

НОРМАТИВНЫЙ ХАОС В РОССИЙСКОМ СЕЙСМИЧЕСКОМ МИКРОРАЙОНИРОВАНИИ



В работе приводится анализ различий в способах расчета приращений сейсмической интенсивности по методу сейсмических жесткостей, которые регламентируется рядом одновременно действующих на территории Российской Федерации нормативных документов. На примере реального набора данных, полученных в одном из районов Краснодарского края, выполнены расчеты с учетом требований рассматриваемых нормативных документов. Показано, что для наиболее ответственных объектов расчеты дают существенно меньшие оценки приращений, чем для объектов массового строительства. При этом расхождения в оценках достигают недопустимо больших значений, что вносит неопределённость при проектировании и оценке рисков, связанных с сейсмической опасностью.

Горшков Геннадий Андреевич

Технический директор ООО «МИКРОСЕЙСМ», Краснодар

gorshkovgena@gmail.com

В последние годы нормативное поле в области инженерных изысканий постоянно претерпевает изменения в своем ландшафте, зачастую не давая успеть освоиться и

перестроиться ни специалистам, ни экспертам, ни, тем более, заказчикам. Нередко нормативные документы в разных, а иногда и одновременно действующих редакциях противоречат друг другу и даже самим себе. К сожалению, перечисленные выше проблемы не обошли стороной нормативы по геофизическим исследованиям и сейсмическому микрорайонированию, которые и без того были в достаточно печальном с различных точек зрения состоянии: во многом устаревшие, не охватывающие некоторые важные производственные аспекты и т.п. Проблем довольно много, но в рамках настоящей работы остановимся подробнее на нормах по сейсмическому микрорайонированию, регламентирующим выполнение работ методом сравнения сейсмических жесткостей (МСЖ).

Историческая справка

Как известно, метод сейсмических жесткостей был предложен более 50 лет назад известным советским сейсмологом С.В. Медведевым [Медведев, 1962]. Для оценки влияния грунтового массива на изменения интенсивности сейсмических воздействий были использованы материалы экспедиционных исследований последствий сильных землетрясений. По утверждению автора, всего в ходе исследований удалось выявить 34 случая влияния грунтовых условий на сейсмическую интенсивность. При этом, измерений сейсмических жесткостей не выполнялось. Автор указывает, что «приходится использовать некоторые результаты измерений, полученные при сейсмической разведке», а также «материалы общих инженерно-геологических изысканий, проводившихся на территории населенного пункта или площадки». После обобщения этих данных применительно к типам грунтов и сопоставления с результатами макросейсмических обследований зависимость была аппроксимирована логарифмической функцией.

Для грунтов, находящихся в состоянии естественной влажности представлена следующая зависимость:

$$n = x_n \cdot \lg \left(\frac{V_0 \cdot \rho_0}{V_n \cdot \rho_n} \right) \quad (1),$$

где n – приращение сейсмической интенсивности по отношению к эталону,
 $V_0 \cdot \rho_0$ и $V_n \cdot \rho_n$ – соответственно, произведения скоростей прохождения сейсмических волн и плотностей эталонных и рассматриваемых грунтов,
 x_n – корректирующий коэффициент, зависящий от типа грунта и в среднем равный 1,67 (1,55 ÷ 1,82).

Для учета влияния уровня грунтовых вод, также на основании анализа макросейсмических данных, была представлена следующая зависимость:

$$n_b = e^{-0,04 \cdot h^2} \quad (2),$$

где n_b – приращение сейсмической интенсивности обводненного грунта по отношению к этому же грунту в состоянии естественной влажности,
 h – уровень грунтовых вод.

Для случаев многослойного строения грунтового массива предлагается использовать среднюю сейсмическую жесткость пачки слоев мощностью близкой к 10 м по следующей формуле:

$$(V_n \cdot \rho_n)_{cp} = \frac{1}{\sum h_n} \sum V_n \cdot \rho_n \cdot h_n \quad (3),$$

где $(V_n \cdot \rho_n)_{cp}$ – средняя сейсмическая жесткость,
 $V_n \cdot \rho_n \cdot h_n$ – произведение соответственно скорости прохождения сейсмических волн, плотности и мощности n-го слоя.

Сопоставляя (1) и (2) получена привычная всем формула с осредненным грунтовым коэффициентом 1,67:

$$n = 1,67 \cdot \lg \left(\frac{V_0 \cdot \rho_0}{V_n \cdot \rho_n} \right) + e^{-0,04h^2} \quad (4).$$

Вариации метода сейсмических жесткостей

Из приведенных в предыдущем разделе сведений, легко заметить, что метод сейсмических жесткостей базируется на весьма ограниченном наборе исходных данных с использованием осреднений и аналогий в части характеристик грунтов. Опубликовано множество работ, в которых приводятся доказательства недостоверности расчетов по методике МСЖ в ее классическом виде, предлагаются различные модификации метода [Заалишвили, 2007; Максимов, 1971; Попов и др., 1977; Шацков, 1989]. Несмотря на это, данный метод используется до сих пор в нормативных документах, регламентирующих выполнение работ по сейсмическому микрорайонированию. Такими документами являются:

- (a) РСН 60-86 и РСН 65-87;
- (b) СП 14.13330.2014;
- (c) СП 269.1325800.2016;
- (d) СП 283.1325800.2016;
- (e) СТО 95 12022-2017.

Все перечисленные нормативы являются, как уже было сказано выше, действующими, однако распространяются на разные типы объектов. Логично было бы предположить, что в зависимости от, например, уровня ответственности объекта меняется лишь набор методов и требования к детальности исследований. Тем не менее, меняются и подходы к способу расчета тех или иных составляющих метода сейсмических жесткостей, который применяется для всех типов объектов. Данное обстоятельство представляется довольно странным, учитывая, что МСЖ базируется на определенных физических принципах. Рассмотрим подробнее отличия в методиках расчета.

До недавнего времени единственным действующим нормативным документом, регламентирующим способы расчета изменения сейсмической интенсивности в зависимости от грунтовых условий был РСН 65-87. Расчет приращения определяется практически идентично формуле (4), вводится лишь дополнительный корректирующий коэффициент к поправке за УГВ:

$$\Delta I = 1,67 \cdot \lg \left(\frac{\bar{V}_3 \cdot \bar{\rho}_3}{\bar{V}_i \cdot \bar{\rho}_i} \right) + K \cdot e^{-0,04 \cdot h^2} \quad (5),$$

где \bar{V}_3 и \bar{V}_i – средневзвешенные значения скоростей распространения продольных или поперечных волн для расчетной толщи грунтов на эталонном и исследуемом участке, $\bar{\rho}_3$ и $\bar{\rho}_i$ – средневзвешенные значения плотностей грунтов для расчетной толщи на эталонном и исследуемом участке,

K – коэффициент, зависящий от литологического состава грунтов,

h – расчетное положение уровня грунтовых вод.

Для разрезов, содержащих несколько слоев, характеризующихся резким различием значений скоростей, средняя скорость вычисляется по формуле:

$$\bar{V} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_i}} \quad (6),$$

где H – мощность расчетной толщи,

h_i – мощность i -го слоя,

V_i – пластовая скорость в i -ом слое.

Мощность расчетной толщи по РСН 60-86 принимается равной от 10 м до 20 м.

Отметим, что параметры эталонных грунтов согласно РСН 60-86 должны определяться в ходе специальных работ. Однако, как зачастую делают в производстве и рекомендуют в литературе [Алешин, 2010], принимаются средними по предписанному РСН 60-86 диапазону.

РСН 65-87 применяется для большинства объектов массового строительства, за исключением областей, для которых существуют собственные нормативные документы.

Следующий рассматриваемый документ – СП 14.13330.2014. В нем указано, что сейсмические свойства грунтов учитываются для 30 м толщи, данное указание экспертиза распространяет и на МСЖ из РСН 65-87.

Третьим рассматриваемым нормативом является СП 269.1325800.2016 (приложение Г СП 14.13330.2014 содержит аналогичные требования). Данный норматив регламентирует методику сейсмического микрорайонирования транспортных сооружений, и, в частности, вводит альтернативную методику расчета МСЖ:

$$\Delta I = 1,67 \cdot \lg \left(\frac{655}{\rho \cdot V_s} \right) \quad (7),$$

где $\rho \cdot V_s$ – сейсмическая жесткость грунта расчетной толщи.

Как видно, в уравнении (7) отказываются от влияния обводнения, используют только поперечные волны, а сейсмическая жесткость эталонного грунта заменяется зафиксированным значением 655 т/(м²·с) референтного грунта. Средневзвешенная сейсмическая жесткость определяется по формуле (3). Мощность расчетной толщи варьирует, но для большинства случаев составляет 10 м.

Для объектов повышенной ответственности действует СП 283.1325800.2016, в котором нововведений еще больше. Так, меняется коэффициент при логарифме, используются новые параметры референтного грунта равные 2000 т/(м²·с) и вводится учет коэффициента динамичности. Формула принимает вид:

$$\Delta I = 2,5 \cdot \lg \left(\frac{b \cdot R_0}{R_1 + R_0} \right) \quad (8),$$

где R_0 и R_1 – соответственно сейсмическая жесткость референтного и исследуемого грунтов, b – максимум коэффициента динамичности.

Для многослойных разрезов средняя скорость рассчитывается аналогично формуле (6), а средняя плотность по формуле:

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{\sum \rho_i \cdot h_i}{\sum h_i} \quad (9),$$

где ρ_i и h_i – соответственно плотность и мощность i -го слоя.

Мощность расчетной толщи составляет не менее 30 м в дисперсных грунтах либо до глубины грунтов с сейсмической жесткостью равной R_0 и более.

Отдельно стоит отметить две важные особенности, учитываемые при разработке формулы (8). Во-первых, при расчетах необходимо уменьшать на 1 балл фоновую сейсмичность с карт ОСР. То же самое требование имеется и в РСН 60-86: так фоновая балльность уменьшается на 1 балл, если в качестве эталона используются грунты I категории по сейсмическим свойствам. Во-вторых, автор СП 283.1325800.2016 при выводе формулы [Алешин, 2017] ориентировался на новую сейсмическую шкалу [Антикаев, 2012], которая, в отличие от старой шкалы MSK-64, подразумевает увеличение амплитуды ускорений в 2,5 раза при увеличении сейсмичности на 1 балл. Хотя новая шкала принята в качестве ГОСТ Р 57546-2017, остальные нормативные документы по проектированию пока используют

традиционную шкалу MSK-64, где подразумевается увеличение амплитуды в 2 раза. Таким образом, получаются приращения в других баллах – баллах шкалы Аптикаева.

Заключительным рассматриваемым нормативом является СТО 95 12022-2017, который регламентирует выполнение СМР для объектов атомной промышленности. По сути, атомный норматив предписывает методику МСЖ, которая почти полностью соответствует указанной в РСН 60-86 и РСН 65-87, исключение составляет расчетная толщина равная 30 м и отсутствие поправки за обводнение.

Для многослойных разрезов средняя скорость рассчитывается аналогично формуле (6), а средняя плотность аналогично формуле (9). Заметим, что в нормах Европейского союза Eurocode 8 (которые применяются и в некоторых других государствах за пределами ЕС), в американских нормах FEMA, а также в нормах ряда других стран тоже используются формулы (6) и (9).

Практические примеры расчетов

Как было показано выше, различий много, а часть из них вызывает вопросы о правомерности таких корректировок МСЖ. Рассмотрим на примере реальных сейсморазведочных данных влияние приведенных особенностей. Для этого возьмем набор из 30 сейсморазведочных 94-метровых профилей, выполненных методом МПВ в одном из районов Краснодарского края. Для каждого сейсмопрофиля было выполнено три расчета (для начала, середины и конца расстановки). Таким образом, анализ приращений сейсмической интенсивности проведен на наборе из 90 средних значений V_S и ρ , отражающем разнообразие грунтовых условий.

В первую очередь, обратим внимание на вопрос выбора параметров среднего (эталонного) грунта. В нормативных документах (с) и (d), параметры сейсмической жесткости эталона зафиксированы конкретными значениями. Аналогичная практика имеется и в отношении объектов, расчёты для которых ведутся по (a) и (b), несмотря на то, что данными нормативами это не предписано. В расчетах по (e), а изначально и по (a) и (b), необходимо принимать реальные наиболее распространенные параметры. Для получения представительной выборки, используемый сет данных был дополнен характеристиками еще по 50 сейсмопрофилям (также в трех местах расстановки). Для расширенного сета по формулам (6) и (9) рассчитаны средние скорости и плотности (всего по 240), построены гистограммы распределения средних значений (рис. 1) с шагом 10 м/с для скоростей, а для плотностей с шагом 0,01 т/м³. Наиболее распространенные значения для 10-, 20- и 30-метровой толщи составляют соответственно 190 м/с и 1,79 т/м³; 230 м/с и 1,87 т/м³; 260 м/с и 1,80 т/м³. Что, значительно отличается от зафиксированных значений и может давать дополнительное приращение до 0,3 балла.

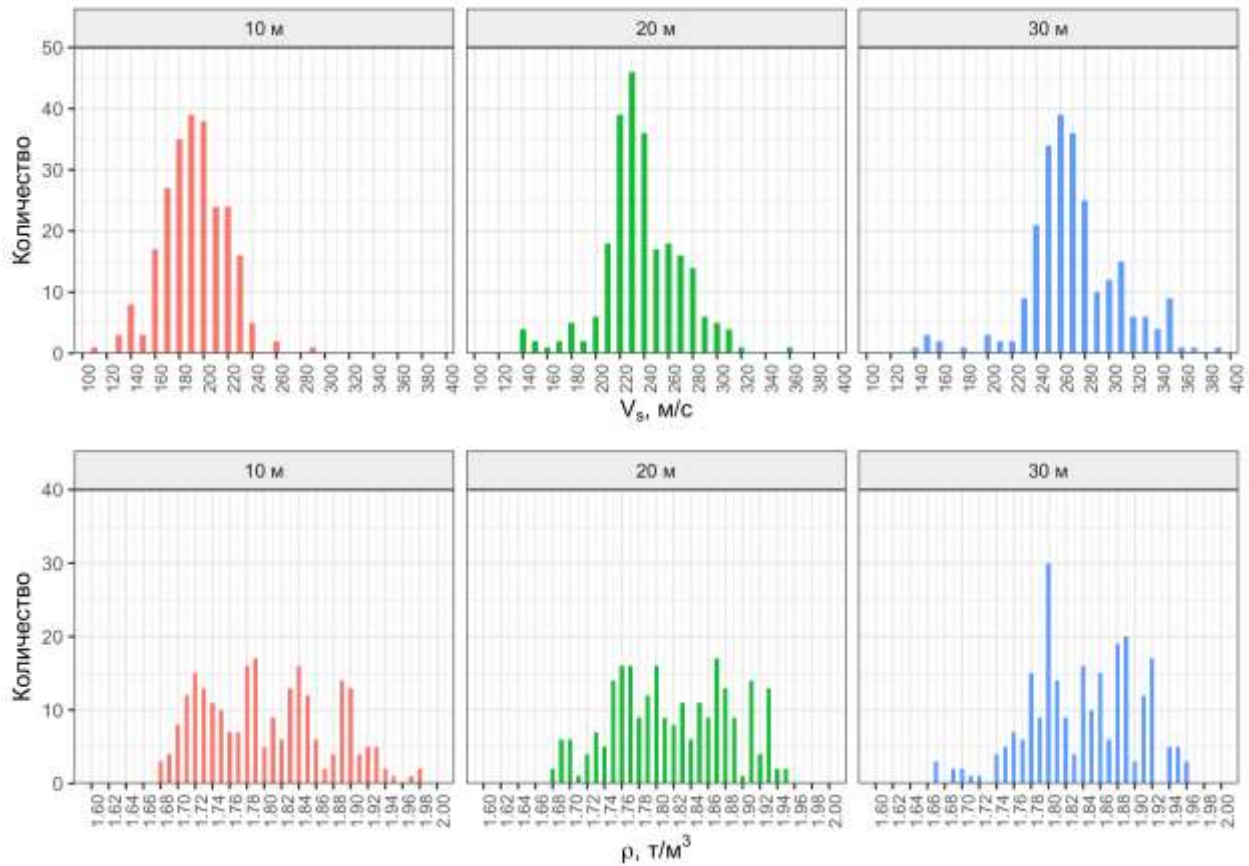


Рис. 1. Гистограммы распределения скоростей (сверху) и плотностей (снизу) для 10-, 20- и 30-метровой толщи.

Во вторую очередь, рассмотрим различия в оценке средней сейсмической жесткости расчетной толщи, в зависимости от норматива (рис. 2). Разница в отдельных случаях 2-х кратная, что обусловлено различной мощностью расчетной толщи. Но даже для одинаковой расчетной толщи 10 м расхождение достигает 1,4 раза (в случае расчетов по (а) и (с)), а это уже дает более 0,25 балла.

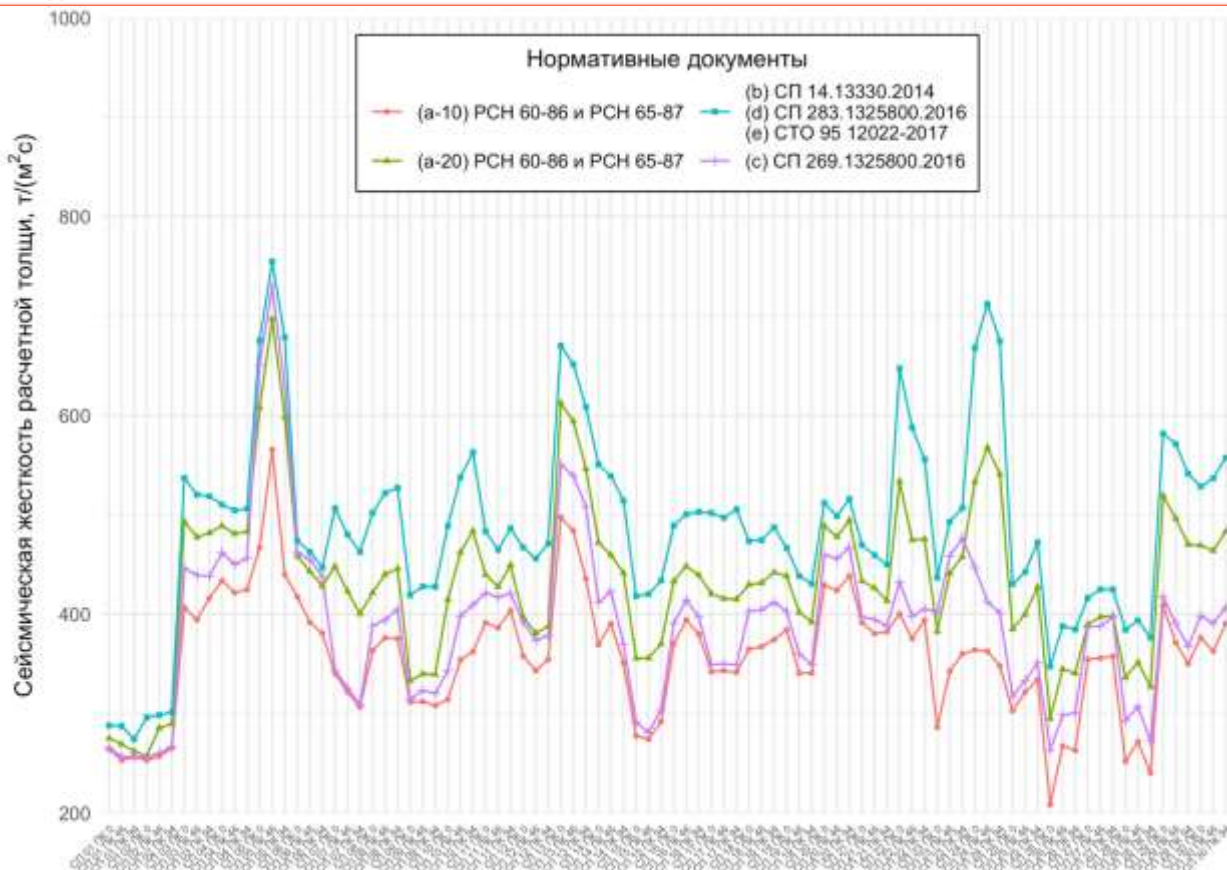


Рис. 2. Сопоставление сейсмических жесткостей расчетной толщи.

Третьим фактором, влияющим на результат, будет поправка за обводнение, которая может давать до 1 балла при неглубоком залегании УГВ.

Наконец, рассмотрим сопоставление итоговой расчетной сейсмичности (рис. 3 и табл. 1), полученной по всем обозреваемым нормам. Но перед этим дадим несколько уточнений. В расчетах по (a) и (b), учитывая распространенную практику, за эталон взяты средние по РСН 60-86 параметры эталона – 300 м/с и 1,8 т/м³. В расчетах по (d) максимум коэффициента динамичности принят равным 4,4 (среднее значение для используемого набора данных). УГВ локально залегает на глубинах от 0,5 м до 10 м, либо глубже, что не учитывается согласно методике. Фоновая сейсмичность принята 8,0 балла. Как видно из графиков (рис. 3), в зависимости от норматива, получены кардинально разные результаты.

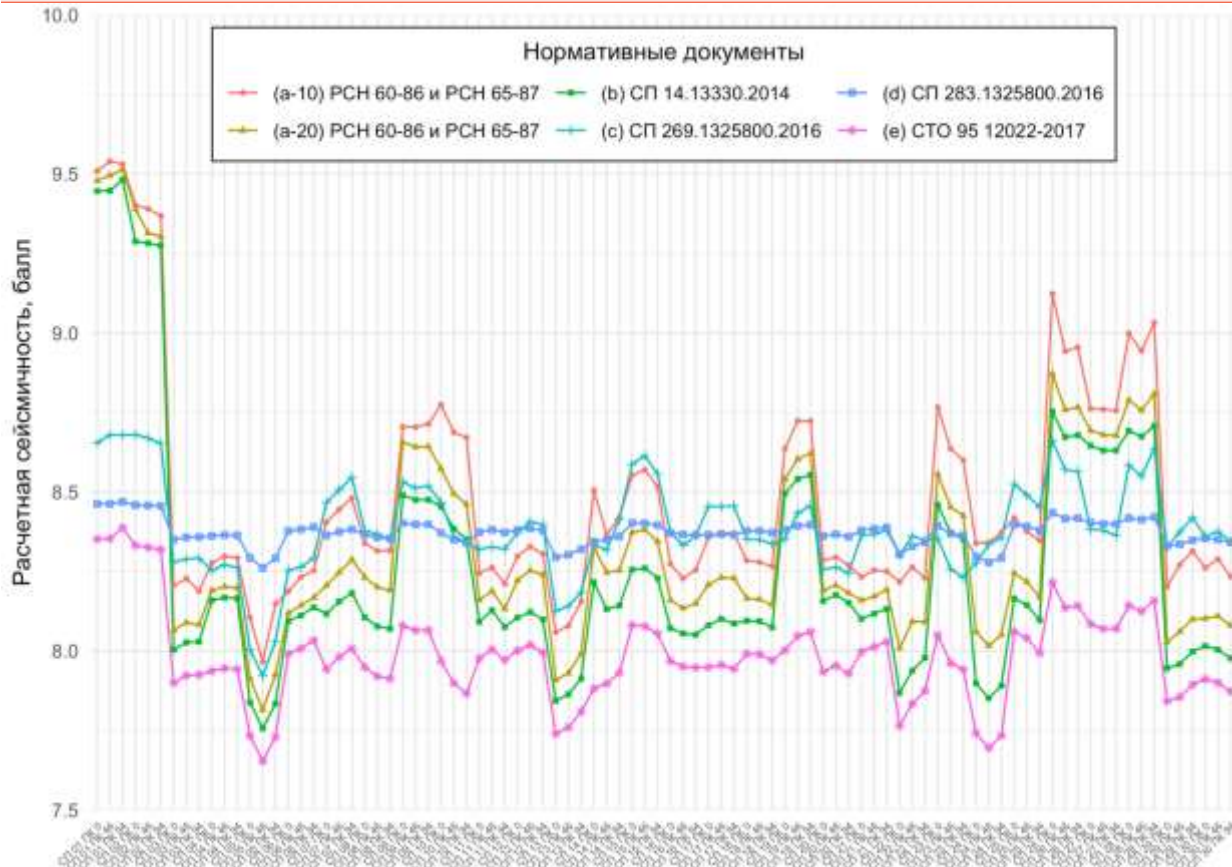


Рис. 3. Сопоставление расчетной сейсмичности.

Для одних и тех же грунтовых условий, расчетная сейсмичность в целочисленных значениях может составлять от 8 до 10 баллов! И что самое интересное, для наиболее важных (особо ответственных и атомных) объектов получены минимальные значения расчетной сейсмичности. То есть, строить условную атомную станцию будут на 8 баллов, а условное многоэтажное офисное или жилое здание в этих же самых местах уже на 10 баллов. Конечно, никаких физических предпосылок для таких различий нет, различия обусловлены исключительно формальностями. Списать такие разительные отличия нельзя и на более высокую точность расчетов для «серьезных» объектов. Было бы логично, использовать наиболее консервативные результаты для «серьезных» объектов, и наоборот – для «обычных» объектов. Но мы видим обратную ситуацию, которую иначе как нормативным хаосом назвать нельзя.

В данной работе рассматривается исключительно формальный подход, такой, который повсеместно используется при экспертизе проектной документации. Специалисты знают, как делать правильно, а экспертиза требует делать так, как написано в нормах.

В свете показанных различий и нестыковок, необходимо унифицировать все действующие нормативные документы во избежание таких коллизий, в переходный же период, возможным решением обозначенной проблемы является использование для всех типов объектов отдельных положений документов (d) и (e).

Таблица 1

Результаты расчетов по различным вариациям метода сейсмических жесткостей

| НД | $(V \cdot \rho)_{\text{ср}}, \text{т}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ | $\Delta I_{\text{ГР}}, \text{балл}$ | $\Delta I_{\text{УГВ}}, \text{балл}$ | $I_{\text{РАСЧ}}, \text{балл}$ | $I_{\text{РАСЧокр}}, \text{балл}$ |
|--------|--|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| (a-10) | 209 ÷ 566 | -0.03 ÷ 0.69 | 0.01 ÷ 0.99 | 7.97 ÷ 9.54 | 8 ÷ 10 |
| (a-20) | 257 ÷ 697 | -0.18 ÷ 0.54 | 0.01 ÷ 0.99 | 7.82 ÷ 9.51 | 8 ÷ 10 |
| (b) | 274 ÷ 755 | -0.24 ÷ 0.49 | 0.01 ÷ 0.99 | 7.76 ÷ 9.48 | 8 ÷ 9 |
| (c) | 256 ÷ 730 | -0.08 ÷ 0.68 | – | 7.92 ÷ 8.68 | 8 ÷ 9 |
| (d) | 274 ÷ 755 | 1.26 ÷ 1.47 | – | 8.26 ÷ 8.47 | 8 ÷ 8 |
| (e) | 274 ÷ 755 | -0.25 ÷ 0.49 | – | 7.65 ÷ 8.39 | 8 ÷ 8 |

Список литературы

- Алешин А.С. Континуальная теория сейсмического микрорайонирования. – М.: Научный мир, 2017 – 302 с.
- Алешин А.С. Сейсмическое районирование особо ответственных объектов. – М.: Светоч-плюс, 2010 – 304 с.
- Аптикаев Ф. Ф. Инструментальная шкала сейсмической интенсивности. – М.: Наука и образование, 2012 – 176 с.
- Заалишвили В. Б. Сейсмическое микрорайонирование территорий городов, населенных пунктов и больших строительных площадок. – М.: Наука, 2009 – 350 с.
- Максимов А.Б. О сейсмической жесткости грунтов // Экспериментальная сейсмология. – М.: Наука, 1971 – С.145-152.
- Медведев С.В. Инженерная сейсмология. – Владимир: Гос. изд-во лит-ры по строительству, архитектуре и строит. материалам, 1962 – 284 с.
- Попов В.В., Назаров Г.Н., Ревелис И.Л., Дгебуадзе Н.А., Ключев Б.И. Опыт сейсмического микрорайонирования г. Махачкалы // Сейсмическое микрорайонирование: Сб. науч. тр. – Иркутск: Восточно-Сибирское книжное издательство, 1977 – С.160-167.
- РСН 60-86 Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Нормы производства работ. М.: МосЦТИСИЗ Госстроя РСФСР. – 1987.
- РСН 65-87 Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Технические требования к производству работ. М.: МосЦТИСИЗ Госстроя РСФСР. – 1987.
- СП 14.13330.2014 Строительство в сейсмических районах СНиП II-7-81* (актуализированного СНиП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах» (СП 14.13330.2011)) (с Изменением № 1). М.: Минстрой России. – 2014.
- СП 269.1325800.2016 Транспортные сооружения в сейсмических районах. Правила уточнения исходной сейсмичности и сейсмического микрорайонирования. М.: Минстрой России. – 2016.
- СП 283.1325800.2016 Объекты строительные повышенной ответственности. Правила сейсмического микрорайонирования. М.: Минстрой России. – 2016.
- СТО 95 12022-2017 Инженерные изыскания для строительства атомных электростанций. Сейсмическое микрорайонирование. Общие требования. М.: Росатом. – 2017.
- Шацков В.И. Методика исследований при оценке сейсмической опасности территорий. – Алма-Ата: Наука, 1989 – 208 с.