

УДК 550.834.3

© М.Д. Кауркин, В.В. Романов

М.Д. Кауркин, В.В. Романов

ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТА СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ПРОГРАММЕ NERA

Введение

Одной из многочисленных природных опасностей, распространенных на территории России, являются землетрясения. Высокая сейсмичность наиболее актуальна для южных районов страны и Дальнего Востока. Для строительства в этих районах необходимо проводить комплекс исследований для оценки сейсмической опасности. По масштабам исследования выделяют следующие виды: общее сейсмическое районирование, детальное сейсмическое районирование и сейсмическое микрорайонирование.

Общее сейсмическое районирование (ОСР) – это картирование сейсмической опасности в рамках территории страны, основанием для которого является изучение сейсмичности и сейсмического режима, региональных и глобальных сейсмогенерирующих структур [10]. Комплект карт ОСР является частью СП 14.13330.2014 [8] «Строительство в сейсмических районах (СНиП II-7-81*)». Результаты ОСР служат основой для выполнения детальное сейсмического районирования (ДСР), которое представляет собой совокупность работ по выявлению и изучению сейсмогенерирующих зон, сейсмические события в которых могут быть опасны для проектируемых сооружений. Завершающим этапом оценки сейсмической опасности является сейсмическое микрорайонирование (СМР). Задачей сейсмического микрорайонирования является оценка влияния местных условий (грунтовых, геоморфологических, гидрологических и геофизических) на возможное сейсмическое воздействие. Отчетным материалом СМР является карта (схема) сейсмического микрорайонирования площадки исследования и набор расчетных воздействий (акселерограмм, сейсмограмм, велосиграмм) от потенциально опасных зон возникновения очагов землетрясений (ВОЗ). Полученные при СМР расчетные сейсмические воздействия позволяют оценить важные для проектирования характеристики, такие как максимально возможное значение ускорения, период и спектральный состав колебаний поверхности грунта.

Наиболее сложным и важным этапом при сейсмическом микрорайонировании является моделирование реакций грунтовой толщи на ожидаемое сейсмическое воздействие. Результат расчетов существенно зависит от корректного описания сейсмогрунтовых условий и выбора исходного сейсмического воздействия.

Введением СП 283.1325800.2016 «Объекты строительные повышенной ответственности. Правила сейсмического микрорайонирования» [9] было решено множество вопросов, возникающих в процессе проведения сейсмического микрорайонирования. Согласно пункту 7.12 указанного ранее свода правил, учет спектральных особенностей грунтовых толщ и расчет соответствующих акселерограмм осуществляют с использованием программы NERA [9]. Другими словами, применение для расчетов сейсмических воздействий программы NERA теперь закреплено в нормативной документации.

На сегодняшний день существует множество программных продуктов для моделирования реакции грунтовой толщи на сейсмическое воздействие (NERA, EERA, Deepsoil, SoilWorks и др.). Однако с выходом СП 283.1325800.2016 [9] закономерно увеличится популярность программы NERA. В рамках этой статьи рассмотрим процесс проведения расчетов в программе NERA.

Программы для расчета сейсмических воздействий

Одним из важных этапов сейсмического микрорайонирования является расчет сейсмических воздействий от потенциально опасных зон возникновения очагов землетрясений (ВОЗ). Полученные расчетные данные предоставляют для проектирования зданий и сооружений такие важные характеристики, как значение максимального ускорения на поверхности площадки, продолжительность и преобладающий период сотрясений.

На данный момент разработано большое количество программных продуктов для расчета ожидаемых сейсмических воздействий от земле-

трясений (Deepsoil, SoilWorks, SHAKE, NERA, EERA и др.). Среди отечественных ученых и специалистов наибольшее распространение получила программа NERA.

Программа NERA (Nonlinear Earthquake site Response Analyses of Layered Soil deposits) была разработана J.P. Bardet и T. Tobita [12]. Программа NERA реализована в виде надстройки для Microsoft Excel, что в значительной степени облегчает работу и обработку результатов расчетов. Интерфейс программы практически полностью идентичен ее предшественнице EERA, равно как требуемые входные данные и объем результатов расчета (акселерограмма, велосигграмма, дисплогграмма, график спектра реакции и т.д.). Рассматривая совместно программы EERA и NERA, можно сказать, что NERA является логическим развитием и совершенствованием программы EERA. Подробно алгоритм расчета, входные и выходные данные приведены в соответствующей технической документации к программам [11, 12]. Отметим, что основное отличие NERA от EERA заключается в учете механизма нелинейного поведения грунта при сильных сейсмических воздействиях. Подробное описание программ и сравнение результатов расчетов проведено авторами в работе [4]. В рамках этой статьи остановимся на рассмотрении особенностей расчетов в NERA.

Пример расчета сейсмических воздействий

Для проведения расчетов в программе NERA требуется ввести акселерограмму ожидаемого землетрясения для исследуемой территории или синтезированную акселерограмму. Кроме исходной акселерограммы, необходимо внести данные о сейсмогеологической модели, которая представляет собой систему слоев, для каждого из которых приводятся мощность, скорости поперечных волн V_s (м/с), удельный вес (в кН/м³) и тип грунта – глинистый, песчаный или условно скальный. В соответствии с типом грунта в программе назначаются зависимости модуля сдвига и коэффициента демпфирования (поглощения) грунта, отражающие нелинейный характер связи между напряжением и деформацией. Для получения достоверных результатов расчетов необходимо указать положение уровня грунтовых вод.

Результатом расчета являются: акселерограмма (велосигграмма, дисплогграмма), полученная для уровня дневной поверхности (при необходимости для определенного слоя), графики изменения деформации и напряжения во времени, спектр Фурье, спектры реакции.

В качестве примера рассмотрим условную площадку изысканий. Это позволит сконцентрировать внимание на полученных результатах расчетов

и уйти от подробного описания расположения объекта и инженерно-геологических условий. Предположим, что условная площадка будет располагаться в Иркутской области. Для подавляющей части территории этого субъекта Российской Федерации характерен высокий уровень сейсмичности; максимальная интенсивность сейсмических сотрясений изменяется от 9 баллов (по шкале MSK-64) на юге до 5 баллов на севере (согласно карте ОСР-2015 В). В нашем случае исходная сейсмичность будет составлять 8 баллов (ОСР-2015 В). Для упрощения не будем принимать во внимание необходимость уточнения исходной сейсмичности и зададим значение максимального ускорения на поверхности равным 200 см/с² (согласно пункту Г.2.2 СП 14.13330.2014 [8]). На основании фондовых материалов выберем геологические условия (рис. 1) и необходимые физико-механические свойства грунтов (табл. 1), характерные для этой территории.

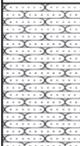
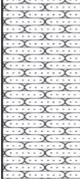
Лит. колонка	Геол. инд.	Мощн. слоя, м	Описание грунтов
	aQIII	2,00	Суглинок темно-коричневый, песчанистый, тяжелый, тугопластичный
	aQIII	2,60	Песок мелкий светло-коричневый, средней плотности, малой степени водонасыщения, с частыми прослоями суглинка тугопластичного, с вкл. до 5% гальки
	aQIII	1,90	Глина темно-серая, песчанистая, легкая, полутвердая, с прослоями песка пылеватого
	aQIII	3,70	Суглинок коричневый, песчанистый, легкий, полутвердый
	aQIII	2,70	Песок мелкий светло-коричневый, средней плотности, малой степени водонасыщения, с редкими прослоями глины
	J1	7,60	Песчаник светло-жёлтый, среднезернистый, понижен.прочности, средней плотности, трещиноватый с тонкими прослойками песка мелкого, размягчаемый
	J1	3,50	Песчаник светло-жёлтый, прослоями рыжеватый, среднезернистый, малопрочный, плотный, трещиноватый с тонкими прослойками песка мелкого, размягчаемый

Рис. 1. Краткая характеристика геологических условий исследуемой площадки

Fig. 1. Brief description of the geological conditions of the site under study

Приведенные инженерно-геологические данные являются основой для составления сейсмогеологического разреза (таблица 1), необходимого для расчетов.

Исходным сейсмическим воздействием была выбрана акселерограмма землетрясения Loma Prieta (рис. 2). Такой выбор был сделан на основании соответствия характеристик (продолжительность, преобладающий период и т.д.) акселерограммы землетрясения Loma Prieta ожидаемому сейсмическому воздействию на этой территории.

Результат расчета ожидаемого сейсмического воздействия в программе NERA на поверхности условной площадки исследования приведен на рис. 3.

При сравнении рис. 2 и рис. 3 видно резкое увеличение значения пикового ускорения (с 0,2g до 0,311g) и изменение формы акселерограммы в целом за счет влияния геологической среды. Кроме расчетной акселерограммы, был получен спектр реакции (рис. 4), который также является отчетным материалом сейсмического микрорайонирования.

Результатом расчета сейсмических воздействий является набор акселерограмм (три компоненты колебаний X, Y, Z) от зон возможных очагов землетрясений и соответствующие им спектры реакции.

На приведенном примере наглядно показан необходимый набор входных данных и полученные результаты. Таким образом, для проведения расчетов

Таблица 1

Сейсмогеологический разрез в формате программы NERA

Seismic and geological section in the format of the program NERA

	Номер слоя	Тип грунта	Мощность (м)	Удельный вес (кН/м ³)	Скорость поперечных волн (м/с)
Поверхность	1	1	2	20	100
	2	2	2,6	17,1	260
	3	1	1,9	19,6	300
	4	1	3,7	19	320
	5	2	2,7	17,1	330
	6	2	7,6	21,1	380
	7	2	3,5	22,2	440
Bedrock	8	0		23,2	610

Слева направо указано: порядковый номер слоя, тип грунта (1 – глинистый, 2 – песчаный, 0 – условно скальный), мощность, удельный вес, скорость поперечных волн.

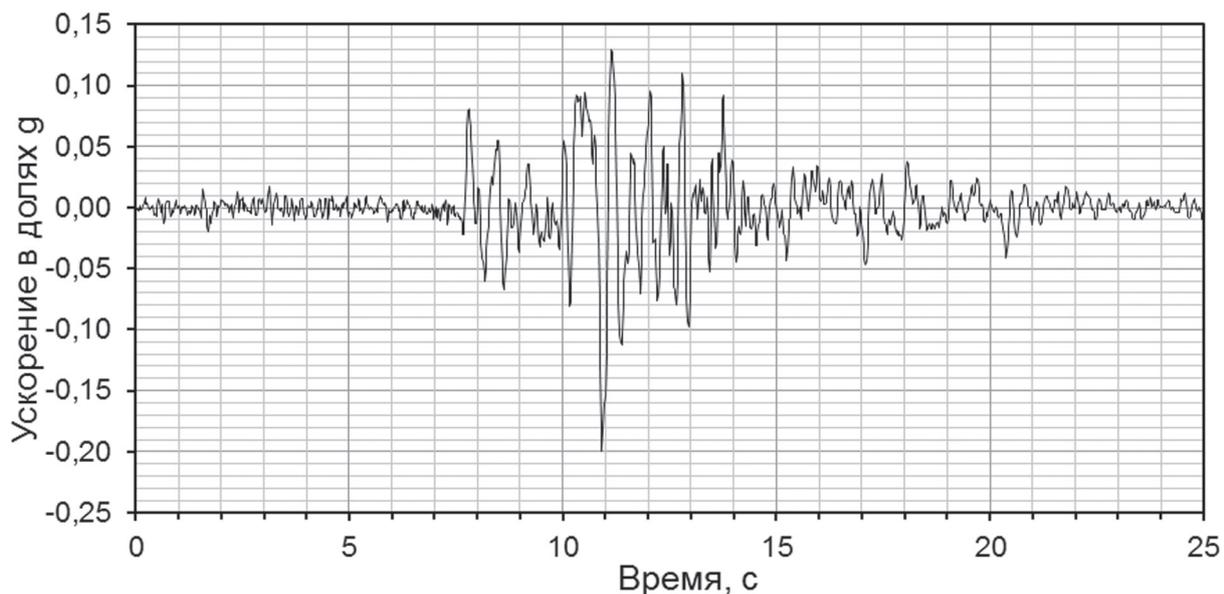


Рис. 2. Акселерограмма землетрясения Loma Prieta

Fig. 2. Accelerogram of the Loma Prieta earthquake

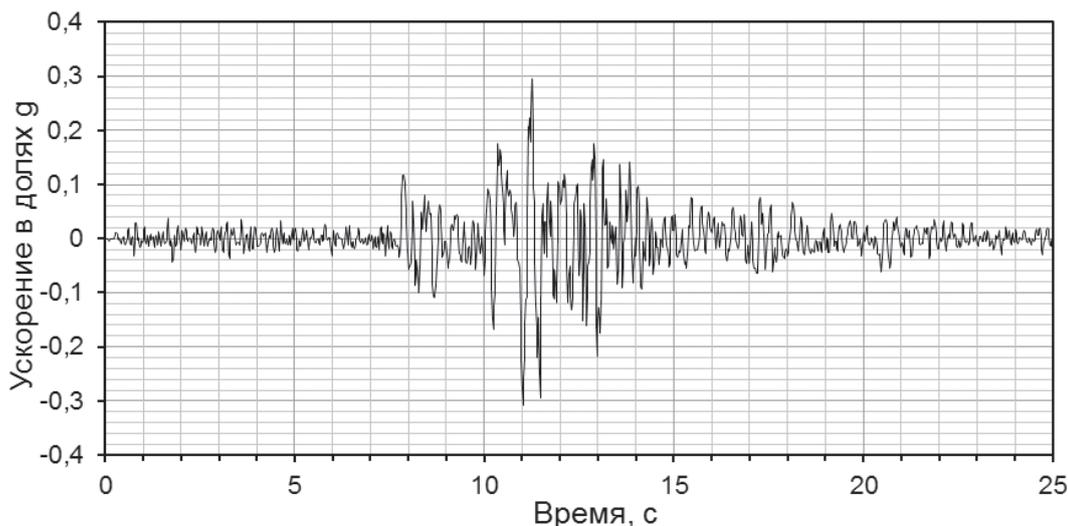


Рис. 3. Расчетная акселерограмма на поверхности условной площадки исследования

Fig. 3. Calculated accelerogram on the surface of the conditional research site

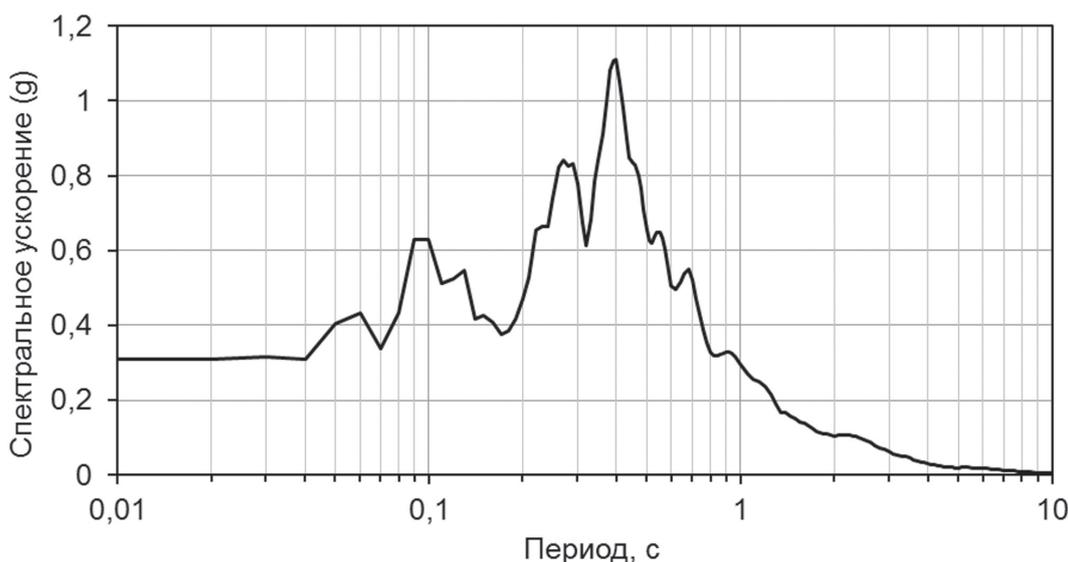


Рис. 4. Расчетный спектр реакции

Fig. 4. Estimated response spectrum

в программе NERA требуется незначительная часть данных, полученных в результате инженерно-геологических изысканий. Однако за видимой простотой программы скрываются нюансы, которые могут вносить существенные изменения в результаты расчета.

Особенности проведения расчетов в программе NERA

В программе NERA весь геологический разрез (по умолчанию) характеризуется тремя типами грунта: глинистый грунт, песок, коренные породы (скальные породы). В соответствии с этим для проведения расчета программа принимает соответствующую зависимость

модуля сдвига G , коэффициента затухания ξ от деформации сдвига. В качестве примера на рис. 5 показана зависимость для глинистых пород. Более подробная информация о работе программы содержится в технической документации к NERA [12].

Для проведения расчетов подобные зависимости применены и в других программах (SHAKE, EERA). Остановимся более подробно на рассмотрении зависимостей для глинистых грунтов, показанных на рис. 5. В программе SHAKE для характеристики глинистых грунтов в сейсмогеологическом разрезе реализовано их разделение по числу пластичности PI (Plasticity index). Напомним, что число пластичности вычисляется как разность между пределом текучести и пределом пластичности.

Другими словами, эта характеристика показывает, какое процентное содержание воды придется добавить к грунту, чтобы он из пластичного состояния перешел в текучее. В результате программа SHAKE изначально содержит набор кривых для описания

глинистых грунтов, каждая из которых соответствует определенному значению PI.

Приведем сопоставление нескольких зависимостей модуля сдвига G от деформации сдвига γ , применяемых в программе SHAKE и NERA (рис. 6).

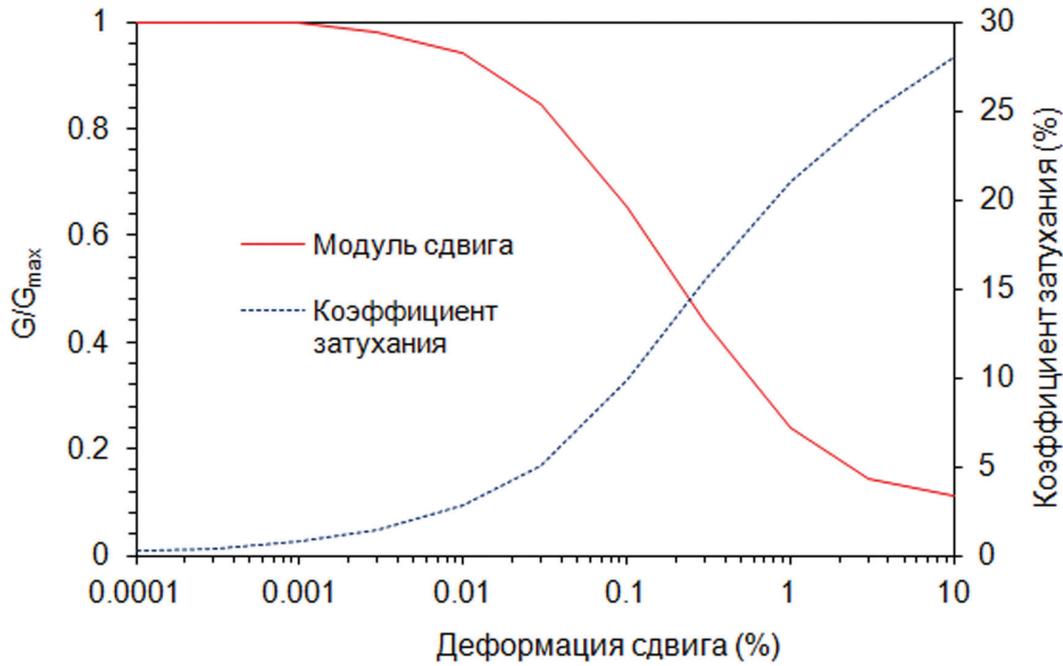


Рис. 5. Зависимости модуля сдвига G и коэффициента затухания ξ от деформации сдвига γ , примененные в программе NERA для глинистых грунтов [12]

Fig. 5. The dependences of the shear modulus G and the damping coefficient ξ on the shear strain γ , applied in the NERA program for clay soils [12]

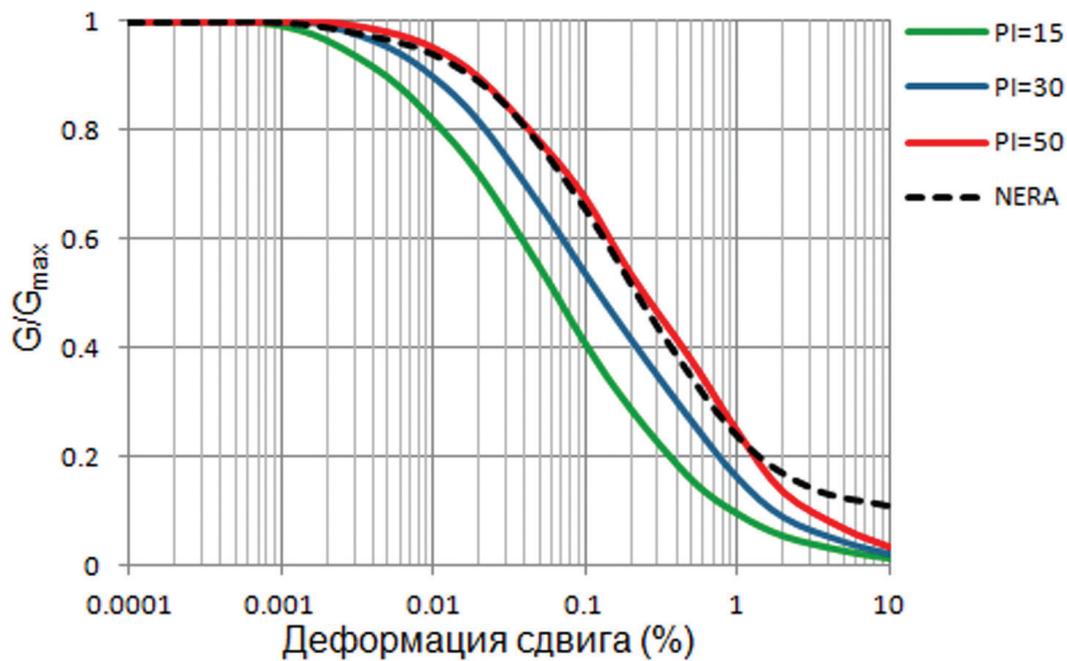


Рис. 6. Зависимости модуля сдвига G от деформации сдвига γ для глинистых грунтов с различным значением PI

Fig. 6. Dependence of the shear modulus G on the shear strain γ for clay soils with different PI values

На рис. 6 видно, что кривая, применяемая в программе NERA, практически соответствует кривой для глинистых грунтов с числом пластичности $PI = 50$ (применяемой в программе SHAKE). Согласно ГОСТ 25100-2011 [2], глинистые грунты с числом пластичности $PI = 50$ классифицируются как глина тяжелая. Таким образом, можно сделать вывод, что изначально (по умолчанию) заложенная в программу NERA зависимость для характеристики глинистых грунтов соответствует тяжелым глинам. В свою очередь, геологический разрез зачастую не ограничивается только одним типом глинистых грунтов. Обычно в разрезе присутствует сочетание нескольких типов глинистых грунтов: супеси, суглинки, глины, для каждого из которых характерны свои физико-механические свойства. Поэтому применение одной зависимости для характеристики всех типов глинистых грунтов является некорректным.

Оценим величину возможной ошибки на примере, рассмотренном ранее. Предположим, что по материалам инженерных изысканий для глинистых грунтов в разрезе осредненное значение числа пластичности $PI = 20$. Уточним исходные параметры программы NERA. Для этого введем кривую $PI = 20$ для характеристики глинистых грунтов и произведем расчет.

При сопоставлении рис. 3 с рис. 7 и рис. 4 с рис. 8 можно увидеть отсутствие существенных визуальных различий. В числовом выражении результаты

также близки по значениям. Так, при стандартных параметрах (по умолчанию) программы значение пикового ускорения на расчетной акселерограмме составляет 0,308g, максимальное значение на спектре реакции 1,11g. В случае уточнения параметров программы были получены значения 0,323g и 1,16g соответственно.

Напомним, что приведенные на рис. 3, 4, 7, 8 результаты расчетов получены для дневной поверхности условной площадки исследования. Рассмотрим графики изменения значения максимального ускорения с глубиной, которые приводятся в программе NERA.

На рис. 9 видно, что в интервале глубин от 24 м до 13 м значения максимального ускорения практически не зависят от способа расчета. Выше отметки 13 м и до уровня дневной поверхности наблюдается расхождение значений максимального ускорения. Рассмотрим интервал глубин от 7 м до 13 м, в котором наблюдается существенное различие результатов расчета. Наибольшее расхождение значений максимального ускорения наблюдается на глубине порядка 10 м и составляет 0,062g (значения максимального ускорения 0,287g и 0,225g). Для сейсмического микрорайонирования такое различие в результатах можно считать существенным и необходимо учитывать.

Кроме этого не стоит забывать, что авторами рассмотрен пример, в котором суммарная мощность глинистых грунтов составляет 7,6 м. В свою очередь,

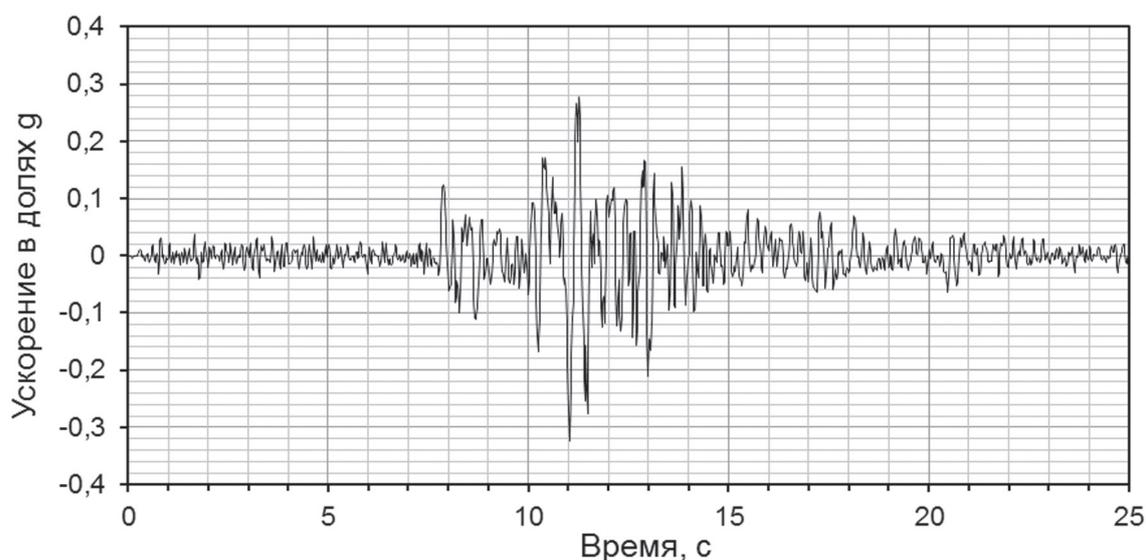


Рис. 7. Расчетная акселерограмма на поверхности условной площадки исследования при уточненных параметрах программы

Fig. 7. Calculated accelerogram on the surface of the conditional research site with the refined parameters of the program

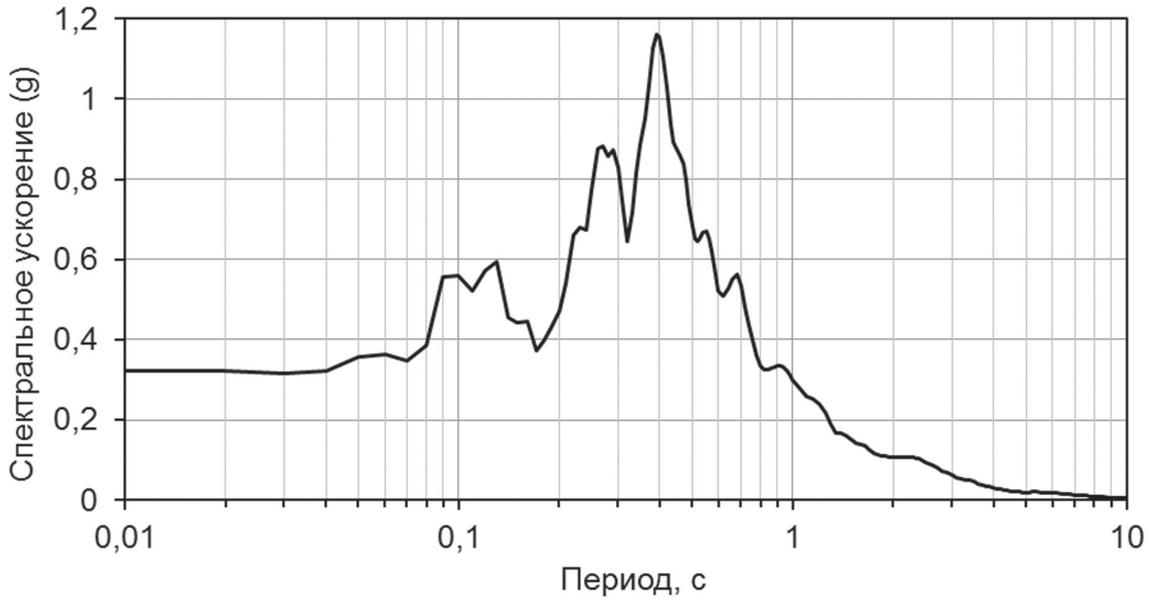


Рис. 8. Расчетный спектр реакции при уточненных параметрах программы

Fig. 8. Estimated response spectrum with refined program parameters

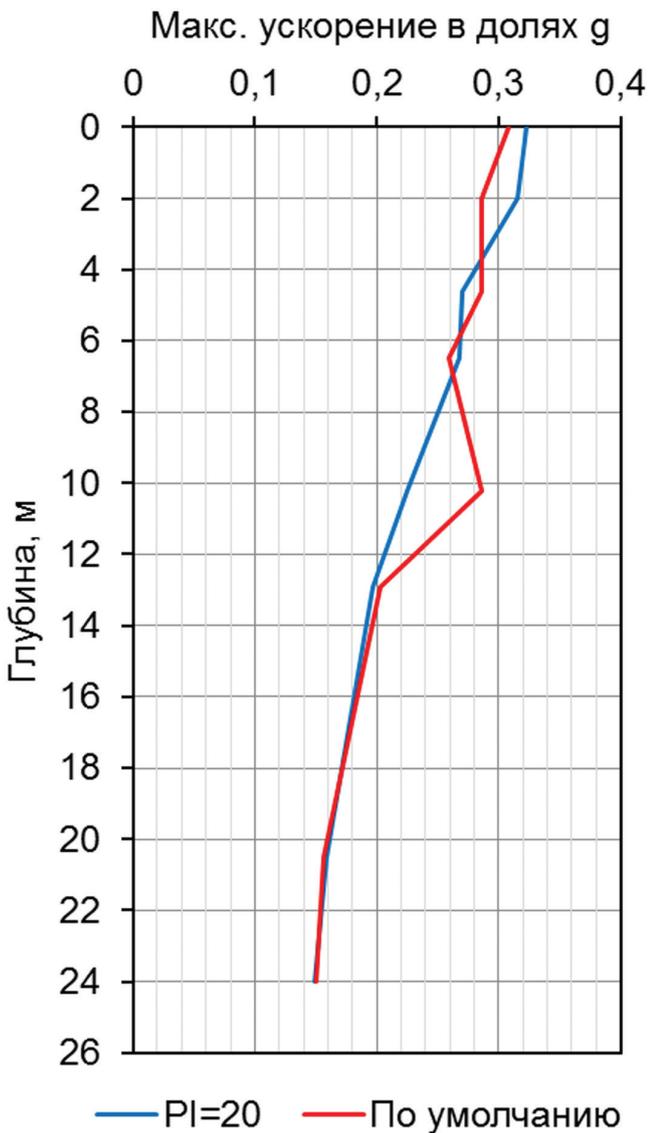


Рис. 9. График распределения максимального ускорения по глубине

Fig. 9. Graph of the maximum acceleration depth distribution

это 31% от общей мощности геосейсмического разреза, и есть основания полагать, что при увеличении содержания глинистых грунтов полученные результаты расчетов могут значительно различаться.

Таким образом, можно сделать вывод, что в рассмотренном примере для дневной поверхности результаты расчетов при стандартных параметрах программы и уточненных не имеют серьезных различий. Однако на глубине порядка 10 м наблюдается значительное различие в результатах, это подтверждает необходимость уточнения параметров программы.

В этой статье был рассмотрен пример расчета при уточненных параметрах программы только для глинистых грунтов. В свою очередь, в публикациях многих ученых (Dobry R., Vucetic M., Ishibashi I., Zhang X.J. и др.) приводятся зависимости модуля сдвига G и коэффициента затухания ξ от деформации сдвига γ для различных типов грунтов, применение которых для более детального описания геосейсмического разреза может повысить точность и достоверность расчета сейсмического воздействия. В подтверждение вышесказанного обратимся к технической документации программы [12], где можно увидеть, что разработчики для проведения расчетов применяют более трех (по умолчанию) типов зависимостей G и ξ от γ . Этот факт еще раз доказывает необходимость дополнительно к стандартному набору применять зависимости для других типов грунтов.

Заключение

В работе рассмотрено проведение расчетов в специализированные программы NERA, которая в настоящее время широко применяется для решения задач сейсмического микрорайонирования. На основании приведенных результатов можно сделать следующие выводы:

Показано, что изначально применяемая в программе NERA зависимость G и ξ от γ соответствует тяжелым глинам и не в полной мере описывает все разнообразие свойств глинистых грунтов.

Приведены результаты расчетов при стандартной и уточненной зависимости модуля сдвига G и коэффициента затухания ξ от деформации сдвига γ для характеристики глинистых грунтов в геосейсмическом разрезе.

На основании сопоставления расчетов (рис. 9) было установлено, что на некоторых интервалах глубин возможны значительные расхождения в результатах, так на глубине порядка 10 м оно составляет 0,062g, что в свою очередь является значительным и необходимо учитывать.

Приведенные в статье данные указывают на необходимость для корректного описания гео-

сейсмической модели и получения достоверных результатов расчета дополнительно применять зависимости G и ξ от γ других типов пород

Ключевые слова: сейсмические воздействия, расчет, NERA, сейсмическое микрорайонирование.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аптикаев Ф.Ф. Инструментальная шкала сейсмической интенсивности. – М. : Наука и образование, 2012. – 175 с.
2. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. – Введ. 2013-01-01. – МНТКС, 2011. – 63 с.
3. Заалишвили В.Б. Расчетный метод оценки сейсмических свойств грунтов // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2014. – № 5. – С. 16-31.
4. Кауркин М.Д., Романов В.В. Расчет сейсмических воздействий в специализированных программах NERA и EERA // Инженерные изыскания. – М. : Геомаркетинг, 2017. – № 4. – С. 54-62.
5. Оценка влияния грунтовых условий на сейсмическую опасность. Методическое руководство по сейсмическому микрорайонированию / отв. ред. д.г.-м.н. О.В. Павлов. – М. : Изд-во «Наука», 1988. – 223 с.
6. Павленко О.В. Сейсмические волны в грунтовых слоях: нелинейное поведение грунта при сильных землетрясениях последних лет. – М. : Научный мир, 2009. – 284 с.
7. РБ-006-98. Определение исходных сейсмических воздействий для проектных основ / НТЦ ЯРБ Госатомнадзора России. – Введ. 1999-07-01. – М., 1998. – 72 с.
8. СП 14.13330.2014. Строительство в сейсмических районах / утв. приказом Министерства строительства и ЖКХ РФ от 18.02.2014 № 60. – Введ. 2014-06-01. – М., 2014. – 125 с.
9. СП 283.1325800.2016. Объекты строительные повышенной ответственности. Правила сейсмического микрорайонирования / утв. приказом Министерства строительства и ЖКХ РФ от 16.12.2016 № 981/пр. – Введ. 2017-06-17. – М., 2017. – 21 с.
10. Уломов В.И. Сейсмическая безопасность России в опасности // FORUM International. – 2005. – № 6. – С. 74-75.
11. Bardet J.P., Ichii K., Lin C.H. User's manual for EERA: A computer program for Equivalent-linear Earthquake site Response Analysis of Layered Soil Deposits. – Los Angeles : Department of Civil Engineering, University of Southern California, 2000. – 40 p.
12. Bardet J.P., Tobita T. NERA: A computer program for Nonlinear Earthquake site Response Analyses of Layered Soil Deposits. – Los Angeles : Univ. of Southern California, 2001. – 44 p.

13. Idriss I. Earthquake Ground Motions at Soft Soil Sites // Second International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, March 11-15, 1991, St. Louis (Missouri). – V. 3. – P. 2265-2272.
14. Ishibashi I., Zhang X.-J. Unified dynamic shear moduli and damping ratios of sand and clay // Soils and Found. – 1993. – V. 33, Issue 1. – P. 182-191.
15. Iwan W.D. On a class of models for the yielding behavior of continuous and composite systems // Journal of Applied Mechanics, ASME. – 1967. – V. 34. – P. 612-617.
16. Kramer S.L. Geotechnical Earthquake Engineering. – USA : New Jersey : Upper Saddle River : Prentice Hall Inc., 1996. – 653 p.
17. Mróz Z. On the description of anisotropic workhardening // Journal of Mechanics and Physics of Solids. – 1967. – V. 15. – P. 163-175.
18. Effects of Soil Model on Site Response Analyses / Mahdy Khari, Khairul Anuar Bin Kassim, Azlan Bin Adnan and Hossein Moayeddi // Asian Journal of Scientific Research. – 2014. – V. 7, Issue 1. – P. 76-84.
19. Schanbel P.B., Lysmer J., Seed H.B. SHAKE: A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites : Earthquake Engineering Research Center, Report No. UCB/EERC72/12. – Berkeley : University of California, 1972. – 102 p.
20. Vucetic M., Dobry R. Effect of soil plasticity on cyclic response // Journal of Geotechnical Engineering. – V. 117, No. 1. – P. 89-107.
21. Zhang J., Andrus R.D., Juang C.H. Normalized shear modulus and material damping ratio relationships // Geotech. Geoenviron. Engin. – 2005. – V. 131, No. 4. – P. 453-464.
7. SR-006-98. Determining the initial seismic effects for the project basis / Gosatomnadzor of Russia. Moscow, 1998. 72 p.
8. SR 14.13330.2014. Construction in seismic areas / Ministry of Construction and Housing of the Russian Federation. Moscow, 2014. 125 p.
9. SR 283.1325800.2016 Construction objects of increased responsibility. The rules of seismic zoning. Moscow, 2017. 21 p.
10. Ulomov V.I. Seismic safety of Russia in danger // FORUM International. 2005. No. 6. P. 74-75.
11. Bardet J.P., Ichii K., Lin C.H. User's manual for EERA: A computer program for Equivalent-linear Earthquake site Response Analysis of Layered Soil Deposits. Los Angeles : Department of Civil Engineering, University of Southern California, 2000. 40 p.
12. Bardet J.P., Tobita T. NERA: A computer program for Nonlinear Earthquake site Response Analyses of Layered Soil Deposits. Los Angeles : Univ. of Southern California, 2001. 44 p.
13. Idriss I. Earthquake Ground Motions at Soft Soil Sites // Second International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, March 11-15, 1991, St. Louis (Missouri). V. 3. P. 2265-2272.
14. Ishibashi I., Zhang X.-J. Unified dynamic shear moduli and damping ratios of sand and clay // Soils and Found. 1993. V. 33, Issue 1. P. 182-191.
15. Iwan W.D. On a class of models for the yielding behavior of continuous and composite systems // Journal of Applied Mechanics, ASME. 1967. V. 34. P. 612-617.
16. Kramer S.L. Geotechnical Earthquake Engineering. USA : New Jersey : Upper Saddle River : Prentice Hall Inc., 1996. 653 p.
17. Mróz Z. On the description of anisotropic workhardening // Journal of Mechanics and Physics of Solids. 1967. V. 15. P. 163-175.
18. Effects of Soil Model on Site Response Analyses / Mahdy Khari, Khairul Anuar Bin Kassim, Azlan Bin Adnan and Hossein Moayeddi // Asian Journal of Scientific Research. 2014. V. 7, Issue 1. P. 76-84.
19. Schanbel P.B., Lysmer J., Seed H.B. SHAKE: A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites : Earthquake Engineering Research Center, Report No. UCB/EERC72/12. Berkeley : University of California, 1972. 102 p.
20. Vucetic M., Dobry R. Effect of soil plasticity on cyclic response // Journal of Geotechnical Engineering. V. 117, No. 1. P. 89-107.
21. Zhang J., Andrus R.D., Juang C.H. Normalized shear modulus and material damping ratio relationships // Geotech. Geoenviron. Engin. 2005. V. 131, No. 4. P. 453-464.

REFERENCES

1. Aptikaev F.F. Instrumental scale of seismic intensity. Moscow : Science and Education, 2012.
2. State Standard 25100-2011. Soils. Classification.
3. Zaalishvili V.B. A computational method for estimating seismic properties of soils // Earthquake resistant construction. Safety of buildings. 2014. No. 5. P. 16-31.
4. Kaurkin M.D., Romanov V.V. Calculation of seismic effects in specialized programs NERA and EERA // Journal «Engineering Surveys». Moscow : Geomarketing Publishing House, 2017. No. 4. P. 54-62.
5. Assessment of the impact of ground conditions on seismic hazard. Moscow : Publishing House «Science», 1988. 223 p.
6. Pavlenko O.V. Seismic waves in the soil layers: non-linear behavior of the soil during strong earthquakes in recent years. Scientific world, 2009, 284 p.