

Заявление о Позиции по оценке сейсмической опасности и проектной нагрузке для общественной безопасности

**Международная организация по сейсмической безопасности (ISSO)
6 августа 2012**

Резюме

В связи с опустошительными разрушениями, вызываемыми крупными землетрясениями и связанными с ними явлениями, примерами которых могут служить Суматранское землетрясение и цунами 2004 года, Вэньчуаньское землетрясение 2008 года в Китае, землетрясение 2010 года на Гаити, и землетрясение и цунами 2011 года в Тохоку, Япония, необходимо, чтобы проектирование и строительство сооружений предусматривало способность конструкций выстоять при достоверно известных сильнейших землетрясениях – МСЕ (Maximum Credible Earthquakes), которые включают или превосходят такие события в прошлом; а население должно быть осведомленно о возможности таких событий, чтобы быть заранее обученным и готовым к ним. Эти наиболее опасные и разрушительные события могут произойти в любое время, независимо от их редкости и большой продолжительности их периодов повторяемости. По этой причине, оценки опасности землетрясений для определения сейсмической нагрузки на сооружения должны учитывать МСЕ. Стратегия управления в чрезвычайных ситуациях должна принимать во внимание сценарии возможных МСЕ.

Традиционный детерминистский анализ сейсмической опасности DSHA (Deterministic Seismic Hazard Analysis) с помощью МСЕ был успешно использован для определения достоверных сейсмических нагрузок сооружений в Калифорнии с начала 1970-х годов до настоящего времени, а его расширенная модификация, недетерминистский анализ сейсмической опасности (NDSHA), опубликованный в 2001 году в Италии, оказалась надежной при сравнении с фактическими данными недавних землетрясений мая 2012 года в Северной Италии. По этой причине, DSHA или NDSHA следует использовать для стратегии гражданской безопасности и определения расчетных нагрузок.

Ныне действующий подход на основе вероятностного анализа сейсмической опасности PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Analysis) является неприемлемым для государственной политики безопасности и определения расчетных нагрузок на сооружения по следующим причинам:

- (1) Многие недавние разрушительные землетрясения превысили уровни оценки сотрясаемости грунта, основанные на PSHA и указанные на современной глобальной карте сейсмического риска. В этих случаях сейсмическая опасность недооценена.
- (2) Напротив, хорошо известно, что оценки сотрясаемости грунта, основанные на высшем уровне использования PSHA для строительства ядерных объектов (например,

мест в Юкка-Маунтин, США и по проекту PEGASOS в Европе) нереально высокие. В этих случаях сейсмическая опасность переоценена.

(3) Несколько недавних публикаций выявили фундаментальные дефекты PSHA (например, некорректное использование математического аппарата и ошибочные предположения) и показали, что его результат является всего лишь плодом вычислений, не относящихся к физической реальности. То есть, сейсмическая опасность оценивается неправильно.

Вышеуказанные пункты являются внутренне присущими PSHA проблемами и указывают на то, что результат является ненадежным, противоречивым и не имеющим физического смысла. DSHA дает реалистичные, непротиворечивые и осмысленные результаты, подтвержденные продолжительной практикой его применения, и поэтому важно, чтобы DSHA и усовершенствованный NDSHA были приняты к использованию для государственной политики безопасности и для определения расчетных нагрузок на сооружения.

Очаги землетрясений, которые наиболее сильно воздействуют на место, должны быть использованы при проектировании стратегических и общественных зданий, а также ответственных сооружений. Очаги землетрясений, которые наиболее сильно воздействуют на регион должны быть использованы при урегулировании чрезвычайных ситуаций в этом регионе. Такие соображения могли бы понизить риск больших опустошительных разрушений и человеческих жертв от землетрясений в будущем, и должны быть использованы во всех критических случаях для обеспечения безопасности населения.

Критические случаи непременно включают ситуации, когда последствия ошибочных действий (т.е. риски) являются слишком дорогостоящими и недопустимыми, как показано ниже на некоторых недавних примерах.

Оценка и передача информации об опасностях и рисках

Уровень риска непосредственно связан с тяжестью опасного события, когда все другие факторы фиксированы. Опасный случай, основанный на реалистичном сценарии землетрясения, такого как MCE, автоматически учитывает многоуровневый каскад всех потенциальных опасностей, и его использование обеспечивает общественную безопасность и целостность конструкций.

Определение величины MCE не зависит от времени и стационарно, а оценки являются робастными и надежными, что продемонстрировано в ходе непрерывного использования в Калифорнии с начала 1970-х годов до настоящего времени. Это предпочтительнее, чем PSHA, для определения сейсмической нагрузки конструкции, поскольку не зависит от периодов повторяемости; методика применима для любого проектного, экономического или полезного срока службы конструкций.

Заметим, что когда происходит землетрясение известной силы, оно вызывает определенное сотрясение грунта, опасность которого не зависит от того является ли событие редким или нет. Таким образом, параметры опасности подвижек грунта для снижения риска должны определяться не частотой или спорадическим характером (неравномерность, аperiodичность и т.д.) возникновения землетрясений, а с помощью реалистичных сценариев землетрясений масштаба МСЕ на основе анализа истории землетрясений, мест их возможного возникновения и сейсмогенных разломов, выявленных в ходе морфоструктурного анализа.

Локальные опасности, порожденные сотрясениями от очагов землетрясений, являются дискретными и могут быть *сопоставлены*, чтобы определить контролирующие очаги. По этой причине, сопоставление (а не сложение) сейсмической опасности из очагов должно быть использовано при определении основных очагов для прикладных расчетов.

Анализ сейсмической опасности должен быть прозрачным, легко поддающимся проверке и не слишком сложным. Это важно не только для аналитиков, но и для эффективной передачи информации об опасности пользователям и заинтересованным сторонам. Результат должен быть использован на основе профессиональной оценки.

Когда научное знание не дает убедительных выводов, например, при определении текущих событий как предваряющих или нет ожидаемый основной толчок, оценка опасности *всегда* должна быть на стороне наихудшего сценария как предосторожность для обеспечения безопасности населения - обязательное условие, не подлежащее обсуждению в аспектах антропоцентрической и стоимостной выгод.

Последствия многих смертей гораздо дороже, чем цена предупреждения и подготовки к *основному* толчку, даже если он не произойдет. Такой случай произошел, когда итальянская Комиссия по Большим Рискам (Commissione Grandi Rischi, CGR) ошиблась, не советуя населению в апреле 2009 года проявлять бдительность и быть готовым к землетрясению в Аквиле, в силу чего многие погибли в результате землетрясения средней силы.

Поэтому, действующее правило при информировании населения должно состоять не в вызове тревоги, а в предупреждении и подготовке к возможному крупнейшему землетрясению. Использование аргумента о длинном периоде повторяемости или редкости "*невероятного*" землетрясения приводит к ложному и неоправданному чувству безопасности; именно этот аргумент был использован CGR на своем заседании, предшествовавшем землетрясению в Аквиле в апреле 2009 года, что исключило возможность предотвращения его катастрофических последствий.

Было бы гораздо более целесообразно для общества платить скромную цену или претерпевать неудобства при подготовке к последствиям МСЕ, чем страдать от непоправимых потерь в результате игнорирования или недооценки потенциальных катастрофически опасных событий. Эта концепция является рациональной и приемлемой для цивилизованного общества, когда последствия просчета (т.е. риски) являются слишком дорогими и недопустимыми.

Информирование населения об оценках опасности и риска должно быть ясным и понятным для соответствующих действий. Это вполне возможно для оценок сейсмической опасности на основе DSHA или NDSHA, поскольку они легко понятны, прозрачны и физически интерпретируемы. Это проблематично для оценок на основе PSHA, потому что они абстрактны, являясь просто результатом вычислений, который не может иметь отношения к физической реальности.

Неудачи оповещения о чрезвычайных ситуациях неизбежны, но ситуация может быть улучшена на основе опыта и новых технологий.

Некоторые из последних примеров, демонстрирующих преимущества использования подхода DSHA или NDSHA

1. Землетрясение в Аквиле, Италия: 6 апреля 2009 г. (M6.3)

Обвинение итальянской Комиссии по Основным рискам (Commissione Grandi Rischi, CGR) в непреднамеренных смертях и больших разрушениях, вызванных лишь умеренным (магнитуды 6,3) землетрясением в Аквиле, было не в *«неспособности предсказывать землетрясения»*, как широко распространено некоторыми ведущими организациями, но в неверной передаче информации о сопутствующем риске и в недооценке опасности ожидаемого землетрясения. Хотя очень высокий уровень сейсмической опасности и риска в Аквиле были уже известны, CGR пришла к заключению, что более сильное землетрясение *«невероятно»*, не обращая внимания и даже приходя в прямое противоречие со своими научными знаниями и изменяя им.

Повторения такой ситуации являются неприемлемыми. Независимо от того насколько велик период повторяемости сильных землетрясений, всегда следует учитывать последствия от возможного сейсмического события, в частности, (а) от крупнейшего землетрясения, которое можно ожидать, (б) от самого сильного, которое может быть научно определено или (в), по крайней мере, масштаба сильнейшего, которое произошло в прошлом. Риски, связанные с такими событиями, должны быть доведены до общественности для надлежащего принятия во внимание.

Если бы существующие (с 2000 г.) оценки опасности, основанные на NDSHA с использованием величины MCE для очага землетрясения в Аквиле (в свете нашего понимания региональной геологии, исторической сейсмичности, и морфоструктурного анализа) были использованы, это могло бы помочь значительно снизить гуманитарное бедствие.

2. Землетрясение Тохоку, Япония: 11 марта 2011 г. (M9)

В результате последствий 14-метрового цунами, вызванного мега-взбросовым землетрясением в зоне субдукции, на АЭС в Фукусиме был нанесен впечатляющий ущерб.

Объект был спроектирован с расчетом на цунами в 5,2 метра от вероятного землетрясения магнитудой 8,5, вследствие чего был поврежден. Цунами с заплеском на высоту до 40 метров от этого и других исторических землетрясений вдоль побережья восточной части Японских островов были зарегистрированными фактами. Таким образом, вероятность или частота события, которая используется в настоящее время, неадекватно оценивает размер такого опасного источника и, соответственно, недооценивает риск. Использование наихудшего случая, который может быть научно оценен, должно было быть применено для проектирования атомной электростанции, чтобы избежать или уменьшить потенциальные катастрофические бедствия, которые и произошли на самом деле.

Если бы величина МСЕ порядка М9+ и ассоциированные с ним цунами были заблаговременно использованы при проектировании вышеуказанной АЭС, то это, несомненно, помогло бы значительно сократить ущерб, вызванный этим мегаземлетрясением. Для обеспечения общественной и экономической безопасности имеет смысл использовать для таких важных структур реалистичные и осторожные оценки сейсмической опасности на основе DSHA или NDSHA.

3. Землетрясение в Эмилии, Италия: 20 мая 2012 г. (M5.9)

Карта PSHA (на скальном основании), на которой основаны итальянские строительные нормы, относит эпицентральную область к третьей категории с пиковым ускорением грунта (PGA) $< 0.175g$. В противоположность, карта NDSHA (на скальном основании), опубликованная впервые в 2001 году, указывает на значение модельного PGA в диапазоне $[0,15g-0,30g]$, который сожержит и находится в хорошем согласии с фактически записанным значением $0,25 g$. Карта NDSHA как более совершенная и реалистичная может стать лучшей основой для разработки строительных норм и правил в Италии и других сейсмических районах мира.

Отметим, что несколько землетрясений магнитудой 5 и более, которые последовали 29 мая в том же районе были еще более губительными, чем толчок 20 мая, возможно, в результате ослабленного состояния поврежденных зданий, других дестабилизированных конструкций, времени суток, когда произошли эти афтершоки, и из-за различного гипоцентрального расположения.

Выводы

Для обеспечения общественной безопасности и проектирования конструкций, способных выдерживать будущие землетрясения, следует использовать оценки сейсмической опасности, полученные по МСЕ, что превосходит все другие события, и основанные на DSHA и NDSHA, как для стратегии управления в чрезвычайных ситуациях, так и для определения расчетных нагрузок. Детерминистский анализ сейсмической опасности (DSHA) прозрачен, надежен и имеет относительно продолжительную историю достоверной эффективности.

Есть веские причины для утверждения о том, что оценки на основе вероятностного анализа сейсмической опасности (PSHA) являются неприемлемыми как для определения государственной политики безопасности, так и для расчетов сейсмических нагрузок в проектировании.

PSHA дает противоречивые результаты и является просто плодом вычислений без учета физической реальности. Результаты DSHA и NDSHA последовательны и реалистичны.

DSHA и NDSHA прозрачны и могут быть доведены до сведения общественности в ясной и понятной форме, в то время как PSHA сложны, абстрактны, не очевидны, и их трудно объяснить общественности.

NDSHA демонстрирует свою надежность и превосходство над PSHA в случае недавних землетрясений в Северной Италии в мае 2012 года, и может стать лучшей основой для разработки строительных норм и правил в Италии и других сейсмических районах мира.

Неудачи оповещения о чрезвычайных ситуациях неизбежны, но ситуация может быть улучшена на основе опыта и новых технологий.

За Международную организацию сейсмической безопасности (ISSO) подписи поставили (в алфавитном порядке, с избранными сведениями и странами):

Бенедетто Де Виво (Benedetto De Vivo, Professor of Geochemistry, Dept. of Earth Sciences, University of Naples Federico II, ITALY; Adjunct Professor, Department of Geosciences, Virginia Polytechnic Institute & State University, Blacksburg, Virginia, USA; Chief Editor of Journal of Geochemical Exploration; Associate Editor of Mineralogy and Petrology; Fellow of the Mineralogical Society of America; Southern Europe Councillor of the Association of Applied Geochemists)

Индраджит К. Жош (Indrajit K. Ghosh, Structural Design Engineer, USA)

Аллен В. Хазевэй (Allen W. Hatheway, International Consultant on Geological Site-Risk Engineering; Professor of Geological Engineering (retired), Missouri University of Science & Technology, Rolla, USA)

Йенс-Уве Клюгель (Dr.-Ing. Jens-Uwe Klügel, Member, Seismological Society of America; Nuclear Engineer & Risk Analyst, Frick, SWITZERLAND)

Владимир Г. Кособоков (Vladimir G. Kossobokov, Vice President, International Union of Geodesy and Geophysics Commission on Geophysical Risk and Sustainability, Chief Scientist and Professor, Institute of Earthquake Prediction Theory and Mathematical Geophysics, Russian Academy of Sciences, Moscow, RUSSIAN FEDERATION; Institut de Physique du Globe de Paris, FRANCE)

Элис Л. Криницкий (Ellis L. Krinitzsky, Senior Research Scientist, Geosciences, Emeritus, Engineer Research and Development Center, US Army Corps of Engineers, Vicksburg, Mississippi, USA)

Ефраим Лаор (Dr. Efraim Laor, Founder & Senior Lecturer, Masters' & Ph.D. Program in Confronting Large-Scale-Sudden-Disasters, University of Haifa; Former Chairperson, Govt. of Israel Steering Committee for Disaster Reduction, Jerusalem; Chairman, Fast Israeli Rescue & Search Team, F.I.R.S.T., ISRAEL; Team Member, United Nations Disaster Assessment and Coordination (UNDAC) and Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA), Field Coordination Support Section (FCSS), Geneva, SWITZERLAND)

Алессандро Мартелли (Alessandro Martelli, Director, Bologna Research Centre of Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development (ENEA), Bologna; Coordinator, promotion, transfer and technological development activities, Northern Italian ENEA Centres, Bologna; President, Isolation and Other Anti-Seismic Design Strategies (GLIS); Founding President and present Vice-President, ASSISI; Professor, PhD School on Civil Engineering, Environment and Territory, Building and in Chemistry, Polytechnic of Bari; ITALY)

Лаллиана Муалчин (Lalliana Mualchin, Chief Seismologist (retired), California Dept. of Transportation, USA; Former Visiting Professor, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, JAPAN)

Джулиано Панца (Giuliano Panza, Beno Gutenberg Medalist of the European Geophysical Society; Professor of Seismology & Head of Structure and Non-Linear Dynamics of the Earth Group, University of Trieste & The Abdus Salam International Centre of Theoretical Physics; Linceo Prize, Accademia Nazionale dei Lincei; ITALY; Honorary professor Institut of Geophysics China Earthquake Administration, Beijing, CHINA; Project Leader, Several International Lithosphere Program (ILP), United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO)-International Union of Geological Sciences (IUGS)-International Geoscience Programme (IGCP), North Atlantic Treaty Organization (NATO), Italian Ministry of Foreign Affairs (MAE) and European Union (EU) projects dealing with seismic hazard assessment and geodynamics)

Антонелла Пересан (Antonella Peresan, Research Scientist, Dept. Geosciences and Structure and Non-Linear Dynamics of the Earth Group, University of Trieste & The Abdus Salam International Centre of Theoretical Physics, ITALY)

Марк Р. Петерсен (Mark R. Petersen, Consulting Geotechnical Engineer and Engineering Geologist, USA)

Франческо Стоппа (Francesco Stoppa, Director, Geological Risk Mitigation School (SISMA) and Full Professor of Geochemistry and Volcanology, Earth Science Dept., Gabriele d'Annunzio University, Chieti, ITALY)

Августин Удиас (Augustin Udias, Professor Emeritus, Department of Geophysics and Meteorology, Universidad Complutense, Madrid, SPAIN)