеспечении достаточной надежности обуславливает получение существенно-го экономического эффекта.

Сейсмостойкость фундаментов и их оснований является составной частью общей проблемы сейсмостойкости зданий и сооружений, при этом основание рассматривается и как источник сейсмических колебаний сооружения, и как один из его основных несущих элементов, воспринимающих не только нагрузки от строительных конструкций, совершающих колебания, но и дополнитель-

ные динамические напряжения, обусловленные распространением в грунте сейсмических волн. Поэтому представление о несущей способности основания при землетрясениях отличается от статического, с одной стороны, спецификой особого сочетания нагрузок, включающего сейсмические (наличие знакопеременной горизонтальной составляющей и эксцентриситета, возможность неполного контакта подошвы фундамента с грунтом при амплитудных значениях опрокидывающего момента), с другой стороны – действием в самом грунте как ниже, так и выше подошвы фундамента не только объемных вертикальных сил от собственного веса, но и объемных сил инерции, изменяющихся во времени по величине и направлению.

Расчет сейсмостойкости сооружений включает следующие этапы:

- уточнение расчетной сейсмичности строительной площадки в зависимости от местных грунтовых условий по отношению к фоновой сейсмичности, устанавливаемой при сейсморайонировании;

- определение динамических характеристик сооружения – частот и форм его собственных колебаний;

- вычисление сейсмических нагрузок в узлах расчетной схемы с учетом матрицы дискретного распределения масс, спектральных коэффициентов динамичности и формы деформации при каждом расчетном тоне свободных колебаний и системы эмпирических коэффициентов, зависящих от расчетной сейсмичности, допускаемых повреждений, конструктивных решений здания и демпфирования;

- определение методами строительной механики внутренних усилий в элементах строительных конструкций и нагрузок на основание, соответствующих особому сочетанию с учетом сейсмических воздействий;

- расчет элементов конструкций и оснований по предельным состояниям первой группы, допускающим повреждения и остаточные деформации, если это не угрожает безопасности людей и сохранности ценного оборудования, причем на этом этапе расчета эмпирически учитывается влияние различной повторяемости землетрясений применением соответствующих значений коэффициентов условий работы.

Такая последовательность расчета предусмотрена для всех зданий и сооружений, а для особо ответственных сооружений и высоких (более 16 этажей) зданий дополнительно производится динамический расчет колебаний с использованием инструментальных записей ускорений, а также синтезированных акселерограмм.

В этом общем процессе расчета сейсмостойкости зданий их основания фигурируют на четырех стадиях.

Во-первых, конкретные напластования грунтов учитываются при корректировке балльности строительной площадки по данным сейсмического микрорайонирования или при отсутствии таких данных по указаниям табл. 1 СНиП П-7-81* «Строительство в сейсмических районах», где приведена классификация категорий грунтов по сейсмическим свойствам. Изменение интенсивности

сейсмических волн зависит от упругих свойств грунтов, а те, в свою очередь, зависят от таких физических характеристик грунта, как состав, плотность, влажность, консистенция. Поэтому грунты разделены на категории в зависимости от этих свойств, при этом, в частности, учтено, что для гравелистых, крупных и средней крупности песчаных грунтов, а также крупнообломочных влияние влажности на константы упругости малосущественно, а для крупнообломочных грунтов важным является количественное содержание песчано-глинистого заполнителя. Сейсмические свойства глинистых грунтов характеризуются их плотностью и консистенцией, а мелких и пылеватых песков – плотностью и влажностью. При возможности местного замачивания грунтов, особенно просадочных, в процессе эксплуатации здания или при прогнозировании подъема уровня подземных вод учитываются характеристики обводненных слоев грунта в замоченном состоянии.

Во-вторых, в зависимости от категории грунтов по сейсмическим свойствам принимается в расчет одна из нормативных спектральных кривых, определяющих коэффициент динамичности как функцию периода собственных колебаний. Одно только это обстоятельство может приводить к существенному влиянию грунтовых условий на сейсмические нагрузки. Например, при переходе от грунтов II к грунтам III категории для жестких зданий с периодом собственных колебаний основного тона до 0,5 с нагрузки уменьшаются на 30–40%, а для гибких сооружений с периодом собственных колебаний 0,6–1,5 с происходит увеличение нагрузок на 20–90%. Это отражает известный по результатам обследования последствий землетрясений вывод о том, что жесткие крупнопанельные и кирпичные здания на слабых грунтах повреждаются меньше, чем гибкие каркасные.

В-третьих, влияние упругой податливости основания на периоды и формы свободных колебаний зданий и сооружений сказывается на величинах сейсмических нагрузок, и иногда весьма существенно. Это зависит от соотношения изгибной и сдвиговой жесткости конструкций наземной части здания и жесткости основания при сдвиге и повороте фундамента. Учет упругой податливости основания уточняет общепринятую консольную расчетную схему сооружения, повышает точность получаемых спектров реакции при выполнении динамических расчетов и в ряде случаев приводит к более надежным и экономичным решениям, особенно для зданий с жесткой конструктивной схемой.

В-четвертых, основания зданий и при землетрясениях должны надежно выполнять свое основное предназначение – иметь несущую способность, достаточную для восприятия нагрузок, передаваемых фундаментами при колебаниях строительных конструкций и распространении в грунте сейсмических волн.

Из четырех перечисленных аспектов функциональной роли оснований в расчете зданий на сейсмические воздействия первые три сопряжены с определением сейсмических нагрузок на элементы строительных конструкций. Это является предметом теории сейсмостойкости сооружений, учтено в норматив-

ных документах по проектированию зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах, и находится за рамками настоящей работы, которая посвящается изучению несущей способности и деформируемости естественных оснований при сейсмических воздействиях и разработке методов расчета сейсмостойкости этих оснований при заданных нагрузках особого сочетания в соответствии с тремя принципами, сформулированными Н.М. Герсевановым:

- методы расчета должны исходить из форм разрушений и деформаций, подтверждающихся опытом строительной практики;

- при аппроксимации моделей в расчет вводится гипотеза о свойствах конструкции и действующих на нее сил, позволяющая создать эффективный с инженерной точки зрения метод расчета;

- наряду с прочностью и устойчивостью выбор системы гипотез и расчетной модели должен обеспечивать ее экономичность.

Проблема сейсмостойкости оснований до начала 70-х гг. прошлого века признавалась актуальной, хотя к этому времени сформировалась достаточно надежная и научно обоснованная система методов расчета и проектирования наземных конструкций зданий и сооружений с учетом сейсмических воздействий, а соответствующие методы расчета оснований и фундаментов отставали и базировались в основном на статических представлениях о допустимых осадках фундаментов и напряжениях грунта под их подошвой. Такое необоснованное перенесение методов, разработанных для основного сочетания нагрузок, на случай их особого сочетания при сейсмических воздействиях часто приводило к недопустимым с экономической точки зрения запасам, а игнорирование специфических особенностей работы оснований и фундаментов во время землетрясений могло быть причиной повреждения наземных строительных конструкций.

Для фундаментов на естественных основаниях расчет обычно сводился к сопоставлению краевых напряжений под подошвой при особом сочетании нагрузок с нормативным давлением на грунт, что вследствие значительного неэкцентриситета равнодействующей нагрузок почти всегда приводило к существенному увеличению размеров фундамента. Следствием такого положения оказалась неоправданно высокая относительная надежность фундаментов, превосходящая аналогичные показатели несущих конструкций зданий. Это стало очевидным при анализе последствий землетрясений в Ташкенте (1966 г.), в Дагестане (1970 г.), в Газли (1976 г. и 1984 г.), в Карпатах (1977 г.), в Душанбе (1983 г.), в Кайраккумах (1985 г.), в Спитаке (1987 г.) и многих других, где, как правило, не наблюдались осадки или повреждения фундаментов пострадавших зданий постройки последних десятилетий (некоторые исключения из этого правила обусловлены специфическими причинами частного характера и рассмотрены в разд. 6).

Аналогичное положение сохраняется в нормах зарубежных стран, где обеспечение сейсмостойкости оснований предусматривается выполнением расчета на сейсмические нагрузки по допускаемым напряжениям на грунт.

Уровни этих нагрузок в экономически развитых странах (США, Япония, Италия) близки между собой, о чем свидетельствуют сопоставительные расчеты ЦНИИСК. Однако сравнения эти не вполне показательны, так как расчетные нагрузки, определяемые по нормам этих стран, являются обязательным минимумом, а фирмы, компании и государственные учреждения имеют право на принятие более высоких уровней сейсмических нагрузок, к чему они часто стимулируются специалистами по сейсмостойкому строительству. При определении этих нагрузок в большинстве стран, за исключением Австрии, Италии, Новой Зеландии и США, учитываются грунтовые условия. По учету грунтовых условий зарубежные нормы разделяются на четыре группы:

нормы, учитывающие сейсмические свойства грунтов при микрорайонировании с помощью коэффициентов сейсмичности, которые могут изменяться в 2–4 раза, что примерно соответствует влиянию микрорайонирования на сейсмические нагрузки по методике, принятой в РФ;

нормы, в которых приняты 2–4 категории грунтов по сейсмическим свойствам в зависимости от их плотности и допускаемых напряжений (расчетных сопротивлений), а коэффициенты сейсмичности изменяются на 25–50% при переходе от одной категории грунтов к другой (Болгария, Румыния, Греция, Иран, Турция);

нормы, в которых одновременно учитывается влияние грунтовых условий и принятого типа фундаментов (Алжир, Испания, Франция), а сейсмические коэффициенты изменяются при этом в пределах 10–25% (кроме норм Испании, где это изменение может достигать 200%);

нормы, в которых при определении коэффициентов сейсмичности взаимосвязанно учитываются грунтовые условия и типы конструктивных решений зданий и сооружений (Мексика, Португалия, Япония и др.).

По результатам инженерного анализа последствий землетрясений за рубежом принято целесообразным для сравнительно гибких каркасных зданий и сооружений, расположенных на относительно слабых грунтах, увеличивать на 33–50% значения коэффициента сейсмичности по сравнению с его значениями на плотных грунтах. По нормам Японии это увеличение для жестких зданий составляет 12%. При проектировании жестких кирпичных, монолитных или панельных зданий на плотных грунтах коэффициенты сейсмичности принимаются на 17% (в нормах Мексики – на 100%) больше, чем для гибких каркасных зданий. Более дифференцированно сейсмические свойства грунта учитываются различными спектральными кривыми в нормах Мексики, что соответствует методике, принятой в настоящее время в нормах РФ.

Как уже отмечалось, расчет сейсмостойкости оснований в зарубежных нормах предусматривается по допускаемым напряжениям, которые обычно увеличиваются по сравнению со статическим уровнем с помощью эмпирических коэффициентов. Это увеличение производится независимо от вида грунта, его физико-механических характеристик и принимается в нормах Японии – в 2 раза, в нормах Греции – в 1,5 раза, в нормах США – на 2/3. Нормами Франции

предусмотрена дифференцированная по трем категориям грунтов корректировка допускаемых напряжений, где для скальных грунтов они увеличиваются в 3 раза, для слабых водонасыщенных сохраняются неизменными, как при статических расчетах, а для всех остальных типов грунтов увеличиваются вдвое.

Такие данные трудно сопоставлять вследствие принципиальных различий методов определения сейсмических нагрузок и нормативного давления на грунт при статических воздействиях, однако можно отметить, что в нормах России характеристики свойств грунтов учитываются более полно и дифференцированно, чем в зарубежных нормах, но зато последние предусматривают эмпирическое повышение давления на грунт при расчете на сейсмику, что в какой-то степени избавляет проектировщиков от чрезмерного развития размеров подошвы фундаментов по сравнению с эквивалентными несейсмическими условиями.

Принятие аналогичного подхода в условиях нашей страны было бы бесперспективно из-за огромного разнообразия грунтовых условий, невозможности эмпирическими поправками обоснованно учитывать напряженное состояние грунта в области нелинейного деформирования при совместном действии статических нагрузок и сейсмических колебаний, а также и потому, что по сложившейся у нас методологии расчета оснований величина расчетного сопротивления грунта (по прежней терминологии – нормативного давления) характеризует предел его линейной деформируемости и предназначается для расчета оснований по деформациям при основном сочетании нагрузок и, следовательно, не может служить критерием сейсмической устойчивости.

В связи с этим назрела необходимость в отказе от существовавшей дорогостоящей практики проектирования фундаментов с ограничением давления под их подошвой при сейсмических воздействиях величиной расчетного сопротивления грунта. Вместо этого появилась потребность в разработке таких методов расчета естественных оснований фундаментов массового строительства, которые учитывали бы специфику сопротивления грунтов динамическим воздействиям, кинематически возможные схемы разрушения оснований, особенности их нагружения при сейсмических колебаниях здания и грунта, возникающие при этом объемные силы инерции и одновременно соответствовали бы современным критериям сейсмостойкости строительных конструкций, базирующимся на расчетах несущей способности по предельным состояниям первой группы.

Для достижения поставленной цели решены нижеперечисленные задачи.

1. Исследование влияния сейсмических колебаний грунта на его прочностные характеристики.

Цель этого экспериментального исследования, выполняемого на специально сконструированной установке трехосного динамического сжатия (а.с. № 384050), состоит в решении вопроса о возможности использования основных параметров сопротивления грунтов сдвигу (угол внутреннего трения, сцепление) для расчета несущей способности оснований при колебаниях сейсмического диапазона.

Большой вклад в изучение возможного влияния динамических воздействий на сопротивление грунтов сдвигу внесли работы Д.Д. Баркана, М.Н. Гольдштейна, Ю.К. Зарецкого, П.Л. Иванова, И.Н. Иващенко, Н.Д. Красникова, Н.Н. Маслова, С.Р. Месчяна, А.А. Ничипоровича, О.А. Савинова, Е.А. Вознесенского, Т. Ивасаки, К. Ишихары, А. Касагранде, К. Ли, Х. Сиды, Ф. Татсуоки, В. Хардина и др., в которых, однако, получены противоречивые результаты. Поэтому возникла необходимость решения этого вопроса путем совершенствования приборного оборудования и методов интерпретации экспериментальных данных.

2. Анализ предельного состояния грунта при движениях с ускорениями и решение краевых задач, необходимых для построения теории расчета несущей способности оснований при сейсмических воздействиях.

Теория предельного равновесия грунтов базируется на работах В.В. Соколовского, С.С. Голушкевича, В.Г. Березанцева, М.И. Горбунова-Посадова, А.С. Строганова, Ю.И. Соловьева, В.А. Флорина, В.С. Христофорова, П.И. Яковлева, Г. Мейергофа, Ж. Биареза, Е. Де Беера и др. Учет объемных сил инерции грунта впервые произведен в работах П.И. Яковлева на основе технической теории предельного равновесия С.С. Голушкевича применительно к расчету на сейсмические воздействия оснований гидротехнических сооружений и подпорных стен.

В отличие от предшествующих работ поставлена задача исследовать мгновенное предельное напряженное состояние грунта при амплитудных значениях сейсмических инерционных сил без упрощающих предположений об очертании зон с различным напряженным состоянием; при этом учитываются не только нормальные, но и касательные напряжения над зоной выпора, обусловленные силами инерции произвольного направления при сейсмических движениях пригрузки основания. Численное решение этой задачи осуществляется на том же уровне строгости, что и фундаментальное решение В.В. Соколовского в статике сыпучей среды.

3. Разработка алгоритма расчета несущей способности оснований с учетом вертикальной и горизонтальной составляющих нагрузки при особом сочетании, объемного веса и сил инерции грунта, действующих при сейсмических ускорениях произвольного направления как ниже, так и выше подошвы фундамента.

Этот алгоритм предназначен для численного анализа роли всех определяющих параметров задачи и табулирования коэффициентов несущей способности основания в зависимости от параметров сейсмического воздействия, угла внутреннего трения и угла наклона нагрузки как положительного, так и отрицательного направления.

4. Численный анализ влияния модуля и направления главного вектора сейсмических колебаний на устойчивость оснований.

Произведена количественная оценка степени снижения несущей способности оснований при ускорениях различного уровня и определено наиболее неблагоприятное направление сейсмического воздействия в зависимости от

прочностных характеристик грунта, размера и глубины заложения фундамента. При этом установлена роль вертикальной составляющей сейсмического воздействия.

5. Разработка практических способов учета эксцентриситета и наклона нагрузки при определении несущей способности оснований сейсмостойких зданий.

Приведенная к подошве фундамента равнодействующая нагрузок особого сочетания, включающего сейсмические силы, характеризуется наклоном и эксцентриситетом, направления которых для промышленных и гражданских зданий обычно совпадают, но возможная потеря устойчивости основания в отличие от гидротехнических сооружений имеет противоположное направление, предопределяемое в первую очередь знаком эксцентриситета.

Изучению этого вопроса в статических условиях посвящены работы Н.М. Герсеванова, В.Г. Березанцева, М.В. Малышева, Ю.И. Соловьева, А.С. Снарского, Е.А. Сорочана, В.А. Флорина, Й. Бринч Хансена, К. Вайсса, Е. Де Беера, В. Деркена, А. Како, Ж. Керизеля, Г. Мейергофа, Х. Мусса, Ш. Пракаша и др. Использование имеющихся предложений при больших эксцентриситетах приводит к существенной недооценке предельных нагрузок на основания, поэтому возникла необходимость разработать метод, применение которого обосновано при значительных эксцентриситетах, достигающих при сейсмических нагрузках одной трети ширины фундамента.

6. Разработка практической методики нормативного расчета сейсмостойкости оснований по первой группе предельных состояний.

При проектировании объектов массового строительства практическая реализация расчета несущей способности оснований с учетом сейсмических воздействий должна базироваться на ограниченном количестве параметров, характеризующих исходную информацию лишь такими данными, определение которых предусмотрено нормативными документами по строительству в сейсмических районах и по основаниям зданий и сооружений. При этом кроме общепринятых характеристик несущей способности в статических условиях одновременно учитываются специфические особенности сейсмического воздействия на основание (эксцентриситет нагрузки, силы инерции грунта, наклон нагрузки, возможность частичного отрыва подошвы фундамента) и определен максимум нагрузки особого сочетания, при которой для соответствующей категории грунта по сейсмическим свойствам и повторяемости землетрясений устойчивость основания обеспечивается на уровне надежности, зависящем от класса здания по назначению и ответственности.

7. Исследование влияния сейсмических воздействий на устойчивость оснований фундаментов с наклонной подошвой и разработка метода расчета их несущей способности.

Фундаменты с наклонной подошвой эффективны для распорных конструкций при наличии односторонней горизонтальной составляющей статической нагрузки. Расчет сейсмостойкости, обоснованный результатами опытов, делает возможным их применение в сейсмических районах.

Научное издание

Леонид Рувимович Ставницер

СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ

Компьютерная верстка: *О.М. Куличкова, Е.В. Орлов, А.А. Григорян*

Редактор: *В.Ш. Мерзлякова*

Дизайн обложки: *Н.С. Романова*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98.

Подписано к печати 26.01.10. Формат 70x100/16.

Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.

Усл. 28 п.л. Тираж 1000 экз. Заказ №

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации – оф. 511
тел., факс: (499)183-56-83, e-mail: iasv@mgsu.ru, <http://www.iasv.ru/>