



Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-19-57;
e-mail: yus-gri@rambler.ru, valeriy-fateev@rambler.ru

Key words: soil base, lines of prismatic piles, horizontal loads and displacements, computer models.

The article presents the results of studies of horizontally loaded pile foundations with linearly arranged prismatic piles by the "MIDAS" software package. The results of the performed studies should be used in the design of pile foundations and in the calculations of piles as elements of reinforced concrete structures for strength to prevent formation and opening of cracks.

REFERENCES

1. Verifikatsionnyj otchyot po programmnomu kompleksu MIDAS GTS. Tom 1. Obschie svedeniya. Matritsa verifikatsii [MIDAS GTS Software Complex Verification Report. Volume 1. General information. Verification matrix]. ООО «Podzemproekt». – Moscow, 2012. 88 p.
2. Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Computernaya model raboty visyachey prizmaticheskoy svai v massive glinistogo grunta [Computer model of the operation of a hanging prismatic pile in an array of clay soil]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2022. № 1 (61). P. 36–41.
3. Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Verifikatsiya komputernoy modeli zabivnoy prizmaticheskoy svai v mnogosloynnom gruntovom osnovanii [Verification of a computer model of a driven prismatic pile in a multilayer soil base] Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2022. № 2 (62). P. 79–84.
4. Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Verifikatsiya i validatsiya geomekhanicheskoy modeli gruntovogo osnovaniya deformiruyushegosya zdaniya [Verification and validation of a geomechanical model of a soil basis of a deforming building]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2018. № 3. P. 16–22.

© Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев, 2022

Получено: 28. 06.2022 г.

УДК 699.841

Л. Ю. ТЯГУНОВА¹, ст. преп. кафедры оснований, фундаментов и инженерной геологии; И. В. ШКОДА^{1,2}, асс. кафедры теории сооружений и технической механики; К. И. АНИСЬКИНА¹, студент

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА БОЛЬШЕПРОЛЕТНОГО СООРУЖЕНИЯ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ В ГОРОДЕ СЕВАСТОПОЛЕ

¹ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-94;
эл. почта: tyagunovaly@yandex.ru

²Институт проблем машиностроения РАН – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук»
Россия, 603024, г. Н. Новгород, ул. Белинского, д. 85. Тел.: (831) 432-05-76.

Ключевые слова: большепролетное покрытие, сейсмическая нагрузка, акселерограмма, землетрясение, динамический расчет, линейно-спектральный расчет.



Произведены расчеты большепролетного покрытия двумя методами: линейно-спектральным и прямым динамическим. Выполнен сравнительный анализ результатов расчетов, полученных двумя разными методами. Показано, что наиболее неблагоприятными являются результаты при задании загрузки по нормам, однако при наличии пакета акселерограмм-аналогов, схожих между собой по параметрам, необходимо производить оба расчета и принимать менее выгодный.

Землетрясение является высоко нелинейным быстротекущим процессом, который невозможно предсказать при краткосрочном прогнозе. Это опасное природное явление может не только привести к разрушениям зданий и сооружений, но и сопровождаться многочисленными человеческими жертвами, пожарами, катастрофическими авариями на инженерных коммуникациях [1, 2, 3].

За последние несколько десятков лет произошел активный рост количества сейсмоопасных регионов страны, а также изменение карт сейсморайонирования территории России в сторону увеличения прогнозируемой интенсивности сейсмических воздействий [4]. Поэтому при проектировании все большего количества зданий, расположенных на сейсмически активных территориях, необходимо в полной мере учитывать возможность возникновения такого опасного явления как землетрясение.

Большое количество научных работ отечественных и зарубежных авторов посвящено разработкам в области расчета конструкций на влияние землетрясений. Так, в статье [5] предложена *Fortran*-программа численного решения задач спектрального анализа сейсмических воздействий в виде записей акселерограмм, а также представлены алгоритмы решения путем математического моделирования.

Сейсмичность района строительства и тектоника

Для Крыма большую опасность из геологических процессов представляют землетрясения, вызванные природными эндогенными процессами. Особую роль в строении и развитии региона играют разрывные структуры различного порядка, среди которых выделяются ортогональные и диагональные системы. Разрывные нарушения характеризуются большой протяженностью и подчинены закономерности лениаментной тектоники.

Сейсмичность региона контролируется тектоническими напряжениями нескольких уровней: глобальными, межрегиональными, региональными и локальными.

Как видно из рис. 1 цв. вклейки, наиболее активна в сейсмическом отношении юго-восточная часть Крыма, где сейсмический эффект в эпицентральной области достигает интенсивности $I_0 = 9$ баллов по шкале MSK-64. Район, где расположен изучаемый объект, также характеризуется достаточно высокой сейсмической активностью.

В процессе создания карт сейсмического районирования России ОСР-2015 [6, 7, 8] и Украины ОСР 2004 [9] создано формализованное описание зон возникновения очагов землетрясений (ВОЗ), в том числе для Крыма, как основа для оценки сейсмической опасности.

Согласно картам ОСР 2015, изучаемый объект расположен в 9-балльной зоне сейсмической опасности по карте ОСР 2015-В (рис. 1 цв. вклейки). Для оценки сейсмической опасности необходима надежная сеймотектоническая модель, включающая все основные сейсмически активные геологические структуры.

Систематические сведения о землетрясениях Крыма начали появляться со второй половины XIX века. Они были систематизированы в виде унифициро-

ванного каталога [10] и уточнялись на основе сбора первичных сообщений [11]. Главная сейсмологическая особенность Крымского региона, выявленная за этот период, заключается в расположении проявивших себя сейсмоактивных зон почти исключительно в акватории Черного моря, где они недоступны для непосредственных наблюдений (рис. 2 цв. вклейки).

В настоящее время уровень сейсмической активности Керченско-Таманского региона низкий. За инструментальный период наблюдений здесь было зарегистрировано лишь несколько слабых сейсмических событий с магнитудой не более 4.0. Однако период инструментальных наблюдений слишком краток для выявления всех сейсмогенерирующих структур, т. к. повторяемость сильных землетрясений в Крыму может составлять несколько сотен лет. При скудности инструментальных сейсмологических данных в такой ситуации на первое место выступают палеосейсмологические исследования. Они направлены на выявление следов землетрясений в рельефе и позднелейстоцен-голоценовых отложениях.

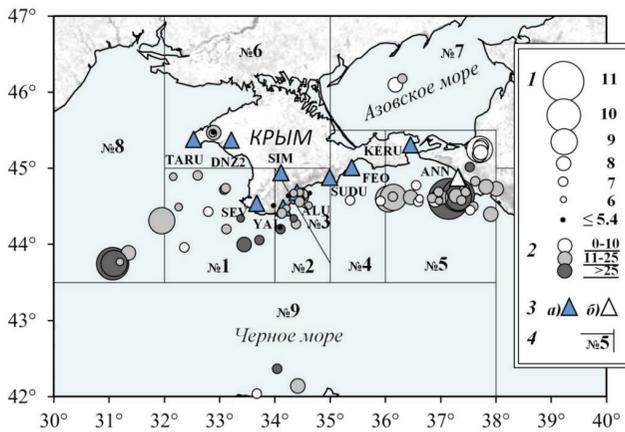


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Крыма в 2020 г.: 1 – энергетический класс КП; 2 – глубина гипоцентра h , км; 3 – сейсмическая станция: а – Крымская сеть, б – сеть Северного Кавказа; 4 – граница района

На рис. 1 отражено пространственное распределение эпицентров всех местных землетрясений с энергетическими классами $K_{II} = 4.4-11.3$ в 2020 г., а также условные границы районов региона.

Эпицентры большинства землетрясений региона относятся к акватории Черного моря. Максимальная плотность эпицентров – в Керченско-Анапском районе, который выделяется и повышенным энергетическим уровнем землетрясений относительно других районов. Примечательно, что в отличие от предыдущих лет, сейсмическая деятельность наблюдалась в каждом из девяти районов региона.

Согласно современным нормам [12], расчет конструкций и оснований зданий и сооружений, проектируемых для строительства в сейсмических районах, должен выполняться на основные и особые сочетания нагрузок с учетом расчетной сейсмической нагрузки [1, 13].

При выполнении расчетов зданий с учетом сейсмического воздействия необходимо рассмотреть две расчетные ситуации [13]:

- 1) Сейсмические нагрузки соответствуют уровню проектного землетрясения

**К СТАТЬЕ Л. Ю. ТЯГУНОВОЙ, И. В. ШКОДА, К. И. АНИСЬКИНОЙ
«СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА
БОЛЬШЕПРОЛЕТНОГО СООРУЖЕНИЯ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ
ВОЗДЕЙСТВИЯХ В ГОРОДЕ СЕВАСТОПОЛЕ»**

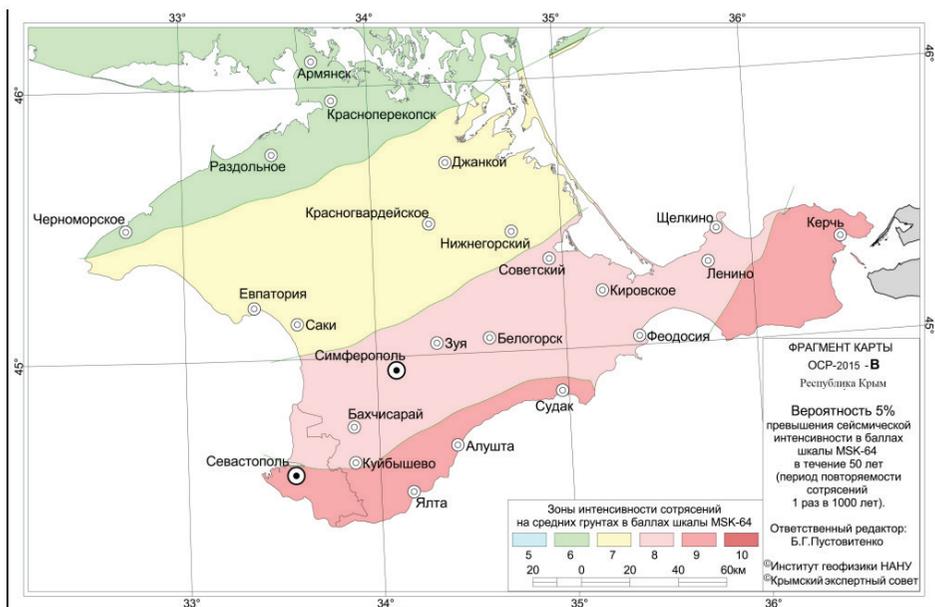


Рис. 1. Фрагмент карты ОСР-2015-В

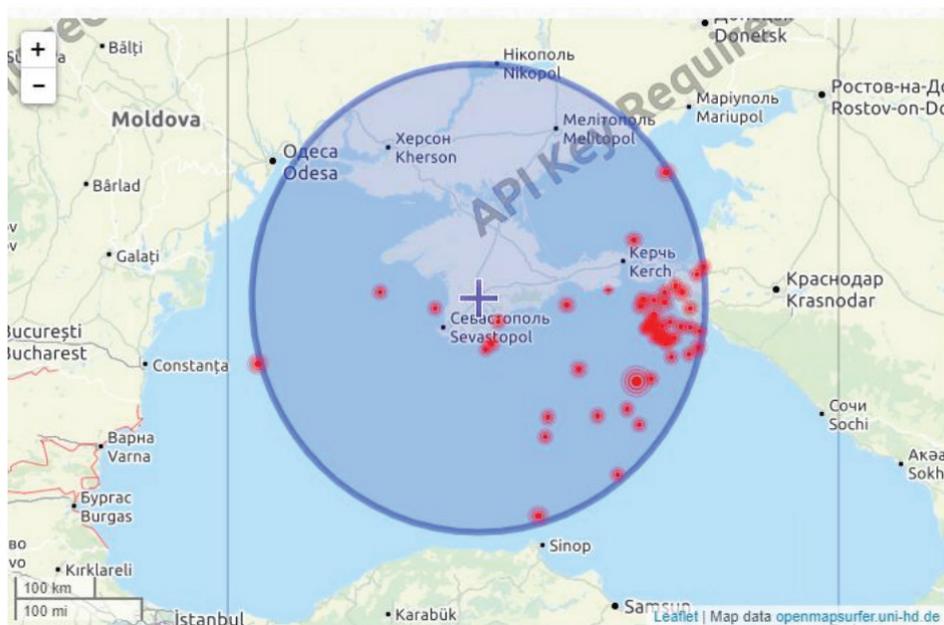


Рис. 2. Ближайшие очаги землетрясения в радиусе 300 км от объекта исследований

Таблица 1

Результаты расчета системы в ПК SCAD. Анализ перемещений

	Согласно СП 14.13330.2018	По акселерограммам
ДФСК1, сейсмическая нагрузка по направлению X		
ω_p , рад/с	3,529	
f_p , с ⁻¹	0,562	
T_p , с	1,781	
Форма колебаний		
ДФСК2, сейсмическая нагрузка по направлению X		
ω_p , рад/с	3,847	
f_p , с ⁻¹	0,612	
T_p , с	1,633	
Форма колебаний		
ДФСК3, сейсмическая нагрузка по направлению X		
ω_p , рад/с	4,101	
f_p , с ⁻¹	0,653	
T_p , с	1,532	
Форма колебаний		

Таблица 2

Результаты расчета системы в ПК SCAD. Анализ суммарных перемещений

Согласно СП 14.13330.2018	По акселерограммам



(ПЗ). Целью расчета является предотвращение частичной или полной потери эксплуатационных свойств сооружением.

2) Сейсмические нагрузки соответствуют уровню контрольного землетрясения (КЗ). Целью расчета является предотвращение глобального обрушения сооружения или его частей.

Для зданий повышенного уровня ответственности необходимо выполнять расчет как на проектное, так и на контрольное землетрясение.

Основными методами для расчета сейсмического воздействия являются:

1) Линейно-спектральный метод расчета – метод расчета на сейсмостойкость, в котором значения сейсмических нагрузок определяются по спектрам ответа в зависимости от частот и форм собственных колебаний конструкции.

Данный метод расчета основан на разложении системы дифференциальных уравнений движения по собственным формам.

Главным преимуществом линейно-спектральной теории является то, что данный метод позволяет учесть опыт прошлых землетрясений, и чем больше их было рассмотрено при построении спектра, тем меньше вероятность того, что при новом землетрясении нагрузки на сооружение превысят ожидаемые. По мере получения новых данных, спектр может дополнительно уточняться.

2) Прямой динамический метод расчета – метод численного интегрирования уравнений движения, применяемый для анализа вынужденных колебаний конструкций при сейсмическом воздействии, заданном акселерограммами землетрясений.

Прямые динамические расчеты зданий и сооружений необходимо выполнять с использованием расчетных акселерограмм. При расчетах особо важных объектов на сейсмические воздействия следует использовать набор инструментальных или синтезированных акселерограмм [1].

Методика расчета

Согласно действующим нормативным документам [13], анализ прочности сооружений при сейсмическом воздействии производится на базе линейно-спектральной теории сейсмостойкости, в соответствии с которой можно оценить сейсмические нагрузки и усилия в элементах. Основными исходными данными для расчета являются:

– уровень сейсмического воздействия A , зависящий от балльности землетрясения. Нормативную интенсивность сейсмических воздействий в баллах макросейсмической шкалы для района строительства принимают на основе комплекта карт ОСР-2015 территории Российской Федерации. В зависимости от сейсмичности района строительства, а также категории грунта, определяемой по табл. 4.1 [13], принимается расчетная сейсмичность площадки;

– спектр ответа ускорений, то есть зависимость коэффициентов динамичности сеймовоздействий β_k от собственных частот сооружения.

Расчетная сейсмическая нагрузка S_{ik} определяется согласно нормам [13]. При ее определении учитывают назначение и ответственность здания или сооружения, а также наличие дополнительных повреждений объекта.

Однако для назначения расчетной сейсмичности района строительства объектов повышенного уровня ответственности дополнительно следует проводить специализированные сейсмологические и сеймотектонические исследования (УИС) [13]. Более того, для данного типа зданий также необходимо выполнять расчет с использованием графиков зависимости ускорений колебаний от времени.



В качестве объекта исследования в статье рассматривается сооружение в г. Севастополе, перекрываемое пространственными трехгранными арками пролетом 120 м, 96 м, а также полукуполами на основании диаметром 72 м. Для данного сооружения принимаются следующие характеристики: категория грунта по сейсмическим свойствам – II, сейсмичность района – 9 баллов (Приложение А Карта ОСР-2015-В [3]), расчетная сейсмичность площадки составляет 9 баллов.

В рамках исследования созданы две модели, в одной из которых расчет сейсмического воздействия выполняется согласно нормам [13] по линейно-спектральной методике, в другой – с использованием пакета акселерограмм. Расчет производится в программно-вычислительном комплексе SCAD.

Значение коэффициентов к расчету по СП 14.13330.2018

k_0	k_1	k_ψ
1,0	0,22	1,0

Спектральный метод оценки сейсмических сил с использованием инструментальных записей землетрясений заключается в следующем: на основе спектра ускорения, соответствующего динамической модели здания как обобщенной системы с одной степенью свободы, определяется максимально возможная для этой модели сейсмическая нагрузка при колебании ее основания по закону акселерограммы, принятой при построении спектра отклика.

Поскольку сейсмические движения грунта являются пространственными, законы их колебаний задаются тремя компонентами: двумя ортогональными горизонтальными (север-юг, восток-запад) и одной вертикальной. При расчете использованы акселерограммы, полученные на основе инструментальных записей землетрясений, зарегистрированных в непосредственной близости к строительной площадке объекта.

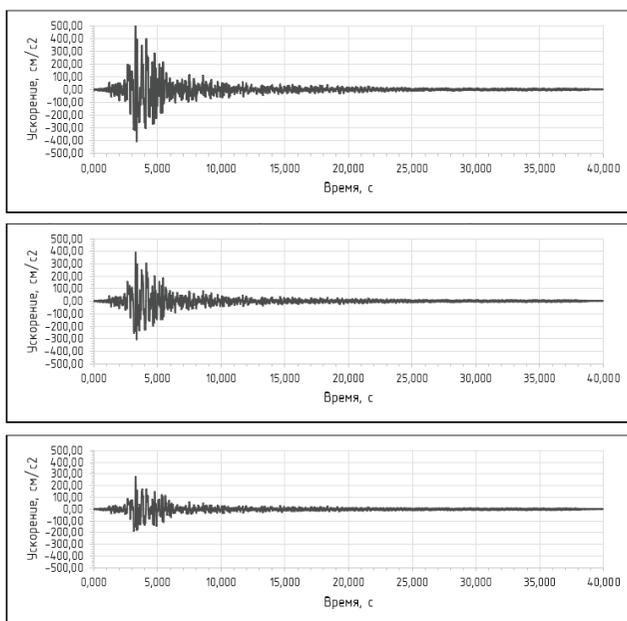


Рис. 2. Трехкомпонентная акселерограмма по направлению X, Y, Z

В качестве исходных данных для расчета в работе применяются таблицы записей ускорения, скорости и смещения в зависимости от времени, оцифрованные с шагом 0,005 с, для Краснодарского края. На рис. 2 приведена трехкомпонентная акселерограмма по X , Y и Z .

Данные землетрясения загружены в программу «Редактор акселерограмм» и в результате обработки использованы при задании сейсмического нагружения в расчетной модели.

Анализ результатов расчета

Проанализировав акселерограмму по направлению X , можно сделать вывод о том, что карта В ОСР-2015 дает заниженное значение ускорения в уровне основания. Максимальное ускорение в момент времени 3,3 с достигает $4,98 \text{ м/с}^2$, что превышает нормативное значение, которое согласно нормам [13], составляет 4 м/с^2 для сейсмичности площадки 9 баллов.

В статье [14] уже было выявлено несоответствие карт А ОСР-2015 данным, полученным с акселерограмм реальных землетрясений. Данная работа показывает, что, несмотря на соответствие значений интенсивности землетрясений картам В ОСР-2015, ориентироваться на значения ускорений в уровне оснований, полученных с этих карт, наверняка нельзя.

По результатам, представленным в табл. 1 цв. вклейки, можно сделать вывод о том, что при расчете сейсмического воздействия по нормам результаты имеют более неблагоприятный характер, чем при использовании инструментальных акселерограмм. Однако при первой дифференцированной форме собственных колебаний перемещения при расчете по записям ускорений на порядок выше.

В связи с этим для исследования также был построен спектр ответа ускорений на основе акселерограммы по направлению X при значении параметра затухания (в долях от критического) $\xi = 0,01$. Сравнение полученного графика с нормативным, вычисленным путем умножения значений коэффициента динамичности на величину ускорения 4 м/с^2 [15], показано на рис. 3.

Полученные результаты демонстрируют, что выбранные акселерограммы имеют схожий характер с нормативным спектром ответа ускорений.

По графику можно заметить, что при периодах колебаний $T_1 = 1,781 \text{ с}$, $T_2 = 1,633 \text{ с}$, $T_3 = 1,532 \text{ с}$, которые, в свою очередь, соответствуют 1, 2 и 3 дифференцированной форме собственных колебаний, нормативные значения спектра ответа ускорений превышают обработанные данные акселерограмм.

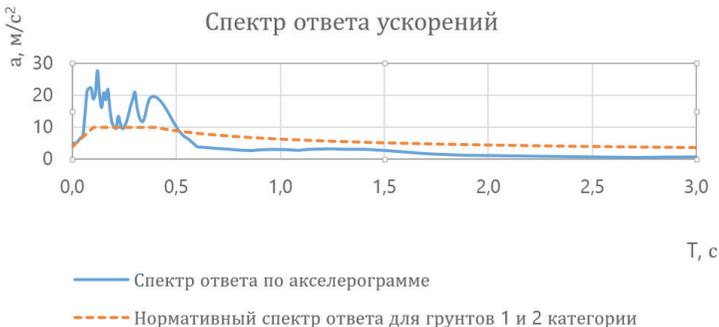


Рис. 3. Сравнение полученного спектра ответа ускорений с нормативным

Также произведен анализ суммарных перемещений от сочетаний нормативных значений нагрузок, совместно с которыми в комбинацию входит сейсмиче-



ское воздействие. Результаты подтверждают, что сейсмическая нагрузка с использованием трехкомпонентной акселерограммы имеет меньшее воздействие на расчетную модель и является более благоприятным случаем при проектировании.

Согласно своду правил [13], в том случае, когда два расчета не согласуются между собой, принимаем наименее выгодный. На основании исследования наилучшим вариантом является нагрузка, заданная с учетом требований норм.

Таким образом, может быть сделан вывод, что при проектировании уникальных зданий и сооружений повышенной степени ответственности необходимо выполнять как расчет с учетом требований норм, так и с использованием пакета акселерограмм, и в результате анализа принимать наименее выгодный.

Для получения корректных результатов при проектировании зданий с использованием записи землетрясений одной акселерограммы недостаточно. Необходимо использовать ансамбль акселерограмм-аналогов, схожих между собой по инженерно-геологическим условиям в месте регистрации, параметрам очага землетрясения и расстояниям от него до проектируемого объекта. Данные можно как осреднить, так и произвести расчеты по каждой записи, а затем проанализировать полученные результаты.

Данная работа выполнена при поддержке Научно-образовательного центра Нижегородской области «Техноплатформа 2035» в рамках соглашения № 16-11-2021/55.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Динамика строительных конструкций при экстремальных природных воздействиях : колебания, прочность, ресурс : монография / П. А. Хазов, Д. А. Кожанов, А. М. Анущенко, А. А. Сатанов ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2022 – 98 с. – ISBN 978-5-528-00475-4. – Текст : непосредственный.
2. Амосов, А. А. Основы теории сейсмостойкости сооружений : учебное пособие / А. А. Амосов, С. Б. Сеницын. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Москва : АСВ, 2010. – 134 с. – ISBN 978-5-93093-083-2. – Текст : непосредственный.
3. Васильчиков, В. В. Оценка сейсмостойкости сейсмоустойчивости зданий с учетом пространственных колебаний конструкции и податливости основания : специальность 05.23.17 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Васильчиков Валентин Владимирович. – Москва, 2001 – 156 с. – Текст : непосредственный.
4. Куликов, А. Н. Расчет сооружений на сейсмические воздействия и ветровую нагрузку с пульсационной составляющей : учебное пособие / А. Н. Куликов ; Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет ; Волжский институт строительства и технологий (филиал) ВолГАСУ. – Волгоград : ВолГАСУ, 2008. – 91 с. – ISBN 978-5-98276-204-7. – Текст : непосредственный.
5. Ушаков, О. Ю. Метод расчета зданий и сооружений с учетом пространственного характера сейсмического воздействия / О. Ю. Ушаков, В. Алехин. – Текст : электронный // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2014. – № 3. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-rascheta-zdaniy-i-sooruzheniy-s-uchetom-prostranstvennogo-haraktera-seysmicheskogo-vozdeystviya>.
6. Страхов, В. Н. Общее сейсмическое районирование территории России и сопредельных стран / В. Н. Страхов, В. И. Уломов, Л. С. Шумилиа. – Текст : непосредственный // Физика Земли. – 1998. – № 10. – С. 92–96.
7. Сейсмическое районирование территории Российской Федерации – ОСР-97 : карта на 4 листах. –1: 8000000 / главный редактор В. Н. Страхов, В. И. Уломов. – Москва : ОИФЗ РАН ; Роскартография ; Текарт, 2000. – Изображение : непосредственное.
8. СНиП II-7-81*. Строительство в сейсмических районах : строительные нормы и



правила : утвержден Госстроем СССР 15.06.81 : введен в действие 01.01.82. – Москва : ГУП ЦПП, 2001. – 45 с. – Текст : непосредственный.

9. Пустовитенко, Б. Г. Новые карты общего сейсмического районирования территории Украины. Особенности модели долговременной сейсмической опасности / Б. Г. Пустовитенко, В. Е. Кульчицкий, А. А. Пустовитенко. – Текст : непосредственный // Геофизический журнал. – 2006. – № 3. – Том 28. – С. 54–77.

10. Морозова, Р. М. О землетрясениях Крыма 1800–1967 гг. : опыт критического каталога / Р. М. Морозова, Н. В. Шебалин. – Текст : непосредственный // Геофизический сборник АН УССР. – Киев, 1968. – Выпуск 26. – С. 13–41.

11. Никонов, А. А. Сильные землетрясения Крыма во второй половине XIX в. / А. А. Никонов, О. Н. Пономарева. – Текст : непосредственный // Вопросы инженерной сейсмологии. – Москва, 1991. – Выпуск 32. – С. 59–76.

12. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) от 3 декабря 2016 г. № 891/пр : актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* : дата введения 4 июня 2017 г. – Москва : Минстрой России, 2016. – 80 с. – Текст : непосредственный.

13. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах : свод правил : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 24 мая 2018 г. N 309/пр : актуализированная редакция СНиП II-7-81* : дата введения 25 ноября 2018 г. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/550565571?ysclid=14xw79th7k65731080>. – Текст : электронный.

14. Хазов, П. А. Распределение преобладающих частот и анализ расчетных землетрясений в сейсмически опасных регионах России / П. А. Хазов, Л. Ю. Тягунова, А. М. Гордеевцева, Н. М. Деулина. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2022. – № 1. – 72–81.

15. Низомов, Д. Н. Спектральный анализ сейсмических колебаний / Д. Н. Низомов, И. Каландарбеков, А. А. Ходжибоев. – Текст : электронный // ДАН РТ. – 2015. – № 11. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/spektralnyy-analiz-seysmicheskikh-kolebaniy>.

TYAGUNOVA Lidiya Yurevna¹, senior teacher of the chair of foundations and engineering geology; SHKODA Irina Vasilevna^{1,2}, assistant of the chair of theory of structures and technical mechanics; ANISKINA Kseniya Igorevna¹, student

COMPARATIVE ANALYSIS OF CALCULATION METHODS FOR A LARGE-SPAN STRUCTURE UNDER SEISMIC IMPACTS IN THE CITY OF SEVASTOPOL

¹Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-94;
e-mail: tyagunovaly@yandex.ru

²Institute for Problems of Mechanical Engineering of the Russian Academy of Sciences
85, Belinsky St., Nizhny Novgorod, 603024, Russia. Tel.: +7 (831) 432-05-76

Key words: long span coverage, seismic load, accelerogram, earthquake, dynamic calculation, linear-spectral calculation.

The calculation of the long-span coverage is carried out by two methods: linear-spectral and direct dynamic. A comparative analysis of the results of the calculations obtained by two different methods is carried out. It is shown that the most unfavorable results are obtained when loading is assigned according to the norms, however, if there is a package of analogous accelerograms that are similar in parameters, it is necessary to perform both calculations and take the less favorable one.



REFERENCES

1. Khazov P. A., Kozhanov D. A., Anuschenko A. M., Satanov A. A. *Dinamika stroitelnykh konstruktсий pri ekstremalnykh prirodnykh vozdeystviyakh: kolebaniya, prochnost, resurs* [Dynamics of Building Structures under Extreme Natural Impacts: Vibrations, Strength, Lifetime] : monografiya. – Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod: NNGASU, 2022 – 98 p. – ISBN 978-5-528-00475-4.
2. Amosov A. A., Sinitsyn S. B. *Osnovy teorii seysmoustoykosti sooruzheniy* [Fundamentals of the theory of seismic resistance of structures] : uchebnoe posobie. Izd. 2-e, pererab. i dop. Moscow: ASV, 2010. – 134 p. – ISBN 978-5-93093-083-2.
3. Vasilchikov V. V. *Otsenka seysmoustoykosti seysmoustoychivosti zdaniy s uchyotom prostranstvennykh kolebaniy konstruktсий i podatlivosti osnovaniya* [Estimation of seismic resistance of seismic resistance of buildings, taking into account the spatial vibrations of the structure and compliance of the base]: spetsialnost 05.23.17 : dissert. na soiskanie uch. stepeni kand. tekhn. nauk: Moscow, 2001 – 156 p.
4. Kulikov A. N. *Raschyot sooruzheniy na seysmicheskie vozdeystviya i vetrovuyu nagruzku s pulsatsionnoy sostavlyayushey* [Calculation of structures for seismic effects and wind load with a pulsating component]: ucheb. posobie. – Volgogr. gos. arkhit.-stroit. un-t; Volzh. in-t str-va i tekhnol. (filial) VolgASU, Volgograd: VolgASU, 2008. – 91 p. – ISBN 978-5-98276-204-7.
5. Ushakov O. Yu., Alyokhin V. N. *Metod raschyota zdaniy i sooruzheniy s uchyotom prostranstvennogo kharaktera seysmicheskogo vozdeystviya* [Method for calculating buildings and structures, taking into account the spatial nature of the seismic impact] // *Akademicheskii vestnik UralNIIProyekt RAASN*, 2014. № 3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-rascheta-zdaniy-i-sooruzheniy-s-uchetom-prostranstvennogo-harakter-a-seysmicheskogo-vozdeystviya>.
6. Strakhov V. N., Ulomov V. I., Shumilina L. S. *Obschee seysmicheskoe rayonirovanie territorii Rossii i sopredelnykh stran* [General seismic zoning of the territory of Russia and neighboring countries]// *Fizika Zemli*, 1998, № 10. – P. 92–96.
7. Strakhov V. N., Ulomov V. I. *Seysmicheskoe rayonirovanie territorii Rossiyskoy Federatsii OSR-97. Karta na 4-kh listakh, M: 1 8000000* [Seismic zoning of the territory of the Russian Federation OSR-97. Map on 4 sheets, M: 1 8000000]. Glav. red. V. N. Strakhov, V. I. Ulomov. Moscow: OIFZ RAN; Roskartografiya; Tekart, 2000
8. SNiP II-7-81*. *Stroitelstvo v seysmicheskikh rayonakh* [Construction in seismic areas] : stroitelnye normy i pravila : utverzhd. Gosstroem SSSR 15.06.81 : vved. v deystv. 01.01.82. Moscow: GUP TsPP, 2001. 45 p.
9. Pustovitenko B. G., Kulchitsky V. E., Pustovitenko A. A. *Novye karty obshego seysmicheskogo rayonirovaniya territorii Ukrainy. Osobennosti modeli dolgovremennoy seysmicheskoy opasnosti* [New maps of the general seismic zoning of the territory of Ukraine. Features of the long-term seismic hazard model]. *Geofizicheskiy zhurnal* [Geophysical journal]. 2006. № 3. Vol. 28. P. 54–77.
10. Morozova R. M., Shebalin N. V. *O zemletryaseniyyakh Kryma 1800–1967 gg.: Opyt kriticheskogo kataloga* [On the Crimean earthquakes of 1800–1967: The experience of a critical catalog]. *Geofiz. sb. AN USSR*. 1968. Issue 26. P. 13–41.
11. Nikonov A. A., Ponomaryova O. N. *Silnye zemletryaseniya Kryma vo vtoroy polovine XIX v.* [Strong earthquakes in Crimea in the second half of the 19th century]. *Voprosy inzhenernoy seysmologii* [Issues of engineering seismology]. Moscow, 1991. Issue 32. P. 59–76.
12. SP 20.13330.2016. *Nagruzki i vozdeystviya* [Loads and effects]: utverzhd. prikazom Ministerstva stroitelstva i zhilishchno-kommunalnogo khozyaystva RF (Minstroy Rossii) ot 3 dekabrya 2016 g. № 891/pr : aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.1.07-85* : data vved. 4 iyunya 2017 g. – Moscow: Minstroy Rossii, 2016. – 80 p.
13. SP 14.13330.2018. *Stroitelstvo v seysmicheskikh rayonakh* [Construction in seismic areas] : svod pravil : utverzhd. Prikazom Ministerstva stroitelstva i zhilishchno-kommunal. Khozyaystva RF ot 24 maya 2018 g. N 309/pr : aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-7-81* : data vved. 25 noyabrya 2018 g. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/550565571?ysclid=l4xw7>



9th7k65731080.

14. Khazov P. A., Tyagunova L. Yu., Gordeevtseva A. M., Deulina N. M. Raspredelenie preobladayuschikh chastot i analiz raschyotnykh zemletryaseniy v seysmicheski opasnykh regionakh Rossii [Distribution of prevailing frequencies and analysis of calculated earthquakes in seismic regions of Russia]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal] / Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2022. – № 1. – P. 72–81.

15. Nizomov D. N., Kalandarbekov I., Khodzhiboev A. A. Spektralny analiz seysmicheskikh kolebaniy [Spectral analysis of seismic vibrations] // DAN RT. 2015. № 11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/spektralnyy-analiz-seysmicheskikh-kolebaniy>.

© Л. Ю. Тягунова, И. В. Шкода, К. И. Аниськина, 2022

Получено: 20.06.2022 г.

УДК 551.435.8

М. М. УТКИН, канд. техн. наук, ведущий инженер карстологических исследований; М. В. УТКИН, лаборант

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ РАСТВОРЕНИЯ СУЛЬФАТНЫХ ПОРОД В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

АО «Гео Палитра»

Россия, 603000, г. Н. Новгород, ул. Костина, д. 3, пом. П53. Тел.: +7 (920) 252-22-69;
эл. почта: geokarst@mail.ru, mike531900@gmail.com

Ключевые слова: карст, растворение пород, скорость растворения карстующихся пород, скорость роста карстовой полости.

Выполнен сравнительный анализ имеющихся методик определения скорости растворения сульфатных пород в лабораторных условиях и сделаны выводы.

Данная статья является продолжением исследований авторов по данной тематике, приведенных в статье Приволжского научного журнала № 2 за 2022 г., в которой рассмотрен практический опыт определения скорости растворения карстующихся пород.

В соответствии с требованиями СП [1–4] при проведении инженерно-геологических изысканий на закарстованных территориях необходимо выполнять количественную оценку скорости растворения карстующихся пород, которая впоследствии используется для определения размеров карстовой полости к окончанию расчетного срока службы здания или сооружения [4]. Исходя из размеров полости, аналитическими и/или численными методами осуществляется прогнозирование размеров карстовых деформаций в основании сооружения, а при необходимости на дневной поверхности.

В действующих государственных стандартах (ГОСТ) и нормативных документах (СП) отсутствуют методики определения скорости растворения карстующихся пород, что создает различные трудности при ее оценке.

Перед тем как приступить к анализу имеющихся методик, отметим один важный момент. В 1949 г. Николай Васильевич Родионов предложил вопрос о скорости развития карста (растворения карстующихся пород) разделять на две части (задачи) [5], а именно растворение рассматривать как часть общего процесса де-