УДК 550.32

DOI 10.37153/2687-0045-2021-14-12-19

КРИЗИС СОВРЕМЕННОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ

Алешин А.С.
ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН

Кризис - по-гречески означает *решение, поворотный пункт*. Каково нынешнее состояние дел во всех аспектах сейсмического районирования - ОСР, ДСР, УИС и СМР и в каком направлении намечается поворот? Рассмотрению этого вопроса посвящено настоящее сообщение.

Начнем с соотношения сейсмологии и сейсмостойкого строительства. На протяжении более четверти века, когда проходили Конференции, подобные настоящей, соотношение количества докладов всегда было в пользу строительства, что вполне нормально, если учесть, что организатором этих Конференций был ЦНИИСК. Но то, что на настоящей Конференции на 60 докладов по сейсмостойкости только 6 докладов посвящено сейсмологии, скорее всего объясняется недостаточной координацией работ по обоим направлениям инженерной сейсмологии.

Перейдем к ОСР. Карты ОСР различных типов А и В, разработанные в промежутке 25 лет, изменились весьма мало. Что не удивительно, поскольку эти карты разработаны в соответствии с общей идеологией и общей сеймотектонической основой. И пока не будет обновления того и другого, нет смысла их периодически обновлять.

В ДСР ситуация несколько иная. Методика ДСР разработана, существует реальная возможность уточнить региональную сеймотектоническую карту отдельного региона и на этой основе построить региональную карту ДСР. Успешные примеры таких работ есть. Последовательно выполняя ДСР в различных сейсмических регионах России, можно получить альбом с картами ДСР на всю Россию. В этом случае исчезнет необходимость в ОСР.

Уточнение исходной сейсмичности (УИС) в рамках СМР - вообще незаконный метод сейсмического районирования. Иногда считают, что УИС это - укороченный ДСР. Но насколько укороченный, тут мнения расходятся. Представляется разумным ограничить УИС работой с использованием карт ОСР. Две такие методики представлены в настоящем сообщении.

В одном случае предполагается, что районированная площадка входит в список населенных пунктов России, расположенных в сейсмических районах с указанием сейсмической интенсивности, входящих в Приложение А документа [1]. Этот прием иллюстрируется рисунком 1. На нем приведен пример уточнения исходной сейсмичности района Советской Гавани. На график нанесены данные исходной сейсмичности этого района, взятые из документа [1]. Осредняющий график обозначен черной линией. По этому графику можно определить уточненные значения сейсмической интенсивностью с точностью 0,1 балла для каждого значения времени повторения.

В случае, когда пункт изысканий отсутствует в перечне Приложения А, но известны координаты объекта, можно использовать прием, проиллюстрированный рисунком 2. На рисунке нанесена линия проходящая через районированный объект и соединяющая ближайшие изолинии балльности на карте ОСР. По расстоянию от

изолиний до пункта районирования можно уточнить исходную сейсмическую интенсивность. Оба эти приема следует закрепить в разрабатываемых нормативных документах.

Рисунок 1. УИС в случае, когда пункт районирования входит в Перечень [1]

Рисунок 2. УИС в случае, когда пункт районирования не входит в Перечень [1], но известны его координаты

В СМР ситуация весьма любопытна. С одной стороны, имеет место весьма стройная и непротиворечивая система, основанная на многолетней привычной практике. С другой стороны, сама система разработана около семи десятков лет назад, и многие ее положения безнадежно устарели. Модернизация методики происходит в обстановке продолжительного и весьма активного противостояния.

Напомним этапы этого противостояния. Известная формула метода сейсмической жесткости включала три члена, отвечающих соответственно за сейсмическую жесткость, за уровень грунтовых вод и за резонансные свойства грунтовой толщи. Потребовалось более 5 лет, чтобы убрать из норм "поправку за уровень грунтовых вод".

Сложнее дело обстоит с фактором сейсмической жесткости. Еще более 10 лет назад было показано, что предположение о равенстве потоков мощности в двух соседних точках, лежащее в основе метода сейсмической жесткости (МСЖ) неверно. С учетом влияния соотношений грунтового массива с нижележащим жестким полупространством в ряде последующих работ было показано, что максимальные различия за счет сейсмической жесткости не превышают 1,2 балла вместо значений около 3 баллов, как это предполагалось в МСЖ ранее. Наконец, в ряде статей было доказано, что вклад резонансных эффектов оценивается величиной 1,6 балла вместо прежде предполагаемых 3 баллов. В результате модернизации суммарная интенсивность сейсмических колебаний снизилась по меньшей мере на 4 балла сравнительно со старой привычной версией МСЖ. А ведь каждый балл в сейсмостойком строительстве это огромные деньги, которые могут быть с успехом потрачены на строительство важных объектов!

Описанные особенности СМР нашли воплощение в документах [2] и [3]. В своей идейной основе эти документы соответствовали установкам американских норм [4] или Еврокода 8 [5], отличаясь от них в некоторых существенных деталях. 1). Основной величиной, определяющей сейсмические свойства грунта была принята сейсмическая жесткость вместо скорости поперечных волн. 2) Было дано более гибкое определение мощности активной зоны. Вместо фиксированного значения 30 м, активная зона была определена "мощностью до границы с $R > 2000 \text{ тм}^{-2}\text{с}^{-1}$ в случае ее наличия в верхней 30-метровой толще разреза". 3) Вместо ступенчатой градации грунтовых категорий, была предложена непрерывная зависимость грунтовых коэффициентов от сейсмической жесткости грунта. Этим были устранены скачки значений грунтовых коэффициентов на границах грунтовых категорий.

4) Была предложена гибридная система СМР, сочетающая как баллы, так и инструментальные характеристики. 5) За референтные грунты было предложено брать более жесткие грунты с сейсмической жесткостью не менее $2000 \text{ тм}^{-2}\text{с}^{-1}$.

Рассмотрим еще один аспект, по которому исследования сейсмологов пересекаются с потребностями сейсмостойкого строительства. Речь идет о расчетных сейсмических нагрузках. В российских нормах сейсмические нагрузки контролируются двумя параметрами: коэффициентом сейсмичности A и коэффициентом динамичности β . Спектры реакции есть произведение этих коэффициентов. Максимальные различия за счет грунтовых особенностей представлены рисунком 3.

Рисунок 3. Российские нормативные спектры реакции.

В США исходный спектр реакции один и тот же для всей страны, несмотря на региональные различия: в сейсмичности запада этой страны преобладают очаги субдукционного типа, а для востока — характерны коровые землетрясения. Грунтовые особенности в нормах США учитываются поправками к значениям спектров реакции, как это показано на рисунке 4.

Рисунок 4. Спектры реакции США с учетом грунтовых поправок

Если сравнить различия нагрузок за счет грунтовых особенностей, то имеем для России оценку в 4 раза, а для США - чуть больше 3. Хотя в этом отношении различия не столь значительны, но само их наличие требует более глубокого рассмотрения, выходящего за рамки этих тезисов.

Сообщение завершается важнейшими критическими замечаниями, обращенными в адрес "средней модели грунтовой толщи", на которой зиждется здание современного СМР во всем мире: как у нас, как у казахов [6], так и у американцев и их адептов в Европе и Азии. Средняя модель не учитывает внутренней *структуры* грунтового массива, которая определяется как свойствами слоев, входящих в состав грунтового массива, так и порядком их расположения. От структуры грунтового массива зависят амплитудные и спектральные свойства сейсмических колебаний, проходящих через грунтовой массив. Эти общие соображения поясняются рисунками 5, 6 и 7.

Рисунок 5. Грунтовой профиль и спектр реакции "постоянной" модели

Рисунок 6. Грунтовый профиль и спектр реакции "растущей" модели

Рисунок 7. Грунтовый профиль и спектр реакции "случайной" модели

На этих рисунках изображен слева грунтовый профиль в виде зависимости сейсмической жесткости от глубины от дневной поверхности, а справа соответствующий спектр реакции. Заметим, что средние сейсмические параметры среды для всех трех моделей одни и те же, т.е. все три модели относятся к одной и той же грунтовой категории С по классификации *NEHRP*, средняя скорость 30-метровой толщи для всех трех моделей 500 м/с. Следовательно, согласно нормам *NEHRP-2003*, значения грунтовых поправок и

расчетные значения ускорений должны быть одинаковыми. Но значения ускорений на нулевом периоде и в максимуме для разных моделей разные, и соотношение значений в максимуме (SR_{max}) и на нулевом периоде (PGA) тоже разное, как показано в таблице 1, что не соответствует классификации *NEHRP*.

Таблица 1

Модель	PGA, g	SR_{max}, g	SR_{max}/PGA	<i>NEHRP</i>
Постоянная	0,06	0,19	3,2	2,5
Растущая	0,17	0,37	2,2	2,5
Случайная	0,11	0,20	1,8	2,5

Стало быть, классификация *NEHRP* не отражает реальной ситуации [7]. Разработка способов учета этих особенностей строения грунтового массива является предметом дальнейших исследований.

Таково настоящее состояние и перспективы развития различных ветвей сейсмологической части инженерной сейсмологии. Успешное развитие ее видится в теснейших контактах ученых в области сейсмологии и сейсмостойкого строительства.

Литература

1. СП 14.13330. 2018. Строительство в сейсмических районах. М., 2018
2. СП 283.1325800.2016. Объекты строительные повышенной ответственности. Правила сейсмического микрорайонирования. М., Минстрой России. 2016
3. СП 408. 1325800. Свод правил. Детальное сейсмическое районирование и сейсмомикрорайонирование для территориального планирования. М., Минстрой России. 2018.
4. Building Seismic Safety Council (1997) National earthquake hazard reduction program (NEHRP) recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures. Part 1: Provisions (FEMA 302). Building Seismic Safety Council, Washington. DC.
5. European Committee for Standardization. (2003). Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions, and rules for buildings, EN 1998-1:2003, Brussels, 229 p.
6. Рекомендации по определению сейсмических нагрузок, соответствующих инженерно-геологическим и сейсмологическим условиям Республики Казахстан. КазНИИССА. Алматы. 2011.
7. Aleshin A.S. On the Disadvantages of the NEHRP Soil Classification//Open Journal of Earthquake Research, 2021, 10, 1-15.