

УДК 699.841

DOI: 10.23671/VNC.2016.1.20715

ФИЛОСОФИЯ МНОГОУРОВНЕВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В СВЕТЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СООРУЖЕНИЙ

© 2016 О.В. Мкртычев¹⁾, д.т.н., проф., Г.А. Джинчвелашвили¹⁾, д.т.н., проф.,
Р.И. Дзержинский²⁾, к.т.н.

¹⁾НИУ Московский государственный строительный университет, Россия, 129337,
г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, e-mail: mkrtychev@yandex.ru,
guram2004@yandex.ru;

²⁾Московская государственная академия водного транспорта, Россия, 117105,
г. Москва, Новоданиловская наб. д.2, к.1., e-mail: 9015111295@rambler.ru

В настоящей статье предложен новый подход к выбору исходных воздействий и методов расчета сооружений на сейсмостойкость. Приведено обоснование для назначения периода повторяемости проектного и максимального расчетного землетрясений. Кратко рассмотрены особенности карт ОСР и ДСР. Показано, что необходим учет возможных погрешностей, обусловленных выбором вида карты.

Рассматриваются положения новой концепции норм сейсмостойкого строительства, которая заключается в проектировании зданий и сооружений с заданной обеспеченностью сейсмостойкости и необходимым уровнем безопасности для жизни и здоровья людей.

Ключевые слова: уровень сейсмостойкости сооружений, уровень воздействия, проектное землетрясение, максимальное расчетное землетрясение, заданная обеспеченность, период повторяемости.

Инженерный анализ последствий сильных землетрясений, произошедших в период действия СНиП II-7-81*, свидетельствует о том, что действующие нормы не всегда обеспечивают сейсмостойкость зданий и сооружений, выполненных в полном соответствии с проектом. В ряде случаев, когда уровень сейсмического воздействия был близок к прогнозируемому воздействию или несколько превышал его, надежность некоторых зданий обеспечивалась не в полной мере.

Это связано со следующими обстоятельствами.

В действующих нормах нелинейность учитывается путем введения лишь одного интегрального коэффициента редукции¹ в линейно-спектральном методе.

Расчет ведется фактически в детерминированной постановке. Сейсмическое воздействие является ярко выраженным случайным процессом и применение детерминированных подходов в любом случае приводит к неопределенной сейсмостойкости запроектированных зданий и сооружений.

Обеспечение требуемого уровня сейсмостойкости возможно только с привлечением методов теории вероятностей, теории случайных процессов и теории надежности строительных конструкций.

В настоящее время назрела необходимость внедрения новой концепции сейсмостойкости зданий и сооружений, основные положения которой разработаны в

¹ В СНиП II-7-81* используется величина, обратная коэффициенту редукции – коэффициент учета допускаемых повреждений K1.

МГСУ и широко обсуждались научной общественностью на различных площадках².

Основная особенность данной концепции заключается в проектировании зданий и сооружений с заданной обеспеченностью уровня сейсмостойкости. Причем нелинейный характер работы конструкций учитывается в явном виде при использовании нелинейного статического и динамического методов.

В течение последних десятилетий ученые в своих публикациях, докладах на различных форумах высказывают идею о целесообразности перехода от одно- к двухуровневому расчету. Эта идея основана на признании вероятностной природы землетрясений, интенсивность которых зависит (по физическим причинам) от их частоты (повторяемости) [Уломов, Шумилина, 1999; Заалишвили и др, 2011; Заалишвили, Рогожин, 2011; Перетокин, 2015]. При этом в условиях относительно слабых землетрясений, которые случаются чаще в зданиях и сооружениях, не следует допускать никаких разрушений. В то же время, при сильных, но редких землетрясениях, целесообразно планировать локальные разрушения без глобальных обрушений, опасных для жизни и здоровья людей.

Средняя повторяемость землетрясений данной интенсивности для определенного района определяется по картам общего сейсмического районирования (ОСР) [Уломов, Шумилина, 1999] (табл. 1).

Таблица 1.

**Средняя повторяемость землетрясений по картам
Общего сейсмического районирования (ОСР-2012)**

Карта Общего сейсмического районирования	Период повторяемости, лет
ОСР-2012 А	100
ОСР-2012 В	500
ОСР-2012 С	1000
ОСР-2012 D	2500
ОСР-2012 E	5000
ОСР-2012 F	10000

В Европе [Eurocode..., 2003; Фардис и др., 2013] и во многих других странах принято рассчитывать сооружения на максимальное расчетное землетрясение (МРЗ), которое может произойти с вероятностью 0,1 в течение 50 лет. Иными словами, в большинстве стран Евросоюза³, США, Канады, Японии и др., период повторяемости для МРЗ, принимается $T_{МРЗ} = 475$ лет.

В то же время конструкция здания или сооружения должна быть запроектиро-

² на Объединенных научно-практических семинарах «Надежность и безопасность зданий и сооружений при сейсмических и аварийных воздействиях» в МГСУ и РУДН (см. сайт научно-исследовательской лаборатории «Надежность и сейсмостойкость сооружений» НИУ МГСУ <http://seismostroy.ru>);

- на заседаниях Научного Совета РААСН по сейсмологии и сейсмостойкому строительству;

- на сайте НИУ МГСУ www.mgsu.ru опубликован Стандарт организации СТО НИУ МГСУ 2015 «Сейсмостойкость зданий и сооружений. Расчетные положения» [СТО НИУ МГСУ, 2015; Мкртычев, Джинчвелашвили, 2012].

³ В Великобритании принято $T_{МРЗ} = 475$ лет.

вана таким образом, чтобы выдержать сейсмическое воздействие, имеющее более высокую вероятность возникновения, чем МРЗ, называемое проектным землетрясением (ПЗ), которое может произойти с вероятностью 0,1 в течение 10 лет. Период повторяемости ПЗ $T_{ПЗ} = 95$ лет⁴.

Необходимо отметить, что в 2009 году впервые в России для территории Северной Осетии были разработаны карты детального сейсмического районирования (ДСР) в масштабе 1:200 000, которые, являясь в отличие от рассматриваемой карты Общего сейсмического районирования (ОСР) (М 1:2000000), более детальными, позволяют получать более обоснованные данные о сейсмичности исследуемой территории и повторяемости сейсмических событий [Бондырев, Заалишвили, 2003; Заалишвили и др., 2011; Заалишвили, Рогожин, 2011]. Более того, внедрение вероятностного подхода включает также использование впервые разработанных вероятностных карт сейсмического микрорайонирования (СМР), т.е. непосредственный учет конкретных грунтовых условий [Заалишвили, 1986; 1996; Заалишвили и др., 2011; Zaalishvili, 2015]. При этом, в зависимости от характеристик конкретного сейсмического источника (разлома) и его пространственного расположения относительно исследуемой площадки, с помощью развитых в последние годы в Геофизическом институте ВНЦ РАН современных зарубежных разработок рассчитываются сейсмические воздействия, генерируемые данным разломом, для уровней ПЗ и МРЗ [Заалишвили и др., 2014а], в которых зоны различной сейсмичности будут определяться путем ухода от в той или иной степени формальных в принципе коэффициентов, повышающих либо понижающих сейсмичность, а независимый расчет будет производиться на каждый уровень воздействия с учётом нелинейных свойств грунтов, приводящим к значительным искажениям исходных спектрально-амплитудных характеристик воздействий [Заалишвили, 2014а; 2014б; 2014в; Заалишвили и др., 2006, 2008а,б]. При этом соответствующие сейсмические зоны рассчитываются в единицах максимальных горизонтальных ускорений и величинах дробных значений сейсмической интенсивности как интегральной вероятностной характеристики проявления землетрясений, являющейся основой защиты сооружений [Заалишвили и др., 2014б].

В то же время для предлагаемого метода многоуровневого проектирования в свете обеспечения сейсмостойкости сооружений выбор того или иного уровня сейсмической опасности, или той или иной карты сейсмического районирования (или детального сейсмического районирования), на первый взгляд (традиционный), в целом ограничивается трудоёмкостью реализации и временными рамками необходимыми для проектирования, т.е. почти полностью определяется потребностями практики. Но углубление в проблему показывает, что даже при поверхностных оценках сопутствующих погрешностей различия не исключаются такими безобидными факторами, вполне заметны и должны безо всякого сомнения учитываться. Указанная проблема выбора той или иной карты сейсмического районирования требует специального рассмотрения.

Итак, продолжим. Ниже приводится предлагаемый нами подход, который представляется наиболее обоснованным.

⁴ В японских нормах $T_{ПЗ} = 30-50$ лет [Marino et al., 2005].

Проектное землетрясение

В течение срока службы (50–100 лет для большинства промышленных и гражданских зданий и сооружений) на данной строительной площадке с вероятностью, близкой к 1, следует ожидать «частое» землетрясение.

Из этого следует, что сейсмическая нагрузка данной интенсивности с периодом повторяемости, раз в 100 лет, стоит в одном ряду, например, с максимальными пиковыми значениями снеговой и ветровой нагрузок, которые имеют близкие периоды повторяемости. Поэтому принципы назначения сейсмических нагрузок на здания и сооружения должны быть такими же, как для снеговой и ветровой нагрузок.

Предлагается выполнять расчеты на данную интенсивность сейсмического воздействия по I группе предельных состояний без учета коэффициента reductions (фактически принимая $K_1 = 1$), как это делается для эксплуатационных⁵ нагрузок.

Выполнение расчетов при сейсмических воздействиях по II группе предельных состояний с требованием сохранения эксплуатационных свойств сооружения является нецелесообразным. После каждого землетрясения в любом случае необходимо проводить обследование состояние несущих конструкций сооружения.

Так как условия I группы предельных состояний предполагают в основном упругое поведения конструкций, то вполне приемлемым методом расчета может быть линейно-спектральный метод.

Максимальное расчетное землетрясение

В течение срока службы сооружения на данной строительной площадке с определенной вероятностью следует ожидать «редкое» землетрясение с некоторым обоснованно назначенным периодом повторяемости. Здания и сооружения должны перенести землетрясения данной интенсивности без местного и общего обрушения несущих конструкций.

Период повторяемости максимального расчетного землетрясения может быть назначен по следующим соображениям.

В теории надежности определяется фоновая вероятность наступления неблагоприятного события для человека в течение года (значительный ущерб здоровью, летальный исход). Данная вероятность составляет порядка $3000 \cdot 10^{-7}$ чел/год (табл.2) [Аугусти и др., 1988].

Примем данную вероятность летального исхода в качестве нормативной предельно допустимой, т.е. $[P_{ли}] = 3 \cdot 10^{-4}$ чел/год.

Тогда проектирование должно вестись из условия, что

$$P_1 \leq [P_{ли}], \quad (1)$$

где P_1 – вероятность летального исхода для человека в год при максимальном расчетном землетрясении для данного района строительства и данного типа сооружения.

Определим вероятность P_1 при исходном среднем периоде повторяемости максимального расчетного землетрясения $T_{1 \text{ эк}} = 500$ лет.

⁵ Ветровой, снеговой и др.

Таблица 2.

Вероятность летального исхода для человека в год

Условия и вид деятельности	10^{-7} чел/год
Аварии автомашин	2700
Огонь и взрывы	400
Водоемы	280
Обращение с механизмами	100
Воздушное сообщение	75
Электричество	51
Молния	5,5
Общественный транспорт	0,45
Радиоактивное излучение	0,05

Вероятность того, что на данной строительной площадке произойдет максимальное расчетное землетрясение в течение 1 года, равна:

$$P_{\text{год}} = \frac{1}{500} = 0,002. \quad (2)$$

По результатам масштабного анализа последствий сильных землетрясений [Шахраманьян, 2000], проведенного на основании обобщения опыта работы МЧС РФ, приемлемая вероятность обрушения сооружения $P_{\text{обр}}$ при катастрофическом землетрясении (уровня МРЗ), может быть принята равной 0,1:

$$P_{\text{обр}} = 0,1. \quad (3)$$

Вероятность нахождения человека в здании составляет, ориентировочно, $P_{\text{на}} = 0,6$, а вероятность того, что он пострадает при условии обрушения здания – $P_{\text{пострад}} = 0,8$.

Тогда вероятность летального исхода для человека в год при МРЗ будет равна:

$$P_1 = P_{\text{год}} \cdot P_{\text{обр}} \cdot P_{\text{на}} \cdot P_{\text{пострад}} = 0,002 \cdot 0,1 \cdot 0,6 \cdot 0,8 = 96 \cdot 10^{-6} \approx 1 \cdot 10^{-4} \text{ чел/год}. \quad (4)$$

Таким образом,

$$P_1 = 1 \cdot 10^{-4} \text{ чел/год} < [P_{\text{ли}}] = 3 \cdot 10^{-4} \text{ чел/год}. \quad (5)$$

Иными словами, если принять средний период повторяемости $T_{\text{вс}} = 500$ лет и вероятность обрушения сооружения при максимальном расчетном землетрясении равной 0,1, то вероятность летального исхода для человека в год будет близка к фоновой и не будет ее превышать.

Расчет на уровень воздействия МРЗ

Расчеты на МРЗ должны выполняться на особые предельные состояния. Так как исследуются состояния сооружения, близкие к предельным, с возникновением

существенных неупругих пластических деформаций, то нелинейный характер работы конструкций должен учитываться явным способом. Это возможно только при использовании нелинейного статического и динамического методов.

В настоящее время использование этих методов возможно при расчете уникальных зданий и сооружений, для которых предусмотрено научно-техническое сопровождение, которое выполняется организациями, обладающими соответствующими компетенциями.

Для зданий и сооружений массового строительства, проектирование которых выполняется обычными проектными организациями, возможен следующий подход при расчете на МРЗ.

По результатам расчета на землетрясение интенсивности ПЗ выявляются наиболее нагруженные элементы. Расчеты на уровень МРЗ выполняются с учетом выключения этих элементов из расчетной схемы подобно тому, как это делается при расчете на устойчивость к прогрессирующему обрушению. Этот метод большинством проектировщиков благополучно освоен.

Следует отметить, что в данном случае расчет на МРЗ – это и есть расчет на прогрессирующее обрушение при исходных сейсмических нагрузках и соответствующих сценариях локальных разрушений. Если в сооружении не реализуется прогрессирующее обрушение, то следует считать критерий необрушения выполненным.

Данный подход обеспечит необходимый уровень сейсмостойкости и безопасности для зданий и сооружений, строящихся в сейсмических районах.

Заключение

В настоящей статье предложен подход к выбору исходных воздействий и методов расчета сооружений при землетрясениях уровня ПЗ и МРЗ при проектировании с заданной обеспеченностью сейсмостойкости и необходимым уровнем безопасности для жизни и здоровья людей.

Литература

1. Аугусти Г., Баратта А., Кашиати Ф. Вероятностные методы в строительном проектировании. Перевод с английского. М. Стройиздат, 1988. - 584с.
2. Бондырев И.В., Заалишвили В.Б. Опасность активизации геодинамических процессов на Северном Кавказе // Вестник Владикавказского научного центра. 2003. Т. 3. №2. С. 39-46.
3. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование по данным искусственного возбуждения колебаний грунтовой толщи // Автореферат кандидатской диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук Институт Геофизики АН ГССР. Тбилиси, 1986
4. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование на основе изучения нелинейных свойств грунтов искусственными источниками // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук // Москва, 1996
5. Заалишвили В.Б. Некоторые проблемы практической реализации сейсмического микрорайонирования. Факторы, формирующие интенсивность землетрясения // Геология и геофизика Юга России. 2014а. №3. С. 3-39.

6. Заалишвили В.Б. Зависимость спектральных характеристик сейсмических волн от строения верхней части разреза // Геология и геофизика Юга России. 2014б. №4. С. 15-44.

7. Заалишвили В.Б. Корреляционные взаимосвязи между линейными и нелинейными характеристиками грунтов по инструментальным данным // Геология и геофизика Юга России. 2014в. №4. С. 45-57.

8. Заалишвили В.Б., Габеева И.Л., Гогмачадзе С.А. Оценка сейсмической опасности грунтов при сильных землетрясениях в условиях пересеченного рельефа в горных районах // Системные исследования современного состояния и пути развития Юга России (природа, общество, человек). Тезисы докладов международной научной конференции. 2006. С. 135-136.

9. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В. Особенности динамического поведения грунтов территории г. Владикавказа // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2008а. №2. С. 67-71.

10. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Отинашвили М.Г. Использование метода конечных элементов при оценке сейсмической опасности горных территорий // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2008б. №3. С. 49-52.

11. Заалишвили В.Б., Рогожин Е.А. Оценка сейсмической опасности территории на основе современных методов детального районирования и сейсмического микрорайонирования // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2011. №3. С. 31-43.

12. Заалишвили В.Б., Етирмишли Г., Маммедли Т., Мельков Д.А., Харебов К.С., Шепелев В.Д. Проектные сейсмические воздействия для строительной площадки проектируемой Чири-Юртской ГЭС в Чеченской республике в виде ансамбля инструментальных акселерограмм и акселерограмм – аналогов Вестник Академии наук Чеченской Республики. 2014а. №3(24). С. 86-95.

13. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В., Шепелев В.Д. К вопросу использования дробных значений величин сейсмической интенсивности и ускорений // Вестник Академии наук Чеченской Республики. 2014б. №4(25). С. 86-95.

14. Мкртычев О.В., Джинчвелашвили Г.А. Проблемы учета нелинейностей в теории сейсмостойкости (гипотезы и заблуждения). – М.: МГСУ, 2012. – 192 с.

15. Перетокин С.А. Использование программно-алгоритмического аппарата методики оср-97 в задачах детального сейсмического районирования // Геология и геофизика Юга России. №1. 2015. С. 61-64.

16. СТО НИУ МГСУ 2015. Стандарт организации. Сейсмостойкость зданий и сооружений. Расчетные положения. – М.: МГСУ, 2015. – 37 с.

17. Уломов В.И., Шумилина Л.С. Проблемы сейсмического районирования территории России. – М.: ВНИИТПИ Госстроя России, 1999. – 56 с. Интернет-ресурс: <http://seismos-u.ifz.ru/zoning.htm>.

18. Фардис М., Гульванесян Х. и др. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 8: Проектирование сейсмостойких конструкций к EN 1998-1 и EN 1998-5. Еврокод 8: Общие нормы проектирования сейсмостойких конструкций, сейсмические воздействия, правила проектирования зданий и подпорных сооружений /научный редактор пер. с англ. Г.А. Джинчвелашвили. – М.: МГСУ, 2013. – 484 с.

19. Шахраманьян М.А. Оценка сейсмического риска и прогноз последствий

землетрясений в задачах спасения населения: (Теория и практика). – 2-е изд., перераб. и доп. — М.: ВИИ ГОЧС, 2000. – 189 с.

20. Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance – Part 1: General Rules, Seismic actions and Rules for Buildings. European Committee for Standardization. – Brussels – 2003. – 229 p.

21. Marino Edoardo M., Nakashima Masayoshi, Mosalam Khalid M. Comparison of European and Japanese seismic design of steel building structures // Engineering Structures 27 (2005) 827–840 pp.

22. Zaalishvili V. Assessment of Seismic Hazard of a Territory // Earthquake Engineering - From Engineering Seismology to Optimal Seismic Design of Engineering Structures Edited by Abbas Moustafa, ISBN 978-953-51-2039-1, 408 pages, Publisher: InTech, Chapters published May 20, 2015 under CC BY 3.0 license DOI: 10.5772/58499 P. 74-109

DOI: 10.23671/VNC.2016.1.20715

MULTILEVEL DESIGN PHILOSOPHY IN THE LIGHT OF PROVISION EARTHQUAKE RESISTANCE

© 2016 O.V. Mkrtychev¹), Sc.Doctor(Tech.), prof., G.A.Dzhinchvelashvili¹),
Sc.Doctor (Tech.), prof., R.I. Dzerzhinskiy²), Sc.Candidate(Tech.)

¹National Research University Moscow State University of Civil Engineering, 129337,
Yaroslavl highway, 26, Moscow, Russia,
e-mail: mkrtychev@yandex.ru, guram2004@yandex.ru;

²Moscow State Academy of Water Transport, 117105, Novodanilovskaya emb. 2.,
building 1, Moscow, Russia, e-mail: 9015111295@rambler.ru

The new approach for the choice of initial impacts and methods for calculation of seismic stability of structures is proposed. The feasibility for recurrence period definition of the project and the maximum design earthquake is given. The features of the GSZ and DSZ maps are briefly considered. It is shown that account of possible errors due to selection of the map type is required

The provisions of the new concept of earthquake engineering standards, which assumes the design of buildings and structures with defined seismic resistance and necessary level of security for population life and health, are considered.

Keywords: level of seismic resistance of structures, the level of impact, design earthquake, the maximum design earthquake, defined security, return period.