

## Новости

## 4 News

## Конференции, совещания, симпозиумы

## Conferences, Meetings, Symposia

**Бубис А.А., Смирнова Л.Н.**

XIII Российская национальная конференция по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию (с международным участием)

**Bubis A.A., Smirnova L.N.**

XIII Russian National Conference on Earthquake Engineering and Seismic Zoning (with International Participation)

16 Международная конференция по сейсмоизоляции, рассеиванию энергии и регулированию динамических характеристик сооружений

16th World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Regulation of Dynamic Characteristics of Structures

**Решение**

XIII Российской национальной конференции по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию (с международным участием)

**Decision**

of the XIII Russian National Conference on Earthquake Engineering and Seismic Zoning (with International Participation)

## Сейсмозащита и сейсмоизоляция зданий и сооружений

## Seismic Protection and Seismic Isolation of Buildings and Structures

**Аджемян А., Бензони Д., Ломиенто Д.**

Экспериментальная модель подшипников скольжения с двойной кривизной поверхности скольжения

**Adzhemyan A., Benzoni G., Lomiento G.**

Experimental Model for Double Concave Sliding Bearings

**Уиттакер Д.**

Последние разработки по сейсмоизоляции, рассеиванию энергии и вибрационному контролю конструкций в Новой Зеландии (2019)

**Whittaker D.**

Recent Developments in New Zealand in Seismic Isolation, Energy Dissipation and Vibration Control of Structures (2019)

**Фенг Д., Лю В., Мияма Т.**

Система сертификации сейсмоизолирующих устройств в Японии

**Feng D., Liu W., Miyama T.**

Certification System of Seismic Isolation Devices in Japan

**Хубер П., Бреслер М.**

Система сейсмоизоляционной защиты для 1081-местной городской больницы г. Эскишехира в Турции

**Huber P., Bresler M.**

Seismic Isolation Protection System for the 1081-bed Eskişehir City Hospital in Turkey

## Сейсмическое районирование

## Seismic Zoning

**Еманов А.Ф., Еманов А.А.**

Сейсмический мониторинг техногенного воздействия на территорию Западной Сибири

**Emanov A.F., Emanov A.A.**

Seismic Monitoring of Technogenic Impact on the Territory of Western Siberia

## Теоретические и экспериментальные исследования

## Theoretical and Experimental Studies

**Тяпин А.Г.**

«Опасные направления сейсмического воздействия» и суммирование реакций по близким формам в линейно-спектральных расчетах

**Tyapin A.G.**

"Dangerous Directions of Seismic Excitation" and Combination of the Close Modal Responses in Linear Spectral Analysis

**Травин С.М.**

Учет динамических свойств грунта при расчете свайных фундаментов объектов использования атомной энергии при сейсмических воздействиях

**Travin S.M.**

Taking into Account the Dynamic Properties of the Soil when Calculating the Pile Foundations of Nuclear Facilities under Seismic Effects

**Спецвыпуск по материалам конференций****Special Issue on Conferences Materials**

## 27 июня, г. Тулун, Иркутская область



### Хроника катастрофы

Наводнение в городе Тулуне обернулось страшной катастрофой. Она унесла сотни жилых домов и пока еще точно не подсчитано, сколько человеческих жизней, в зоне затопления пострадала транспортная инфраструктура, погиб домашний скот и животные, а также зреющий урожай.

**27 июня** в 11 часов 07 минут поступила первая информация о превышении критической отметки на 23 сантиметра уровня воды в реке Ия. Уровень составил 723 сантиметра. Синоптики Иркутской области прогнозируют, что уровень реки Ия в Тулунском районе может подняться до критической отметки. «При повышении уровня воды свыше 750 см в зону возможного подтопления могут попасть жилые дома, дороги, пониженные участки местности в районе реки Ия в Тулунском районе», – сообщалось пресс-службой Главного управления МЧС России по Иркутской области. В 15.00 часов был объявлен режим чрезвычайной ситуации. Вода прибывала в среднем по 10 сантиметров каждые два часа.

**28 июня, 14.00.** Уровень воды составил 880 сантиметров. Затоплена часть улицы Литейной, произошел прорыв дамбы. В районе ЛДК вода подошла к первым этажам многоэтажек. В 17.00 было принято решение об эвакуации жителей. Вода продолжала прибывать еще быстрее. К 18 часам уровень достиг отметки в 946 сантиметров при критической в 700. Вода прибывала каждый час на 30-40 сантиметров, дамбу продолжало размывать, поток воды стремительно заполнял улицы. Под воду ушел частный сектор микрорайона Гидролизный. Принято решение о перекрытии автомобильного движения по мосту. Затоплены объездная дорога, улицы Юбилейная, районы Мясокомбината и ЛДК продолжали тонуть. Вода подошла к федеральной трассе М-53. К 20 часам, по информации администрации Тулуна, уровень воды составил 1045 сантиметров, к 21 часу – 1125 сантиметров. Официально объявлено о перекрытии федеральной трассы. Поток воды уносил дома, продолжалась эвакуация жителей в отдельных районах.

**29 июня.** По информации администрации города Тулуна, с затопленных территорий было вывезено 252 человека. Вода продолжала прибывать, уровень воды достиг 1185 сантиметров. Центр города оказался в зоне затопления. В пунктах временного пребывания размещено 72 человека. Продолжали поступать сообщения с просьбой об эвакуации. Спасатели МЧС на лодках и вертолете спасали людей, снимали их с крыш и эвакуировали с крыш пятиэтажек. В 02.00 часа уровень воды составил 1239 сантиметров, в 04.00 – 1292

сантиметра, в 06.00 – 1332 сантиметра. Вода продолжала прибывать. Затоплен центр города, включая районную и городскую администрации. 08.00 часов – уровень воды 1357 сантиметров. 12.00 часов – уровень воды 1383 сантиметра (превышение критической отметки почти в два раза). Река Ия продолжала прибывать, но уже не так интенсивно. 16.00 часов – поступили первые сообщения о снижении уровня воды. В пунктах временного пребывания размещено 835 пострадавших. 18.00 часов – уровень воды 1377 сантиметров. В ночь с 29 на 30 июня Президент Российской Федерации Владимир Путин прилетел в Братск, где провел совещание, посвященное чрезвычайной ситуации с наводнением в Иркутской области. Глава государства поставил ряд задач по разрешению ситуации с дождевыми паводками в регионе. В совещании приняли участие полномочный представитель президента Российской Федерации Сергей Меняйло, первый заместитель председателя правительства Российской Федерации Антон Силуанов, руководители ключевых федеральных министерств, губернатор Иркутской области Сергей Левченко, мэры пострадавших территорий.

Также президент РФ Владимир Путин поручил доложить ему о помощи пострадавшим от наводнения в Иркутской области до 3 июля. Глава государства утвердил поручение об оперативном оказании помощи гражданам, пострадавшим от паводка. Поручения даны губернатору Иркутской области Сергею Левченко, полпредам президента в Дальневосточном и Сибирском федеральных округах Юрию Трутневу и Сергею Меняйло, главе МЧС Евгению Зиничеву и председателю правительства России Дмитрию Медведеву.

1 июля был составлен список пострадавших от наводнения в Тулуне, в него вошли 1500 человек. Официальная информация о жертвах паводка постоянно корректируется в сторону увеличения.

<https://tulun.life/navodnenie-v-tulune-hronologiya-katastrofy/>

## 11 июля, Халкидики, Греция



В Греции в начале июля стояла 40-градусная жара, местами до 42 градусов. Синоптики ранее предупреждали, что в ряде районов пройдут сильные дожди, грозы, шквалистые ветры силой до 10 баллов по шкале Бофорта. Однако, на полуостров Халкидики мощный ураган обрушился внезапно. Очень быстро образовался сильный ветер. Многие туристы, находящиеся на пляже, не успели сообразить, что происходит, солнечный свет внезапно погас, на пляже стало темно, люди в панике убежали с берега. По словам очевидцев, ураган

в Греции длился 20 минут. К урагану добавился ливень, в результате чего образовался шторм. Стихия срывала крыши зданий, подтапливала помещения и поднимала в воздух автомобили. Штормовой ветер сносил крыши домов и валил большие деревья. Во время урагана погибли шесть человек, в том числе двое россиян, пропал без вести рыбак, около 100 человек получили ранения. В районе была объявлена чрезвычайная ситуация.

<https://ria.ru/20190711/1556412332.html?in=t>

<http://www.pravda-tv.ru/2019/07/12/426892/uragan-v-gretsii-na-poluostrove-halkidiki-zakonchilsya-chelovecheskimi-zhertvami>

### 19 июля, Греция

Недалеко от Афин 19 июля 2019 года произошло землетрясение силой 5,3 балла. Землетрясение ощутили во многих домах: жители отмечали, что было ощущение, будто поднялся пол и стали двигаться стены. На потолках качались люстры. Эпицентр землетрясения зафиксирован в 23 км от Афин недалеко от Магулы. Очаг находился на глубине 12 км. Сейсмологи насчитали в целом 7 подземных толчков, и самый сильный из них составил 3,8 балла. Жители жаловались на перебои связи, проблемы с электроснабжением. Официальных данных о больших разрушениях нет. После землетрясения в Греции среди населения началась паника.

Вчера, 19 июля 2019 года, в Греции в Афинах после землетрясения местное население начало паниковать. Подземные толчки привели к тому, что начались проблемы с электричеством – у многих заведений пропал свет. Стационарные телефоны спасательных служб разрываются – люди звонят с просьбой о помощи, потому как застряли в лифте. Землетрясение было действительно ощутимым. По информации в СМИ, незначительные повреждения получила колокольня Пантанасса (пл. Монастираки, Афины).

<https://ria.ru/20190711/1556412332.html?in=t>

### 27 июля, Филиппины

Пять человек погибли, 12 человек получили ранения в результате двух землетрясений, произошедших 27 июля на Филиппинских островах.

По данным местных властей, на территории муниципалитета Итбят в провинции Батанес произошло землетрясение магнитудой 5,4. Очаг стихии находился на глубине примерно 9 километров.

Примерно через три часа в водах в районе муниципалитета Итбят произошло еще одно землетрясение магнитудой 5,9, очаг которого находился на глубине 10 километров. Угроза цунами после произошедших землетрясений не объявлялась.

<https://life.ru/t/новосту/1231926/>

[iz-za\\_dvukh\\_ziemlietriasienii\\_na\\_filippinakh\\_poghiblo\\_piat\\_cheloviek](http://iz-za_dvukh_ziemlietriasienii_na_filippinakh_poghiblo_piat_cheloviek)

### 1 августа, Новосибирск

Серия подземных толчков зафиксирована в Кемеровской области 30 и 31 июля, сообщает Алтае-Саянский филиал Единой Геофизической службы РАН.

По данным оперативной обработки Алтае-Саянского филиала эпицентр подземного толчка магнитудой 3,6, зафиксированного в 20:24 мск в среду (в 01:24 в четверг по местному времени), имел координаты 53.07 градуса северной широты и 87.72 градуса восточной долготы и находился в 37 км к северо-северо-западу от Таштагола. Интенсивность сотрясений в эпицентре по шкале MSK-64 не указана. Кроме того, в этом же районе было зафиксировано землетрясение магнитудой 2,6 в 20:17 мск в среду, магнитудой 2,2 – в 20:13 мск и магнитудой 3,5 – в 13:56 мск.

Как сообщалось, в среду в этом районе было зарегистрировано еще несколько подземных толчков, самый сильный, произошедший в 02:07 мск, имел магнитуду 3,6. По данным Алтае-Саянского филиала Геофизической службы РАН, сейсмичность в Кузбассе имеет техногенный характер и связана с интенсивными горными работами, для ее изучения необходимо расширить сеть сейсмостанций в регионе.

<http://www.interfax-russia.ru/Siberia/news>

[asp?sec=1671&id=1051895&utm\\_source=yxnews&utm\\_medium=desktop](http://www.interfax-russia.ru/Siberia/news.asp?sec=1671&id=1051895&utm_source=yxnews&utm_medium=desktop)

### 1 августа, Австралия



Подземные толчки магнитудой 5,6 по шкале Рихтера зафиксированы на севере Австралии, сообщает сейсмологическая сеть обсерватории Гонконга. Землетрясение произошло в 09:22 по местному времени (04:22 мск). Его эпицентр располагался в 450 километрах к северу от города Алис-Спрингс с населением более 28 тысяч человек. Информации о пострадавших и разрушениях не поступало.

<https://tass.ru/proisshestiya/6721485>

### 24 июля, Москва

**Решение Девятого Арбитражного апелляционного суда города Москвы, 24 июля 2019 года.**

Девятый Арбитражный апелляционный суд города Москвы, рассмотрев в открытом судебном заседании апелляционную жалобу Заболоцкой Елены Николаевны на решение Арбитражного суда города Москвы от 16 апреля 2019 года № А40-126361/17, постановил:

**Решение по делу № А40-126361/17 оставить без изменения, жалобу – без удовлетворения.**

Полный текст ПОСТАНОВЛЕНИЯ:

[http://kad.arbitr.ru/Document/Pdf/61abbfb-2108-4524-8073-c4ac38883ecd/eb0e1c51-2250-4b25-92fd-5b3b35fabe6e/A40-126361-2017\\_20190724\\_Postanovlenie\\_apellacionnoj\\_instancii.pdf?isAddStamp=True](http://kad.arbitr.ru/Document/Pdf/61abbfb-2108-4524-8073-c4ac38883ecd/eb0e1c51-2250-4b25-92fd-5b3b35fabe6e/A40-126361-2017_20190724_Postanovlenie_apellacionnoj_instancii.pdf?isAddStamp=True)

### 9 августа, Турция

В районе Бозкурт турецкой провинции Денизли произошло землетрясение магнитудой 6 баллов. На курортах страны паника, есть пострадавшие. Стихия ударила в провинции Денизли на юго-западе Турции. Землетрясение произошло в пятницу, восьмого августа. Местные СМИ сообщают о 27 пострадавших. Как сообщает сайт Управления по предотвращению и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций при правительстве Турции (AFAD), подземные толчки зафиксированы в 14:25 по местному времени восьмого августа.

Эпицентр землетрясения находился на расстоянии 1,74 километра от села Армуталани. Очаг подземных толчков залегал на глубине семи километров. Подземные толчки магнитудой 4,2 были зафиксированы в этом районе в 14:19 по местному времени. Мэр города Бозкурт Бирсен Челик отметил, что подземные толчки ощущались по меньшей мере 15-20 секунд. За это время пострадал ряд домов – в них обвалились крыши, на стенах образовались глубокие трещины.

<https://pronedra.ru/moshhnoe-zemletryasenie-potryaslo-turciyu-9-avgusta-2019-goda-402938-pid-vu.html>

### 20 августа, Иркутская область

В Иркутской области проводят работы на инженерных защитных и гидротехнических сооружениях.

По поручению вице-премьера РФ, руководителя правительственной комиссии по ликвидации ЧС Виталия Мутко в сводный план мероприятий по восстановлению жилья, объектов инженерной (включая коммунальную), социальной, транспортной инфраструктуры в районах Иркутской области, пострадавших в результате паводка включены работы на 35 гидротехнических сооружениях. Также в 2019-2020 гг. предстоит построить и капитально отремонтировать 25 объектов коммунального хозяйства, пострадавших в результате паводков в июне-июле этого года. Это объекты теплоснабжения, водоснабжения и водоотведения.

Речь идет о строительстве, реконструкции и капитальном ремонте инженерных защитных и гидротехнических сооружений, а также о первоочередных аварийно-спасательных и восстановительных мероприятиях по берегоукреплению и расчистке русел рек. Их необходимо провести в целях восстановления ущерба, причиненного паводком, а также для успешного прохождения предстоящих половодий.

В настоящее время практически все объекты жизнеобеспечения в зоне паводков, за исключением двух котельных, запущены в эксплуатацию в рамках аварийно-восстановительных работ, однако для их полноценного функционирования необходимо провести комплексные восстановительные работы.

В течение ближайшего времени предстоит отремонтировать и построить 9 объектов теплоснабжения, в том числе подлежит капитальному ремонту 6, а капитальному строительству – 3. Также предстоит восстановить

5 объектов водоснабжения, подлежат восстановлению 11 объектов водоотведения, в том числе капитальный ремонт необходим на 3 объектах, еще 8 предстоит построить. Часть восстановительных работ, связанных с ремонтом, по плану закончат в 2019 году, строительство ряда объектов должно завершиться к сентябрю-октябрю 2020 года. В числе объектов, которые необходимо построить и реконструировать – котельные, канализационные насосные станции (КНС), очистные сооружения.

<http://www.minstroyrf.ru/press/v-irkutskoy-provodyat-raboty-na-inzhenernykh-zashchitnykh-i-gidrotekhnicheskikh-sooruzheniyakh>

### 19 августа, Сочи

Сочи приходит в себя после мощного потопа. Залитые дома и подворья, бурлящие потоки на улицах. Известно об одном погибшем. Спасатели сообщили: уровень рек упал ниже опасных отметок. В тех районах, где вода сошла, начались восстановительные работы. Пострадавшие получают компенсацию. Уровень воды достигал окон жилых домов. К вечеру вода из Сочи стала постепенно уходить. Всего за сутки на город обрушилось две месячных нормы осадков. Такого количества не выдержали ни реки, ни стоки, и по улицам поплыло всё – от тяжелых контейнеров до автомобилей. Пока улицы были под водой, разрушения были не так заметны. После схода воды последствия стихии кажутся еще ужаснее. Только в Адлерском районе, где вода поднималась до полутора метров, подтопленными оказались порядка 400 подворий. Последствия затопления ликвидируют более 1700 сотрудников МЧС и других ведомств. На улицах пострадавших городов и поселков работает 440 единиц техники, для нуждающихся развернуты 8 пунктов временного размещения на тысячу человек. Из поселка Дагомыс, который оказался затоплен, сотрудники ОМОН на БТР вывезли 25 человек. Воду из пострадавших домов откачивают.

Эти работы обещают закончить в течение дня, одновременно восстановив снабжение водопроводной водой и электричеством. Всем пострадавшим власти уже пообещали единовременное пособие в размере 10 тысяч рублей. Если имущество уничтожено полностью, выплаты составят 100 тысяч рублей. Частично утратившие получают по 50 тысяч рублей.

К концу дня 19 августа удалось стабилизировать работу аэропорта Сочи и железнодорожного вокзала, хотя последний остается частично подтопленным. Пассажиров отправляли по временной схеме пригородными электропоездами до грузового парка станции Адлер, откуда поезда уходили по назначению. Что касается аэропорта, то вода отступила от места стоянки самолетов и перронов. Несмотря на сложности, пусть с ограничениями, но аэропорт отправлял и принимал воздушные суда.

Для ликвидации последствий власти Сочи объявили общегородской субботник.

[https://www.1tv.ru/news/2015-06-26/20037-v-sochi-ustranyayut-posledstviya\\_silneyshego\\_navodneniya](https://www.1tv.ru/news/2015-06-26/20037-v-sochi-ustranyayut-posledstviya_silneyshego_navodneniya)



**Бубис А.А.**  
Вице-президент РАСС, Москва, Российская Федерация

**Смирнова Л.Н.**  
кандидат технических наук, Ученый секретарь, АО «НИЦ «Строительство»,  
Москва, Российская Федерация

---

УДК 624, 624.042.7

## XIII Российская национальная конференция по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию (с международным участием)

## 16 Международная конференция по сейсмоизоляции, рассеиванию энергии и регулированию динамических характеристик сооружений

01-06 июля 2019 года в CITYTEL отеле «Санкт-Петербург» (г. Санкт-Петербург, Россия), из окон конференц-залов которого открывается изумительный вид на акваторию Невы, при поддержке Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации проходили мероприятия в рамках XIII Российской национальной конференции по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию (РНКС). Организаторами конференции традиционно выступили Российская Ассоциация по сейсмостойкому строительству и защите от природных и техногенных воздействий (РАСС), Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН), Российская инженерная академия (РИА), ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство».

---

Мероприятие призвано содействовать установлению контактов, обмену опытом, научно-технической и коммерческой информацией. В конференции приняли участие не только ученые строительной отрасли, но и сейсмологи, инженеры-проектировщики, строители, производители специальных антисейсмических устройств и систем сейсмозащиты, разработчики программного обеспечения для инженерных расчетов зданий и сооружений и представители органов исполнительной власти сейсмически опасных регионов Российской Федерации. Конференция всегда вызывает живой интерес у профессионального сообщества. Сейсмоопасные районы занимают

третью часть территории РФ, и хотя за последнюю четверть века на территории Российской Федерации к счастью не произошло ни одного разрушительного землетрясения, с каждым годом вероятность его возникновения возрастает. Об этом свидетельствуют прогнозы служб сейсморазведки и результаты мониторинга за сейсмической активностью. В связи с этим вопросы сейсмостойкого строительства уже многие десятилетия входят в число приоритетных направлений государственной деятельности. В XIII РНКС принимали участие не только российские специалисты. Всегда с удовольствием в данном мероприятии презентуют свои достижения и делятся опытом ученые из стран

ближнего зарубежья – Казахстана, Кыргызской Республики, Узбекистана, где также велика опасность возникновения землетрясений.

В этот раз местом проведения конференции была выбрана северная столица нашей родины, город белых ночей – Санкт-Петербург. Но изменения коснулись не только места проведения, но и установленного ранее формата мероприятия. Это было вызвано тем, что параллельно с XIII РНКСС проходила 16 Международная конференция по сейсмоизоляции, рассеиванию энергии и регулированию динамических характеристик сооружений, проводимая Международной Ассоциацией по сейсмоизоляции (*Anti-Seismic Systems International Society, ASSISi*) совместно с РАСС при поддержке Европейской Ассоциации по сейсмостойкому строительству (*European Association of Earthquake Engineering, EAEE*). Выбор России как места проведения конференции является признанием международным сообществом значительной роли российской науки, а также практических приложений в области сейсмоизоляции и других методов регулирования сейсмической реакции сооружений. Это решение было принято путем голосования членов Исполнительного комитета ASSISi.

В день открытия с приветственными словами к участникам конференций обратились президент ASSISi – Джанмарио Бенцони (*Benzoni Gianmario, USA*); президент РАСС, директор ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство» – Иван Иванович Ведяков; президент МИА и РИА, руководитель Центра исследований сейсмостойкости сооружений (ЦИСС) ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство» – Гусев Борис Владимирович. От лица членов международного научного комитета участников конференции поприветствовали Бубис А.А. и Костарев В.В. (Россия), Бегалиев У.Т. (Кыргызстан), Хакимов Ш.А. (Узбекистан), Кульбаев Б.Б. (Казахстан) и А. Каппос (*Kappos Andreas, Великобритания*). За шесть дней работы в конференции приняло участие около 250 человек – представителей 35 стран мира.

Наиболее многочисленные делегации специалистов и ученых в области сейсмоизоляции прибыли из Китая, Японии, Италии, Индии, Тайваня, и Турции. Инженеры-строители, геологи и сейсмологи, геотехники, молодые ученые и опытные исследователи представили научному сообществу и обсудили более 200 научных работ, отражающих прогресс достигнутый за последние несколько лет в области сейсмостойкого строительства и одного из его наиболее перспективно развивающихся направлений – сейсмоизоляции.

Пленарное заседание началось с минуты памяти российских специалистов, внесших огромный вклад в развитие сейсмоизоляции в России – Айзенберга Я.М., Смирнова В.И., Беляева В.С., Черепинского Ю.Д., Курзанова А.М.

В первый день работы конференции ведущими специалистами в вопросах сейсмоизоляции и сейсмостойкого строительства было сделано 15 пленарных докладов. Открыл пленарное заседание с докладом на тему «Новые подходы к решению проблемы материалов для сейсмоизоляции (*New Approaches to Solving the Problem of Materials for Seismic Insulation*)» президент РИА и МИА, руководитель ЦИСС ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко Гусев Б.В.

Второй день конференции также прошел в формате пленарного заседания. Кроме этого, во второй половине дня участ-

никам представилась уникальная возможность прослушать ключевые лекции специально приглашенных лекторов:

- профессора Дж. Бенцони (*Benzoni Gianmario, США*) «**Progress on Seismic Isolation and Energy Dissipation**» («Развитие сейсмоизоляции и систем рассеяния энергии»);
- профессора Р. Лагоса (*Lagos Rene, Чили*) «**Seismic Resilience in Concrete High-rise Building Design: the Chilean Perspective**» («Сейсмостойкость при проектировании высотных зданий из железобетона: Чилийская перспектива»);
- профессора А. Вада (*Wada Akira, Япония*) «**Recent Earthquakes and New Concepts for Earthquake-resistant Design**» («Недавние землетрясения и новые концепции сейсмостойкого строительства»);
- профессора А. Каппоса (*Andreas Kappos, Великобритания, Греция*) «**Performance-based Design of Seismically Isolated Bridges**» («Особенности проектирования сейсмоизолированных мостов»).

Далее, начиная с 3 июля 2019 г., работа XIII РНКСС проходила в рамках параллельно действующих секций по основным направлениям:

- Инженерная сейсмология, инженерно-геологические исследования и сейсмическое районирование территории;
- Инженерно-сейсмометрическая служба, вибродиагностика, мониторинг;
- Экспериментальные и численные исследования в области сейсмостойкости сооружений;
- Сейсмоизоляция и другие инновационные технологии сейсмозащиты;
- Реконструкция, сейсмоусиление и восстановление зданий и сооружений;
- Техническое регулирование и нормы проектирования.

Доклады 16 Международной конференции по сейсмоизоляции, рассеиванию энергии и регулированию динамических характеристик сооружений проходили в рамках отдельно выделенной секции.

Ряд презентаций вызвал бурные дискуссии, которые продолжались и во время технических перерывов. Примером такого доклада является презентация на секции «Design and application of seismic response control technique to buildings, bridges and other civil structures» на тему «The New Generation Earthquake Isolation – a Breakthrough in Performance» (докладчик – И. Эмри, Словения), подготовленная научным коллективом из представителей Словении, России и Тайваня.

Во время кофе-брейков у специалистов также была возможность пообщаться с докладчиками, представлявшими стендовые доклады (*poster-session*). В течение всего дня (03.07.2019 г.) проходило заседание международной рабочей группы специальной секции по сейсмоизоляции ISO – SPECIAL SESSION ISO WG-13 meeting.

В конце третьего рабочего дня для всех желающих по инициативе Костарева В.В. была организована техническая экскурсия на испытательный стенд ООО «ЦКТИ-Вибросейсм». Участникам конференций, посетившим испытательный полигон, продемонстрировали 3D (пространственную) систему сейсмоизоляции для ответственных сооружений, рассказали о методе подбора оптимальных параметров этой системы и методике проведения испытаний.

В день закрытия конференции был проведен целый ряд научных совещаний и дискуссий «за круглым столом». В рамках одного из таких совещаний были подведены итоги всех дней работы конференции. В ходе достаточно эмоциональной дискуссии был сделан целый ряд предложений о перспективах развития сейсмостойкого строительства в РФ, по пересмотру нормативных документов, проблемам, существующим в регионах и затрагивающим не только вопросы сейсмостойкого строительства, но и градостроительной деятельности, низкий уровень подготовки специалистов и многие другие. После детального анализа многие из внесенных предложений были учтены при подготовке решения XIII РНКСС. В то же время параллельно под председательством президента ASSISI Дж. Бенцони (*Benzoni Gianmarco, США*) проходило заседание Международной Ассоциации по сейсмоизоляции. От России в нем приняли участие – Белаш Т.А., Смирнова Л.Н. и Костарев В.В. Членами ASSISI единогласно была одобрена работа российских коллег по организации и проведению мероприятий в рамках 16 Международной конференции по сейсмоизоляции, рассеиванию энергии и регулированию динамических характеристик сооружений,

также был заслушан отчет президента Ассоциации. На заседании рассматривались условия включения в Ассоциацию новых членов и возможность издания научного журнала, в котором бы публиковались статьи по вопросам сейсмоизоляции. Решение о месте проведения следующей конференции будет определяться путем электронного голосования в конце 2019 года, а пока странам, которые подали конкурсные заявки на участие – Индия, Турция, Перу и Китай, предложено подготовить до 1 октября презентационные материалы и направить их в секретариат Ассоциации. Также члены Ассоциации были проинформированы об учреждении журнала, который планирует выпускать ASSISI – «Seismic Isolation and Protection Systems (SIAPS)». Несмотря на активную насыщенную работу в течение всех дней конференции участники смогли познакомиться с культурным и историческим наследием нашей родины, посмотреть разведение мостов и просто прогуляться по берегам Невы. Более подробно с программами конференций можно ознакомиться, пройдя по ссылкам <http://www.16wcsi.org/?q=node/1>, <http://13rncee.ru/?q=node/47>

**Bubis Alexander A., Vice-president RAEE, Moscow, Russian Federation**

**Smirnova Lyubov' N., Ph.Doc., Scientific secretary, JSC Research Center of Construction, Moscow, Russian Federation**

## XIII Russian National Conference on Earthquake Engineering and Seismic Zoning (with International Participation) 16<sup>th</sup> World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Regulation of Dynamic Characteristics of Structures

### РАЗМЕЩЕНИЕ РЕКЛАМНО-ИНФОРМАЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА СТРАНИЦАХ ЖУРНАЛА «СЕЙСМОСТОЙКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО. БЕЗОПАСНОСТЬ СООРУЖЕНИЙ»

#### Реклама на обложке журнала

Размер в мм (+ по 5 мм вылет) стоимость (в рублях)

2-я обложка	210x297	50 000
3-я обложка	210x297	40 000
4-я обложка	210x297	60 000
Первый разворот		75 000
Второй разворот		68 000

#### Горизонтальные модульные рекламные блоки на внутренних полосах журнала

1 полоса	210x297	25 000
1/2	210x145	15 000
1/3	210x98	8 000

#### Условия размещения

Предоплата – 100%. Рекламный макет и документ, подтверждающий оплату, предоставляются

не позднее 10 рабочих дней до даты сдачи номера в печать.

Иллюстративный материал необходимо предоставить в следующих форматах: рисунки – в EPS, AI, CDR;

фотографии – в TIF, JPG; таблицы, схемы, диаграммы – в Excel, Corel Draw; разрешение файлов – не менее 300 dpi.

Более подробную информацию можно найти на сайте [www.seismic-safety.ru](http://www.seismic-safety.ru)

Телефон: 8 (499) 174-70-65 e-mail: [info@raee.ru](mailto:info@raee.ru)

Для тематических номеров действуют специальные условия. При заказе тематического выпуска

Вы получаете 100 экз. журнала в подарок! Дополнительные экземпляры можно приобрести по 1 600 руб/экз.

#### Статья информационного характера

1 полоса	210x297	16 000
25 полос	210x297	160 000

#### Размещение баннера на сайте журнала (в течение двух месяцев)

88x31 пикс.	31x11	4 000
100x100 пикс.	35x35	4 500
468x60 пикс.	165x21	5 000

Расценки действительны с 1 января 2019 года, НДС не облагается.

СКИДКИ

Для рекламных агентств, членов РАСС – 15%.

За кратность: 2 публикации – 10%, 3 – 15%, 4 – 20%.

# **Российская инженерная академия объявляет конкурс им. первопечатника Ивана Федорова на лучшую научно-исследовательскую и научно-методическую работу**

Материалы на конкурс представляются в электронном виде опубликованные на русском языке в период с 2014 по 2019 годы, в соответствии с объявленной тематикой.

## **Конкурс проводится по следующим номинациям:**

1. Учебная литература.
2. Научно-практическая литература.
3. Издания учебно-справочные, информационные.

В конкурсе могут принять участие преподаватели российских и зарубежных вузов, специалисты и инженеры предприятий, организаций, НИИ, являющиеся авторами или соавторами монографий и учебных пособий и т.д.

**Сроки проведения конкурса:** с 10 апреля 2019 года – 1 октября 2019 года.

## **Тематика конкурса:**

Авиакосмическое.  
Водное хозяйство и гидротехника.  
Военно-технические проблемы.  
Геология, добыча и переработка полезных ископаемых.  
Железнодорожный транспорт.  
Инженерная биотехнология.  
Инженерная механика.  
Экология и ресурсосбережение.  
Информационная безопасность.  
Информационные системы, вычислительная и электронная техника, связь и телекоммуникации.  
Коммуникации (транспортные системы и др.).  
Лесотехнические технологии.  
Материаловедение и технология.  
Машиностроение (автомобильное, тракторное, строительное и дорожное).  
Машиностроение (тяжелое, энергетическое, транспортное и др.).  
Медико-технические проблемы.  
Металлургия.  
Новые технологические уклады.  
Нефтегазовые технологии.  
Правовое обеспечение инженерной деятельности.  
Проблемы инженерного образования.  
Системы управления, диагностика, приборостроение.  
Строительство.  
Судостроение.  
Технология легкой промышленности.  
Технология пищевой промышленности.  
Турбостроение.  
Химические технологии.  
Экономика и управление в инженерной деятельности.  
Энергетика, в том числе ядерная.

Официальная информация конкурса публикуется на сайте <http://fedorov-ria.ru>



# Решение

## XIII РОССИЙСКОЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ПО СЕЙСМОСТОЙКОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ И СЕЙСМИЧЕСКОМУ РАЙОНИРОВАНИЮ (С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ)

XIII Российская национальная конференция по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию (XIII РНКСС) проводилась с 01 по 06 июля 2019 года в городе Санкт-Петербурге, Россия (отель «Санкт-Петербург»)

### Цель конференции:

обмен научными достижениями и практическим опытом по различным аспектам обеспечения сейсмической безопасности в сейсмически активных зонах Российской Федерации.

### Организаторы конференции:

- Российская Ассоциация по сейсмостойкому строительству и защите от природных и техногенных воздействий (РАСС);
- Российская инженерная академия (РИА);
- ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»;
- Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН).

Конференция проводилась при поддержке Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации.

### Официальный язык конференции: русский

XIII РНКСС проводилась параллельно и совместно с 16 Международной конференцией по сейсмоизоляции, рассеиванию энергии и регулированию динамических характеристик сооружений (16WCSI), проводимой Anti-Seismic Systems International Society (ASSISI) и Российской Ассоциацией по сейсмостойкому строительству и защите от природных и техногенных воздействий (РАСС). Это предоставило российским ученым и специалистам по сейсмостойкому строительству уникальную возможность ознакомиться с докладами зарубежных экспертов и ученых в области сейсмоизоляции и сейсмостойкого строительства.

Для участия в мероприятии зарегистрировалось более 300 участников из 35 стран мира, в том числе ведущие зарубежные и отечественные ученые, молодые исследователи, специалисты-практики.

В работе XIII РНКСС приняли участие специалисты из различных регионов Российской Федерации – с Сахалина и Камчатки, Москвы, Новосибирска, Иркутска, Кемерово, Сочи, Симферополя, Санкт-Петербурга, Махачкалы, делегации из стран СНГ – Республики Кыргызстан, Республики Казахстан, Республики Узбекистан.

Пленарные заседания были общими для участников обеих конференций. Во время пленарных заседаний был обеспечен синхронный перевод. В ходе пленарных заседаний ведущими мировыми учеными в области сейсмоизоляции были прочитаны ключевые лекции:

- **Benzoni Gianmario**, Lomiento G., Montuori R.: «Progress on Seismic Isolation and Energy Dissipation»;
- **Lagos Rene**: «Seismic Resilience in Concrete High-rise Building Design: the Chilean Perspective»;
- **Wada Akira**: «Recent Earthquakes and New Concepts for Earthquake-resistant Design»;
- **Kappos Andreas**: «Performance-based Design of Seismically Isolated Bridges».

Также на пленарных заседаниях были представлены 28 докладов российских и зарубежных авторов.

Во время секционных заседаний XIII РНКСС с докладами выступили 34 участника конференции. Все представленные доклады вызвали живой отклик аудитории, по ряду презентаций возникли активные дискуссии.

В рамках работы конференций был проведен технический тур с посещением стенда ООО «ЦКТИ-Вибросейсм» по испытанию систем виброизоляции – CVS Inverse Seismic Isolation Systems Test Facility (SIST).

После окончания заседаний конференции был проведен «круглый стол», на котором были заданы вопросы членам научного и организационного комитетов, заслу-



шаны отчеты модераторов и предложения участников в Решение конференции.

Все мероприятия конференций прошли в полном соответствии с заявленным регламентом. Участники XIII РНКСС и 16WCSI высоко оценили научный и организационный уровень прошедших конференций.

На основании заслушанных пленарных и секционных докладов, предложений участников, обсуждений и выводов «круглого стола» принято

#### **Решение XIII Российской национальной конференции по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию**

1. Учесть в текущей деятельности организаторов конференции предложения участников конференции.
2. Провести в 2021 году XIV Российскую национальную конференцию по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию в г. Сочи, учитывая, что за 24 года своего существования данная конференция стала признанной площадкой по обмену научными достижениями и практическим опытом в различных аспектах обеспечения сейсмической безопасности для ученых и специалистов как России, так и зарубежных стран.
3. Организовать региональные семинары по сейсмостойкому строительству (по согласованию с руководством регионов) для углубления взаимодействия и обмена новейшей научно-технической информацией с региональными специалистами. Провести подобное мероприятие на о. Сахалин.
4. РАСС продолжить в соответствии с законодательством РФ издание журнала «Сейсмостойкое строительство.

Безопасность сооружений», который на регулярной основе освещает достижения науки в обеспечении безопасности зданий и сооружений при сейсмических и других воздействиях, публикует проекты новых нормативных документов по данным вопросам.

5. Продолжить и активизировать взаимодействие российских научных центров, РАСС с ведущими мировыми организациями в области сейсмостойкого строительства, а также – взаимодействие с региональными организациями и специалистами.
6. Предложить Министерству строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ активнее привлекать РАСС для разработки и контроля внедрения нормативных, справочных, методических документов, методик, регламентов. Участники конференции готовы выступить в качестве независимых экспертов актуализируемых и вновь разрабатываемых нормативов (СП, ГОСТ).
7. РАСС совместно с АО «НИЦ «Строительство» подготовить запросы в органы надзора и экспертизы с целью проверки и контроля методов расчета и подходов к проектированию зданий с кинематической системой сейсмоизоляции ввиду их потенциальной опасности при применении в зданиях средней и повышенной этажности без дополнительных мероприятий.
8. РАСС проработать вопрос о проведении обмена нормативными документами между организациями участниками конференции и членами РАСС.
9. РАСС проработать вопрос целесообразности создания региональных отделений РАСС.
10. Рекомендовать РАСС продолжить работу по пресечению противоправной деятельности в отношении руководства, руководителей и членов РАСС.



11. Разработать новый документ СП «Транспортное сооружение в сейсмических районах», учитывая при этом современные достижения науки и техники, а также достижения в области совершенствования и ревизии нормативных документов, которые были существенно переработаны во многих странах по всему миру после анализа разрушительных землетрясений, произошедших в последнее время. При этом следует принять во внимание пункт 8 главы 2 «Закона о техническом регулировании»: международные стандарты и (или) национальные стандарты могут использоваться полностью или частично в качестве основы для разработки проектов технических регламентов.
12. Отказаться от использования в качестве основного параметра колебаний значения максимального ускорения на среднем грунте (категория 2) и впредь использовать в этих целях максимальное ускорение на скальном грунте (категория 1).
13. Признать устаревшим термин «коэффициент динамичности» и использовать вместо него термин «нормированный спектр реакции» или «спектр ответов»; – отказаться от характеристики грунтов через частотно-независимый параметр «приращение балльности» и перейти к принципу спектральной характеристики грунтов.
14. Принимать соотношение вертикальной и горизонтальной сейсмической нагрузок не постоянным как в ныне действующих нормах, а переменным в зависимости от сейсмичности района размещения: чем выше сейсмичность района размещения, тем выше соотношение вертикальной и горизонтальной нагрузки. Считать целесообразным проведение исследований по вероятности совпадения максимумов вертикальной и горизонтальной сейсмической нагрузки в районах с сейсмичностью 7-9 баллов.
15. Определить степень снижения расчетной сейсмичности при применении систем сейсмоизоляции.
16. Расширять связи между сейсмологами и проектировщиками.
17. Усилить исследования по использованию энергетических характеристик воздействий.
18. Создать общие пути и принципы для общих норм по проектированию.
19. Проводить обмен нормативными документами между организациями.
20. Рекомендовать Министерству строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ рассмотреть возможность заложить финансирование (возможно, в виде гранта), дающее возможность приобретения трехкомпонентной сейсмоплатформы. Это даст возможность провести глубокие исследования в части применяемых и рекомендуемых к применению сейсмоизолирующих систем и изделий с фрагментами зданий в натуральную величину при ускорениях и амплитудах, превышающих максимальные расчетные. Результаты исследований позволят получить глубоко проанализированную национальную нормативную базу и рекомендации для сейсмоопасных районов РФ.
21. По результатам обсуждения докладов, посвященных применению сейсмоизоляции, рекомендовать РАСС, РААСН, АО «НИЦ «Строительство»:
  - провести теоретические и экспериментальные исследования применяемых в настоящее время систем сейсмоизоляции;
  - организовать в сейсмоопасных регионах РФ мониторинг поведения существующих зданий и сооружений с разными системами сейсмоизоляции при реальных землетрясениях;



- предусматривать в обязательном порядке в проектируемых зданиях и сооружениях с сейсмоизоляцией систему мониторинга для отслеживания поведения зданий при реальных землетрясениях;
- по результатам исследований оценить эффективность сейсмоизолирующих устройств и подготовить методические рекомендации по методам расчета и проектированию зданий с применяемыми в настоящее время и перспективными системами сейсмоизоляции.

22. Подготовить методические рекомендации по расчету конструкций зданий с помощью МКЭ по СП 14.13330.2018 на расчетное (РЗ) и контрольное землетрясение (КЗ) с примерами, в том числе и с применением сейсмоизоляции.

При выполнении расчёта на МРЗ/КЗ в линейной постановке не ясны критерии, в соответствии с которыми следует назначать или прогнозировать уровень деформирования или повреждения элементов, а соответственно и их жесткостные характеристики. Какие разрушения можно допустить при землетрясении уровня МРЗ(КЗ).

При расчёте на МРЗ/КЗ по теории предельного равновесия, либо другими методами, требующими статического приложения нагрузок, не в достаточной мере освещен вопрос перехода к статическим сейсмическим нагрузкам. Сейсмические нагрузки по пункту 5.5 СП 14.13330 определяются на основании кривой спектрального коэффициента динамичности. В то же время расчет на МРЗ/КЗ следует выполнять на акселерограммы. Суммирование максимумов сейсмических нагрузок по формам колебаний в ряде случаев может приводить к странным и ошибочным ре-

зультатам (к примеру, для крутильно-податливых в плане зданий, для зданий с нерегулярным расположением масс по высоте).

23. РАСС, РААСН, АО «НИЦ «Строительство» подготовить монографию с целью разъяснений норм проектирования по СП 14.13330.2018 с примерами расчетов и проектных решений, в том числе и с применением сейсмоизоляции (по типу, например, монографии Э.Н. Кодыша, Н.Н. Трекина, И.К. Никитина, К.Е. Соседова «Практические методы и примеры расчета железобетонных конструкций из тяжелого бетона по СП 63.13330»).

24. Расчёт на сейсмическую нагрузку, соответствующую уровню МРЗ/КЗ, для детских садов и школ необходимо упростить в связи с отсутствием в проектных организациях специалистов-расчётчиков соответствующего уровня (госконтрактами этот вопрос не урегулирован), а также недостаточно подробным описанием процедуры расчёта во временной области с применением инструментальных или синтезированных акселерограмм.

25. С учётом социальной значимости указанных объектов, во избежание занижения сейсмических нагрузок, рассмотреть возможность упростить расчёт введением простых и понятных коэффициентов, дать перечень объектов, для которых требуется выполнение расчётов с использованием прямого динамического метода.

26. Необходима разработка руководства по выполнению расчётов конструкций с описанием процедуры расчёта во временной области с применением инструментальных или синтезированных акселерограмм, в котором также указать необходимые данные для формирова-



ния корректного задания изыскателям с целью получения достоверных результатов расчётов. В указанном руководстве необходимо также описать (разъяснить): что такое пластические шарниры, как они возникают, какие условия облегчают развитие в элементах конструкций пластических деформаций, представить примерный перечень (или примеры) конструктивных решений, снижающих риск прогрессирующего обрушения сооружений.

27. Необходимо разработать нормативный документ, регулирующий состав отчёта по результатам выполнения расчётов конструкций.
28. Предлагаем дополнить СП 14.13330 конструктивными требованиями для зданий, проектирование и строительство которых предполагается в районах с сейсмичностью 6 баллов по шкале MSK-64, по аналогии с нормами Украины.
29. Необходима серьёзная переработка законодательства в плане применения экономически эффективной проектной документации повторного использования в районах с повышенной сейсмичностью. Выбор объектов для включения в перечень экономически эффективной ПД не должен происходить без проведения анализа проектной документации ведущими институтами (базовыми институтами Минстроя РФ) на предмет возможности повторного применения указанной проектной документации.
30. В нормах нет указаний о том, какие диаграммы деформирования материалов следует применять. В строительных нормах на проектирование железобетонных конструкций СП 63.13330 диаграммы

работы бетона соответствуют статическому приложению нагрузок.

31. Считаем, что следует чётко прописать требования по назначению граничных условий. Если делаем расчёт на жёстком основании, чётко это указать. Если на податливом, прописать особенности его учёта, как в нормах Казахстана.

Участники конференции считают необходимым выразить благодарность членам Научного и Организационного комитетов и лично:

А.А. Алешину, Д. Бензони (G.Benzoni), У.Т. Бегалиеву, Т.А. Белаш, М. Бреслеру (M. Bresler), И.И. Ведякову, А. Ваде (A. Wada), Б.В. Гусеву, И.Е. Ицкову, А. Каппосу (A.Kappos), В.В. Костареву, Б.Б. Кульбаеву, Р. Лагосу (R. Lagos), Т. Саито (T. Saito), А.Г. Тяпину, А.М. Уздину, Ш.А. Хакимову за обеспечение высокого научного уровня конференции и объективность дискуссий.

Участники конференции считают необходимым выразить благодарность коллективу специалистов РАСС и ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, обеспечивших организацию и проведение конференций на высоком уровне: Е.Ф. Будко, И.Р. Гизятуллину, И.А. Жаркову, В.Э. Кодышу, И.А. Коноховой, Н.Е. Почининой, О.А. Филатовой; волонтерам (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I) и переводчикам (ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена»).

Организаторы и участники конференции считают необходимым выразить благодарность компании SG-Tours за неоценимую помощь в организации конференций.



**Arsen Adzhemyan**  
Project engineer, Gannett Fleming, Los Angeles, USA

**Gianmario Benzoni**  
Research Scientist, Structural Engineering, University of California, San Diego, USA

**Giuseppe Lomiento**  
Asst. Professor, Civil Engineering, California State Polytechnic University, Pomona, USA

---

УДК 624.07

## Experimental Model for Double Concave Sliding Bearings

**Abstract:** This study deals with the modeling of sliding friction seismic isolation devices. Recent large-scale experimental tests confirmed the need for accurate models to account for the friction performance in the ranges of loads, velocity and displacement expected during a seismic excitation. An existing experimental model previously validated for single concave isolators is here extended to double concave sliding

isolators. Full-scale mono-directional tests on a set of double concave friction bearings in are used to validate and calibrate the model. The friction model includes three independent functions to account for the effects of applied vertical load, velocity, and cycling effects associated to heating. The applicability of the model to the double concave isolators is discussed, in comparison with earlier results of single concave isolators.

---

**Keywords:** seismic isolation, concave bearings, single double pendulum, friction pendulum, sliding isolation.

**Арсен Аджемян, инженер, Gannett Fleming, Лос-Анджелес, США**  
**Джанмарио Бензони, профессор Калифорнийского университета, Сан-Диего, США**  
**Джузеппе Ломиенто, доцент Политехнического университета штата Калифорния, Помона, США**

## Экспериментальная модель подшипников скольжения с двойной кривизной поверхности скольжения

**Аннотация:** Данное исследование посвящено моделированию сейсмоизолирующих устройств с трением скольжения. Недавние крупномасштабные экспериментальные исследования подтвердили потребность в точных моделях для возможности учета характеристик трения в диапазонах нагрузок, скоростей и смеще-

ний, ожидаемых при сейсмическом воздействии. Существующая экспериментальная модель, ранее проверенная для изоляторов с поверхностью скольжения изогнутой в одном направлении, здесь расширена до изоляторов с двойной кривизной поверхности скольжения. Полномасштабные однонаправленные испытания

набора подшипников трения с двойной кривизной внутри используются для апробации и подбора оптимальных геометрических характеристик модели. Модель трения включает в себя три независимые функции для учета влияния приложенной верти-

кальной нагрузки, скорости и циклических эффектов, связанных с нагревом. Обсуждается применимость модели изоляторов с двойной кривизной поверхности скольжения по сравнению с более ранними моделями скользящих подшипников.

**Ключевые слова:** сейсмоизоляция, вогнутые подшипники, одиночный двойной маятник, фрикционный маятник, скользящая изоляция.

## 1. Introduction

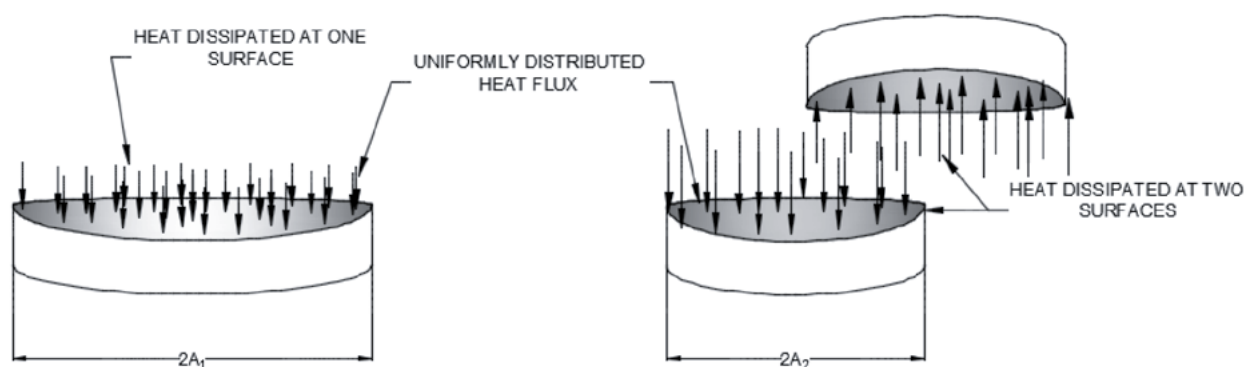
In recent decades, there has been an increase in the use of base isolators for seismic protection of critical structures throughout the world (Kelly 1994; Warn and Ryan 2012; Buckle 2000). Applications include Stravos Niarchos Foundation Cultural Center in Athens, the Louvre Museum in Abu Dhabi, Los Angeles City Hall, and a number of bridges with Japan and China leading in the number of seismically isolated structures. Succeeding the original model of a two-story frame structure (Zayas et al. 1987), a variety of experimental and numerical studies have been conducted to evaluate the performance of sliding isolators with a single sliding surface, or single concave isolators (Zayas et al. 1990; Chang et al. 1990; Mokha et al. 1991a; Tsopelas et al. 1996; Dolce et al. 2005; Matsagar and Jangid 2008). Later studies primarily focused on analyzing and improving the originally proposed simplified models (Bondonet and Filiatrault 1997; Almazán et al. 1998; Deb and Paul 2000; Almazan and De La Llera 2002; Mosqueda et al. 2004; Chang and Spencer 2010). Studies that analyzed sliders lined with fluoropolymers such as the PTFE also reported dependency of friction on contact pressure and sliding velocity (Constantinou et al. 1990; Chang et al. 1990). Benzoni et al. (2011) presented comparable dependency of friction coefficient on variations of the vertical loads and peak velocity when using single concave isolators with hydrocarbon high-strength polymer sliding surfaces. A model described by Lomiento et al. (2013) based on a large set of experimental data was able to evaluate the influence of several main effects on the coefficient of friction ( $\mu$ ). The model includes four main effects:

- “Breakaway effect”, i.e. the sudden increase of  $\mu$  at the beginning of each motion and at each direction reversal;
- “Load effect”, i.e. the reduction of  $\mu$  for increasing contact pressure;
- “Cycling effect”, i.e. the continued reduction of  $\mu$  with the fast repetition of cycles due to the increasing temperature of the sliding interface produced by frictional heating;

- “Velocity effect”, i.e. the gradual increase of  $\mu$  with the increasing sliding velocity.

Sliding isolators with two concave sliding surfaces, or double concave isolators, were later introduced and investigated by several authors (Fenz and Constantinou 2006; Tsai et al. 2008; Morgan and Mahin 2010; Lu, Wang, and Hsu 2006). When compared to single concave isolators, the double concave isolators provide larger displacement capacity for the same in-plane dimensions. The theoretical lateral force-displacement loop of a double concave isolator is equivalent to the one of a single concave sliding system with same coefficient of friction and an effective radius of curvature equal to the sum of the effective radii of the top and bottom sliding surfaces. However, it is important to note that the geometric and kinematic differences between the single and double sliding bearings significantly affect the variability of the coefficient of friction, mostly due to the velocity and cycling effects. As a consequence, a double concave isolator has a difference friction performance with respect to a theoretically equivalent single concave isolator, with the main differences arising from the following:

- 1) the sliding motion in a double concave isolator occurs simultaneously on two surfaces, so the sliding velocity at the contact interfaces is lower than the one in a single concave bearing (theoretically, for a same level of displacement and velocity of the isolators and assuming the exact same sliding velocity on both sliding surfaces, the sliding velocity of a double concave isolator is half the sliding velocity of its equivalent single concave isolator);
- 2) the sliding motion at each sliding surface of the double concave isolator generates less heat than the one of a single concave isolator going through the same lateral deformations. This is due to the velocity of the slider being lower and the travel path being shorter in comparison with an equivalent single concave device with same effective mechanical properties;



**Figure 1** — Heat flux comparison between single and double concave sliding systems

**Table 1** — Summary of prototype tests

Test #	Description	Disp (mm)	Freq (Hz)	Velocity (mm/s)	Vert Load (kN)	Cycles
1	Test #1	6	0.004	0.1	5643	1
2	Test #2	119	0.567	423	6800	3
3		238	0.283	423	6800	3
4		356	0.189	423	6800	3
5		460	0.146	423	6800	3
6		119	0.567	423	6800	3
7	Test #3	238	0.283	423	6800	3
8		356	0.189	423	6800	3
9		460	0.146	423	6800	3
10	Test #4	460	0.146	423	5125	1
11	Test #5	460	0.146	423	7356	1

**Table 2** — Geometry of tested isolators

Parameter	brg16	brg17	brg18	brg19	brg20	brg21	brg22
R (mm)	5000	5000	5000	5000	3400	3400	3400
a (mm)	323.1	423.4	323.1	423.4	518.7	423.9	328.4
A (mm)	802.4	974.4	802.4	974.4	1020.7	907.6	774.8

where  $R$  is an effective radius of curvature of the sliding surface,  $a$  is the in-plane radius of the slider, and  $A$  is an in-plane radius of the sliding surface

3) the average temperature rise of the sliding surfaces of a double concave isolator is higher than the temperature rise in a single concave isolator going through the same lateral deformations. This is because the heat is distributed on a smaller sliding surface, which could be as small as half in radius with respect to the single concave isolator in order to have the same displacement capacity.

The model presented in (Lomiento et al. 2013) shows that the coefficient of friction decreases due to the temperature rise of the sliding surfaces. This is accounted for by considering the cumulative heat flux, uniformly distributed over the sliding surface. The uniformly distributed heat flux for two theoretically equivalent single and double concave isolator is schematically shown in Figure 1. If the two isolators undergo the same deformations, the double concave isolator has a different uniformly distributed heat flux due to a different sliding velocity, travel path, and surface area that can cause different degradation rate of the coefficient of friction.

## 2. Objective

The purpose of this paper is to investigate the validity of a friction model originally proposed for single concave isolators to double concave isolators. Experimental data from large-scale test on double concave isolators are first used to verify the applicability of the model. A unified model capturing the

frictional performance of both single and double concave isolators is then proposed, based on the comparison between experimental evidence for such devices. The model can be used to capture the difference in performance of theoretically equivalent devices, by applying appropriate corrective factors to account for the effects of the different kinematics on the coefficient of friction.

## 3. Data processing and observed behavior

Experimental data from past mono-directional tests of a series of single concave isolators was available. Seven double concave isolators utilizing same sliding material as the previously analyzed single bearings were tested with various levels of displacement, isolator velocity and vertical load using the procedures of ASCE 7 (2010). Each double concave isolator test included two prototype isolators, to ensure consistent performance, and 10-12 identical test runs were performed on each prototype. Both single and double concave isolators utilized same sliding material, Table 1 presents a test summary of a single bearing with typical values of lateral displacement, frequency, isolator velocity, vertical load, and the number of cycles. The geometry of the tested devices is summarized in Table 2.

The raw data was provided by the experimental equipment. External sensors recorded the values of time, displacement,



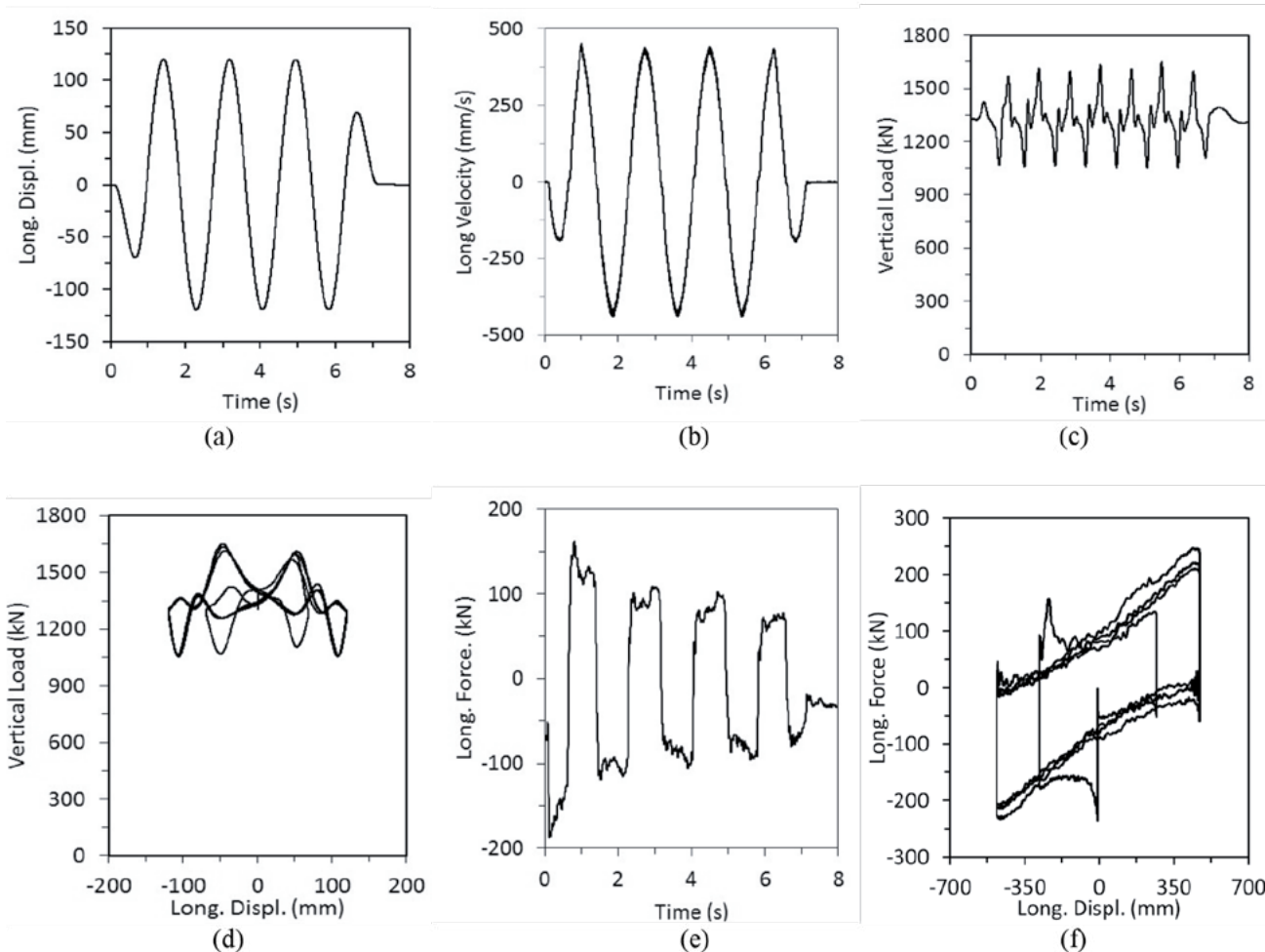


Figure 2 — Typical test data

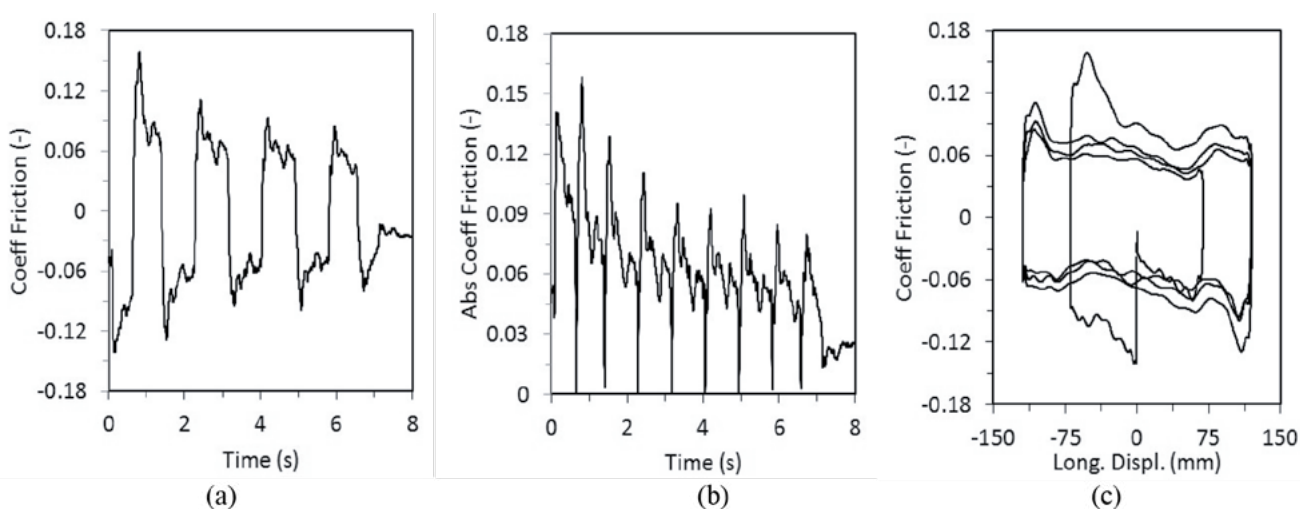


Figure 3 — Typical plots obtained during the analysis

velocity, vertical and lateral forces in binary format. The data for each test was then stored on a computer hard drive.

The users were allowed to determine the data storage location, output frequency, and starting delay. After extracting the raw output data from the setup equipment, the data was corrected to account for the shake table forces during the tests. As a general procedure adopted by the SRMD laboratory, the

main objective of the data reduction process is to remove, from measured forces the components that are not directly applied to the test specimen; specifically, the inertial and machine friction forces. This procedure required a theoretical and experimental phase of machine characterization and shakedown, mainly oriented to the assessment of the frictional and inertial characteristics of the system. Recorded forces are corrected

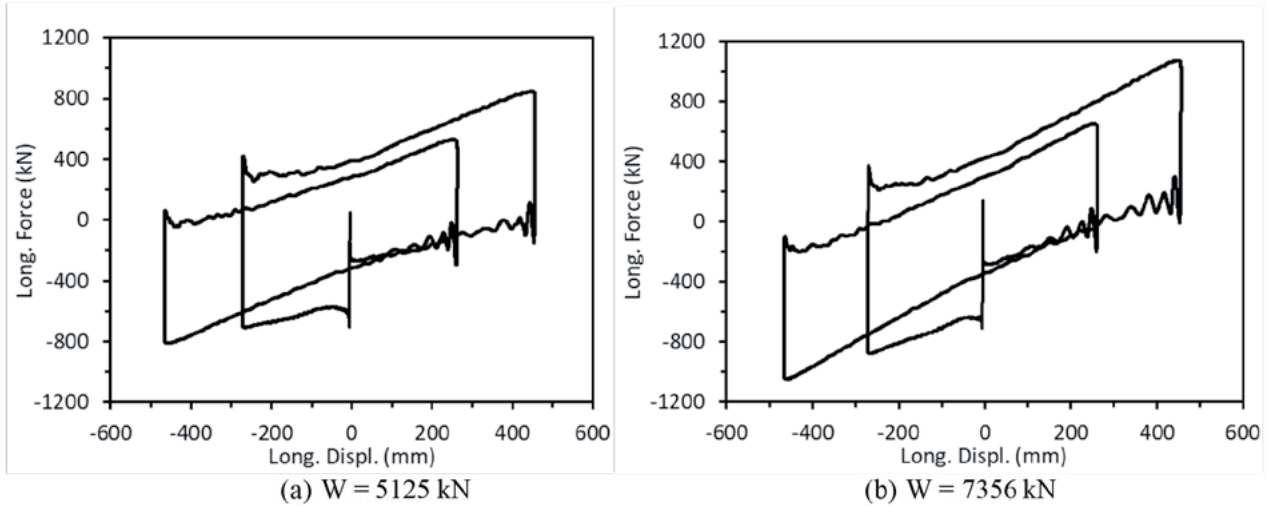


Figure 4 — Hysteresis plots for bearing 16 isolator under different vertical loads

based on the idealized horizontal equilibrium equation of the system:

$$\text{Force readouts} = \text{Shear across specimen} + \text{Inertial forces} + \text{Machine friction} + \text{Error} \quad (1)$$

where the Error term considers all the uncertainties related to the readout and correction process.

Sample experimental displacement, velocity, vertical force, and lateral force data are presented in Figures 2(a), 2(b), 2(c), 2(d). It can be seen that for the same levels of longitudinal velocity, displacement and vertical load, the longitudinal force acting on the slider decreases with time, which indicates degradation of frictional properties. In addition, values of lateral (longitudinal) force were plotted against time and displacement (Figure 2(e), 2(f)). The reduction of area inside the force-displacement (hysteresis) loops correlates to the reduction of Energy Dissipated per Cycle (EDC), i.e. the amount of energy the system is able to dissipate per one cycle of motion. After processing the recorded data, it was possible to determine the experimental values of friction coefficient  $\mu$  and plot them against time (Figures 3a, 3b) and displacement (Figure 3c). The values of friction coefficient were computed by normalizing longitudinal force to vertical loading and subtracting a ratio of longitudinal displacement and the radius of curvature of the sliding surface:

$$\mu = F_{\text{lat}}/W - D_{\text{lat}}/R \quad (2)$$

where  $F_{\text{lat}}$  is lateral force,  $W$  is vertical load,  $D_{\text{lat}}$  is lateral displacement, and  $R$  is the effective radius of curvature of the isolator. This allowed to visually verify the behavior of the double concave isolators. The coefficient of friction drops by about 50% its original value at the beginning of the test, due to the temperature rise associated to the cycling effect.

#### 4. Experimental model

The experimental model of the coefficient of friction accounts for the vertical load, velocity, and cycling effects. The model expresses the coefficient of friction  $\mu$  as a product of three independent functions, each one associated with one of the described effects:

$$\mu(P, c, v) = f_w(P) \cdot f_c(c) \cdot f_v(v) \quad (3)$$

where  $f_w$  is a function representing load effect,  $f_w$  represents the cycling effect, and  $f_v$  captures the velocity effect, respectively. The model was originally calibrated and verified against experimental data on single concave isolators.

This study is based on several assumptions first proposed by Lomiento et al. (2013) during the calibration of a single concave sliding system's model:

- 1) The functions of vertical load effect  $f_w(P)$ , velocity effect  $f_v(v)$ , and cycling effect  $f_c(c)$  were derived for single concave isolators and were never verified for a double concave isolator.
- 2) All of the aforementioned effects, namely  $f_w(P)$ ,  $f_v(v)$ ,  $f_c(c)$  are independent from each other. While the assumption cannot be experimentally verified to be correct at this stage, models based on it have shown agreement with experimental results.
- 3) The cycling variable assumes that the heat is associated to the velocity of the device, and is distributed on a single surface. This is a simplified approach, as more complex systems, such as double concave isolators, have heat distribution on multiple surfaces.

In the following, the model is applied to double concave isolators, to verify its applicability on such devices based on experimental evidence.

#### 4.1 Vertical Load Effect

Experiments have indicated the degradation of frictional properties of an isolator with the increase of the applied vertical load. When the vertical load  $W$  is increased, the coefficient of friction  $\mu$  decreases; however, the friction force

$$f = \mu W \quad (4)$$

increases due to the fact that the increase in  $W$  has a greater effect than the decrease in  $\mu$ . This overall increase in the friction force  $f$  corresponds to a greater amount of energy dissipated by the isolator per one cycle of motion (EDC). The increase in EDC can be represented as the increase in the area inside the hysteresis diagram with the increase in vertical load  $W$  (Figure 4). To account for the variations in friction coefficient  $\mu$ , an exponential function characterizing vertical load effect ( $f_w$ )

$$f_w(P) = \mu_{s0} e^{-P/P_{\text{ref}}} \quad (5)$$

where  $\mu_{s0}$  represents the theoretical slow-motion coefficient of friction under no vertical load,  $P$  is the applied vertical pressure, and  $P_{ref}$  is a pressure reference value, was proposed. The exponential format of the load effect function was selected based on the experimental evidence from the single friction isolator (Lomiento et al. 2013). After performing the analysis, the coefficients  $\mu_{s0}$  and  $P_{ref}$  were determined to be 0.06 and 2 MPa, respectively.

#### 4.2 Velocity Effect

The increase of the friction coefficient  $\mu$  with increasing velocity is well-known and discussed extensively in literature (Constantinou et al. 1990; Mokha et al. 1991; Bondonet and Filiatrault 1997; Dolce et al. 2005). These experimental studies, however, rarely extend to high velocity levels and, more importantly, can be further expanded to include double concave isolators. Lomiento et al. (2013) presented a model that included the relationship between the friction coefficient  $\mu$  and sliding velocity for single concave sliding isolators. Dolce et al. (2005) reported on variations of friction coefficient with sliding velocity for cases with different pressure and ambient temperature. The study indicated that the coefficient of friction increased rapidly with velocity up to a velocity value of 150 mm/s, and then approached a constant value. This behavior was consistent regardless of ambient air temperature and bearing pressure on the slider. Similar dependency was observed during the testing of double concave sliding isolators. The sudden increase of friction coefficient at the regions of zero velocity is due to breakaway effect occurring at each reversal of motion.

In order to describe the relationship between the friction coefficient  $\mu$  and device velocity, a function

$$f_v(v) = \gamma + (1 - \gamma)e^{-|v|/v_{ref}} \quad (6)$$

where  $v$  is the isolator velocity,  $v_{ref}$  is a reference velocity that characterizes the variation rate, and  $\gamma \geq 1$  is the ratio between the fast-motion and the slow-motion coefficient of friction, was used. This function was previously used to describe the behavior of single sliding isolators and proved a satisfactory agreement with the experimental data (Lomiento et al. 2013). To accurately predict the behavior of the double concave isolators,

constant coefficients  $\gamma$  and  $v_{ref}$  had to be determined. The analysis indicated values of  $\gamma$  and  $v_{ref}$  to be 1.8 and 25 mm/s, respectively.

#### 4.3 Cycling Effect

Degradation of frictional material properties due to heating effects is well-known and has been extensively investigated. Previously proposed models mainly focused on the effects of ambient temperature on the behavior of sliding friction isolators. A study by Mokha et al. (1991) reported a decrease in kinetic coefficient of friction for PTFE-steel devices, but have not further investigated the phenomenon. According to thermodynamic principles, the degradation of frictional characteristics occurs due to reduction in hardness of the thin surface layer due to frictional heating (Lomiento et al. 2013). Chang et al. (1990) proposed a model for PTFE sliding isolators that included temperature variations at the sliding interface. Lomiento et al. (2013) explained the mechanism and distribution of heat over the sliding surface and developed a model for a single FPS. The cycling effect function was based on a single concave isolator and was presented in the following format:

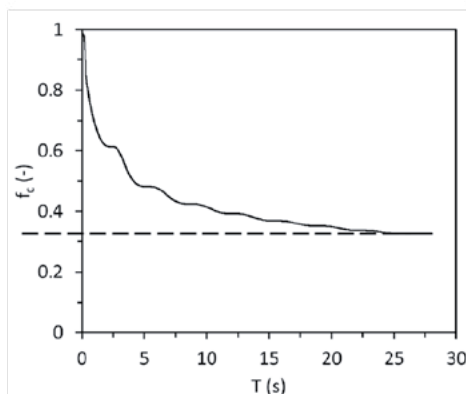
$$f_c(c) = e^{-(c/c_{ref})^\beta} \quad (7)$$

where

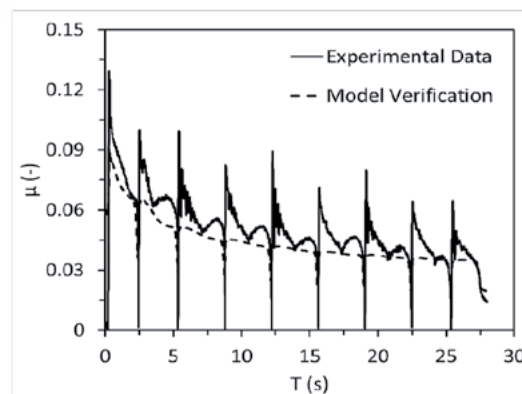
$$c(t) = \frac{2}{\pi^2 A^2} \int_{t_0}^t Wv^2 dt \quad (8)$$

$c_{ref}$  represents the degradation rate of the friction coefficient with the cycling variable (smaller  $c_{ref}$  means faster degradation), the exponent  $\beta$  controls the shape of the function,  $a$  is the radius of the slider projection over the horizontal plane,  $A$  – radius of the projection of the sliding surface over the horizontal plane,  $W$  – vertical load,  $v$  – instant sliding velocity, and  $t_0$  and  $t$  represent the beginning and end of the time interval under consideration. The function  $c(t)$  represents the temperature effects over the sliding surface and implies the hypothesis of uniform distribution of the heat flux on the sliding surfaces (Lomiento et al. 2013). This assumption disregards the existence of higher heat fluxes in the areas interested by more frequent sliding activity.

To obtain constant coefficients  $c_{ref}$  and  $\beta$  presented in the Equation 7 a regression analysis was performed. Figure 5



(a) Degradation of  $f_c$  during a single test run



(a) Regression analysis to capture deterioration of frictional properties

Figure 5 — Bearing 16 run 9 test plots

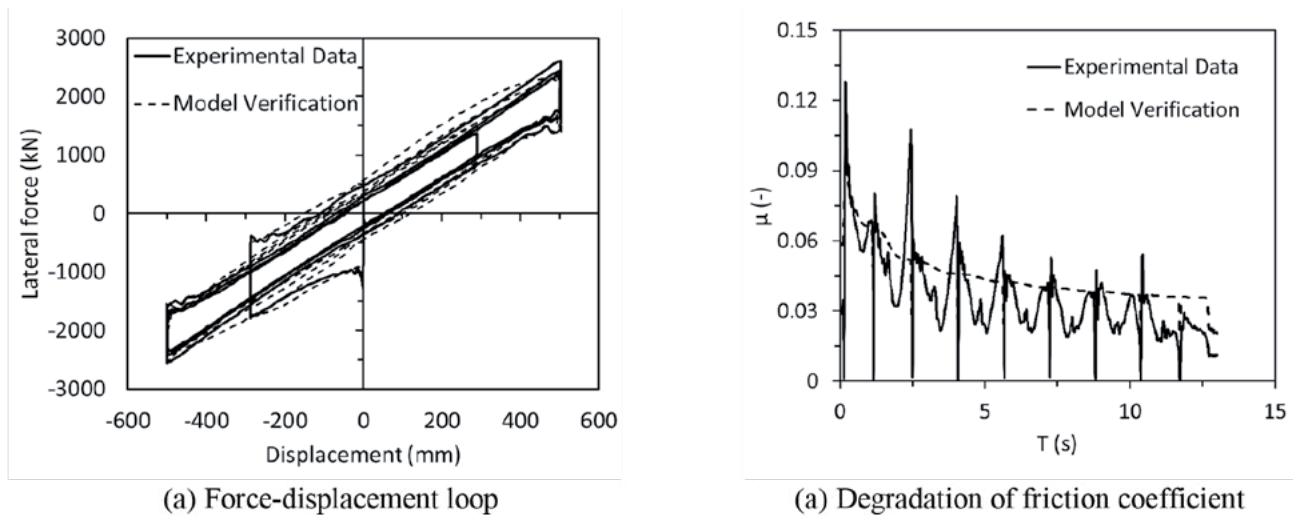


Figure 6 — Model verification plots

represents decrease in  $f_c$  during the duration of a single test run to a value less than 35% of the initial. To calibrate the cycling effect the data for all bearings were combined into one model and parameters of  $c_{ref}$  and  $\beta$  were modified to obtain the lowest norm of error value as well as a satisfactory agreement between the experimental data and the proposed model. The obtained results indicated the coefficient of degradation rate  $c_{ref}$  being a value significantly lower than expected in comparison to the results obtained from single concave sliding system tests discussed in Lomiento et al. (2013) (1.9 kN/mms for single bearings and 8 kN/mms for double). The  $\beta$  parameter was set to be 0.21 comparing to 0.5 value used for a single isolator system.

### 5. RESULTS AND DISCUSSION

The obtained results indicate that the proposed model is capable of capturing the behavior of the double concave sliding isolators influenced by vertical load, velocity and cycling effects for mono-directional tests. The sudden increase of friction at each reversal of the direction of motion (i.e. breakaway effect) is well-depicted on Figures 2(f), 3(b), 4, and 5(b). Capturing this phenomenon remained outside of the scope of this study due to bidirectional nature of seismic excitations and the absence of motion reversals.

The significance of this study is the ability of the model to closely simulate the experimental force-displacement plots

(Figure 6(a)) – an important parameter in determining energy dissipation characteristics of a system under cyclic loading. The proposed model results in  $R^2$  values of approximately 0.7 when validated on double concave isolators. The accuracy is improved when only large displacement tests are considered.

Comparison of the behavior of single and double concave isolators indicated that influence of vertical load effect is similar between the two systems, and constant coefficients  $\mu_{s,0}$ ,  $P_{ref}$ ,  $\gamma$  for a single sliding concave isolator model presented by Lomiento et al. (2013) are comparable to those discovered by this study (Table 3). However, a significant difference was noted during the comparison of velocity and cycling effects between two systems. Both coefficients  $c_{ref}$  and  $\beta$ , responsible for the rate of degradation of frictional properties of the material and the shape of the function's curve respectively, are different between the single and double concave systems. For instance, typical value of  $c_{ref}$  for a single concave isolator is 2-7 kN/mms, while values for a double concave isolator range between 5 and 20 kN/mms. A possible explanation is the different heat distribution in the double concave friction isolator with respect to the one in a single concave isolator (Figure 1). Lower  $c_{ref}$  in single concave isolator corresponds to a faster degradation rate of frictional properties. This can be caused by the distribution of heat over the two sliding surfaces, top and bottom, instead of just one surface, resulting in a lower temperature rise and

Table 3 — Comparison of results for large- and small-displacement tests

Parameter	D < 350 mm	D > 350 mm	Combined
$\mu_{s,0}$	0.06	0.06	0.06
$P_{ref}$ (MPa)	2	2	2
$\gamma$	1.8	1.8	1.8
$V_{ref}$ (mm/s)	10	28	25
$c_{ref}$ (kN/mms)	6	10	8
$\beta$	0.2	0.24	0.21

slower degradation of the frictional property at the sliding surfaces. The presence of the slider between the two surfaces also affects the heat distribution as some heat can be dissipated through the slider itself.

Another behavioral aspect that is unique to double concave isolators and was not present in a single concave isolator is a drop in the magnitude of the friction coefficient  $\mu$  when the slider passes over the center of the sliding surface. This phenomenon is a result of the isolator's design: to account for rotation of the slider during the motion, and to keep the top and bottom surfaces of the device parallel, the slider has an adjustment mechanism – a sliding joint that allows a certain degree of rotation of the top slider's surface relatively to its bottom surface.

The combined model presented in this paper includes all three frictional, making it difficult to estimate the contribution of each single effect separately. An ultimate test for the model is whether it can estimate the response of an isolator that was not included in the original calibration. Figures 6(a) and 6(b) presents model verification plots of the large-displacement tests for such case.

Furthermore, the difference between large (>350mm) and small (<350mm) displacement tests for double concave isolators was investigated. Comparison to a combined model revealed that constant values for a combined model fall between the values for large- and small-displacement tests as expected. The values of  $\mu_{s,0}$ ,  $P_{refr}$  and  $\gamma$  remained constant for both levels of displacement, while  $V_{refr}$ ,  $C_{refr}$  and  $\beta$  for the combined model fell between the results of the large- and small-displacement tests (Table 3).

## 6. CONCLUSIONS

An experimental model addressing the degradation of frictional properties in single concave isolators developed by Lomiento et al. (2013) was extended to double concave isolators. According to the model, the friction coefficient  $\mu$  is represented as the product of three functions representing the vertical load effect  $f_w$ , velocity effect  $f_v$ , and cycling effect  $f_c$ , addressing the dependency of the friction coefficient on the applied vertical load, sliding velocity and temperature rise due to the repetition of cycles, respectively. Due to the different kinematics of single and double concave sliding bearings, adjustments to the

model had to be done in order to account for different sliding conditions on the surfaces and heating effects.

Full-scale mono-directional tests were performed on seven double sliding bearings in accordance with ASCE 7 (2010) testing protocols in order to detect variations on the coefficient of friction. Breakaway was observed during the tests, however, remained outside of the scope of this study. Experimental results evidenced a degradation of frictional properties up to 50% of the original value during a single test. The degradation is less than the one observed on single concave isolators with similar sliding materials. This can be attributed to (i) a different heat distribution, since the heat flux in double devices affects two sliding surfaces rather than only one, and (ii) a difference in sliding velocity and travel path of the slider, as this is inversely proportional to the number of contact surfaces, given the deformation of the isolator. Experimental data also revealed a drop in the coefficient friction when the slider of the double concave isolator passes through the resting position. This drop is generally not observed in single concave isolators.

Each of the three independent functions of the model, namely vertical load effect, velocity effect, and cycling effect was calibrated using the test data. Modifications to the original model include: (i) modification of meaning of velocity (i.e. focusing on sliding velocity of the slider instead of device velocity), and (ii) considering different heat distribution between the single and double bearings. Comparison between large and small displacement tests for double concave isolators revealed that the values responsible for the degradation of frictional properties due to increase in vertical pressure, namely the theoretical slow-motion coefficient of friction  $\mu_{s,0}$  and the reference pressure  $P_{refr}$  are unaffected by the displacement level. Lower  $C_{ref}$  value represents faster degradation of friction for the small displacement tests, as the slider stays closer to the center of the sliding surface preventing heat dissipation. the ratio between the fast-motion and the slow-motion coefficient of friction,  $\gamma$ , also was unaffected by variations in displacement and remained at 1.8. The value of the reference velocity  $V_{ref}$  is significantly lower for small displacement tests (10 vs 28 mm/s) indicating the greater decrease in friction for displacements under 350 mm.

## References

- Almazan, Jose L., and Juan C. De La Llera. 2002. "Analytical Model of Structures with Frictional Pendulum Isolators." *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 31 (2): 305–32.
- Almazán, José L., Juan C. De La Llera, and José A. Inaudi. 1998. "Modelling Aspects of Structures Isolated with the Frictional Pendulum System." *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 27 (8): 845–67.
- ASCE. 2010. *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. ASCE/SEI 7-10.
- Becker, Tracy C., and Stephen A. Mahin. 2012. "Experimental and Analytical Study of the Bi-Directional Behavior of the Triple Friction Pendulum Isolator." *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 41 (3): 355–73.
- Benzoni, Gianmario, Giuseppe Lomiento, and Noemi Bonessio. 2011. "Testing Protocols for Seismic Isolation Systems." In *Italian National Association of Earthquake Engineering*.
- Bondonet, Gaël, and André Filiatrault. 1997. "Frictional Response of PTFE Sliding Bearings at High Frequencies." *Journal of Bridge Engineering* 2 (4): 139–48.
- Buckle, Ian G. 2000. "Passive Control of Structures for Seismic Loads." In *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 33:209–21.
- Chang, Chia Ming, and Billie F. Spencer. 2010. "Active Base Isolation of Buildings Subjected to Seismic Excitations." *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 39 (13): 1493–1512.
- Chang, K C, J S Hwang, and G C Lee. 1990. "Analytical Model for Sliding Behavior of Teflon-Stainless Steel Interfaces." *Journal of Engineering Mechanics* 116 (12): 2749–63.
- Constantinou, Michalakis, Anoop Mokha, Andrei Reinhorn, Michalakis Constantinou, and Andrei Reinhorn. 1990. "Teflon Bearings in Base Isolation II: Modeling." *Journal of Structural Engineering* 116 (2): 455–74.
- Deb, Sajal K, and Dilip K Paul. 2000. "Seismic Response of Buildings Isolated by Sliding-Elastomer Bearing Subjected to Bi-Directional Motion." In *12th World Conference on Earthquake Engineering*.
- Dolce, M., D. Cardone, and F. Croatto. 2005.

- "Frictional Behavior of Steel-PTFE Interfaces for Seismic Isolation." *Bulletin of Earthquake Engineering* 3 (1): 75–99.
13. Fenz, Daniel M., and Michael C. Constantinou. 2006. "Behaviour of the Double Concave Friction Pendulum Bearing." *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 35 (11): 1403–24.
14. Kelly, James M. 1994. "Implementation of Base Isolation in the United States." In *Earthquake Engineering, 10th World Conference*, 6507–17.
15. Lomiento, Noemi Bonessio, and Gianmario Benzoni. 2013. "Friction Model for Sliding Bearings under Seismic Excitation." *Journal of Earthquake Engineering* 17 (8): 1162–91.
16. Lomiento, G, N Bonessio, and G Benzoni. 2012. "Effects of Loading Characteristics on the Performance of Sliding Isolation Devices." In .
17. Lu, Lyan-ywan, Jain Wang, and Chao-chun Hsu. 2006. "Sliding Isolation Using Variable Frequency Bearings for Near - Fault Ground Motions," no. 164: 1–10.
18. Matsagar, Vasant A, and R S Jangid. 2008. "Base Isolation for Seismic Retrofitting of Structures." *Practice Periodical on Structural Design and Construction* 13 (4): 175–85.
19. Mokha, Anoop, M. C. Constantinou, A. M. Reinhorn, and Victor A. Zayas. 1991a. "Experimental Study of Friction-Pendulum Isolation System." *Journal of Structural Engineering*.
20. Morgan, Troy A., and Stephen A. Mahin. 2010. "Achieving Reliable Seismic Performance Enhancement Using Multi-Stage Friction Pendulum Isolators." *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 39 (13): 1443–61.
21. Mosqueda, Gilberto, Andrew S. Whittaker, and Gregory L. Fenves. 2004. "Characterization and Modeling of Friction Pendulum Bearings Subjected to Multiple Components of Excitation." *Journal of Structural Engineering* 130 (3): 433–42.
22. Tsai, C. S., Po Ching Lu, Wen Shin Chen, Tsu Cheng Chiang, Chen Tsung Yang, and Yung Chang Lin. 2008. "Finite Element Formulation and Shaking Table Tests of Direction-Optimized-Friction-Pendulum System." *Engineering Structures* 30 (9): 2321–29.
23. Tsopelas, P., M. C. Constantinou, S. Okamoto, S. Fujii, and D. Ozaki. 1996. "Experimental Study of Bridge Seismic Sliding Isolation Systems." *Engineering Structures* 18 (4): 301–10.
24. Warn, Gordon P., and Keri L. Ryan. 2012. "A Review of Seismic Isolation for Buildings: Historical Development and Research Needs." *Buildings* 2 (4): 300–325. <https://doi.org/10.3390/buildings2030300>.
25. Zayas, Victor A., Stanley A. Low, and Stephen A. Mahin. 1987. "The FPS Earthquake Resisting System Experimental Report." Technical Report UCB/EERC-87/01. Berkeley, Calif.: Earthquake Engineering Research Center;
26. Zayas, Victor A., Stanley S. Low, and Stephen A. Mahin. 1990. "A Simple Pendulum Technique for Achieving Seismic Isolation." *Earthquake Spectra* 6 (2): 317–33.

**For citation:** Adzhemyan A., Benzoni G., Lomiento G. *Experimental Model for Double Concave Sliding Bearings. Seismostoi koe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii* [Earthquake engineering. Constructions safety], 2019, no. 4, pp. 16–24. (In English).



Международный форум и выставка  
высотного и уникального  
строительства

## С 29 октября по 1 ноября 2019 года в Екатеринбурге состоится **VI Международный форум и выставка уникального строительства 100+ Forum Russia**

Основной темой 100+ Forum Russia станет «Город будущего». Организаторы предложат строительному сообществу дискуссионную площадку для обсуждения того, каким должен стать город будущего и готовы ли мы к его строительству. Будут ли это цифровые города для пешеходов без углеродных выбросов в атмосферу, зеленые и комфортные, строительство пойдет вверх или, возможно, города станут подземными или даже подводными. Основу деловой программы составят секции по проектированию (20%), архитектуре (20%) и строительству (20%), а также по производству (10%), законодательству (10%), маркетингу (10%), комфортной городской среде (10%). Для проведения 100+ Forum Russia выбрана новая площадка – Конгресс-центр МВЦ «Екатеринбург-ЭКСПО». Сейчас завершается строительство этого многофункционального комплекса для проведения масштабных мероприятий международного уровня. С учетом этого будет предложена новая концепция выставочной экспозиции форума. 100+ Forum Russia 2019 пройдет при поддержке Правительства Свердловской области и Администрации города Екатеринбурга.

В деловой программе Форума утверждена сессия «Сейсмостойкие конструкции уникальных и технически сложных зданий». Модератором секции выступит заместитель руководителя ЦИСС ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство».

<http://www.forum-100.ru/novosti/v-2019-godu-na-100-forum-russia-budut-govorit-o-gorodah-budushhego/>



**David Whittaker**  
NZSEE President, Senior Technical Director, Beca Ltd, Christchurch, New Zealand

УДК 624.07

## Recent Developments in New Zealand in Seismic Isolation, Energy Dissipation and Vibration Control of Structures (2019)

**Abstract:** Recent activity in the implementation of seismic isolation, energy dissipation and vibration control of structures in New Zealand is summarised. Recent severely damaging earthquakes in New Zealand have left many buildings and infrastructure systems inoperable and not repairable, leading to their demolition. Owners and engineers are now seeking systems that will provide more resilient seismic behaviour. Resilient structures will be able to recover operation and function quickly after a major earthquake compared with conventional structural systems. Earthquake protection technologies now being developed and used to make more seismically resilient structures include seismic isolation and energy dissipation systems. These systems

can provide better damage control and repairability of structures. The paper summarises recent projects in New Zealand that have incorporated seismic isolation and energy dissipation and other earthquake protection systems such as dissipative brace systems. A draft New Zealand Guideline for the design of seismic isolation systems for buildings was recently published. The Guideline makes recommendations for how engineers should design isolated buildings to meet performance requirements that will often be well in excess of the minimum requirements of the national building code. Details of the design Guideline are summarised and examples of the design displacement and acceleration demands in various main centres of New Zealand are also given.

**Keywords:** New Zealand, recent developments, isolation, energy dissipation.

**Дэвид Уиттакер, Президент NZSEE, технический директор Beca Ltd, Крайстчерч, Новая Зеландия**

## Последние разработки по сейсмоизоляции, рассеиванию энергии и вибрационному контролю конструкций в Новой Зеландии (2019)

**Аннотация:** Обобщены результаты работ, проведенных в последние годы в Новой Зеландии по внедрению систем сейсмоизоляции, диссипации энергии и контроля за вибрациями сооружений. После недавних разрушительных землетрясений в Новой Зеландии многие здания и инженерные сети оказались в аварийном и неремонтопригодном состоянии, что

привело к их сносу. В настоящее время заказчики и инженеры ведут поиск новых систем сейсмозащиты, обеспечивающих сейсмостойкость зданий. После сильного землетрясения упругие конструктивные системы быстрее по сравнению с обычными восстанавливают работоспособность и функционирование. Для создания более сейсмостойких конструк-

ций в настоящее время разрабатываются и используются технологии сейсмозащиты, которые включают в себя системы сейсмоизоляции и рассеивания энергии. Они способны обеспечить меньшую повреждаемость и последующую ремонтпригодность конструкций. В статье обобщены результаты выполненных в последние годы проектов в Новой Зеландии, включающие системы сейсмоизоляции и рассеивания энергии, а также другие системы сейсмозащиты, такие как системы диссипации энергии. Недавно был опубликован

проект новозеландского руководства по проектированию сейсмоизолированных зданий, содержащий рекомендации, удовлетворяющие эксплуатационным требованиям, но зачастую значительно превышающие минимально допустимые требования Национального строительного кодекса. Основные положения руководства кратко изложены в настоящей статье. Также в качестве примера приведены значения проектных перемещений и ускорений, принятые в разных субъектах Новой Зеландии.

**Ключевые слова:** Новая Зеландия, последние события, изоляция, диссипация энергии.

### 1. Introduction

This paper summarises recent progress and developments in the application of seismic isolation, energy dissipation and vibration control for seismic protection of structures in New Zealand, as at 2019. It follows previous progress reports by the author to ASSISI conferences since 2007, primarily focussed on seismic isolation (Whittaker and Robinson 2007 and 2009, Whittaker 2013, 2015, 2017). Although New Zealand engineers were instrumental in inventing seismic isolation technology, implementation in New Zealand has been, until recently, predominantly only for significant public buildings and other special buildings or bridges. Following severe earthquakes in Christchurch in 2010/11 and Kaikoura in 2016, there has been a significant increase in the application of isolation and other energy dissipation technologies for earthquake protection of new and existing buildings, not just in critical high importance buildings. Recent examples of new and retrofit structures using isolation and energy dissipation technologies are summarized. A recently published guideline for design of isolation systems for buildings is summarized, including results of a limited parametric study of displacement and acceleration demands for typical isolation systems.

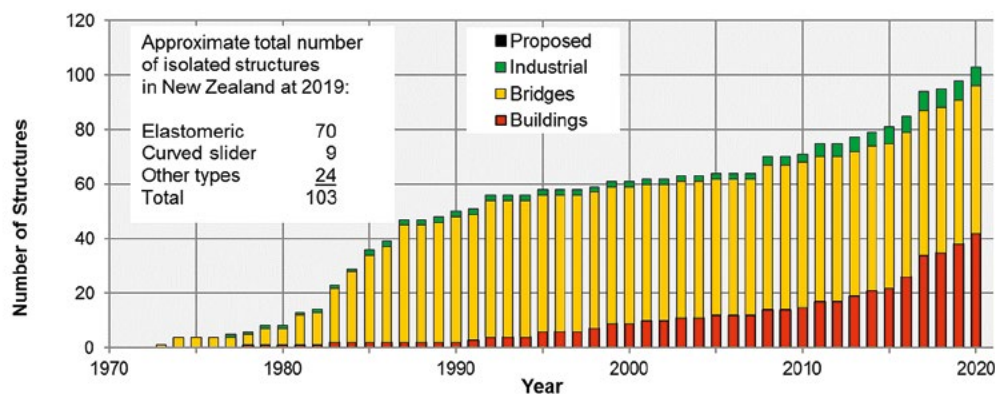
### 2. Recent damaging earthquakes in New Zealand

In 2010 and 2011 the city of Christchurch was severely impacted by a sequence of strong earthquakes. The sequence started with a  $M_w$ 7.1 *Darfield Earthquake* with fault rupture within 20 km from the central business district (CBD) of Christchurch. Peak ground accelerations (PGA) in the CBD were in the order of 0.3 g and there was widespread damage to buildings, but no loss of life in that event. The *Christchurch Earthquake* aftershock with magnitude  $M_w$ 6.2 was centred within 2-3 km of the CBD and caused very strong ground shaking with peak ground

accelerations in the order of 0.7g. This event caused widespread damage, collapse of several buildings and the loss of 185 lives. Several other moderate aftershocks had PGA shaking intensities of around 0.2g and caused further damage. The direct cost of damage was in the order of US\$40B and around 1500 buildings in the CBD were demolished. A Royal Commission of Inquiry was set up by the New Zealand Government to report on the effects of the earthquakes (Royal Commission report). In the aftermath of these earthquakes many buildings have been rebuilt and some owners and engineers have chosen more earthquake resistant design systems such as base-isolation and other energy dissipative systems.

In 2016 the  $M_w$ 7.8 Kaikoura earthquake caused strong and prolonged ground shaking across a substantial area of the northern part of the South Island. The earthquake caused extensive land-sliding and disruption to transportation infrastructure along the Kaikoura Coast. The main highway and railway infrastructure were severely disrupted and required major repair work to restore service. Significant damage was caused to a number of buildings in the Wellington area, particularly on reclaimed land around the Wellington City waterfront. Around ten buildings were demolished as a result of severe damage that was uneconomic to repair. Buildings in Wellington with seismic isolation or other protective systems generally performed well with little damage reported. The earthquake also caused extensive damage to wine silos in the Marlborough region, although those with protective anchor systems suffered little damage.

As a result of these recent damaging earthquakes, there is a heightened interest in developing more earthquake resilient (ie damage resistant and readily repairable) buildings in New Zealand.



**Figure 1** — Growth in numbers of structures with seismic isolation in New Zealand



### 3. Recent New Zealand projects with seismic isolation

As at 2019 there are around 103 isolated structures in New Zealand. Figure 1 shows the approximate growth in numbers of isolated structures over time including the types of structures and

isolation types. Most isolated structures are bridges and there is a steady increase in the number of isolated structures since 2010.

Table 1 summarises some recent projects New Zealand incorporating seismic isolation.

**Table 1** — Examples of recent seismic isolation projects in New Zealand

<p><b>Project Name:</b> Wellington Airport Control Tower</p> <p><b>Project Description:</b> 7 storey plus upper cab structure, Importance Level 4, steel concentric braced frames, the building leans at 12.5 degrees from the vertical</p> <p><b>Engineer:</b> Holmes Consulting</p> <p><b>Isolation devices:</b> Lead Rubber (RSL)</p> <p><b>Project Status:</b> Complete</p>	
<p><b>Project Name:</b> Spark Head Office Building, Christchurch</p> <p><b>Project Description:</b> 4 and 5 storey superstructures on common isolation plane, steel MRF</p> <p><b>Engineer:</b> Holmes Consulting</p> <p><b>Isolation devices:</b> LRB + Flat sliders (Robinson Seismic)</p> <p><b>Project Status:</b> Under construction at 2019</p>	
<p><b>Project Name:</b> Wellington Town Hall retrofit</p> <p><b>Project Description:</b> Seismic strengthening including seismic isolation of heritage town hall building</p> <p><b>Engineer:</b> Holmes Consulting</p> <p><b>Isolation devices:</b> Lead rubber and flat slider. (Robinson Seismic)</p> <p><b>Project Status:</b> Construction started</p>	
<p><b>Project Name:</b> Wellington Children's Hospital</p> <p><b>Project Description:</b> 7,000 m<sup>2</sup> hospital, 3 storeys, regular plan, moment resisting steel frame</p> <p><b>Engineer:</b> New Zealand Consulting Engineers Ltd</p> <p><b>Isolation devices:</b> Triple pendulum (EPS)</p> <p><b>Project Status:</b> Under Construction</p>	
<p><b>Project Name:</b> Morrison Kent House, Wellington</p> <p><b>Project Description:</b> Strengthening of mid-1960s 23-storey reinforced concrete encased structural steel frame including addition of mid-height isolation</p> <p><b>Engineer:</b> New Zealand Consulting Engineers Ltd</p> <p><b>Isolation devices:</b> Triple pendulum (EPS)</p> <p><b>Project Status:</b> In design</p>	
<p><b>Project Name:</b> Ryman Healthcare Petone</p> <p><b>Project Description:</b> 4 new multi-level residential buildings</p> <p><b>Engineer:</b> Mitchell Vranjes Consulting Engineers and Simpson Gumpertz and Heger</p> <p><b>Isolation devices:</b> Lead rubber (DIS)</p> <p><b>Project Status:</b> Completed</p>	

**4. Recent New Zealand projects with other supplemental energy dissipation and damping systems**

Many new buildings recently constructed have incorporated dissipative brace systems such as buckling restrained braces (BRB). There are also a small number of buildings incorporating viscous damper braces, rocking frame and wall systems including post-tensioned cables to ensure re-centring of the structure, and some containing additional damping devices such as lead extrusion or fluid viscous dampers – so-called “plug-and-play” replaceable devices. Table 2 gives examples of recent building projects including energy dissipative technologies.

**5. NZ guideline for design of seismic isolation systems for buildings**

**5.1 Overview**

A Guideline for the design of seismic isolation systems for buildings in New Zealand has recently been completed for trial use by the industry (Whittaker and Parker 2019). This project was funded by government agencies MBIE and EQC, as well as professional technical societies NZSEE, SESOC and NZCS. The Guideline was prepared by specialist practitioners from the major New Zealand science agencies and engineering consultancies with experience in designing base-isolated buildings and it was reviewed by several international experts. The Guideline provides a means of compliance with the New Zealand Building Code and is based on NZS 1170.5 (the Structural Loading Standard) with suitable selection of design parameters, such as

Structural Performance Factor  $S_{pr}$ , and design ductility factor  $\mu$  (and  $k_{\mu}$ ) for isolated buildings. The methodology recognizes the effects of period elongation and substantial effective damping available from seismic isolation systems.

**5.2 Isolated building types**

Four isolated building types are proposed, and designers must select, within specified criteria limits, which type they will design for and follow the requirements for that type.

Type 1 **Simple** - regular and low-rise superstructures. Equivalent static analysis is permitted, and structural elements are to be designed to remain elastic.



Type 2 **Normal** – more general isolated building layouts not meeting Type 1 requirements. Modal response spectrum analysis methods and structural design for nominally ductile behaviour are required as a minimum.

Type 3 **Complex** – isolated buildings where some inelastic deformation in the superstructure may be expected, or the isolation plane does not provide for the full displacement demand on the system. Numerical Integration (nonlinear) Time History Analysis and capacity design is required.

Type 4 **Brittle** – for brittle superstructures including existing structures. Numerical Integration Time History Analysis and design for elastic response is required.

The Guideline is intended for bilinear type hysteretic isolation systems using combinations of elastomeric, lead-rubber and flat slider isolators, or curved surface slider systems. Supplementary viscous damper devices may also be included.

**Table 2** — Examples of projects with other energy dissipation technologies

Project Name:	Christchurch Central Library “Turanga”	
Project Description:	5 storey rocking concrete walls with vertical post-tensioning, U-shaped flexural yielding plates and lead damping devices	
Engineer:	Lewis Bradford	
Technology:	Rocking hybrid walls with dissipators	
Project Status:	Completed 2019	
Project Name:	Outpatients Building, Christchurch	
Project Description:	New 5-storey hospital with viscous damped (54 dampers) steel moment frame	
Engineer:	WSP-Opus	
Technology:	Viscous Dampers (Taylor Devices)	
Project Status:	Completed 2019	
Project Name:	Forte Health 1 and 2	
Project Description:	2 hospital buildings 3 storeys high. post-tensioned rocking steel frames with additional lead extrusion damping devices	
Engineer:	Engenium	
Technology:	Rocking and energy dissipation devices	
Project Status:	Complete	

### 5.3 Performance-based design and limit states

In addition to NZS 1170 Serviceability (SLS) and Ultimate (ULS) Limit States, the Guideline recommends that a Damage Control Limit State (DCLS) and a Collapse Avoidance Limit State (CALS) are considered for isolated buildings. The building, including isolation system, should be shown explicitly to be capable of surviving displacement demands for the rare earthquake event referred to in NZS 1170.5, without collapse.

The approach recommended in the Guideline is consistent with “low damage design” philosophies. The expected performance will generally exceed the minimum required by the national building code. An important principle is to communicate and agree the intended performance objectives with the building owner and to record these objectives in a Design Features Report.

### 5.4 Design acceleration and displacement spectra for isolated buildings

Design displacement spectra are directly provided, allowing designers to represent seismic demands in acceleration-displacement response spectra (ADRS) format. This format is convenient for designing isolated structures using simplified capacity-demand methods for determining base shear and displacement response demands on the isolation system. Design spectra are reduced for isolated structures compared with conventional building structures because of the increased effective system damping that is available from the isolation system.

The Guideline includes changes to the long period portions of the NZS 1170 spectra, which typically govern the design of isolated buildings. The corner period  $T_L$ , at which the constant displacement part of the spectrum starts, has been extended from 3 seconds to 5 or 10 seconds for most of the country. This has the effect of increasing displacement demands on isolation systems with periods greater than 3 seconds in most areas.

### 5.5 Analysis and Design of isolated buildings

Flow charts are provided in the Guideline for each isolated building type that address design of the isolated building overall including design of the substructure and superstructure, isolation system, adjacent stability structure, isolation plane and adjacent “rattle space” clearances. For most isolated structures the Structural Performance Factor  $S_p$  is recommended to be 1.0 and the superstructure should be designed to be elastic or perhaps nominally ductile. Guidance is provided for design parameters for materials standards for design of foundation, substructure and superstructure. A minimum level of ductile detailing and capacity design will generally be required in the superstructure to allow for possible inelastic demands under extreme earthquakes.

Preliminary analysis for all isolated building types would typically start with single degree of freedom analysis of an assumed rigid building on a flexible isolation layer, followed by more detailed analysis using equivalent static, modal response spectrum or numerical integration time history analysis, depending on the type and complexity of the building. Consideration of isolator property variability (upper and lower bound) is required in addition to target isolator system properties. Generally upper bound properties give maximum

force demands on the structure, and lower bound properties give maximum displacement demands on the isolators.

### 5.6 Specifications for procurement of isolators

Guidance is provided for performance-based specification of the isolation system and isolator devices, based on US and European standards. A sample technical specification is also provided for procurement of isolation systems and isolator devices. Designers are recommended to select the type and number of isolators required and to prepare a performance-based specification giving the combinations of design forces and displacements that isolators are to withstand. It is strongly recommended that detailed design of the isolators is left to the supplier in accordance with an approved international standard. Qualification, prototype and production testing sequences and acceptance criteria are to be specified. Full-scale testing of isolators or similar prototypes is generally required, as is testing of production units. Load testing of 100% of production units is desirable, together with suitably qualified independent technical overview.

## 6. Design Acceleration and Displacement Spectra

### 6.1 Spectral shape functions

The Guideline recommends acceleration and displacement spectra for design of isolated structures. The design spectra

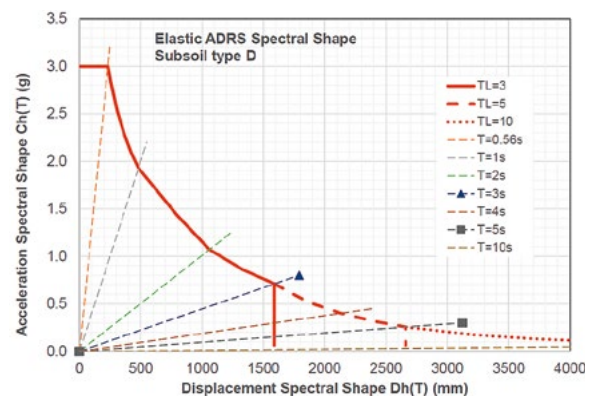


Figure 2 — Acceleration versus displacement spectral shape for deep or soft ground conditions (subsoil category D)

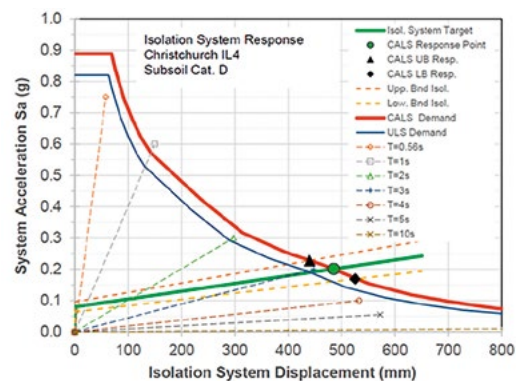


Figure 3 — Sample capacity-demand diagram for a high importance (IL4) building in Christchurch on deep or soft ground and 1 in 2500 year (MCE) code demand for a curved surface slider isolator system with  $f=0.08$  and  $R=4m$

are based on NZS 1170.5 elastic hazard (acceleration) spectra and derived displacement spectra. The equations for base shear coefficient and displacements are given in Equations 1 and 2.

$$C(T) = C_h(T) Z R N(T, D) B_\xi \quad (1)$$

$$\Delta(T) = \Delta_h(T) Z R N(T, D) B_\xi \quad (2)$$

where  $C(T)$  is the design acceleration (base shear acceleration) in units of  $g$

$C_h(T)$  is the spectral shape factor (for acceleration)

$\Delta(T)$  is the elastic site displacement in mm

$\Delta_h(T)$  is the displacement spectral shape factor

$B_\xi$  is the spectrum scaling factor to account for damping (less than or equal to 1.0)

$Z$  is the hazard factor,  $R$  is the return period factor and  $N(T, D)$  is the near-fault factor according to NZS 1170.5.

The acceleration  $C_h(T)$  versus displacement  $\Delta_h(T)$  spectral shape for deep or soft ground (subsoil category D) is plotted in Figure 1. The effect of the variable corner period  $T_c$  on the spectrum can be seen, where the solid red curve changes to dashed and dotted lines for periods exceeding 3 seconds or 5 seconds. In those cases, for long periods, spectral displacements increase beyond the normal constant displacement assumed in the standard NZS 1170.5 spectrum.

The behaviour of the isolation system is assumed to be a yielding bilinear hysteretic system represented by the

generalised expression for a curved surface slider system given in Equation 3.

$$V_b = fW + \Delta/R \quad (3)$$

where  $V_b$  is the base shear force and  $\Delta$  is the lateral displacement if the isolation system

$f$  is the friction coefficient,  $W$  is the isolated weight and  $R$  is the radius of curvature for a curved surface slider system.

The isolation system behaviour can be conveniently plotted on the acceleration versus displacement spectrum (ADRS) for the purposes of calculating capacity-demand diagrams and predicting acceleration and displacement response demands on the isolation system. An example is shown in Figure 2.

### 6.2 Parametric study of acceleration and displacement demands

A simple parametric study was carried out by the author to determine the acceleration and displacement spectra in the four main cities of New Zealand, Auckland, Wellington, Christchurch and Dunedin, according to the recommendations in the Guideline, using a limited range of isolation system parameters. These comparisons are a useful indication of demands for isolated buildings in each location.

The study considered a limited number of combinations of importance levels of buildings and ground conditions according to the New Zealand code, as well as equivalent curved surface slider isolation system properties, as follows:

- Slider system friction coefficient  $f = 6\%, 8\%, 10\%$  and  $12\%$ , or an equivalent yield level

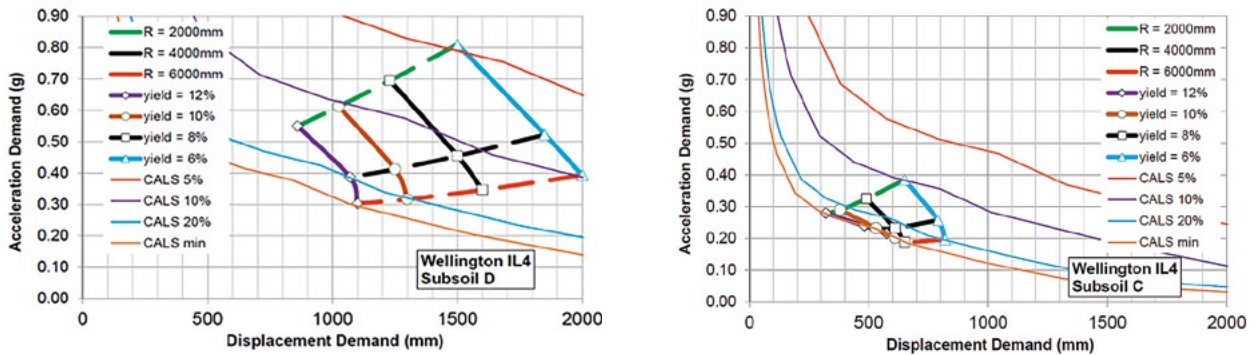


Figure 4 — Acceleration-displacement demand plots for Wellington for post-disaster functional buildings on: (left) deep or soft subsoil D and (right) shallow soil ground conditions

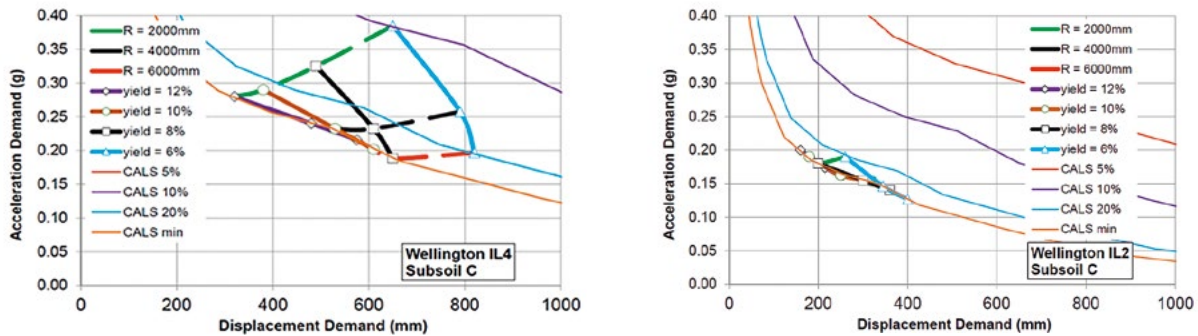
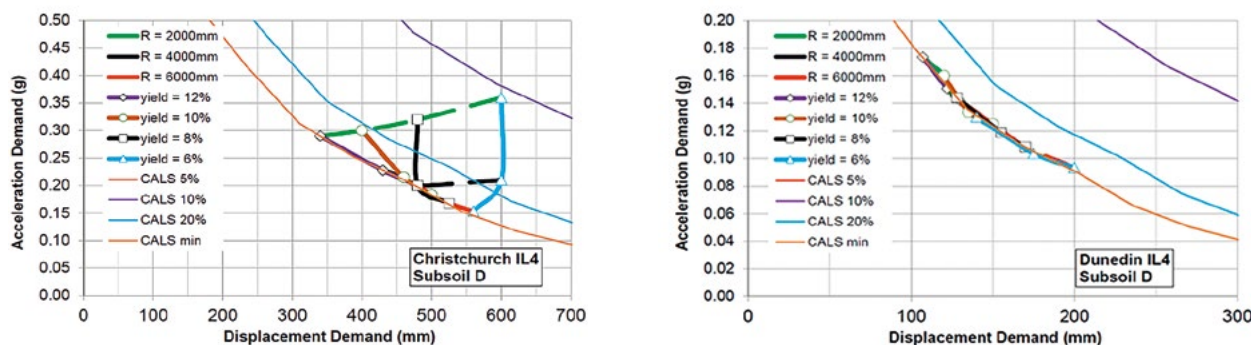


Figure 5 — Acceleration-displacement demand plots for Wellington buildings on shallow soil ground conditions for: (left) post-disaster functional buildings and (right) normal importance buildings



**Figure 6** — Acceleration-displacement demand plots for post-disaster functional buildings on deep or soft ground conditions located in: (left) Christchurch and (right) Dunedin

- Slider system radius  $R = 2000, 4000$  and  $6000$  mm, or equivalent elastomeric stiffness. (these radii correspond to second-slope periods of 2.8s, 4.0s and 4.9s).

Some results of the study are shown in Figures 3, 4 and 5. The diagrams showing acceleration and displacement demands for various combinations of location, building importance, ground condition, slider radius and friction coefficient, calculated using the Guideline. The plotted points were each calculated using an iterative graphical procedure similar to that depicted in Figure 6. Lines have been drawn through various groups of points to show the effect of holding either curved surface slider yield level or radius constant while varying the other parameter. For the purposes of initial design, an additional displacement of up to 20% of these values could be assumed for isolators in the building corners, to allow for torsional response effects.

## 7. Conclusions

The rate of application of seismic isolation and other energy dissipation technologies has increased markedly in New

Zealand following recent severe and damaging earthquakes. Owners and engineers are increasingly recognising the significant performance and life-cycle cost benefits that these technologies bring to earthquake protection and functional recovery of buildings and their contents. The benefits include increases in safety, as well as reductions in the frequency and severity of damage and downtime to repair any damage that does occur.

A recently published New Zealand guideline for design of buildings with seismic isolation will help ensure that design of isolated buildings is carried out in a consistent manner to meet the requirements of the national building code. Other energy dissipation and supplemental device technologies being routinely used in New Zealand include buckling restrained braces and increasing use of fluid viscous dampers. Seismic isolation and other energy dissipation earthquake protection systems are expected to be used much more frequently in New Zealand in the future.

## References

1. Canterbury Earthquakes Royal Commission [2012], Volume 1, ISBN: 978-0-478-39559-4
2. Whittaker, D. and Robinson, W. R. [2007] "Progress of Application and Research & Development for Seismic Isolation and Passive Energy Dissipation for Civil and Industrial Structures in New Zealand", 10th World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibrations Control of Structures, Istanbul, Turkey.
3. Whittaker, D. and Robinson, W. R. [2009] "Progress of Application and Research & Development for Seismic Isolation and Passive Energy Dissipation for Civil and Industrial Structures in New Zealand", 11th World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibrations Control of Structures, Guangzhou, China.
4. Whittaker, D. [2013] "Recent Developments in Seismic Isolation in New Zealand", 13th World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibrations Control of Structures, Sendai, Japan.
5. Whittaker, D. [2015] "Recent Developments in Seismic Isolation in New Zealand (2015)", 14th World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibrations Control of Structures, San Diego, USA.
6. Whittaker, D. [2017] "Recent developments in New Zealand in seismic isolation, energy dissipation and vibration control of structures Developments in Seismic Isolation in New Zealand (2017)", 15th World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibrations Control of Structures, Wellington, New Zealand.
7. Whittaker D. and Parker W. [2019], "New Zealand Guideline for Design of Seismic Isolation Systems for Buildings", Pacific Conference on Earthquake Engineering, Auckland.

**For citation:** Whittaker D. Recent Developments in New Zealand in Seismic Isolation, Energy Dissipation and Vibration Control of Structures (2019). *Seismostoi koe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii* [Earthquake engineering. Construction safety], 2019, no. 4, pp. 25-31. (In English).



**Demin Feng**  
Chief Researcher, FUJITA Corporation, Tokyo, Japan

**Wenguang Liu**  
Professor, Shanghai University, Shanghai, China

**Takafumi Miyama**  
Professor, Tezukayama University, Nara, Japan

---

УДК 624.07

## Certification System of Seismic Isolation Devices in Japan

**Abstract:** In Japan, the building law has revised to include the seismic isolation technology into the building code in 2000. Notification (Kokuji) 2009 and 1446 stand for seismic design code and certification system of seismic isolation devices, respectively. All seismic isolation devices must be certified by Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT) before using. In 2015, the factory production control (FPC) certification system to include inspection at factory was strengthened due to one company's falsifying FPC test data. Since there is no independent testing laboratory in Japan, all the type and FPC tests are usually conducted by the manufacturer themselves. In 2017, changes of characteristics of seismic isolation devices due to the long-period and long-duration ground motions have to be considered in the design in the determined long period areas. It is stipulated in the other code. The certification authorities known as notified inspection bodies

are even opened to private companies now. The devices have been roughly classified into three kinds: isolators, dampers and restoring bearings. The Japan Society of Seismic Isolation (JSSI) has published a 750 pages catalog in 2009 to include all manufacturers for reference. The information about the certification authorities and certified devices can be checked easily via web pages. This paper will focus on the performance properties of seismic isolation devices required for certification. Both type testing and FPC tests will be introduced. The details of lead rubber bearings and viscous fluid dampers are compared with EN15129 for better understanding. The contents of LRB include following categories: Materials, Dimensions, Horizontal capacities, Vertical properties, Horizontal properties, Dependency properties and Creep. The contents of viscous dampers include Materials, Dimensions, Horizontal properties and Dependency properties.

---

**Keywords:** building code, certification system, seismic isolation devices, lead rubber bearing, viscous damper.

**Демин Фенг, главный исследователь, FUJITA Corporation, Токио, Япония**  
**Вэньгуан Лю, профессор Шанхайского университета, Шанхай, Китай**  
**Такафуми Мияма, профессор университета Тезукаяма, Нара, Япония**

## Система сертификации сейсмоизолирующих устройств в Японии

---

**Аннотация:** В 2000 году в Японии произошел пересмотр строительных норм с целью включения в них требований по применению технологии сейсмоизоляции. Положения (Кокудзи) 2009 и 1446 содержат требования по проектированию и правила сертификации сейсмоизолирующих устройств, соответственно. Все применяемые сейсмоизолирующие устройства перед использованием должны быть сертифицированы Министерством земельных ресурсов, инфраструктуры, транспорта и туризма (MLIT). В результате фальсификации одной из компаний результатов испытаний, проводимых при сертификации на основе заводского производственного контроля (ЗПК), включающего инспектирование на заводе, в 2015 году требования сертификации при ЗПК были ужесточены. В связи с тем, что в Японии нет независимых испытательных лабораторий, все типы испытаний и ЗПК обычно проводятся самим производителем. В 2017 году, было принято решение, что при проектировании в длиннопериодной области необходимо учитывать изменения характеристик сейсмоизолирующих устройств, обусловленные наличием больших периодов и длительностью колебаний основания при землетрясении. Это предусмотрено в другом нормативном документе. Органы сертификации, известные как аккредитованные инспек-

ционные органы, теперь открыты даже для частных компаний. Устройства были приблизительно классифицированы по 3 видам: изоляторы, демпферы и подшипники качения. Японское общество по сейсмоизоляции (JSSI) опубликовало в 2009 году каталог объемом в 750 страниц, включающий всех рекомендуемых производителей. Информацию о сертификационных центрах и сертифицированных устройствах можно легко проверить с помощью веб-страниц. В данной статье основное внимание будет уделено эксплуатационным свойствам сейсмоизолирующих устройств, необходимых для сертификации. Будут приведены как типовые испытания, так и испытания при ЗПК. Для лучшего понимания характеристики, предъявляемые к резинометаллическим опорам и вязкостным демпферам, сравниваются с содержащимися в EN15129. В характеристики резинометаллических опор со свинцовым сердечником входят следующие категории: материалы, размеры, несущая способность в горизонтальном направлении, свойства в вертикальном и горизонтальном направлениях, взаимозависимость свойств и скольжение. В характеристики вязкостных демпферов включены материалы, размеры, свойства в горизонтальном направлении и взаимозависимость свойств.

**Ключевые слова:** строительные нормы, системы сертификации, сейсмоизолирующие устройства, резинометаллическая опора со свинцовым сердечником, вязкостный демпфер.

## 1. Introduction

After the 1994 Northridge earthquake in the USA, the 1995 Hyogoken-Nanbu earthquake in Japan and the 1999 Chi-Chi earthquake in Taiwan, the number of seismically isolated buildings has increased rapidly in Japan. The most recent building code provisions took effect in 2000 to include design method of seismically isolated buildings (Notification No. 2009) and certification system of seismic isolation devices (Notification No. 1446, MLIT 2019a, BCJ 2016). This certification system of seismic isolation devices is limited to be used in buildings. Unfortunately, the energy dissipation devices were not covered by this provision. Before 2000, these devices were usually reviewed at the review process of the building design, since all these kinds of buildings had to be reviewed at a special route using time history analysis method. All seismic isolation devices must be certified by the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT) before using. In 2015, the factory production control (FPC) certification system to include inspection at factory was strengthened due to one company's falsifying FPC test data.

In the other hand, European Standard EN 15129 "anti-seismic devices" covered all devices used in the building seismic isolation, energy dissipation and civil engineering. It was revised in 2018 and became legally binding in the countries of the European Union. In China (Ministry of Construction, 2010) and USA (ASCE 2016), there are some technical standards for seismic isolation devices. However, there are no certification system for manufacturers.

In table 1, the certification systems are compared together. FPC inspection and verification of conformity usually are conducted by the same certification authority or notified body. There are about ten certification authorities, capable to review seismic isolation devices, approved by MLIT in Japan. One can find the information about the authorities in the web pages (MLIT 2019b, Building Performance Standardization Association (BPSA) 2019a). The major authorities are Building Center of Japan (BCJ), Japan Society of Seismic Isolation (JSS) and General Building Research Corporation of Japan (GBRC). However, there is no independent laboratory having enough facilities to conduct tests in Japan. All the type and FPC tests are conducted by manufacturers themselves.

**Table 1** — Certification system comparison of Japan, EU, China and USA

	Japan	EN15129	China	USA
Type testing (notified laboratory)	o <sup>*1</sup>	o	o	o
FPC inspection (notified body)	o	o	-	-
Verification of conformity and issuance of the certification (notified body)	MLIT Certification	CE Marking	-	-

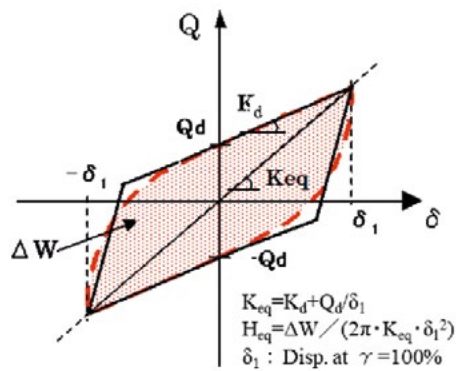
\*1: There is no independent laboratory having enough facilities conducting tests in Japan. All the type and FPC tests are conducted by manufacturers themselves.

**Table 2** — Sample of JSSI catalog (JSSI 2009) for lead rubber bearings

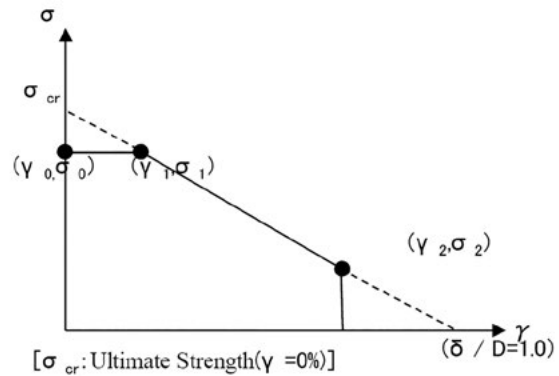
<b>H = 200 mm Series Lead Rubber Bearings (20°C)</b>			<b>ERIL-H-G4-900-160</b>	<b>ERIL-H-G4-900-180</b>	<b>ERIL-H-G4-900-200</b>
	G	N/mm <sup>2</sup>			
Dimensions	Diameter	mm	900	900	900
	Diameter of lead plug	mm	160	180	200
	Thickness of inner rubber	mm	6.0	6.0	6.0
	Total number of inner rubber	sheet	34	34	34
	Total thickness of rubber	mm	204.0	204.0	204.0
	S1		37.5	37.5	37.5
	S2		4.41	4.41	4.41
	Thickness of inner plate	mm			
	Diameter of flange	mm	1300	1300	1300
	Thickness of flange (middle)	mm	43.0	43.0	43.0
	Total height	mm	438.5	438.5	438.5
Critical property	Critical strain (Vertical load = 0)	%	400	400	400
	Critical strain (Vertical load = $\sigma$ )	%	388	388	388
	Hysteresis				
Vertical property	Critical strength ( $\gamma_0, \sigma_0$ )	(%, N/mm <sup>2</sup> )	(0.43.7)	(0.43.7)	(0.43.7)
	Critical strength ( $\gamma_1, \sigma_1$ )	(%, N/mm <sup>2</sup> )	(99,43.7)	(99,43.7)	(99,43.7)
	Critical strength ( $\gamma_2, \sigma_2$ )	(%, N/mm <sup>2</sup> )	(400,10.7)	(400,10.7)	(400,10.7)
	Vertical stiffness (Kv)	×10 <sup>3</sup> kN/m	3895	3895	3895
	Standart vertical pressure ( $\sigma$ )	N/mm <sup>2</sup>	12	12	12
	Standart vertical load (V)	kN	7634	7634	7634
Horizontal property	Critical tensile strength	N/mm <sup>2</sup>			
	Unloading stiffness (K1 = 13×Kd)	kN/m	15,926	15,992	16,065
	After yielding stiffnes (Kd)	kN/m	1,225	1,230	1,236
	Yield load (Qd)	kN	160	203	250
	Equivalent stiffness (Keq)	kN/m	2,011	2,225	2,463
	Equivalent damping ratio (Heq)	%	23.5	26.5	29.1
Variation	Standart shear strain	%			
	Range of Kv	%			
	Range of Kd	%			
Dependency property	Degradation	Kd (%)	(60 years)/(Initial)		
		Qd (%)	(60 years)/(Initial)		
	Temperature	Kd (%)	(-10 °C)/(20°C)		
			(0 °C)/(20°C)		
			(30 °C)/(20°C)		
		Qd (%)	(40 °C)/(20°C)		
			(-10 °C)/(20°C)		
			(0 °C)/(20°C)		
	Shear strain	Kd (%)	(30 °C)/(20°C)		
			(40 °C)/(20°C)		
		Qd (%)	(50%)/(100%)		
			(200%)/(100%)		
Creep	Qd (%)	(50%)/(100%)			
		(200%)/(100%)			
Creep	(%)	20°C×60 years			



ERIL-H-G4-950-170	ERIL-H-G4-950-190	ERIL-H-G4-950-210	ERIL-H-G4-1000-180	ERIL-H-G4-1000-200	ERIL-H-G4-1000-220	ERIL-H-G4-1100-200	ERIL-H-G4-1100-220	ERIL-H-G4-1100-240
0.392								
950	950	950	1000	1000	1000	1100	1100	1100
170	190	210	180	200	220	200	220	240
6.4	6.4	6.4	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
31	31	31	29	29	29	29	29	29
198.4	198.4	198.4	203.0	203.0	203.0	203.0	203.0	203.0
37.1	37.1	37.1	35.7	35.7	35.7	39.3	39.3	39.3
4.79	4.79	4.79	4.93	4.93	4.93	5.42	5.42	5.42
4.5								
1350	1350	1350	1400	1400	1400	1500	1500	1500
43.0	43.0	43.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0
419.4	419.4	419.4	425.0	425.0	425.0	425.0	425.0	425.0
400	400	400	400	400	400	400	400	400
400	400	400	400	400	400	400	400	400
Q=Kd×δ+Qd								
(0.47.1)	(0.47.1)	(0.47.1)	(0.47.2)	(0.47.2)	(0.47.2)	(0.55.4)	(0.55.4)	(0.55.4)
(113,47.1)	(113,47.1)	(113,47.1)	(118,47.2)	(118,47.2)	(118,47.2)	(131,4755.4)	(131,4755.4)	(131,4755.4)
(400,17.2)	(400,17.2)	(400,17.2)	(400,19.1)	(400,19.1)	(400,19.1)	(400,27)	(400,27)	(400,27)
4429	4429	4429	4660	4660	4660	6042	6042	6042
14	14	14	15	15	15	15	15	15
9924	9924	9924	11781	11781	11781	14255	14255	14255
1.0								
18,249	18,321	18,400	19,766	19,840	19,922	23,925	24,006	24,096
1,404	1,409	1,415	1,520	1,526	1,532	1,840	1,847	1,854
181	226	276	203	250	303	250	303	361
2,316	2,549	2,807	2,520	2,760	3,025	3,074	3,339	3,630
23.7	26.5	29.0	23.9	26.5	28.9	24.1	26.5	28.7
100								
between ± 20%								
between ± 15%								
between ± 15%								
under + 10%								
under + 5%								
+ 8.5%	(based on shear strain dependency formulation)							
+ 5.6%	(based on shear strain dependency formulation)							
- 2.7%	(based on shear strain dependency formulation)							
- 5.3%	(based on shear strain dependency formulation)							
+ 30.2%	(based on shear strain dependency formulation)							
+ 19.2%	(based on shear strain dependency formulation)							
- 8.4%	(based on shear strain dependency formulation)							
- 16.1%	(based on shear strain dependency formulation)							
+ 18.9%	(based on shear strain dependency formulation)							
- 8.0%	(based on shear strain dependency formulation)							
± 0.0%	(based on shear strain dependency formulation)							
± 0.0%	(based on shear strain dependency formulation)							
under 8%								



a) Fundamental property



b) Critical vertical strength dependent on shear strain

Figure 1 — Definition of horizontal properties of lead rubber bearing

## 2. Certification system in Japan

Seismic isolation devices are one of the materials implemented in Notification No. 1446 issued by MLIT. The main purpose of Notification No. 1446 can be summarized as follows. In accordance with the provisions of Article 37 of the Building Standard Law (Law No. 201 of 1950) technical criteria shall be established as specified below with respect to building materials used for the foundation and principal building parts of buildings and with respect to Japanese Industrial Standards or Japanese Agricultural Standards, and quality that should apply to these building materials. If one material is not stipulated in the Building Code, it should be certified by a certification authority before using. A certification authority will be approved by MLIT according to the material category. The certification authority shall submit their certification procedure including review committee, documents formats etc. to MLIT to be proven.

A manufacturer should submit required documents to an authority for certification based on the guideline (BCJ 2019). The authority will hold a review committee to judge the application. The documents usually include two parts: quality control system of the factory and test results of the device. From 2015, the authority shall inspect the factory on site and witness the test in addition to the document review at the review committee. If a manufacturer has obtained ISO 9001 Quality Management System certification, audit of quality control system may be partially omitted. Since there is no independent laboratory having enough facilities conducting tests, performance tests conducted by manufacturers can be accepted by the authority.

There are three kinds of isolation devices popularly used in Japan: isolator, damper and restoring bearing. In the isolator devices, there are natural rubber bearing (RB), lead rubber bearing (LRB), high damping rubber bearing (HDR), flat slider and friction pendulum system (FPS). In the damper devices, there are oil damper, viscous damper, steel damper and lead damper. The restoring bearing, which will not support the gravity load of a structure and provide only restoring force, is usually used in the detached houses with flat slider or roller bearing. A list of certified devices in Japan can be found in a web page (MLIT 2019c). There is a search engine operated by Building Performance Standardization Association (BPSA 2019b). JSSI has published a 750 pages catalog in 2009 to include all certified devices for reference.

This paper will focus on the performance properties

of seismic isolation devices required for certification. Both type testing and FPC test will be introduced. In the following sections, the test contents of lead rubber bearings and velocity-dependent viscous dampers will be introduced comparing with EN 15129.

## 3. Required test contents of lead rubber bearings

The percentage of lead rubber bearings used in Japan is about 30% in the isolator devices. The lead rubber bearing has all three functions needed for the seismic isolation system: supporting gravity of building, providing restoring force and damping to absorb energy. Following items should be stipulated in the application documents.

- ◆ Materials: Standard, mechanical properties and chemical composition etc.
- ◆ Dimensions: thickness, diameter etc.
- ◆ Materials: standard, mechanical properties and chemical composition etc.
- ◆ Properties of the products
  - Horizontal capacities: max. deformation capacity, hysteresis loop
  - Vertical properties: standard vertical pressure, vertical stiffness ( $K_v$ ), critical vertical strength ( $\gamma, \sigma$ ) shown in Figure 1b, tension-shear property
  - Horizontal properties: after yielding stiffness ( $K_d$ ), yield load of lead plug ( $Q_d$ ) shown in Figure 1a
  - Dependency properties: shear strain, temperature, vertical load, ageing
  - Creep property

Standard vertical pressure is defined upon the 2<sup>nd</sup> shape coefficient ( $S_2$ ) of the device, which ranges from 6-15 MPa corresponding with  $S_2=3-5$ . The fundamental properties such  $K_v$ ,  $K_d$  and  $Q_d$ , max. deformation capacity, hysteresis loop etc. will be tested upon this value. The tension-shear property is usually conducted at 100% shear strain to obtain the tension elastic limit.

The values of dimensions or test results should be converted to the values at 20°C, if performed at a different environment. Feng et al. (2004) have reported typical test results listed above in detail. Sample of JSSI catalog (JSSI 2009) is shown Table 2, which listed all information needed for structural design.

In Table 3, comparison of testing requirement between EN15129 and N.1446 is shown. Most of the requirement on

**Table 3** — Comparison of testing requirement between EN15129 and N.1446 for lead rubber bearings

Test contents	EN15129	N. 1446		
	Type Testing	FPC	Type Testing	FPC
Capacity in compression under zero horizontal displacement	Load 1.3NSD,ULS. No defects visible	N/A	N/A	N/A
Compression stiffness	Report value	Within ±30% of type test value. No defects	Within ±20% of design value	Within 20% of design value
Tension-shear test	N/A	N/A	Report tension elastic limit at 100% shear strain	N/A
Horizontal characteristics $K_b$ and $\xi_b$ (or $K_2$ and $Q_d$ ) under cyclic deformation	Report strain dependence. At design displacement, $d_{bd}$ , values within ±20% of design value.	Values within ±20% of required values at design shear strain	Report strain dependence. At 100% shear strain, within ±10% or 15% of design value	At 100% shear strain, within ±10% or 15% of design value
Horizontal stiffness under a one-sided ramp loading	Report value at design displacement, $d_{bd}$	Within ± 20 % of adjusted type test value	N/A	N/A
Cyclic test to determine $K_b$ and $\xi_b$ (or $K_2$ and $Q_d$ ), performed at one of the low shear strain amplitudes	N/A	Within ± 20 % of Type Test values at shear strain chosen for test	N/A	N/A
Variation of horizontal characteristics $K_b$ and $\xi_b$ (or $K_2$ and $Q_d$ ) with frequency	Report variation. Maximum variation ±20 %	N/A	N/A	N/A
Variation of horizontal characteristics $K_b$ and $\xi_b$ (or $K_2$ and $Q_d$ ) with temperature	Report variation. Maximum variation within limits	N/A	Report variation	N/A
Dependence of horizontal characteristics $K_b$ and $\xi_b$ (or $K_2$ and $Q_d$ ) on repeated cycling	Dependence within limits	N/A	(other code)	N/A
Horizontal capacity under maximum and minimum vertical loads	Force-displacement curve increasing up to $\gamma_b d_{Ed}$ . No defects	N/A	Constitutive law test for $\sigma - \gamma$ relationship	N/A
Change of horizontal characteristics $K_2$ only for LRB due to ageing	Change < 20 %	N/A	Report value	N/A
Creep test under vertical load	Total Creep rate < 20% between 10 and $10^4$ min	N/A	Creep rate < 8 %	N/A

the properties are same in both codes. In type testing, the frequency dependence test is not required in N.1446. The repeated cycling test should be conducted at a period of 3-5 second, while total accumulated displacement must be over 50m. It is implemented in the other code in Japan as reported by Kikuchi, M and K. Ishii (2018). The tension-shear property is not required in EN 15129. In the factory production control testing, all the production shall be tested by the manufacturer in

Japan. However, the first production and 20% randomly chosen production are conducted in EN15129.

**4. Required test contents of viscous dampers**

Oil dampers and Viscous dampers have been widely used in Japan. In a severe earthquake, these kind velocity-dependent dampers can keep good performance and continuously function well to make sure the structures safe. Fluid type

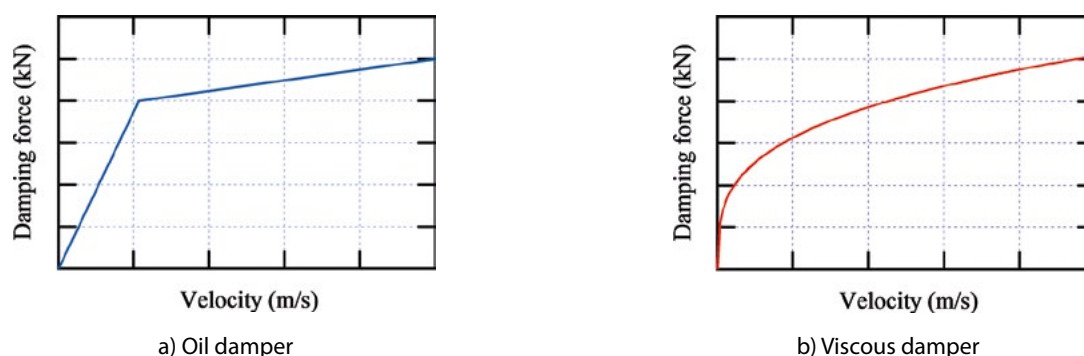


Figure 2 — Constitutive law of velocity-dependent dampers

dampers are mainly referred to as viscous dampers that use viscous force, and oil dampers that mainly use inertial force. Thus, the fluid viscosity is much different in these two kinds of fluid dampers. Oil dampers, using low viscosity fluid, have a bi-linear model corresponding with the velocity shown in Figure 2a, which have been used more widely in Japan. However, the viscous damper, using high viscosity fluid, is more common in the world, where the damping force is designed being proportional to a velocity exponent shown in Figure 2b.

Following items should be stipulated in the application documents for the viscous dampers:

- ◆ Materials: Standard, mechanical properties and chemical composition etc.
- ◆ Dimensions: length, diameter etc.
- ◆ Properties of the products
  - Horizontal properties: constitutive law test, stroke verification test, buckle test
  - Dependency properties: temperature, repeated cycling test

In the constitutive law test, the applied velocity shall include several velocity values and the maximum rated velocity. In the stroke verification test, static loading is permitted to accommodate the rated stroke. In the buckle test, the damper

Table 4 — Sample of JSSI catalog (JSSI 2009) for viscous dampers

Contents		Production model				
		VD- 500-500	VD-1000-500	VD-500-600	VD-1000-600	VD-1600-600
Dimensions	Diameter of cover (mm)	240	321	240	321	398
	Width clevis plate (mm)	80	120	80	120	140
	Diam. of pin(mm)	80	110	80	110	160
	Length(mm)	3300	3400	3800	3900	4300
	Max Length(mm)	3800	3900	4400	4500	4900
	Min Length(mm)	2800	2900	3200	3300	3700
	Stroke (mm)	1000	1000	1200	1200	1200
Capacity	Max disp.(mm)	±500	±500	±600	±600	±600
	Constitutive law	F=CV <sup>α</sup>				
	Max vel.(m/s)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	Max force(kN)	450	900	450	900	1440
Constitutive law	Type	velocity-dependent				
	Exponent α	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	C(kNs/m)	450	900	450	900	1440
Dispersion	C value	±15%				
Dependence	Temperature	during -20°C~+80°C, the variation of C is within±10%				
	Repeated Cycling	Variation of damping force within ±10%				

**Table 5** — Comparison of testing requirement between EN15129 and N.1446 for viscous dampers

Test contents	EN15129		N. 1446	
	Type Testing	FPC	Type Testing	FPC
Pressure test	X	X	N/A	N/A
Low velocity test	X	X	N/A	N/A
Constitutive law test	X	X	X	X
Damping efficiency test	X	X	N/A	N/A
Wind load test	X	N/A	N/A	N/A
Seal wear test	X	N/A	N/A	N/A
Stroke verification test	X	N/A	N/A	N/A

will be confirmed safety at the maximum length with the maximum damping force, while the damper suffered vertical acceleration response. Since it is difficult to conduct this kind of test dynamically, static test is allowed in practice. The repeated cycling test should be conducted at a period of 3-5 second, while total accumulated displacement must be over 50m. It is implemented in the other code in Japan. Oil damper was reported to have few changes in the mechanical property after suffering such large input energy (BRI 2016). In the determined long period area, if the change of the property is large, it should be considered in the structural design.

Feng et al. (2017) have reported typical test results listed above in detail. Sample of JSSI catalog (JSSI 2009) is shown Table 4. In Table 5, comparison of testing requirement between EN15129 and N.1446 is shown. N.1446 required only constitutive law tests. In the factory production control test, 100% of the

production shall be conducted by the manufacturer in Japan. However, in EN15129, one unit per production lot shall be subjected to the following tests: Low Velocity Test, Constitutive Law Test, Damping Efficiency Test. The Pressure test shall be performed to 100% of the production units.

### 5. Conclusions

The certification system of seismic isolation devices based on Notification No. 1446 in Japan was introduced. All seismic isolation devices must be certified by the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT) before using. Since there is no independent laboratory having enough facilities conducting tests in Japan, all type testing and factory production control tests are conducted by manufacturers. In the factory production control test, 100% of the production shall be conducted for all kind seismic isolation devices.

### References

- ASCE (2016), *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*, Chapter 17, SEI/ASCE 7-16
- BCJ (2016), *The Building Standard Law of Japan on CD-ROM (May 2016)*.
- BCJ (2019), *Quality Performance Evaluation Procedure for Building Materials*, [www.bcj.or.jp/upload/rating/bizunit/standard/standard01/37\\_gyomuhouhou\\_kihyou.pdf](http://www.bcj.or.jp/upload/rating/bizunit/standard/standard01/37_gyomuhouhou_kihyou.pdf) (in Japanese).
- BPSA (2019a), *List of Certification Authorities in Japan*, <http://www.seinokyo.jp/hyoukakikan/> (in Japanese).
- BPSA (2019b), *Search Engine of certified devices in Japan*, [www.seinokyo.jp/ninteidb/pub/](http://www.seinokyo.jp/ninteidb/pub/) (in Japanese).
- BRI (2016), *Research on Characteristics of Isolators and Dampers under Multi-cyclic Earthquake Motions and Effects on Response of Seismically Isolated Buildings*, [www.kenken.go.jp/japanese/contents/publications/data/170/index.html](http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/publications/data/170/index.html) (in Japanese)
- EN 15129:2018, *Anti-seismic devices*, CEN, European Committee for Standardization.
- Feng, D. et al. (2004). *A Performance Test Study on Chinese G4 Lead Rubber Bearings*. 13WCEE, No.676, Vancouver, B.C., Canada.
- Feng, D. et al. (2017). *Dynamic tests of SRIM fluid viscous dampers*, 15WCSI, Wellington, New Zealand
- JSSI (2009), *Lists of certified seismic isolation devices* (in Japanese).
- Kikuchi, M and K. Ishii (2018). *Thermal-mechanical coupled behavior of elastomeric Isolation bearings under cyclic loadings*, 16ECEE, No.11240, Thessaloniki, Greece
- Ministry of Construction, China (2010), *Code for seismic design of buildings*, GB50011-2010 (in Chinese).
- MLIT (2019a), *Notification No. 1446*, [www.mlit.go.jp/notice/noticedata/pdf/201706/00006705.pdf](http://www.mlit.go.jp/notice/noticedata/pdf/201706/00006705.pdf) (in Japanese).
- MLIT (2019b), *List of Certification Authorities in Japan*, [www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/jutakukentiku\\_house\\_fr\\_000034.html](http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/jutakukentiku_house_fr_000034.html) (in Japanese).
- MLIT(2019c), *List of certified devices in Japan*, [www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/jutakukentiku\\_house\\_tk\\_000042.html](http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/jutakukentiku_house_tk_000042.html) (in Japanese).

**For citation:** Feng D., Liu W., Miyama T. *Certification System of Seismic Isolation Devices in Japan. Seismostoi koe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii* [Earthquake engineering. Constructions safety], 2019, no. 4, pp. 32-39. (In English).



**Peter Huber**  
**Head of Business Development structural Protection Systems**

**Mark Bresler**  
**Sales Director**

---

**MAURER SE, Munich, Germany**

---

УДК 624.07

## Seismic Isolation Protection System for the 1081-bed Eskişehir City Hospital in Turkey

**Abstract:** The Eskişehir City Hospital with four building blocks is located east of Istanbul in a highly seismic zone with up to 0,6 g PGA. To avoid any damages to the structure or fatalities and enable absolute continued functionality even after the maximum credible earthquake (MCE) event, it was decided to apply seismic isolation with pendulum isolators. This paper will show the design considerations to limit the base shear within the isolated building blocks for the MCE event down to less than 0,13 W (= seismic weight = DL + 0,3LL) on isolator top level and max. 0,2 W on the upper floor building levels and the realization with suitable seismic

pendulum isolators. For these low shear level requirements the isolator performance was adjusted to 3,5 s effective period and 26 % damping. With the strict quality supervision during the production procedure, with third party prototype testing at EU Center in Pavia and with third party production testing at University Munich, the reliability and durability of the isolators to resist up to five or more MCE events without damages was proven. The approach for this project is unique in a way that absolute no damages to the structure, to the content and the seismic isolators have been acceptable for the MCE event .

---

**Keywords:** seismic isolation; base shear reduction; no damages; immediate operation.

**Питер Хубер, руководитель направления по развитию систем защиты зданий, Мюнхен, Германия**  
**Марк Бреслер, директор по продажам MAURER SE, Мюнхен, Германия**

## Система сейсмоизоляционной защиты для 1081-местной городской больницы г. Эскишехира в Турции

**Аннотация:** Здание городской больницы Эскишехира, состоящее из четырех строительных блоков, расположено к востоку от Стамбула в зоне высокой сейсмичности с пиковыми ускорениями основания (PGA) превышающими 0,6g. Во избежание любых повреждений конструкций и оборудования здания или гибели людей, а также для обеспечения непрерывного функционирования

даже после события, аналогичного случаю максимального расчетного землетрясения (МРЗ), было принято решение применить сейсмоизоляцию с маятниковыми изоляторами. В данной статье рассмотрены конструктивные решения, приводящие к ограничению сдвига в изолированных строительных блоках для случая МРЗ до менее чем 0,13 Вт (=сейсмическая нагрузка =

DL + 0,3 LL) в верхнем уровне изолятора и максимум 0,2 Вт на верхних этажах здания при использовании в качестве сейсмозащиты маятниковых сейсмоизоляторов. Для достижения установленных требований по сдвигу характеристики изолятора были скорректированы для эффективного периода колебаний, составившего 3,5 с, и затухания 26%. Строгое соблюдение качества производства в соответствии с технологическим регламентом, испытание модели маятникового сейсмоизолятора

третьей стороной в европейском испытательном центре в г.Лавиа и в университете г.Мюнхена, подтвердили надежность и выносливость изоляторов сопротивляться без повреждений до 5 или больше случаев наступления ситуации типа МРЗ. Уникальность данного проекта заключается в обеспечении полного отсутствия каких-либо повреждений конструкций и оборудования здания госпиталя и сейсмоизоляторов в случае наступления случая МРЗ.

**Ключевые слова:** сейсмоизоляция, уменьшение сдвига основания, отсутствие повреждений, экстренная ситуация.

## 1. Introduction

In Turkey several new hospitals have been built during the past years. One of these is the Eskişehir City Hospital as in Figure 1 with 1081 nos. beds in the Odunpazari District of Eskişehir 250 km south east of Istanbul.

Due to the high seismicity of this region with up to 0.6 g PGA the published standard by Ministry of Health (MOT; The Ministry Of Health General Directorate of Health Investments 2014) required to apply seismic isolation for this structure with 977 nos. devices to reduce the base shear on the upper floor levels even down to less than 0.2 g (SismoLab 2016). For seismic isolation it was required to apply friction pendulum devices, lead rubber bearings or high damping rubber bearings. Finally the friction pendulum type of isolator was identified to be the only one fulfilling the requirement of 70 years service life, technically the best with smooth isolation performance, maintenance-free and even the most economic solution considering the project requirements. For the isolator design it was allowed to apply ASCE 7-10, EN15129 or IBC 2012 upon approval by the MOT.

The entire hospital consists of four single main blocks A, B, C and D as in Figure 2 with isolators on the second cellar level.

Block A has got 561 nos. isolators, block B has got 216 nos., block C has got 100 nos. and block D has got 100 nos. (SismoLab 2016).

## 2. Design of isolation system

For the isolation system Sliding Isolation Pendulums with double sliding plate (SIP D), which represent one of the most

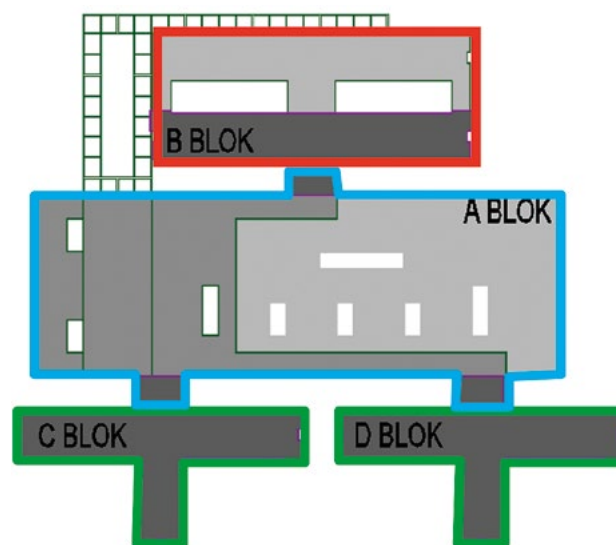


Figure 2 — Single blocks of hospital [2]



Figure 1 — Eskişehir City Hospital issued by DOST Construction

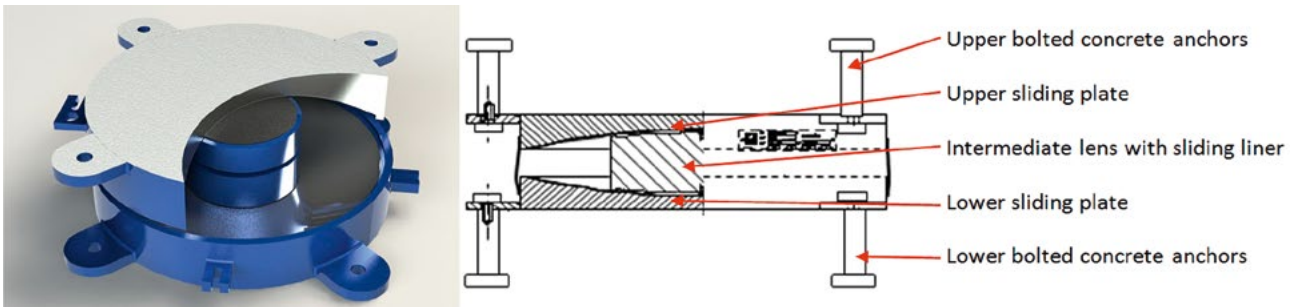


Figure 3 — Design principle of SIP D device

developed type of friction pendulum systems, were applied as in Figure 3. For their proper design various input data had to be considered.

### 2.1 Seismic hazard analysis

The Odunpazari District of Eskişehir is in 2<sup>nd</sup> degree seismic zone as in Figure 4 according to the Turkish Earthquake Code 2007 (Ministry of Public Works and Settlement Government of Republic of Turkey 2007).

The seismic hazard analysis was carried out by SismoLab Engineering in Ankara. The required horizontal site spectra for the 475 and 2475 years return periods are shown in Figure 5.

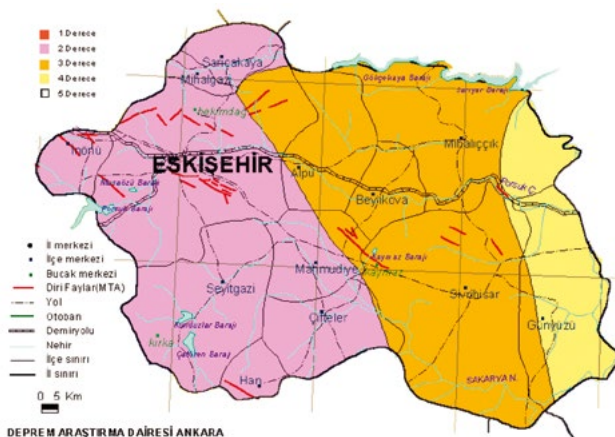


Figure 4 — Eskişehir earthquake map according to Turkish Earthquake Code 2007

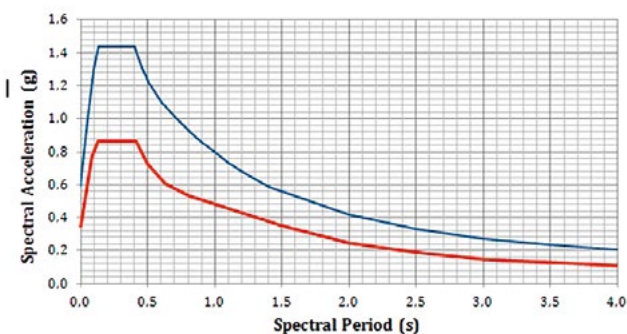


Figure 5 — Eskişehir earthquake map according to Turkish Earthquake Code 2007

### 2.2 Structural performance demand

To achieve that absolutely no damages within the structure occur after the MCE earthquake, certain demands (SismoLab 2016) must be considered.

1. Horizontal relative displacement between stores must be less than 0.5 % of height.
2. Maximum horizontal story acceleration on any floor must be less than 0.2 g.
3. Maximum vertically acting force onto the isolator will be obtained from the load case 1.2 Dead Load + Live Load + Earthquake Load. The minimum axial force results from 0.9 Dead Load – Earthquake Load.
4. Maximum displacement including reliabilities shall be less than 500 mm.
5. Stability and integrity of isolators must be granted.

The above requirements must be evaluated and confirmed within a nonlinear time-history seismic analysis of the structure with the applied SIP D devices. The suitable testing of the devices is verifying their stability and integrity even after several seismic events.

### 2.3 Seismic analysis of structure

To determine suitable isolator characteristics it was performed an equivalent linear analysis and a nonlinear time-history analysis. The property modification factors for the SIP D isolators representing the lower and upper bound performance levels were taken according to previous testing and design experience on similar devices for Isparta City Hospital and Erzurum Medical Campus as follows:

$$l_{\min} = 1.0 \text{ and } l_{\max} = 1.6 \quad (1)$$

#### 2.3.1 Equivalent linear analysis

Taking into account the response spectra in Figure 5 & 6 and the property modification factors, the equivalent damping ratio of the isolation system for the design and partly also for the maximum credible earthquake level exceeded 30 %. Thus it was required according to the code to go for the nonlinear time-history analysis.

#### 2.3.2 Nonlinear time-history analysis

The project specification (SismoLab 2016) requires to apply the seismic records of the earthquakes of Imperial Valley (1979), Morgan Hill (1984), Chalfant Valley-02 (1986), Superstition Hill-02, Landers (1992), Kocaeli (1999) and Joshua Tree (1992) as in Figure 6 and 7. These had to be scaled to the required levels shown in Figure 5.



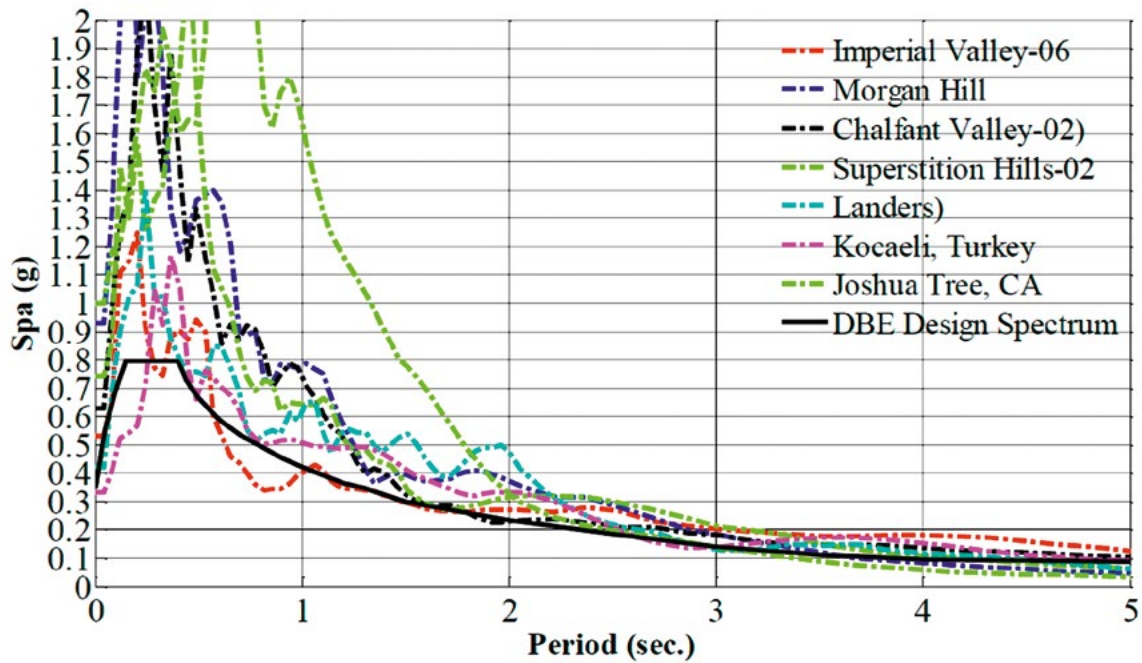


Figure 6 — Horizontal pseudo acceleration spectrum (5% damping) for DBE-level ground motion

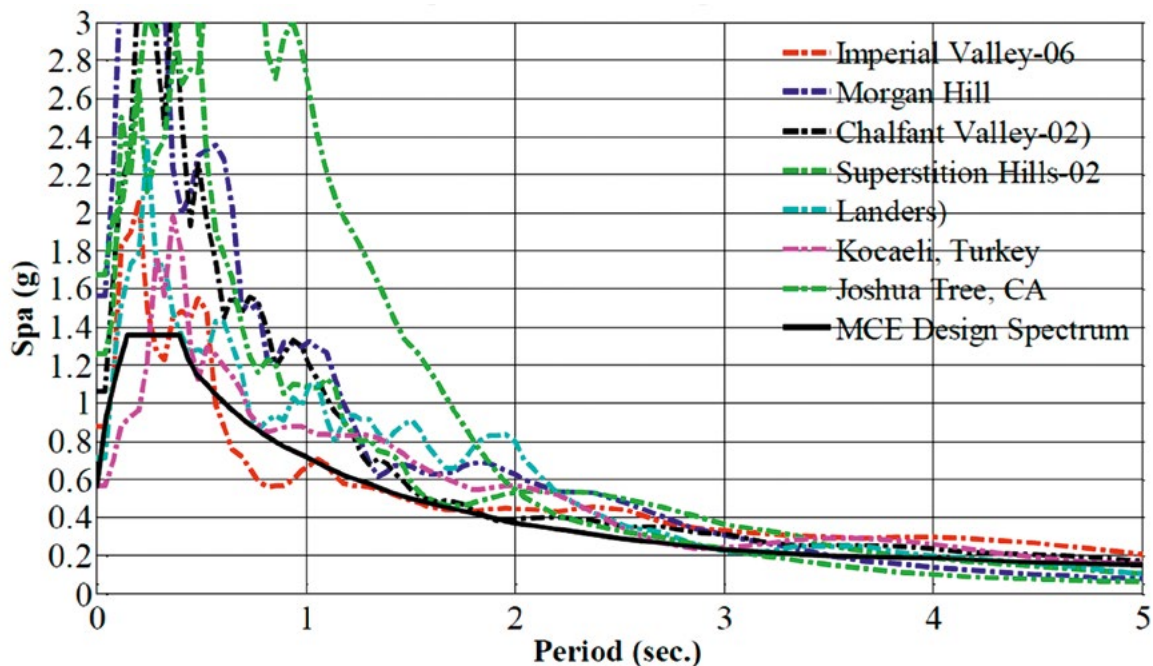


Figure 7 — Horizontal pseudo acceleration spectrum (5% damping) for MCE-level ground motion

Together with the designer's FE model and the available soil data a nonlinear time-history analysis was carried out, while achieving 377 mm maximum displacement for MCE and 177 mm for DBE load case with  $I_{min} = 1.0$ . The max. MCE-base shear at the isolator for  $I_{max} = 1.6$  is 12.7 % of the structural seismic weight, which was defined to be Dead Load + 0.3 Live Load (The Ministry Of Health General Directorate of Health Investments 2014). The DBE-base shear will then be limited to 7.6 % for  $I_{max} = 1.6$ .

Within the structural 3D-FE model of the single blocks it could be shown that the 0.2 g max. lateral acceleration was

not exceeded on the upper floor levels. Therefore it might be expected with this rather soft isolation system that no structural damages and no damages to the medical equipment will occur. The continued functionality was granted from the structural design point of view.

#### 2.4 Design of isolators

For the required loads between 2,500 kN and 25,100 kN in combination with 25 % MCE-damping with displacement +/-377 mm and 37 % DBE-damping with displacement +/-177 mm, the

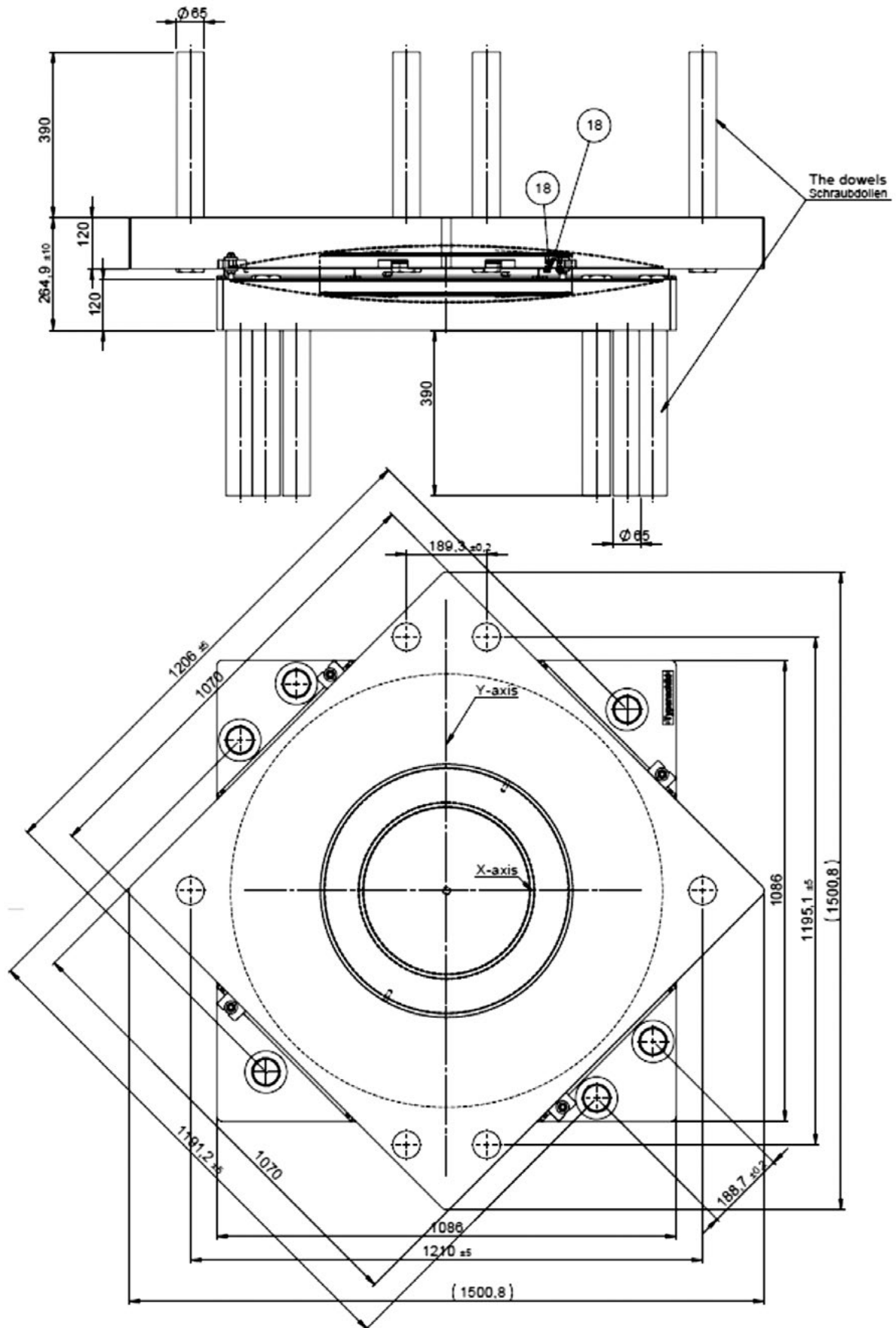


Figure 8 — Eskişehir City Hospital issued by DOST Construction

isolation system with lead rubber or even high damping rubber bearings turned out to be not feasible with respect to buckling stability and not economic. Therefore the friction pendulum type with two sliding plates was chosen as in Figure 3 and 8. The effective period was ultimately between 2.9 s for DBE and 3.5 s for MCE. These values were requiring 5000 mm effective pendulum radius within the isolator and a nominal dynamic friction of 5 % considering *Dead Load + 0.3 Live Load* (The Ministry Of Health General Directorate of Health Investments 2014).

The applied sliding liner material is called MSM<sup>®</sup>, which is a patented, high-performance sliding material for structural bearings. It's an ultra high molecular weight polyethylene modified with various additives, featuring enhanced sliding characteristics. Suitable sliding materials shall be able to guarantee the integrity of the isolators in high performance situations by means of: higher durability, higher allowable pressure which will result in smaller isolator dimensions as well as much greater wear resistance level and load capacity to withstand extremely high sliding velocities of more than 1 m/s without showing any wearing effects.

Based on the above, the structural designer and owner can be sure that even after several MCE events none of these SIP D bearings need maintenance or must be exchanged during the life time of the Eskişehir City Hospital (MAURER SE 2016; MAURER SE 2015). The SIP D design and all applied materials together with the quality management system is conform to the European Technical Approval (ETA) for spherical structural bearings of MAURER SE (Deutsches Institut fuer Bautechnik 2013). This ETA certifies to the owner in addition to the relevant standards that the durability and long term function will be achieved by all means.

The displacement capability of 377 mm for the lower bound properties of the isolators was increased on demand of the designer by 15 % to 430 mm displacement. These 15 % reliability will cover structural uncertainties like not perfect re-centring. For dust protection a high efficient dust wiper system between the upper and the lower concave plate was applied.

The lateral forces induced by the isolators' inner friction and stiffness were anchored with 4-6 pcs. massive bolted concrete anchor dowels – up to 65 mm diameter and 390 mm length – into the concrete as in Figure 8. The styles for three levels of headings are specified.

## 2.5 Testing of isolators

For testing ASCE 7-10 or EN15129 or IBC 2012 was required. The chosen SIP D isolator design is based on the European Technical Approval (Deutsches Institut fuer Bautechnik 2013) for spherical bearings and therefore it was most reasonable to perform the testing to the relevant corresponding European standard EN15129 for Anti-Seismic Devices (CEN 2009).

The participating Universities from Bochum, Munich and Pavia with their high commitment made it possible to test 12 nos. prototypes and 293 nos. production bearings within three months only.

### 2.5.1 Prototype testing

Two samples of each of the six isolator types – in total 12 nos. – had to be tested. The test matrix of Table 1 was applied. The EUCENTRE in Pavia, Italy was chosen for these type tests as in Figure 9 to fulfil the testing requirements of max. 500 mm/s velocity combined with max. 430 mm displacement amplitude.

**Table 1** — Test matrix for prototype testing for one certain bearing type 1

test #	test name	label	main dof	Ampl. [m]	max vel [m/s]	freq [Hz]	load shape	vert load [kN]	cycles [#]
0	Pre-test 0	P0	long	±0,430	0,500	0,185	sine	2493	3
1	Pre-test 1	PT1	vert	-	-	-	constant	2493	-
2	Frictional Resistance	FR	long	±0,006	0,0001	0,0042	triangular	2493	1
3	Service	S	long	±0,010	0,005	0,080	sine	2493	20
4	Benchmark	P1	long	±0,185	0,050	0,043	sine	2493	3
5	Dynamic 1	D1	long	±0,108	0,500	0,740	sine	2493	3
6	Dynamic 2	D2	long	±0,215	0,500	0,370	sine	2493	3
7	Dynamic 3	D3	long	±0,430	0,500	0,185	sine	2493	3
8	Seismic (N_Ed, max)	E1	long	±0,430	0,500	0,185	sine	7039	3
9	Seismic (N_Ed, min)	E2	long	±0,430	0,500	0,185	sine	1500	3
10	Property verification	P2	long	±0,430	0,500	0,185	sine	2493	3
11	Bi-Directional	B	long	±0,430	0,500	0,185	sine	2493	3
12	Load Bearing Capacity	BC	vert	-	-	-	constant	7039	-
13	Post-test	PT2	vert	-	-	-	constant	2493	-

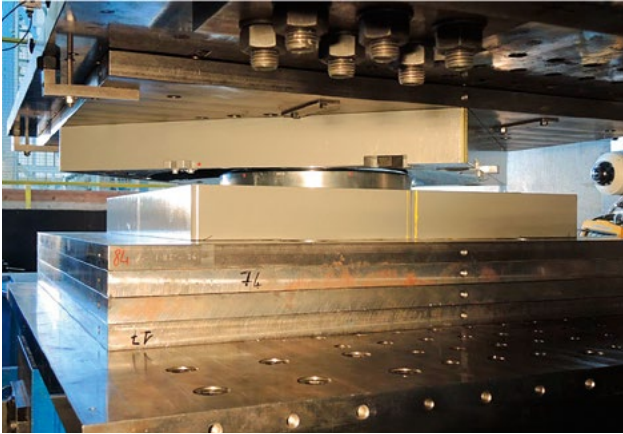


Figure 9 — Prototype testing at EUCENTRE in Pavia, Italy

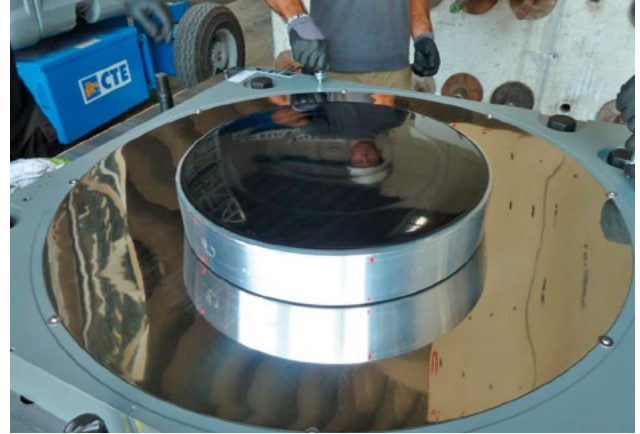


Figure 10 — Opening and integrity check of isolator after testing

After testing the isolators were opened to determine any degradation or damages to the liner or device itself as in Figure 10. No damages were found. There were no signs of wearing on surface or thickness decrease of liner material, extrusion or scratches in the liner and not on the stainless steel.

The simulation of more than three MCE events on the same SIP D device within the required testing according

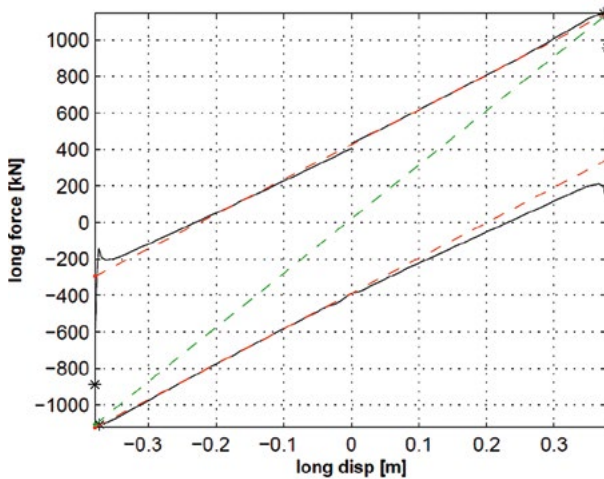


Figure 11 — Hysteretic loop of SIP D isolators under load of 9,712 kN, 430 mm displacement and 500 mm/s velocity

to EN15129 (CEN 2009) showed that the performance characteristics did not change.

The test results have proven the durability and reliability of the isolators' damping capability during several simulated MCE events. The isolators have got constant hysteretic loops as in Figure 11, while showing very low static friction values of 6.00 % to 6.25 %, i.e. these have no influence on locking effects for any frequently returning operational earthquake levels.

Finally it can be concluded that the isolators will work properly during the entire life time of the structure, which for this building typology is 70-120 years. The testing criteria had been fulfilled.

### 2.5.1 Production testing

In total 292 nos. – corresponding to 30 % out of all 977 nos. devices – had to be tested within the specified production test framework. These tests were performed at Universitaet der Bundeswehr in Munich/Germany and Ruhruniversitaet Bochum/Germany to get the full amount of 292 nos. devices tested just in time. Per day 2 to 5 nos. devices, which were randomly chosen by the construction company, were tested.

The testing was performed with the seismic load *Dead Load* + 0.3 *Live Load* with 50mm/s and for +/-185 mm displacement.

### 2.6 Installation of isolators

Each isolator was supplied as one assembled unit as in Figure 12. Finally the concrete anchors had to be assembled on site to



Figure 12 — SIP D isolators with assembled upper and lower sliding plate ready for dispatch



Figure 13 — Positioning of SIP D isolator on plinth in the cellar level below

the isolator upper and lower sliding plate, as for transportation it was more economic to have these not already connected to the isolators.

The units with a single mass of 410 kg to 2,020 kg could be rather easily installed with a lifting crane and two workers as in Figure 13.

When the isolator is adjusted horizontally in the final position a high strength grout joint of 30-50mm thickness provides under the device the full surface contact to the plinth as in Figure 14.

### 3. Conclusions

For the Eskişehir City Hospital an isolation system consisting of Sliding Isolation Pendulums (SIP D) was chosen, as it deemed to be best in terms of technical performance and economical savings.

Within a structural time-history analysis the SIP D performance parameters – like damping and period – were evaluated to be most suitable to fulfil the challenging demand of max. 0.2 g acceleration limit on the upper floor levels.

The isolator design according to the European Technical Approval (Deutsches Institut fuer Bautechnik 2013) and EN15129 (CEN 2009) is ensuring the highest possible quality level. The devices were consequently adapted to the rather great loads of up to 25 MN and the demand for absolute integrity combined with extreme durability even after several MCE events.

The third party testing under severe testing conditions at Universities in Bochum, Munich and Pavia confirmed the performance stability and reliability together with excellent durability.

Based on the perfect isolator performance it could be ensured that maintenance will not be needed. Concluding from this, the service life time will be identical to the building life time or even longer.

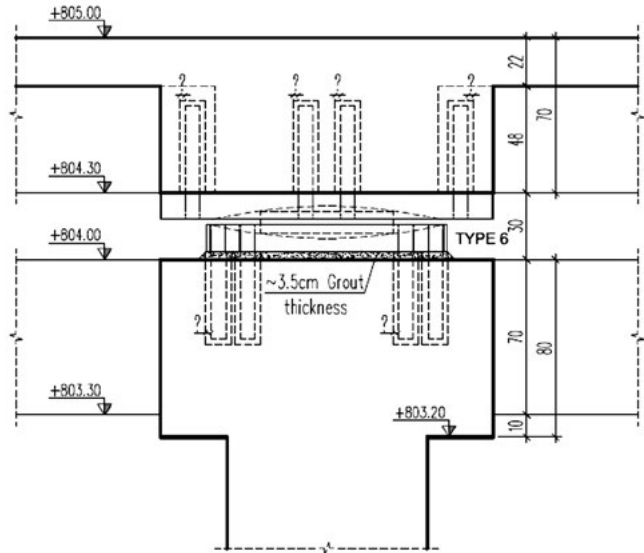


Figure 14 — SIP D isolator on plinth with upper structural slab and grout joint

The SIP D device type is fulfilling together with its selected rather special performance the no-damage-criteria even for the MCE earthquake for itself as a structural member. The Eskişehir City Hospital achieves continued functionality after any seismic event.

### 4. Acknowledgments

The authors want to thank the companies DOST Construction, AKFEN Holding, Miyamoto and SismoLab for the effective and straight forward cooperation. The testing institutes of the Universitaet der Bundeswehr Munich, Ruhruniversitaet Bochum and EUCENTRE provided extremely rapid and competent support on testing of the isolators what has been appreciated very much indeed.

### References

1. CEN (2009) EN15129 Anti-Seismic Devices. Published by EOTA, Brussels, Belgium
2. MAURER SE (2015) MAURER Earthquake Protection Systems – As unique as the buildings they protect. Published by MAURER SE, Munich, Germany.
3. Deutsches Institut fuer Bautechnik (2013) European Technical Approval ETA-06/0131. Published by EOTA, Brussels, Belgium.
4. MAURER SE (2016) MAURER Structural Bearings State of the art of sustainable solutions. Published by MAURER SE, Munich, Germany.
5. The Ministry Of Health General Directorate of Health Investments (2014) Minimum Standards To Be Followed With The Projects And Construction Works On Earthquake Insulated Buildings. Published by MOT. Ankara, Turkey.
6. Ministry of Public Works and Settlement Government of Republic of Turkey (2007). Specification for Buildings to be built in seismic Zones. Published by MPW. English Translation, Istanbul, Turkey.
7. SismoLab (2016) 1081-Bed Eskişehir City Hospital - Technical Specification and Test Criteria For Seismic Isolation Elements. Project Specification Documentation. Ankara, Turkey.

**For citation:** Huber P., Bresler M. Seismic Isolation Protection System for the 1081-bed Eskişehir City Hospital in Turkey. *Seismostoi koe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii* [Earthquake engineering. Constructions safety], 2019, no. 4, pp. 40-47. (In English).

## 12<sup>th</sup> Structural Engineering Convention

A Biennial International Event, Under the Auspices of Indian Association for Structural Engineering, Rajasthan, India  
Event Date: 17-19 Dec, 2020 Early Registration: 30-12-2019 to 01-06-2020 Registration: 02-08-2020 to 12-12-2020

[sec2020.org.in](http://sec2020.org.in)



**Еманов А.Ф.**  
доктор технических наук, директор филиала

**Еманов А.А.**  
кандидат геолого-минералогических наук, заместитель директора по науке

---

**Алтае-Саянский филиал Федерального Исследовательского Центра  
«Единая Геофизическая служба» РАН, Новосибирск, Российская Федерация**

---

УДК 550.834

## Сейсмический мониторинг техногенного воздействия на территорию Западной Сибири

**Аннотация:** Использование сети сейсмологических станций позволило дать оценку уровня техногенного сейсмического воздействия на здания и сооружения в Западной Сибири. Рассмотрена наведённая сейсмичность в местах добычи полезных ископаемых. Показано, что количество техногенных землетрясений растёт, а энергия крупнейших достигла разрушительного уровня. Дана оценка уровня воз-

действия на регион промышленных взрывов, разработаны способы контроля за сейсмическим эффектом промышленных взрывов и предложены мероприятия по обеспечению снижения сейсмического эффекта промышленных взрывов. Показано, что для малосейсмичных районов необходимо выполнять уточнение сейсмической опасности за счёт техногенных факторов.

---

**Ключевые слова:** Западная Сибирь, сейсмологический мониторинг, оценка сейсмического воздействия, промышленные взрывы, наведённая сейсмичность.

**Alexander F. Emanov, Doctor of technical sciences, branch director,  
Altay-Sayan branch of Federal Research Center "United Geophysical Survey RAS"; Novosibirsk, Russian Federation  
Aleksey A. Emanov, Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences, Deputy Director for Research,  
Altay-Sayan branch of Federal Research Center "United Geophysical Survey RAS"; Novosibirsk, Russian Federation**

## Seismic Monitoring of Technogenic Impact on the Territory of Western Siberia

**Abstract:** The use of a network of seismological stations allowed us to estimate the level of anthropogenic seismic impact on buildings and structures in Western Siberia. Considered induced

seismicity at mining sites. It is shown that the number of man-made earthquakes is growing, and the largest energy has reached a destructive level. An assessment of the level of impact on the

region of industrial explosions is given, methods for monitoring the seismic effect of industrial explosions are developed, and measures are proposed to ensure the reduction of the seismic effect

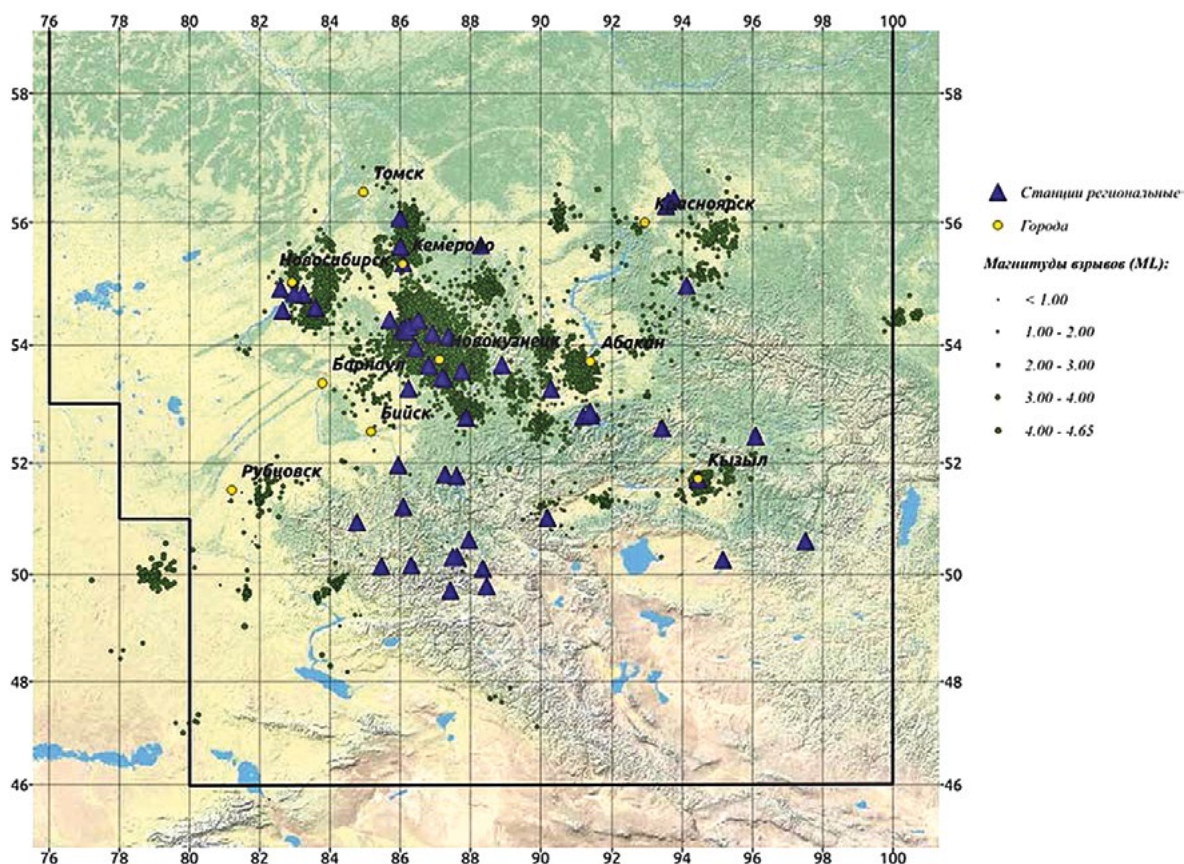
of industrial explosions. It is shown that for low-seismic areas it is necessary to carry out the refinement of seismic hazard due to man-made factors.

**Keywords:** Western Siberia, seismological monitoring, assessment of seismic effect, industrial explosions, induced seismicity.

Западная Сибирь является регионом, где промышленные взрывы, техногенная сейсмичность и природные землетрясения присутствуют на одной и той же территории. Особенно сильным является техногенное воздействие на земную кору, вызванное процессом добычи полезных ископаемых. При оценке сейсмической опасности региона учитывается только природная сейсмичность [9]. Для южной части Кемеровской области выполнено детальное сейсмическое районирование [2], а для северной части Кемеровской области выполнялись только уточнения исходной сейсмичности для особо ответственных объектов [5], но за последние полтора десятилетия значительно увеличен объем добычи полезных ископаемых в регионе, что привело к развитию наведённой сейсмичности и значительно увеличилось количество промышленных взрывов [4, 5, 6, 7, 8, 2]. При добыче угля взрывы короткозамедленные, когда обеспечивается значительное снижение сейсмического эффекта. Фактически сейсмиче-

ский эффект должен определяться зарядом одной ступени короткозамедленного взрыва, а количество ступеней влияет только на длительность возбуждаемых колебаний.

Только за 2018 год в Западной Сибири сейсмологические станции зафиксировали десять тысяч промышленных взрывов, из которых девять тысяч относятся к Кузбассу. Совершенно ясно, что столь населённый район как Кемеровская область испытывает сильнейшее техногенное воздействие. Сейсмологическая сеть станций с данными о параметрах взрывов стала основой контроля за сейсмическим эффектом промышленных взрывов. Магнитуды промышленных взрывов составляют от 1 до 4. В первую очередь количество и энергия событий на территории. Ранее воздействию промышленных взрывов в Кузбассе на регион была посвящена работа [1], где в основу анализа берётся количество взорванных ВВ (взрывчатых веществ?) на предприятиях Кузбасса. В данной работе продолжают упомянутые исследова-



**Рисунок 1** — Карты промышленных взрывов на территории южной части Западной Сибири за январь – август 2018 года

**Figure 1** — Maps of industrial explosions in the territory of the southern part of Western Siberia for January-August 2018

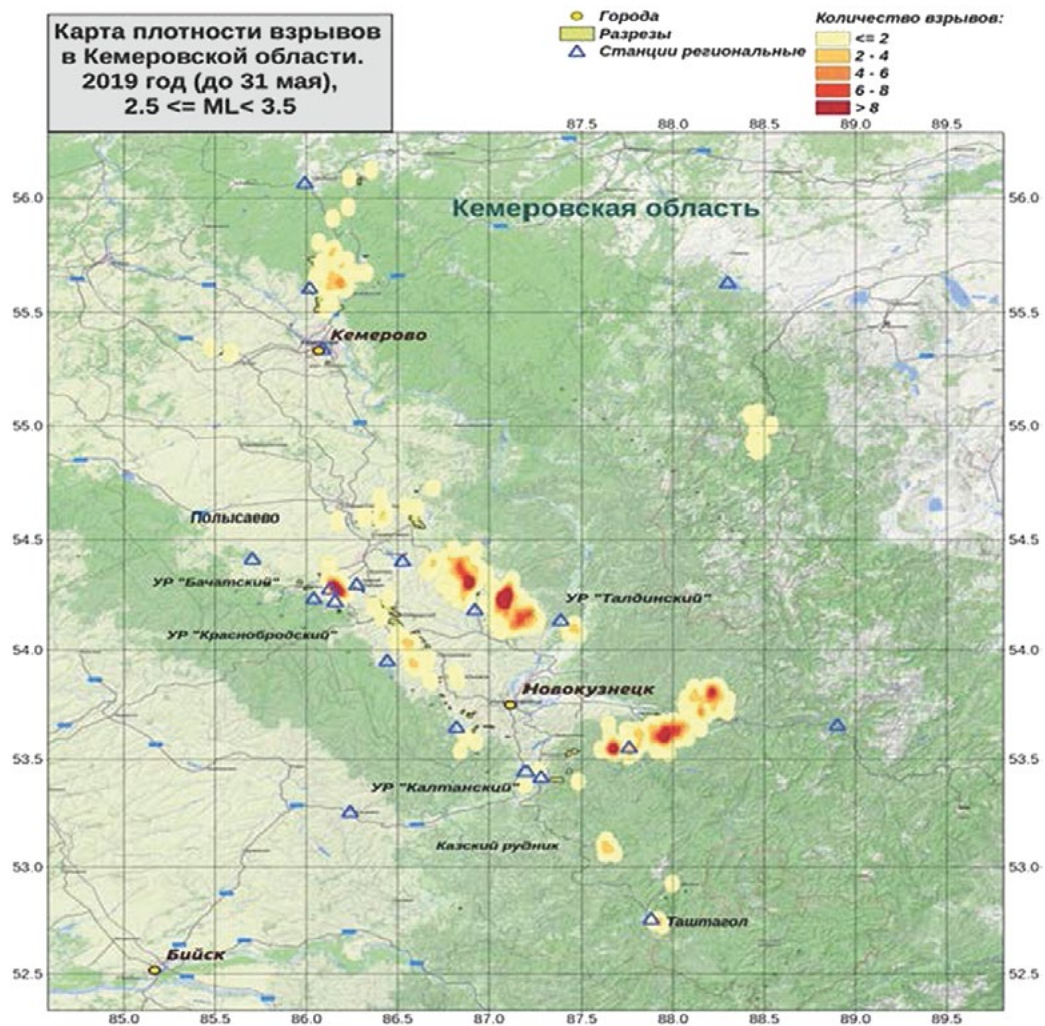


Рисунок 2 — Карта плотности взрывов в 2019 г с магнитудами 2.5÷3.5

Figure 2 — Map of the density of explosions in 2019 with magnitudes 2.5 ÷ 3.5

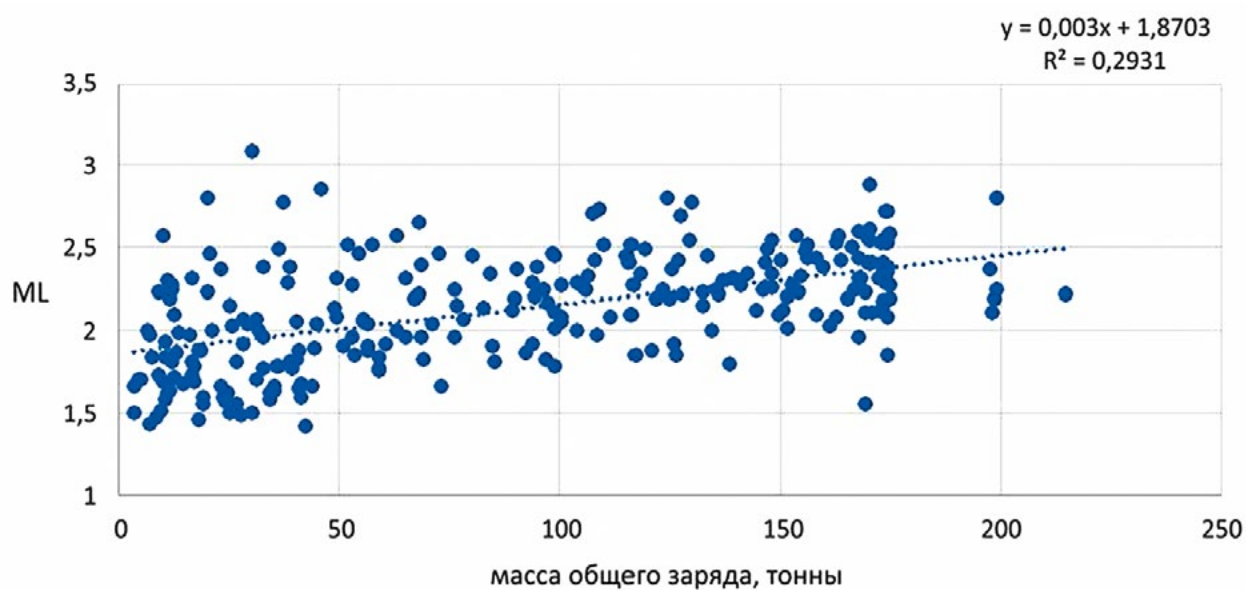
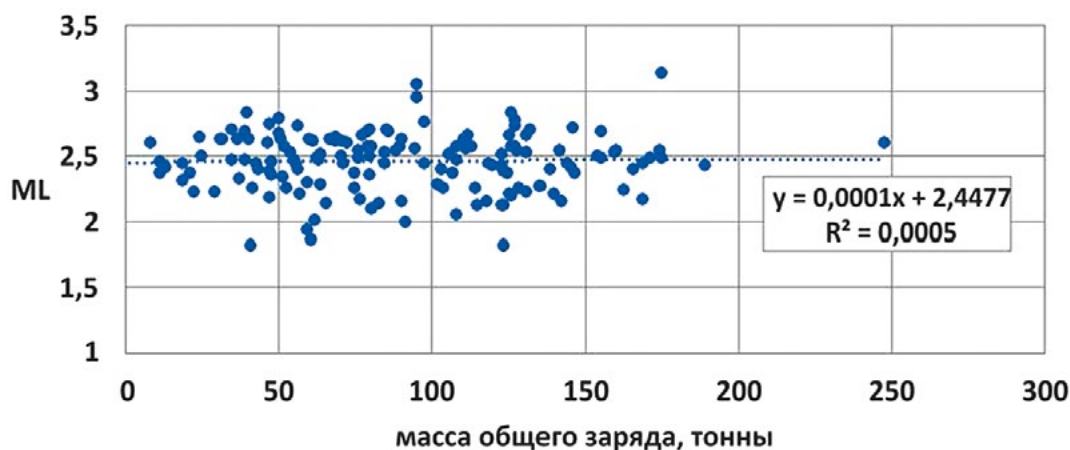


Рисунок 3 — Зависимость магнитуды от массы общего заряда за 2018 год для разреза Талдинский

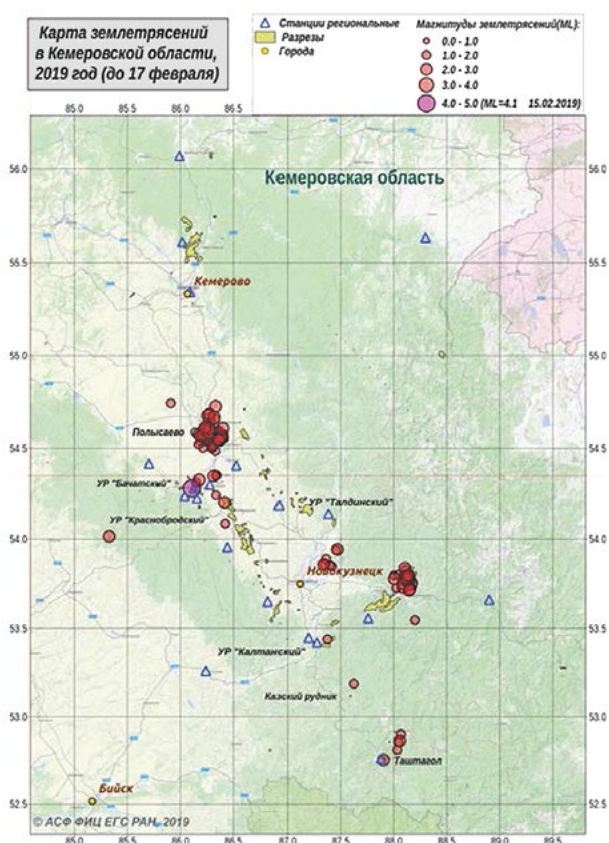
Figure 3 — Dependence of magnitude on the mass of the total charge for 2018 for the Taldinsky section





**Рисунок 4** — Зависимость магнитуды от массы общего заряда за 2019 год для разреза АО «Салек»

**Figure 4** — Dependence of magnitude on the mass of the total charge for 2019 for the section of Salek JSC



**Рисунок 5** — Карта эпицентров техногенных землетрясений с 1.01 по 17.02. 2019 года

**Figure 5** — Map of the epicenters of technogenic earthquakes from 1.01 to 17.02. 2019 year

ния с той разницей, что в основу анализа берутся локальные магнитуды, определённые по данным сети сейсмологических станций для каждого из промышленных взрывов. Положительным является то, что магнитуды взрывов таковы, что сеть обеспечивает регистрацию взрывов без пропусков и второй фактор связан с тем, что большинство горных предприятий даёт достоверную информацию о взрывах и схемах короткозамедленного взрывания.

На рис. 1 дана карта зарегистрированных промышленных взрывов. Ясно, что сейсмические воздействия на здания и сооружения в значительной степени определяются промышленными взрывами.

На рис. 2 представлена карта плотности наиболее сильных по сейсмическому эффекту взрывов. По ней есть возможность определять предприятия, которые оказывают наибольшее сейсмическое воздействие на регион. Такие карты строятся ежеквартально и по ним делаются заключения о развитии во времени техногенного сейсмического воздействия на города и посёлки Западной Сибири.

Поскольку короткозамедленное взрывание должно обеспечивать существенное снижение сейсмического эффекта взрывов, то данные сети станций совместно с данными добывающих предприятий позволяют выяснять причины повышенного сейсмического эффекта некоторых взрывов.

На рис. 3 построенная зависимость показывает, что в среднем с увеличением заряда наблюдается рост магнитуд взрывов, и в то же время при зарядах до 50т фиксируются взрывы с большими магнитудами. Отмеченные факты вызваны нарушениями в технологии короткозамедленного взрывания, которые вполне устранимы.

На рис. 4 представлены данные для случая, когда в среднем нет роста магнитуды с увеличением общей массы заряда. При наличии контроля за сейсмическим эффектом промышленных взрывов можно обеспечить существенно меньшее техногенное сейсмическое воздействие на здания и сооружения в районах ведения горных взрывов. Вторым аспектом в техногенном сейсмическом воздействии на регион является формирующаяся как ответ недр наведённая сейсмичность [4, 5, 6, 7, 8]. Природной сейсмичности в Алтае-Саянской области характерно концентрироваться в горном обрамлении впадин [3].

На рис. 5 видно, что техногенные землетрясения концентрируются около горнодобывающих предприятий в осадочном бассейне. Предприятия с наибольшей техногенной сейсмичностью не совпадают с местами ведения промышленных взрывов с максимальным сейсмическим эффектом.

На рис. 6 показано развитие наведённой сейсмичности со временем. Наиболее сильное техногенное земле-

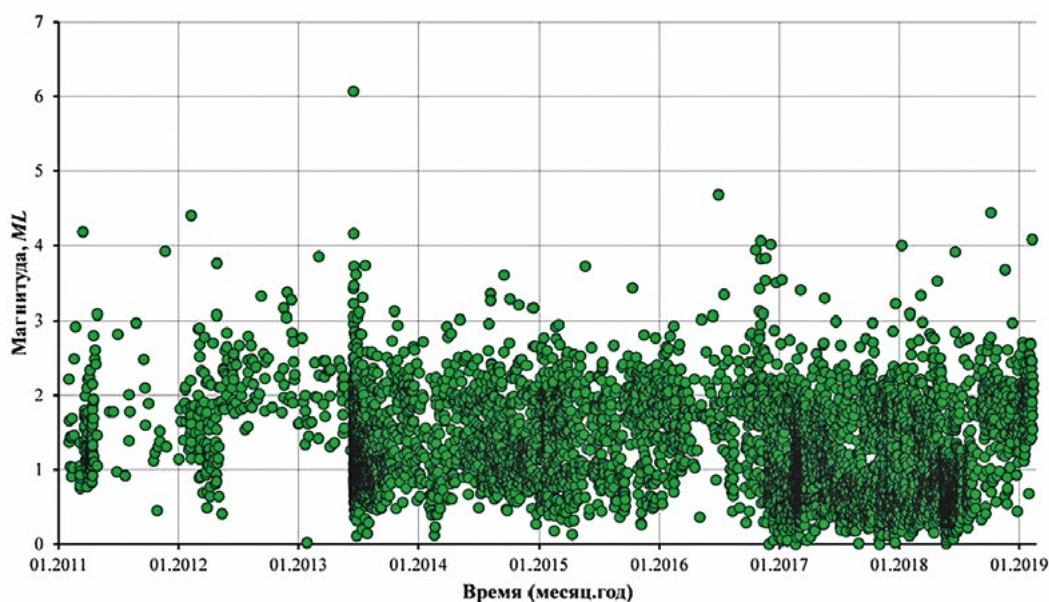


Рисунок 6 — Развитие наведённой сейсмичности в Кузбассе во времени

Figure 6 — Development of induced seismicity in Kuzbass in time

трясение – Бачатское с  $M = 6.1$ . Рост наведённой сейсмичности связан не с воздействием на среду взрывов, а с перемещением горных масс и созданием искусственного пересечённого рельефа. Наведённая сейсмичность достигла уровня, когда она реально приводит к разрушению зданий в близко расположенных населённых пунктах.

#### Выводы

- Сеть сейсмологических станций позволяет контролировать правильность технологии взрывания на разрезах, и имеются возможности снижения сейсмического воздействия на здания и сооружения.
- Наиболее вероятной причиной повышенного эффекта промышленных взрывов является совпадение времени инициирования зарядов в разных рядах корот-

козамедленного взрыва, а также не учёт площадного рассредоточения заряда.

- Отмечается рост магнитуды взрывов с увеличением общей массы заряда, хотя при короткозамедленном взрывании магнитуда должна зависеть от заряда ступени и не зависеть от общего заряда. Обнаруживаются факты взрывов в одном и том же разрезе с меньшим общим зарядом, но с большей магнитудой, чем у взрывов с большим общим зарядом.
- Наведённая сейсмичность в местах добычи полезных ископаемых концентрируется около разрезов и шахт. Для Кузбасса техногенные землетрясения достигли разрушительного уровня для зданий.
- Требуется пересмотр сейсмической опасности территории с учётом техногенной сейсмичности и сейсмического воздействия промышленных взрывов.

#### Литература

1. Адушкин В.В. Развитие техногенно-тектонической сейсмичности в Кузбассе // Геология и геофизика. Т. 59. № 5. 2018. С. 709-724
2. Геомеханические поля и процессы: экспериментально-аналитические исследования формирования и развития очаговых зон катастрофических событий в горно-технических и природных системах. Т.1. Отв. ред. Н.Н. Мельников. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2018. 549 с.
3. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Филина А.Г., Кунгурцев Л.В., Лескова Е.В., Шейкина Ж.В., Ярыгина М.А. Пространственно-временной анализ сейсмичности Алтае-Саянской складчатой области. В сб.: Проблемы сейсмологии III-го тысячелетия. Материалы международной конференции. Новосибирск, 2003. С. 73-86.
4. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Фатеев А.В., Семин А.Ю. Сейсмические активизации при разработке угля в Кузбассе // Физическая мезомеханика. 2009. Т. 12. № 1. С. 49–64.
5. Еманов А.А., Лескова Е.В., Фатеев А.В., Еманов А.Ф. Оценка сейсмической опасности г. Анжеро-Судженска Кемеровской области и прилегающих территорий // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2016. Т. 2. № 2. С. 182-186.
6. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Лескова Е.В. Техногенное БАЧАТСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 18.06.2013 в Кузбассе – сильнейшее в мире при добыче твёрдых полезных ископаемых // Вопросы инженерной сейсмологии. 2016. Т. 43. № 4. С. 34-60.
7. Еманов А.А., Еманов А.Ф., Фатеев А.В., Лескова Е.В. Одновременное воздействие открытых и подземных горных работ на недра и наведённая сейсмичность // Вопросы инженерной сейсмологии. 2017. Т. 44. № 4. С. 51-62.
8. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Шевкунова Е.В., Ворона У.Ю., Серёжников Н.А. Сейсмический эффект промышленных взрывов в Западной Сибири и наведённая сейсмичность // Вопросы инженерной сейсмологии. 2018. Т. 44. № 4. С. 63-76.
9. Комплект карт общего сейсмического районирования территории

## References

1. Adushkin V.V. Development of technogenic-tectonic seismicity in Kuzbass // *Geology and Geophysics*. Т. 59. № 5. 2018. P. 709-724.
2. Geomechanical fields and processes: experimental and analytical studies of the formation and development of focal zones of catastrophic events in mining and technical and natural systems. Vol.1. Novosibirsk: Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. 2018. 549 p.
3. Emanov A.F., Emanov A.A., Filina A.G., Kungurtsev L.V., Leskova E.V., Sheykina Zh.V., Yarygina M.A. Spatio-temporal analysis of Altai-Sayan seismicity folded area. In *Proc.: Problems of Seismology of the 3rd Millennium Materials of the International Conference*. Novosibirsk, 2003. P. 73-86.
4. Emanov A.F., Emanov A.A., Leskova E.V., Fateev A.V., Semin A.Yu. Seismic activations in the development of coal in Kuzbass // *Physical meso mechanics*, 2009. V. 12. No. 1. P. 49–64.
5. Emanov A.A., Leskova E.V., Fateev A.V., Emanov A.F. Assessment of seismic hazard in the city of Anzhero-Sudzhensk of the Kemerovo Region and adjacent territories // *Interexpo Geo-Siberia*. 2016. V. 2. № 2. P. 182-186.
6. Emanov A.F., Emanov A.A., Fateev A.V., Leskova E.V. Technogenic BACHATNIAN EARTHQUAKE 18.06.2013 in Kuzbass – the strongest in the world in the extraction of solid minerals // *Issues of engineering seismology*. 2016. T. 43. № 4. P. 34-60.
7. Emanov A.A., Emanov A.F., Fateev A.V., Leskova E.V. The simultaneous impact of open and underground mining on the subsoil and induced seismicity // *Questions of engineering seismology*. 2017. T. 44. № 4. P. 51-62.
8. Emanov A.F., Emanov A.A., Fateev A.V., Shevkunova E.V., Vorona U.Yu., Seryozhnikov N.A. Seismic effect of industrial explosions in Western Siberia and induced seismicity // *Questions of engineering seismology*. 2018. T. 44. № 4. P. 63-76.
9. A set of maps of the general seismic zoning of the territory of the Russian Federation – OSR-97. Scale 1:8,000,000: Explanatory note and a list of cities and towns located in earthquake-prone areas. М.: OIFP RAS, 1999. 57 p.

**Для цитирования:** Emanov A.F., Emanov A.A. Сейсмический мониторинг техногенного воздействия на территорию Западной Сибири // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2019. № 4. С. 48-53.

**For citation:** Emanov A.F., Emanov A.A. Seismic Monitoring of Technogenic Impact on the Territory of Western Siberia. *Seismostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii* [Earthquake engineering. Constructions safety], 2019, no. 4, pp. 48-53. (In Russian).

## ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ «СЕЙСМОСТОЙКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО. БЕЗОПАСНОСТЬ СООРУЖЕНИЙ»

### Текст:

1. **Объем статьи** не должен превышать **40 000** знаков.
2. **Количество авторов** статьи – не более 3-х.
3. **Сведения об авторе** должны содержать: ФИО, регалии, место работы и должность, почтовый и электронный адреса, контактный телефон **на русском и английском языках**. Необходима фотография в формате TIF, JPG.
4. **Ключевые слова** к статье\* должны быть **на русском и английском языках**.
5. **Аннотация** к статье должна содержать 200–250 слов **на русском и английском языках**. Аннотация на английском языке не должна полностью повторять текст аннотации на русском языке. Статья должна содержать: введение, цели задачи, методы, результаты, заключение.
6. Обязательно наличие **библиографического списка** с ссылками по тексту на русском (ГОСТ Р 7.0.5–2008) и английском языках (или латиницей по правилам Scopus).
7. Обязательное приложение – **рекомендательное письмо** от организации, которую представляет автор, **рецензия** или **экспертное заключение** (для аспирантов или соискателей ученой степени кандидата наук).

### Иллюстрации:

1. **Рисунки** должны быть представлены в форматах файлов (под PC): **PDF, EPS, AI**;
2. **Фото** должны быть представлены для публикации в форматах файлов (под PC): **TIFF, JPG**;
3. **Разрешение** файлов – не менее **300 dpi**;
4. **Таблицы, схемы и диаграммы** должны быть встроены в статью и иметь связи (быть доступными для редактирования) с программой, в которой они созданы (**Excel**);
5. Наличие **подписи к иллюстрациям и рисункам** на русском и английском языках, оформленных отдельным списком.
6. **Данные в таблицах** даются полностью **без сокращений**.
7. **Математические формулы и выражения** должны быть записаны в **Microsoft Word** или с помощью редактора **Microsoft Equation 3.0**.
8. **УДК статьи**.

Ждем ваши материалы по адресу:  
**109456, а/я 29, г. Москва**  
или по e-mail: **info@raee.su**,  
т/ф.: **(499) 174–70–65**



**А.Г. Тяпин**  
доктор технических наук

АО «Атомэнергопроект», Москва, Российская Федерация

УДК 624.042.7

## «Опасные направления сейсмического воздействия» и суммирование реакций по близким формам в линейно-спектральных расчетах

**Аннотация:** Статья продолжает дискуссию о линейно-спектральных расчетах с выбором «опасных направлений сейсмического воздействия». Показано, что при расчете на такое многокомпонентное сейсмическое воздействие, у которого разные компоненты имеют одинаковые спектры, такой «направленческий» подход при всей своей нефизичности дает одинаковые результаты с принятым в мире более физичным подходом, в котором учитывается, что компоненты воздействия по разным осям не коррелированы между собой. Этот вывод, ранее сформулированный для форм с разнесенными частотами, в настоящей статье обобщается на случай форм, близких по частотам. Если сейсмическое воздействие не такое, в «направленческом» подходе возникают систематические погрешности.

Автор также возвращается к вопросу о направлении векторов инерционных узловых нагрузок в пространстве и показывает, какие из них поворачиваются с изменением «направления сейсмического воздействия», задаваемого расчетчиком, а какие не меняют своего направления, а меняют только модуль. Кроме того, автор отмечает ограничения, связанные с применением принципа Д'Аламбера для квазистатических расчетов сейсмической реакции систем с демпфированием. Оказывается, такой подход, в котором инерционные нагрузки рассматриваются как квазистатические, а демпфирование в левой части уравнений равновесия не учитывается, дает достоверные усилия, но не перемещения, и только для однородных по демпфированию систем, либо для статически определимых систем.

**Ключевые слова:** сейсмическая реакция, линейно-спектральный расчет, модальный расчет во времени, опасные направления сейсмического воздействия.

**Tyapin Alexander G.**  
Doctor of Technical Science, JSC "Atomenergoproject", Moscow, Russian Federation

## “Dangerous Directions of Seismic Excitation” and Combination of the Close Modal Responses in Linear Spectral Analysis

**Abstract:** This paper continues the discussion on the linear spectral analysis using “dangerous directions of seismic excitation” concept. It is shown that in case all components of seismic excitation have similar

response spectra, this “directional” approach, though non-physical, gives similar results to the conventional more physical approach, accounting for the statistical independence of different components.

This statement, previously proved for the modal responses with separated frequencies, here is extended for the case of close modal frequencies. If the excitation is different, the "directional" approach leads to the systematic errors. The author once again considers the inertial load vectors in the nodes and studies which of them rotate along with the rotation of the "seismic excitation direction" set up by the analyst, and which of them keep their direction and change

only module. Besides, the author notes certain limitation of the implementation of the D'Alembert principle to the quasi-static analysis of the damped systems. It turns out, that this approach, treating inertial loads as quasi-static and neglecting damping in the left-hand parts of the equation, gives reasonable results only for the internal forces, but not displacements, and only for systems either with homogeneous damping, or statically-determined.

**Keywords:** seismic response, linear spectral method, modal analysis in the time domain, dangerous directions of seismic excitation.

Обсуждение предыдущей статьи автора [1] показало, что в кругах специалистов по сейсмостойкому строительству существуют разночтения базовых определений и понятий. Поэтому автор считает полезным согласовать некий «словарь» терминов и определений, относящихся к расчету сооружений на сейсмические воздействия. Некоторые предложения приведены ниже – они являются личным мнением автора.

Термин «платформенная модель» вроде бы не вызывает разногласий. Напомним, что платформенной моделью называется модель, часть узлов которой (составляющие эту самую «платформу») получает заданное движение во времени (в частном случае нулевое, т.е. узлы платформы закреплены). Если заданное движение узлов платформы ненулевое, то говорят о «платформенной модели с кинематическим возбуждением» – в этом случае чаще всего другого возбуждения нет, хотя оно в принципе и возможно. Альтернатива – нулевое заданное движение узлов платформы (т.е. закрепление части узлов системы по части степеней свободы); зато к некоторым другим узлам приложены внешние силы – это «платформенная модель с силовым возбуждением».

Ненулевое кинематическое возбуждение платформы тоже может быть разным. Рассмотрим самый распространенный случай, когда на платформе находится не один узел, а несколько узлов, разнесенных в пространстве. Тогда можно выделить два главных признака для классификации кинематического возбуждения. Первый признак – «жесткое» или «нежесткое» движение подается на платформу, т.е. можно ли считать указанные точки платформы принадлежащими условному абсолютно жесткому телу. Специалисты школы Ю.П.Назарова называют такое «жесткое» движение «интегральным», в отличие от «дифференциального» нежесткого движения. Ничего не имею против.

Второй признак – если движение платформы жесткое, то является ли оно чисто поступательным или же имеет вращательные компоненты.

В заключение отметим, что понятие платформенной модели применимо как к расчетам сооружения без учета динамического взаимодействия с основанием, так и к расчетам сооружения с учетом взаимодействия с основанием. В первом случае узлы подошвы фундамента помещаются на платформу непосредственно, во втором случае модель сооружения помещается на платформу с использованием т.н. «грунтового подвеса» – специальной подсистемы (например, состоящей из пружин и демпферов), моделирующей это взаимодействие. Более подробно автор обсуждал классификацию платформенных моделей в книге [2].

Хорошо известное уравнение движения платформенной модели в относительных перемещениях при сейсмическом воздействии, заданном трехкомпонентным (поступательным и жестким) движением платформы, запишем в виде [3]

$$[M]\{\ddot{X}\} + [C]\{\dot{X}\} + [K]\{X\} = -[M][U]\{A^0\} \quad (1)$$

Здесь  $[M]$ ,  $[C]$ ,  $[K]$  – матрицы соответственно инерции, демпфирования и жесткости системы размера  $n \times n$  ( $n$  – число степеней свободы);  $[U]$  – матрица размера  $n \times 3$ , показывающая статические смещения узлов системы при единичных статических смещениях платформы по каждой из осей координат;  $\{X\}$  – столбец относительных перемещений размера  $n \times 1$ ;  $\{A^0\}$  – вектор-столбец ускорений платформы размера  $3 \times 1$ .

Точно такое же уравнение будет описывать платформенную модель с неподвижной платформой и силовым возбуждением, приложенным в узлах, – практически это описание той же системы в неинерциальной системе координат, связанной с жесткой платформой. В такой трактовке в правой части (1) стоят инерционные силы, приложенные в узлах системы. Таким образом, инерционные узловые нагрузки в правой части (1) зависят только от движения платформы и от матрицы масс, но не от матрицы жесткости. Будем называть их «переносными инерционными узловыми нагрузками», согласно [4].

А теперь перенесем в уравнении (1) первый слагаемый из левой части в правую часть. Получим

$$[C]\{\dot{X}\} + [K]\{X\} = -[M][U]\{A^0\} + \{\ddot{X}\} \quad (2)$$

В круглых скобках в правой части (2) стоят абсолютные ускорения узлов системы в исходной неподвижной системе координат. Таким образом, в правой части (2) стоят тоже узловые и тоже инерционные нагрузки – это нагрузки, о которых говорит принцип Д'Аламбера. Они имеют точно такую же размерность и формат набора узловых нагрузок, что и переносные инерционные нагрузки, рассмотренные выше, но отличаются от них добавлением относительных ускорений при определении инерционных узловых нагрузок. Чтобы отличить их от предыдущих «переносных» инерционных узловых нагрузок, назовем эти нагрузки «инерционными узловыми нагрузками Д'Аламбера». Они, в отличие от переносных нагрузок, зависят от жесткости системы.

Здесь возникает заслуживающий обсуждения любопытный нюанс, связанный с демпфированием в левой части (2). Действительно, если демпфирование в системе отсутствует

(т.е.  $[C]=0$ ), уравнение (2) позволяет искать квазистатическое решение  $\{X\}$  в каждый момент времени по узловым нагрузкам Д'Аламбера, как и предусматривал классический вариант этого принципа (пока мы здесь не обсуждаем, откуда нам известны нагрузки). Но в реальных системах демпфирование присутствует и играет важную роль. Таким образом, утверждать, что при переходе от системы с нулевым демпфированием к системе с ненулевым демпфированием при тех же узловых нагрузках Д'Аламбера решение  $\{X\}$  останется прежним, нельзя.

Однако в важном для практики частном случае однородного демпфирования в системе оказывается, что квазистатическое решение, полученное без учета демпфирования в левой части (2), все-таки достоверно, хотя и не в терминах перемещений, а в терминах внутренних усилий. Действительно, для однородного демпфирования можно записать соотношение для матрицы жесткости одного конечного элемента в частотном диапазоне

$$[K] = [K_0](1 + i\eta) \quad (3)$$

Здесь  $[K]$  – комплексная матрица жесткости элемента в частотном диапазоне;  $[K_0]$  действительная матрица жесткости этого же элемента при нулевом демпфировании;  $i$  – мнимая единица;  $\eta$  – некий эффективный коэффициент демпфирования (зависящий от частоты для вязкого демпфирования и не зависящий от частоты для материального демпфирования). Тезис об однородности демпфирования подразумевает, что коэффициент демпфирования  $\eta$  один и тот же не только для разных членов матрицы жесткости одного конечного элемента, но и для всех элементов системы. Отсюда следует, что после сборки глобальной матрицы жесткости системы соотношение (3) останется в силе. Более того, аналогичное соотношение с тем же коэффициентом демпфирования относится и к матрице, связывающей внутренние усилия в элементе с его узловыми перемещениями.

Но отсюда следует, что в этом частном случае однородного демпфирования при фиксированных нагрузках  $\{L\}$  в правой части (2) та поправка в  $(1+i\eta)$  раз, которая отличает перемещения  $\{X\}$  в (2) от «недемпфированного» решения  $\{X_0\}=[K]^{-1}\{L\}$ , просто исчезнет (сократится) при вычислении внутренних усилий в элементах. Таким образом, внутренние усилия в элементах в каждый момент времени можно определять из квазистатического решения (2) без учета однородного демпфирования в системе. Оговоримся, что в статически определимых системах это утверждение справедливо и для неоднородного демпфирования, но в статически неопределимых системах с неоднородным демпфированием оно справедливо не всегда.

Означает ли это, что демпфирование вообще физически не влияет на внутренние усилия в системе? Конечно, нет! Демпфирование влияет на относительные ускорения, которые в (2) стоят у правой части и частично определяют узловые инерционные нагрузки Д'Аламбера.

Теперь вернемся к обсуждению вопроса о повороте в пространстве векторов двух рассмотренных выше инерционных нагрузок в выбранном узле системы (этот вопрос обсуждался ранее в [1]). Пусть выбрано фиксированное (на время воздействия) направление вектора ускорений сейсмического воздействия на платформе. Изменим это направ-

ление на другое, тоже фиксированное во времени. Отметим, что переносная инерционная нагрузка в каждом из узлов поворачивается в пространстве согласно этому изменению (по крайней мере, при традиционных одинаковых массах по трем направлениям). При этом направление вектора переносной инерционной нагрузки в каждом узле останется фиксированным на все время воздействия (при традиционных одинаковых массах по трем направлениям оно будет во всех узлах совпадать с направлением вектора воздействия на платформе). Поворачиваться в пространстве будут и узловые инерционные нагрузки Д'Аламбера, хотя их направление, в отличие от направления переносных инерционных нагрузок, может меняться со временем.

Однако в явном виде ни та, ни другая нагрузки проектировщиками в стандартных расчетах не используются. Поэтому вернемся к нашему обсуждению терминологии и обсудим традиционный модальный подход с разложением по собственным формам недемпфированной системы. Модальное разложение часто применяется к относительным перемещениям

$$\{X(t)\} = [\Phi]\{Y(t)\} \quad (4)$$

Здесь  $[\Phi]$  – матрица собственных форм,  $\{Y\}$  – столбец модальных координат (их часто называют еще главными).

Но модальное разложение можно провести также и для переносных перемещений, используя известную формулу «участия» собственных форм в жестких перемещениях (она подробно разбирается в [5]):

$$[U] = [\Phi][Q] \quad (5)$$

Здесь  $[Q]$  – матрица коэффициентов участия собственных форм.

При подстановке (4, 5) в (1) получим для переносной инерционной узловой нагрузки выражение

$$\{L_{inert}\} = -[M][U]\{A^0\} = -([M][\Phi])([Q]\{A^0\}) \quad (6)$$

Для инерционной узловой нагрузки Д'Аламбера выражение будет несколько другим:

$$\begin{aligned} \{L_D\} &= -[M]([U]\{A^0\} + \{\ddot{X}\}) = \\ &= -([M][\Phi])([Q]\{A^0\} + \{\ddot{Y}\}) \end{aligned} \quad (7)$$

Каждая собственная форма  $\{\varphi_j\}$  представлена в правой части (7) в первом сомножителе в круглых скобках столбцом  $[M]\{\varphi_j\}$ , а во втором сомножителе в круглых скобках – числовым коэффициентом ( $j$ -м элементом столбца, которым является этот второй сомножитель). При этом столбец от времени не зависит, а коэффициент – зависит. Если обозначить  $j$ -ю строку матрицы  $[Q]$  как  $\{q_j\}$ , то модальные узловые инерционные нагрузки (переносная и даламберовская) равны соответственно

$$\{L_{inert}^j\} = -([M]\{\varphi_j\})(\{q_j\}\{A^0\}) \quad (8)$$

$$\{L_D^j\} = -([M]\{\varphi_j\})(\{q_j\}\{A^0\} + \ddot{Y}_j) \quad (9)$$

Направление в пространстве модальной инерционной нагрузки (что одной, что другой) в выбранном узле определяется вектором, состоящим из трех соответствующих компонент столбца  $\{[M]\{\varphi_j\}\}$ , поэтому оно не зависит ни от времени, ни от направления вектора воздействия  $\{A^0\}$ . Этим модальная инерционная узловая нагрузка отличается от «просто» инерционной узловой нагрузки.

Те же термины без слова «узловая» относятся ко вторым сомножителям в круглых скобках в правых частях (8,9): модальная переносная инерционная нагрузка есть произведение строки  $\{q_j\}$  на столбец  $\{A^0\}$ , а в модальной даламберовской инерционной нагрузке к этому произведению добавляется вторая производная по времени от  $Y_j$ . И в том, и в другом случае мы имеем дело не с матрицами, а со скалярами, зависящими от времени.

Теперь добавим термин «спектральная», означающий максимум по времени от абсолютной величины. Для переносной модальной нагрузки он обычно не используется, а вот для даламберовской модальной нагрузки, наоборот, играет важную роль:

$$S^j = \max_t | \{q_j\} \{A^0\} + \ddot{Y}_j | \quad (10)$$

В статье [1] как раз и разбирались различные подходы к определению именно этой модальной (не узловой!) спектральной нагрузки. Автор обозначил эти подходы как «направленческий» и «многокомпонентный» (на самом деле, «направленческий» подход тоже можно считать многокомпонентным, но все компоненты оказываются полностью коррелированными между собой через направляющие косинусы вектора «направления сейсмического воздействия»).

Вернем эпитет «узловая» и получим «узловую модальную спектральную инерционную нагрузку Д'Аламбера»

$$\{SL_D^j\} = -([M]\{\varphi_j\}) S^j \quad (11)$$

На самом деле, это та самая нагрузка, которая и используется проектировщиками в качестве квазистатической нагрузки при определении внутренних усилий в конструкциях по форме  $j$  из решения уравнения

$$[K]\{X_j\} = -([M]\{\varphi_j\}) S^j \quad (12)$$

Повторим тезис, ранее озвученный в [1]: при повороте в пространстве вектора фиксированного «направления сейсмического воздействия» узловые модальные спектральные нагрузки (11), используемые проектировщиками в стандартном линейно-спектральном расчете, во всех узлах конструкции не поворачиваются в пространстве, а лишь меняются по модулю.

После определения из (12) максимальных внутренних усилий по всем рассматриваемым формам эти усилия суммируются. Поскольку максимумы усилий по разным формам физически достигаются в разные моменты времени, это суммирование носит статистический характер и не является алгебраическим. В простейшем случае, когда собственные частоты разнесены более чем на 10% друг от друга и не слишком превышают несущие частоты воздействия, суммирование производится по правилу ККСК. Как показано в [1],

результаты «направленческого» подхода совпадут с результатами «многокомпонентного» подхода в том случае, когда

1) спектры ускорений всех трех компонент сейсмического воздействия, заданные сейсмологами, одинаковы,

2) в «направленческом» подходе опасное направление фиксированного вектора воздействия для каждой формы выбирается по отдельности из условия максимума модуля спектральной модальной нагрузки,

3) в качестве характеристики модуля ускорения воздействия в «направленческом» подходе используется тот самый спектр ускорений, который в «многокомпонентном» подходе используется в качестве характеристики каждой отдельной компоненты воздействия.

Применение правила ККСК (или его примерного аналога – правила 100-40-40) в этом простейшем случае основано на физическом предположении о статистической независимости модальных реакций как функций времени, т.е. об отсутствии корреляции модальных реакций между собой.

Но опытные расчетчики хорошо знают, что с переходом в высокочастотный диапазон спектр собственных частот для сложных конструкций становится все более плотным, так что приведенное выше условие разнесенности собственных частот перестает выполняться. Модальные реакции во времени становятся коррелированными между собой, и правило ККСК будет давать неконсервативные результаты. Поэтому суммирование по ККСК заменяется на суммирование модулей. В отечественных гражданских нормах [6] эта смена правил прописана резко (до 10% разницы между собственными частотами одно правило, после 10% – другое); в зарубежных нормах расчета ядерных объектов [3] переход более плавный. В [1] автор обещал рассмотреть случай суммирования модальных реакций по близким (с точки зрения собственных частот) формам. Рассмотрим предельный случай, прописанный в отечественных нормах, – суммирование по модулю.

Итак, пусть  $F_1^x, F_1^y, F_1^z$  – усилия выбранного типа в выбранном элементе конструкции по форме 1 при однокомпонентных воздействиях по  $x, y, z$ ;  $F_2^x, F_2^y, F_2^z$  – усилия по форме 2 (номера форм, разумеется, условны). Подчеркнем, что физический смысл всех шести усилий одинаков (например, это продольные усилия в выбранной колонне). Пусть собственные частоты форм 1 и 2 близки друг к другу, так что суммирование усилий по разным формам должно проводиться по правилу суммирования модулей.

В «многокомпонентном» подходе сначала определяют усилия при однокомпонентном воздействии по каждому направлению в отдельности (при этом усилия по разным формам суммируются по модулю), а потом они суммируются между собой по правилу ККСК. Квадрат суммарной реакции, таким образом, описывается формулой

$$F_m^2 = (F_1^x + F_2^x)^2 + (F_1^y + F_2^y)^2 + (F_1^z + F_2^z)^2 \quad (13)$$

В «направленческом» подходе сначала вычисляются усилия по каждой форме (при суммировании по трем направлениям воздействия для одной формы действует правило ККСК – на этот раз, для суммирования коррелированных компонент для модуля вектора ускорений [1]), а уже потом эти усилия по разным формам суммируются между собой по модулю. Таким образом, получаем:

$$F_d = [(F_1^x)^2 + (F_1^y)^2 + (F_1^z)^2]^{1/2} + [(F_2^x)^2 + (F_2^y)^2 + (F_2^z)^2]^{1/2} \quad (14)$$

Возведем усилие (14) в квадрат и сравним с (13). Суммы квадратов одни и те же (как показано в [1], они при соблюдении перечисленных выше трех условий совпадают). Поэтому

$$\begin{aligned} \frac{F_d^2 - F_m^2}{2} = & [(F_1^x)^2 + (F_1^y)^2 + (F_1^z)^2]^{1/2} \\ & [(F_2^x)^2 + (F_2^y)^2 + (F_2^z)^2]^{1/2} - \\ & - F_1^x F_2^x - F_1^y F_2^y - F_1^z F_2^z \end{aligned} \quad (15)$$

Правая часть (15) всегда неотрицательна. Доказательство этого утверждения такое же, как в [1], и основано на аналитической геометрии. Последние три слагаемых есть скалярное произведение двух векторов, составленных из компонент  $F^x, F^y, F^z$ . До этого стоит произведение модулей тех же двух векторов. Поскольку скалярное произведение равно произведению модулей на косинус угла между ними, а косинус не превышает единицу, правая часть (15) будет всегда неотрицательной.

Физически это означает, что «направленческий» подход при описанных ограничениях всегда дает результаты не меньшие, чем «многокомпонентный» подход. Этот консерватизм, возможно, является избыточным, но его степень нуждается в дополнительной оценке.

Перейдем к выводам.

Как известно, для сейсмических расчетов воздействие может быть представлено в одном из трех форматов (от сложного к простому): это акселерограммы, спектры ответа или (для статических расчетов) пиковые ускорения. Подход с выбором опасного направления является обобщением только третьего формата. Если инерционные нагрузки совпадают с переносными (так бывает для очень легких и жестких конструкций), то при известном пиковом (по времени) значении модуля ускорения действительно можно определять «опасное» направление вектора переносного ускорения (с максимальным модулем). Но это относится к статическому расчету, – простейшему расчету, не учитывающему особенности динамической реакции. Действительно, статическая нагрузка в каждом узле при таком расчете будет поворачиваться в пространстве при смене направления воздействия.

Но уже в линейно-спектральном расчете, в котором реакция определяется раздельно по собственным формам, даламберовы модальные нагрузки в узлах фиксированы по своему направлению в пространстве. Поэтому заложенное в нормативных формулах варьирование направления сейсмического воздействия (для выбора опасного направления), в отличие от статического расчета, не приводит к повороту модальных узловых нагрузок в статическом расчете, проводимом в рамках линейно-спектрального подхода. Меняются не направления модальных узловых нагрузок, а их

модули. Направление меняют только инерционные переносные нагрузки в узлах – не модальные и не спектральные.

Мы показали в настоящей статье и в статье [1], что подход с выбором «опасного направления сейсмического воздействия» для каждой формы может давать вполне консервативные результаты (даже несколько более консервативные, чем «многокомпонентный» подход). Однако для этого необходимо выполнение трех условий, сформулированных выше:

1) спектры ускорений всех трех компонент сейсмического воздействия, заданные сейсмологами, одинаковы,

2) в «направленческом» подходе «опасное» направление вектора воздействия для каждой формы выбирается по отдельности из условия максимума модуля спектральной модальной нагрузки,

3) в качестве характеристики модуля ускорения воздействия в «направленческом» подходе используется тот самый спектр ускорений, который в «многокомпонентном» подходе используется в качестве характеристики каждой компоненты воздействия, а не модуля. Вообще понятие спектра ответа применительно к модулю вектора ускорений вызывает много вопросов: можно, разумеется, построить зависимость модуля ускорения от времени по известным трем компонентам акселерограммы, но это будет кривая, совсем не похожая на привычные акселерограммы: она будет всюду положительной. Можно формально рассматривать эту кривую как аналог акселерограммы, но спектры ответа, формально построенные по такой «акселерограмме», будут иметь непонятный смысл.

Вернемся к трем перечисленным выше условиям. Первое условие можно смягчить, заменив равенство спектров на их подобие (в частности, для вертикальной компоненты сейсмического воздействия, в отличие от двух горизонтальных компонент). Но тогда при выборе опасных направлений, проводимом, как описано в [1], надо будет масштабировать коэффициенты участия форм.

В третьем условии можно отказаться от однокомпонентного спектра и использовать (по крайней мере, для характеристики максимального ускорения) огибающий по компонентам спектр сейсмического ускорения. Но это, во-первых, внесет ненужный дополнительный консерватизм, а во-вторых, вызовет дополнительные сложности с получением исходной информации от сейсмологов.

Кроме того, усложняется проблема выбора ограниченного числа собственных форм для спектрального расчета. Причина в том, что разные компоненты воздействия обычно возбуждают реакцию по разному набору форм. В «направленческом» подходе, где все три компоненты воздействия участвуют одновременно, придется оставлять все формы со значимыми коэффициентами участия хотя бы в одном из трех направлений. Впрочем, этот вопрос не так важен для компьютерных расчетов.

Обратим внимание на отмеченную в статье особенность применения принципа Д'Аламбера в сейсмических расчетах: для однородных по демпфированию систем определение внутренних усилий можно проводить квазистатическим образом, пренебрегая наличием демпфирования в левой части уравнений равновесия. Хотя в перемещениях это относиться не будет.



Подведем итог. Последовательное применение концепции «опасного направления сейсмического воздействия» приводит к хорошим результатам в том случае, когда спектр ускорений вертикальной компоненты воздействия совпадает со спектром горизонтальных компонент. Если уровень избыточного консерватизма при этом считать приемлемым, то те же самые результаты можно получить без всяких рассуждений о выборе опасных направлений – а именно, используя формулу (14) из [1], дающую сразу точный результат такого выбора. При этом сохраняется главное преимущество концепции – сокращение объема расчетов за счет одновременного расчета реакции на все три компоненты воздействия. Но расчетчик избавляется от необходимости выбора опасного направления – тем более что это направление в принципе нефизично.

Частично можно избавиться от излишнего консерватизма такого подхода, введя допущение о пропорциональности спектра вертикальной компоненты спектрам горизонтальных компонент (например, с коэффициентом 2/3).

В общем же случае, когда вертикальная компонента имеет спектр, отличный от спектра горизонтальной компоненты, требуется применять физический «многокомпонентный» подход, учитывающий статистическую независимость компонент путем применения специальных правил суммирования максимумов статистически независимых процессов. В новой редакции норм автор предлагает заменить соответствующий раздел, оставив общепринятые положения линейно-спектрального метода расчета. Такое изменение повысит точность расчетов и сделает российские нормы ближе к международным.

### Литература

1. Тяпин А.Г. «Опасные направления сейсмического воздействия» в линейно-спектральных расчетах // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2019. № 3. С.22-29.
2. Тяпин А.Г. Платформенные модели в задачах учета взаимодействия сооружений с основанием при расчетах на сейс-

- мические воздействия: Научное издание. М.: Издательство АСВ, 2015. 208 с.
3. *Seismic Analysis of Safety-Related Nuclear Structures and Commentary*. ASCE4-98. Reston, Virginia, USA. 1999.
  4. *Вибрации в технике: Справочник. Т.1. Колебания линейных систем / Под ред. В.В.Болотина*. М.: Машиностроение, 1978. 352 с.

5. Тяпин А.Г. Учет взаимодействия сооружений с основанием при расчетах на сейсмические воздействия. Руководство по расчетам. М.: Издательство АСВ. 2014. 136 с.
6. СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81\*». М.: ФАУ ФЦЦС. 2014.

### References

1. Tyapin A.G. «Opasnye napravleniya seismicheskogo vozdeistviia» v linejno-spektral'nykh raschetakh // Seismostoikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii. 2019. № 3. S.22-29.
2. Tyapin A.G. Platformennye modeli v zadachakh ucheta vzaimodeistviia sooruzhenii

- s osnovaniem pri raschetakh na seismicheskie vozdeistviia: Nauchnoe izdanie. M.: Izdatel'stvo ASV, 2015. 208 s.
3. *Seismic Analysis of Safety-Related Nuclear Structures and Commentary*. ASCE4-98. Reston, Virginia, USA. 1999.
  4. *Vibratsii v tekhnike: Spravochnik. T.1. Kolebaniya lineinykh sistem / Pod red.*

- V.V.Bolotina. M.: Mashinostroenie, 1978. 352 s.
5. Tyapin A.G. Uchet vzaimodeistviia sooruzhenii s osnovaniem pri raschetakh na seismicheskie vozdeistviia. Rukovodstvo po raschetam. M.: Izdatel'stvo ASV. 2014. 136 s.
  6. SP 14.13330.2014 «Stroitel'stvo v seismicheskikh rajonakh. Aktualizirovannaya redaktsiia SNiP II-7-81\*». M.: FAU FTSTSS. 2014.

**Для цитирования:** Тяпин А.Г. «Опасные направления сейсмического воздействия» и суммирование реакций по близким формам в линейно-спектральных расчетах // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2019. № 4. С. 54-59.

**For citation:** Tyapin A.G. "Dangerous Directions of Seismic Excitation" and Combination of the Close Modal Responses in Linear Spectral Analysis. *Seismostoikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii* [Earthquake engineering. Constructions safety], 2019, no. 4, pp. 54-59. (In Russian).

## Обращение соучредителя журнала Геннадия Ивановича Воронцова

Уважаемые члены редакционного совета, подписчики журнала.

Я, Воронцов Геннадий Иванович, как соучредитель научно-технического журнала «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений» уведомляю вас, что не имею никакого отношения к выпускаемому ООО «НИИГРД» журналу «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений» по договору, заключенному соучредителем Заболоцкой Е.Н. с ООО «НИИГРД».

Считаю Российскую Ассоциацию по сейсмостойкому строительству и защите от природных и техногенных воздействий (РАСС) единственным законным Издателем журнала «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений».

22 августа 2019 года

Г.И. Воронцов



**Травин С.М.**  
аспирант кафедры «Здания»

**Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация**

УДК 699.841

## Учет динамических свойств грунта при расчете свайных фундаментов объектов использования атомной энергии при сейсмических воздействиях

**Аннотация:** Конструкции свайных фундаментов являются одними из наиболее надежных и апробированных типов фундаментов. Они используются в ядерной энергетике при воздействиях различного характера, включающих сейсмические. При этом одним из наиболее сложных вопросов остается оценка прочности свай при землетрясении с учетом динамических свойств основания. В настоящее время су-

ществуют различные подходы к этой оценке, результаты которых могут существенно повлиять на объективное состояние несущей способности свай. В этой связи возникает необходимость рассмотрения степени влияния различных способов учета динамических свойств основания на результаты расчета прочности свай во время землетрясения. Исследованию этих вопросов посвящена настоящая статья.

**Ключевые слова:** объекты ядерной энергетике, динамические свойства основания, сваи, землетрясения.

**Travin Sergei M., graduate student, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint -Petersburg, Russian Federation**

## Taking into Account the Dynamic Properties of the Soil when Calculating the Pile Foundations of Nuclear Facilities under Seismic Effects

**Abstract:** Pile foundations are among the most reliable and proven types of foundations. They used in nuclear power engineering for a variety of impacts, including seismic. At the same time, one of the most difficult issues is the evaluation of the strength of piles during an earthquake, taking into account the dynamic properties of the base. Currently, there are various approaches to this assessment,

the results of which can significantly affect the objective condition of the bearing capacity of the piles. In this regard, it is necessary to consider the degree of influence of various ways of taking into account the dynamic properties of the base on the results of calculating the strength of piles during an earthquake. The study of these issues is devoted to this article.

**Keywords:** nuclear power facilities, dynamic properties of the base, piles, earthquakes.

Объекты использования атомной энергии (ОИАЭ), как правило, стараются размещать на площадках, сложенных прочными грунтами, однако это не всегда представляется возможным, так как, с экономической точки зрения, целесообразнее разместить объект там, где уже существует развитая инфраструктура и, в случае неблагоприятных грунтовых условий, запроектировать свайный фундамент.

При расчете на сейсмические воздействия ОИАЭ, проектируемых на естественном основании, для учета динамических свойств грунта используются общепринятые и однозначно трактуемые методики, регламентируемые отраслевыми документами [1, 3]. В то же время, в нормативной базе отсутствует четко изложенная методика, регламентирующая учет динамических свойств грунта при расчете системы грунт – свайное поле – плитный ростверк.

Расчет и проектирование свайных оснований зданий ОИАЭ производят на основании норм [2]. Согласно данному документу, при расчете сваи по прочности материала ее следует рассматривать как стержень, жестко защемленный в грунте в сечении, расположенном от подошвы ростверка на расстоянии  $l_1$ , определяемый по формуле:

$$l_1 = \frac{2}{\alpha \epsilon} \quad (1)$$

где  $\alpha \epsilon$  - коэффициент деформации, определяемый по формуле:

$$\alpha \epsilon = \sqrt[5]{\frac{K b_p}{\gamma_c E I}} \quad (2)$$

В приведенной формуле  $K$  – коэффициент пропорциональности, принимаемый в зависимости от типа грунта, окружающей сваю по таблице 7.8 [2];  $E$  – модуль упругости материала сваи;  $I$  – момент инерции поперечного сечения сваи в плоскости изгиба относительно главной центральной оси сечения;  $b_p$  – условная ширина сваи;  $\gamma_c$  – коэффициент условий работы;  $d$  – наружный диаметр круглого или сторона прямоугольного сечения сваи в плоскости, перпендикулярной действию внешних усилий.

В то же время в [2], методика, при которой определяется расчетная глубина, до которой учитывается сопротивление грунта на поверхности сваи (зависящая от внешних сил, действующих на сваю), приводится только применительно к определению несущей способности свай по грунту. Также следует отметить, что рассмотренный способ расчета свай по материалу никак не освещает вопрос учета грунтового основания на контактной поверхности плиты при расчете свай, объединенных общим ростверком.

В данный вопрос некоторую ясность вносит общестроительный нормативный документ [4], согласно которому для определения реакций в голове свай, объединенных общим ростверком, следует проводить специальные расчеты. При проведении таких расчетов каждая свая моделируется как балка, взаимодействующая с упругим основанием, а головы свай объединяются элементами, моделирующими фундаментные конструкции. В данном случае вновь остается не в полной мере ясно, необходимо ли учитывать жесткость грунта на контактной поверхности подошвы ростверка. Если при расчете комбиниро-

ванных свайно-плитных фундаментов и фундаментов, сваи которых опираются на скальные и полускальные грунты, этот вопрос в достаточной мере ясен (в первом случае жесткость грунта на контактной поверхности подошвы ростверка однозначно необходимо учитывать, а во втором нет), то для расчета чисто свайного фундамента с висячими сваями, в нормативных документах отсутствуют четко и последовательно изложенные рекомендации.

С одной стороны, согласно [4], расчетная модель большемерных кустов и полей свай должна строиться таким образом, чтобы содержать погрешность в сторону запаса надежности проектируемых фундаментных и надземных конструкций, из чего следует, что расчет допускается производить консервативно. Поэтому существуют сторонники мнения, что контакт грунта и подошвы фундаментной плиты (ростверка) можно не учитывать. Очевидно, что в данном случае горизонтальная сейсмическая нагрузка будет восприниматься непосредственно телом свай, и грунтом, расположенным по их боковой поверхности (если его учесть). Для снятия горизонтальных нагрузок со свай в документе [4] рекомендуют использовать промежуточную подушку из сыпучих материалов.

С другой стороны, в нормах [4] указано, что большемерные кусты и поля свай следует проектировать с учетом возможности передачи нагрузки на грунт непосредственно через подошву плиты ростверка, в связи с чем в проекте должны быть предусмотрены мероприятия по соответствующей подготовке основания. Если учесть, что при сейсмическом воздействии грунтовое основание включается в работу, то горизонтальные нагрузки будут передаваться не только на сваи, но и на грунт, контактирующий с плитой ростверка. В этом случае, усилия в теле свай должны отличаться от полученных при описанном выше консервативном подходе.

Более однозначно методика, позволяющая выполнять расчеты свайных фундаментов при особых динамических воздействиях, описана в монографии А.Е. Саргсяна «Динамика и сейсмостойкость сооружений атомных станций» [5].

Другим фактором, способным оказать влияние на сейсмостойкость свай является заглубление сооружения. Согласно документу [2], при отношении глубины заложения сооружения в грунт к эквивалентному радиусу подошвы

фундамента  $\frac{H_{заг}}{R_{экв}} \leq 0,3$  допускается не учитывать влияние заглубления сооружения на основание на эффект их взаимодействия. Действительно, несущественное заглубление сооружения может не оказать существенного влияния на сейсмический отклик верхнего строения. Однако, учет заглубления путем введения интегральных жесткостей грунта (пружин) на наружных стенах заглубленной части здания, должен привести к снижению значений поперечных сил и изгибающих моментов, возникающих в сваях от горизонтальных компонент сейсмического воздействия по сравнению со случаем, когда заглубление не учитывается. Таким образом, данный вопрос является важным, актуальным и требует проведения анализа.

Отметим, что существует методика, предложенная А.Е. Саргсяном в монографии «Динамика и сейсмостойкость сооружений атомных станций» [5]. Данная методика

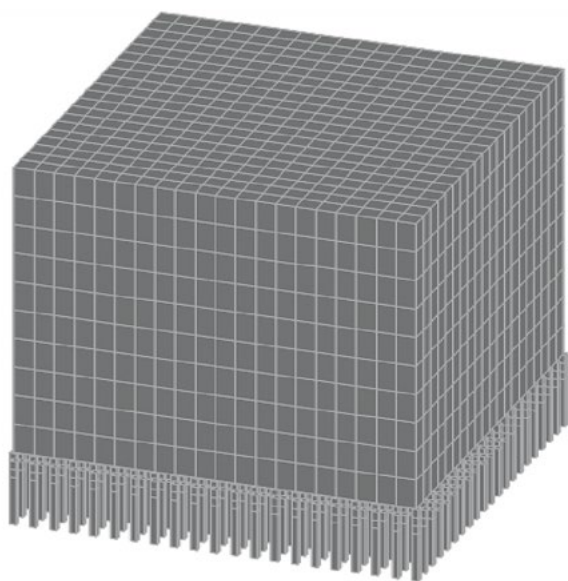
**Таблица 1** — Полученные по расчету частоты основных форм собственных колебаний при различных расчетных случаях

Расчетный случай	Основной тон в горизонтальном направлении, Гц	Основной тон в вертикальном направлении, Гц
1 (МР без грунта)	2,13	9,7
2 (МР с грунтом)	2,71	9,7
3 (Саргсян)	1,75	4,74
4 (Саргсян, с учетом заглубления)	1,96	4,74

будет среди прочих рассмотрена ниже при выполнении расчетов.

В настоящей работе приведены результаты расчета свай по прочности материала с учетом сейсмического воздействия. Сопоставлены результаты, полученные при четырех различных расчетных ситуациях:

1. расчет по методике МР 1.5.2.05.999.0026-2011 (стержень, защемленный в определенном по формуле 2 сечении) без учета жесткости грунта на контактной поверхности ростверка и заглубленной части боковых стен сооружения;
2. расчет по методике МР 1.5.2.05.999.0026-2011 (стержень, защемленный в определенном по формуле 2 сечении) с учетом жесткости грунта на контактной поверхности ростверка, но без учета пружин на заглубленной части боковых стен сооружения;
3. расчет по методике, изложенной А.Е. Саргсяном в работе [5], без учета пружин на заглубленной части боковых стен сооружения;
4. расчетный случай 3 с учетом пружин на заглубленной части боковых стен сооружения.



**Рисунок 1** — Расчетная модель

Рассмотрено жесткое, массивное монолитное сооружение размером в плане 40х40м и высотой 40 м, заглубленное в грунт на 6 м и создающее давление под подошвой фундаментной плиты (ростверка) 40 т/м<sup>2</sup> (подобные параметры могут быть характерны для ОИАЭ, например, для таких, как хранилища радиоактивных отходов). Приняты круглые буронабивные сваи длиной 10 м, диаметром 0,6 м, установленные с шагом 2х2 м (всего 441 свая). В расчет заложен однородный грунт с динамическим модулем упругости 300 МПа (динамический модуль сдвига 125 МПа).

Расчет выполнен с помощью программы SCAD по линейно-спектральной теории сейсмостойкости на стандартные спектры ускорений, приведенные в документе [6]; [7]. Сейсмическая нагрузка прикладывалась в одном из горизонтальных и в вертикальном направлении. Максимальное ускорение грунта в горизонтальном направлении принято равным 1 м/с<sup>2</sup>, что соответствует землетрясению интенсивностью 7 баллов по шкале MSK-64. Пиковое ускорение в вертикальном направлении назначено равным 2/3 от горизонтального.

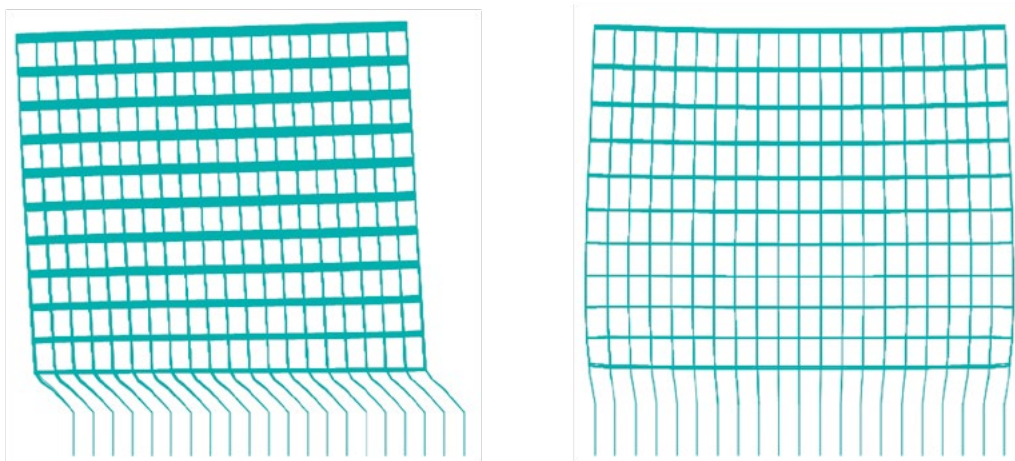
При выполнении расчетов грунт на контактной боковой поверхности верхней части свай не учитывался. Таким образом, было принято во внимание, что верхняя часть свай при сейсмическом воздействии может работать независимо от грунта, «раздвигая» себе воронку [8].

Хотелось бы отметить, что для свайных полей, имеющих значительные размеры в плане, описанный выше эффект не является столь очевидным (учитывая возможность «прилипания» контактной поверхности ростверка к грунту), как для ленточных или столбчатых фундаментов.

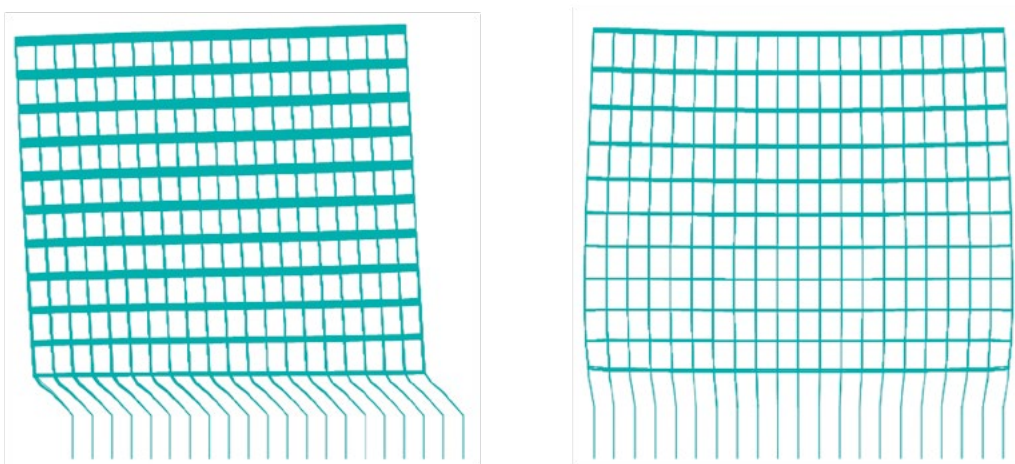
На рисунке 1 приведен общий вид разработанной расчетной модели.

В таблице 1 и на рисунках 2, 3 приведены полученные по расчету основные формы собственных колебаний в горизонтальном и вертикальном направлении, соответствующие обозначенным выше расчетным случаям.

Анализ форм и частот собственных колебаний сооружения показал, что формы, вносящие наибольший вклад по модальным массам, во всех рассмотренных случаях соответствуют колебанию сооружения на основании как жесткого, малодеформируемого тела. Кроме того, при расчете по третьему и четвертому расчетному случаю частоты колебаний ниже, чем по первому и второму. Учет грунта на контактной поверхности ростверка, а также учет за-



**Рисунок 2** — Основные формы собственных колебаний в горизонтальном и вертикальном направлениях для расчетных случаев 1 и 2



**Рисунок 3** — Основные формы собственных колебаний в горизонтальном и вертикальном направлениях для расчетных случаев 3 и 4

глубления сооружения путем введения грунтовых пружин по боковой поверхности заглубленной части, повышают частоту собственных колебаний в горизонтальном направлении, что свидетельствует о том, что грунт снимает часть горизонтальной сейсмической нагрузки со сваи. Это подтверждается полученными по расчету результатами, приведенными в таблице 2.

Рассматривая расчетные случаи 1 и 2, можно сделать вывод, что учет жесткости грунта на контактной поверхности подошвы ростверка привел к уменьшению горизонтального перемещения оголовков свай, и снижению изгибающих моментов и поперечных сил в сваях более чем в 2 раза. При этом продольная сила в максимально нагруженной свае снизилась не так существенно, а именно, на 11,1%.

**Таблица 2** — Максимальные перемещения и усилия в сваях от сейсмической нагрузки

Расчетный случай	Максимальное перемещение оголовка сваи, мм	Максимальная продольная сила в свае, т	Максимальный изгибающий момент в свае, т х м	Максимальная поперечная сила в свае, т
1	10,4	196,6	85,4	34,9
2	5,1	174,8	42,2	17,2
3	8,6	145,1	25,9	8,3
4	4,7	129,0	13,0	4,2

При расчете по 3 случаю, максимальная продольная сила в сваях уменьшилась на 17% по сравнению со случаем 2, что объясняется включением в работу грунта на боковой поверхности свай. Кроме того, благодаря учету податливости грунта (свая не защемлена в определенном сечении как в случаях 1 и 2), численные значения перемещений оголовков свай в грунте увеличились, а максимальных изгибающих моментов и поперечных сил – уменьшились.

Учет заглубления сооружения в грунт привел к снижению максимального перемещения оголовков свай на 45,3%, максимальных значений продольной и поперечной сил, а также изгибающего момента – на 11, 49,8 и 49,4 % соответственно.

В целом, применение различных методов расчета привело к разбросу значений поперечных сил в сваях - более чем в 8 раз, изгибающих моментов - более чем в 6 раз, перемещений – более чем в 2 раза и продольных сил - в 1,5 раза. К примеру, поперечное сечение сваи диаметром 600 мм, в которую установлено 10 арматурных стержней А500 диаметром 25 мм при продольной силе 200 т, воспринимает поперечную силу 8 т и изгибающий момент 15 т\*м. То есть, при применении различных методик можно сделать различные выводы относительно прочности свай. Это означает, что выбор методики расчета может позволить отказаться от дополнительных мероприятий, например, таких, как устройство промежуточной песчаной подушки и снизить стоимость строительства.

Таким образом, по результатам проделанной работы можно сделать следующие выводы:

1) Как в отраслевых, так и в общестроительных нормативных документах отсутствует четко и последовательно из-

ложенная методика учета динамических свойств грунта при расчете прочности свай при сейсмическом воздействии.

2) Рассмотренные методики дают существенный разброс результатов и могут привести к различным выводам относительно несущей способности свай. При рассмотрении свай, как стержней, жестко заземленных в грунте на расстоянии  $l_1$  от подошвы ростверка, получаются чрезмерно консервативные значения усилий. Данная методика приемлема при расчете прочности по материалу свай на вертикальные нагрузки, однако при расчете прочности свай на горизонтальные (в том числе сейсмические) нагрузки, более корректно их рассматривать как балки, взаимодействующие с упругим основанием.

3) Учет динамической жесткости грунтового основания на контактной поверхности ростверка может уменьшить получаемые по расчету значения перемещений оголовков свай и возникающих в них усилий при землетрясении. Таким образом, данный момент является очень важным и ответственным, а критерии учета динамической жесткости грунта при расчете свайных фундаментов требуют более подробного, четкого и понятного изложения.

4) Учет заглубления сооружения также может позволить существенно снизить значения перемещений и усилий в узле сопряжения свай с ростверком, получаемые при расчете на сейсмические воздействия. Так как вопрос учета влияния заглубления сооружения в основание на эффект их взаимодействия освещен в нормативной документации в большей степени применительно к верхнему строению, то данная тема может быть перспективной и требует дальнейшего изучения.

## Литература

1. Нормы проектирования атомных станций на сейсмостойкость. Методические рекомендации МР 1.5.2.05.999.0025-2011
2. Нормы проектирования оснований сооружений атомных станций. Методические рекомендации МР 1.5.2.05.999.0026-2011
3. Нормы проектирования атомных станций на сейсмостойкость. Методические

4. рекомендации МР 1.5.2.05.999.0027-2011.
4. Свайные фундаменты. СП Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85
5. Саргсян А.Е. Динамика и сейсмостойкость сооружений атомных станций: монография. Саров. ОАО Атомэнергопроект, РФЯЦ-ВНИИЭФ. 2013. 550 с.
6. НП-031-01. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций. М. 2001.

7. Белаш Т. А., Травин С. М. Об интенсивности строительных конструкций мокрого хранилища отработавшего ядерного топлива при землетрясении // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2015. №2. С. 49-52.
8. Ильичев В.А., Монголов Ю.В., Шаевич В.М. Свайные фундаменты в сейсмических районах. М.: Стройиздат, 1983. 144 с.

## References

1. Normy proektirovaniia atomnykh stantsii na seismostoikost'. Metodicheskie rekomendatsii MR 1.5.2.05.999.0025-2011
2. Normy proektirovaniia osnovanii sooruzhenii atomnykh stantsii. Metodicheskie rekomendatsii MR 1.5.2.05.999.0026-2011
3. Normy proektirovaniia atomnykh stantsii na seismostoikost'. Metodicheskie

4. rekomendatsii MR 1.5.2.05.999.0027-2011
4. Svainye fundamenti. SP Aktualizirovannaya redaksiia SNiP 2.02.03-85
5. Sargsyan A.E. Dinamika i seismostojkost' sooruzhenij atomnykh stantsij: afiia. Sarov. OAO Amomenergoproekt, RFIAC-VNIIEF. 2013. 550 s.
6. NP-031-01. Normy proektirovaniia seismostoikikh atomnykh stantsii. M. 2001.

7. Belash T. A., Travin S. M. Ob intensivnosti stroitel'nykh konstruksii mokrogo khranilishcha otrabotavshogo iadernogo topliva pri zemletriasenii // Seismostoikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii. 2015. №2. S. 49-52.
8. Il'ichev V.A., Mongolov YU.V., Shaevich V.M. Svainye fundamenti v seismicheskikh raionakh. M.: Strojizdat, 1983. 144 s.

**Для цитирования:** Травин С.М. Учет динамических свойств грунта при расчете свайных фундаментов объектов использования атомной энергии при сейсмических воздействиях // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2019. № 4. С. 60-64.

**For citation:** Travin S.M. Taking into Account the Dynamic Properties of the Soil when Calculating the Pile Foundations of Nuclear Facilities under Seismic Effects. Seismostoikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety], 2019, no. 4, pp. 60-64. (In Russian).

## Сведения об авторах

**Тяпин Александр Георгиевич**, доктор технических наук, профессор, главный специалист БКП-2 АО «Атомэнергопроект». Москва, Россия  
e-mail: atyapin@bvcp.ru

**Еманов Александр Федорович**, доктор технических наук, Алтай-Саянский филиал Федерального Исследовательского Центра «Единая Геофизическая служба» РАН, директор. Новосибирск, Российская Федерация  
e-mail: emanov@gs.nsc.ru

**Еманов Алексей Александрович**, кандидат геолого-минералогических наук, Алтай-Саянский филиал Федерального Исследовательского Центра «Единая Геофизическая служба РАН», заместитель директора по науке. Новосибирск, Российская Федерация  
e-mail: alex@gs.nsc.ru

**Травин Сергей Михайлович**, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, кафедра «Здания», аспирант. Санкт-Петербург, Российская Федерация  
e-mail: st.maddog@inbox.ru

## Information about Authors

**Tyapin Alexander G.**, Doctor of Technical Science, Professor, main specialist BKP-2 JSC «Atomenergoprojekt». Russian Federation, Moscow  
e-mail: atyapin@bvcp.ru

**Emanov Alexander F.**, Doctor of Technical Sciences, Branch Director, Altay-Sayan Branch of Federal Research Center "United Geophysical Survey RAS", Novosibirsk, Russian Federation  
e-mail: emanov@gs.nsc.ru

**Emanov Aleksey A.**, Candidate of Geologo-mineralogical Sciences, Deputy Director for Research, Altay-Sayan Branch of Federal Research Center "United Geophysical Survey RAS". Novosibirsk, Russian Federation  
e-mail: alex@gs.nsc.ru

**Travin Sergei M.**, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Department «Buildings», graduate student. Saint-Petersburg, Russian Federation  
e-mail: st.maddog@inbox.ru

**Aadzhemyan Arsen**, Project engineer, Gannett Fleming, 601 S. Figueroa, #3800, Los Angeles, CA, USA 90017  
e-mail: aadzhemyan@gfnet.com

**Benzoni Gianmario**, ASSISI President, Research Scientist, Structural Engineering, University of California, San Diego, USA  
e-mail: benzoniu@ucsd.edu

**Demin Feng**, Chief Researcher, FUJITA Corporation, Tokyo, JAPAN  
e-mail: feng@fujita.co.jp

**Huber Peter**, Technical Sales, MAURER SE, Munich, Germany  
e-mail: p.huber@maurer.eu

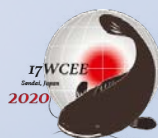
**Bresler Mark**, Sales Director, MAURER SE, Munich, Germany  
e-mail: m.bresler@maurer.eu

**Lomiento Giuseppe**, Asst. Professor, Civil Engineering, California State Polytechnic University, Pomona, USA  
e-mail: glomiento@cpp.edu

**Takafumi Miyama**, Prof., Tezukayama University, Nara, Japan  
e-mail: miyama@tezukayama-u.ac.jp

**Whittaker David**, NZSEE President, Senior Technical Director, Beca Ltd, Christchurch, New Zealand  
e-mail: president@nzsee.org.nz, david.whittaker@beca.com

**Wenguang Liu**, Prof., Shanghai University, Shanghai, China  
e-mail: liuwg@aliyun.com



# 17WCEE 17th WORLD CONFERENCE ON EARTHQUAKE ENGINEERING

With Bosai / Disaster Management Expo in Sendai

**September 13-18, 2020 at Sendai International Center, Sendai, Japan**

## **Theme: Toward Resilient Society**

The conference will cover a wide variety of subjects on earthquake engineering including the following topics:

- ▶ Sendai Framework for Disaster Risk Reduction
- ▶ Post Disaster Recovery and Reconstruction
- ▶ Safety of infrastructures
- ▶ Disaster Mitigation through Trans-disciplinary and International Cooperation
- ▶ Nuclear Power Plants and Their Safety against Earthquakes and Tsunamis
- ▶ New Directions of Earthquake Engineering Technology through Huge-scale Numerical Simulations
- ▶ Effects of Long-lasting and Long-period Ground Motions on Structural Performance
- ▶ Smart Cities and Urban Disaster Mitigation

### **Important Dates**

Call for Abstract :	April 11, 2019
Exhibition Apply Start :	June 3, 2019
Sponsorship Apply Start :	June 3, 2019
Registration Open :	August 1, 2019
Abstract Deadline :	August 30, 2019
Abstract Acceptance Notification :	October 30, 2019
Full Paper Deadline :	January 31, 2020
Exhibition / Sponsorship Apply Deadline :	March 31, 2020

Tel: +81 3-3508-1202, Fax: +81 3-3508-0820  
E-mail: [17wcee@convention.co.jp](mailto:17wcee@convention.co.jp)

**[WWW.17WCEE.JP](http://WWW.17WCEE.JP)**