

4-ая Научно-техническая конференция СРО атомной
отрасли «**АТОМСТРОЙСТАНДАРТ - 2017**».

**Инновационная система полной
сейсмоизоляции АЭС с реакторами ВВЭР,
возводимых в районах умеренной и большой
сейсмичности до 10 баллов по шкале МСК-64**

**Виктор Костарев, Петр Васильев, ЦВС, Санкт-Петербург
Петер Навроцкий, GERB GmbH, Berlin, Germany**

9-ти балльное землетрясение на самой мощной в мире АЭС BWR Kashiwazaki-Kariwa, Блоки 1-7

Niigataken - Chuetsu - Oki Earthquake at Kashiwazaki-Kariwa NPP Site,
July 16, 2007, 10:13 AM (980gals= 1.0g)

Foundation of Reactor Building	Unit 1 Out- age	Unit 2 Start- up	Unit 3 100%	Unit 4 100%	Unit 5 Out- age	Unit 6 Out- age	Unit 7 100%
Design Basis Seismic Motion S2, gals	273	167	193	194	254	263	263
Observed values, gals (Factor to Design)	680 (2.5)	606 (3.6)	384 (2.0)	492 (2.5)	442 (1.74)	322 (1.22)	356 (1.35)

Некоторые последствия и выводы по сейсмическому событию на АЭС Кашивазаки

1. Ущерб от события на К-К АЭС составил более 15 млрд. долларов (до Фукушимы).
2. Около 10 000 человек участвовало в сейсмических обходах, анализах и восстановлении К-К АЭС.
3. Пересмотрены проектные основы для возможного сейсмического воздействия на Японских АЭС, которые составляют в настоящее время PGA 1.0 – 2.0g.
4. Во всем мире пересматриваются проектные сейсмические основы с сторону их увеличения, в том числе для сейсмической переквалификации существующих станций.
5. Для самой мощной в Европе – Запорожской АЭС уровень пиковых ускорений на фундаментах 1 и 2 блоков после проведения процедур PSHA и SSI в соответствии с требованиями и рекомендациями МАГАТЭ вырос с 0.07 до 0.19g.
6. Для зарубежных площадок с блоками ВВЭР по Российским проектам уровень пиковых ускорений грунта для МРЗ (Бушер, Аккую, Иордания) составляет до 0.5g. С учетом требований по рассмотрению запроектных (BDB) воздействий этот уровень может вырасти до:
$$0.5g \times 1.68/1.4 = 0.84/0.7g$$

Одним из кардинальных выходов из создавшегося положения является создание системы полной сейсмической изоляции сооружений АЭС, связанных с безопасностью

Зачем нужна система сейсмоизоляции (СИС) для АЭС?

Главные аргументы «ЗА»:

1. Безопасность:

СИС обеспечивает общую сейсмическую безопасность сооружений АЭС и защиту от других внешних экстремальных воздействий.

2. Новые сейсмические требования:

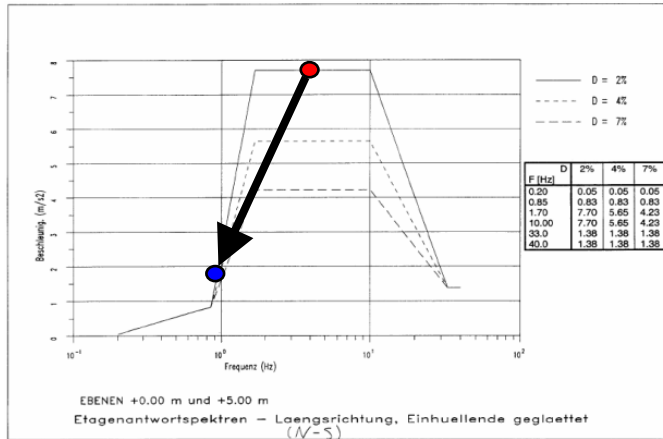
Постоянное и существенное увеличение сейсмических требований к площадкам АЭС в пределах 0.4g – 1.5g с учетом запроектных требований.

3. Стоимость:

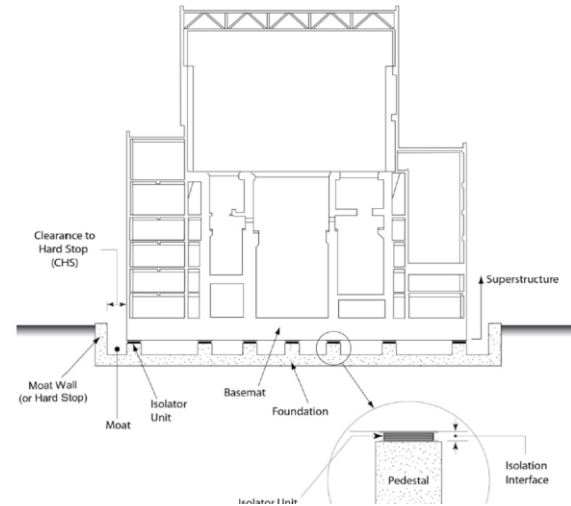
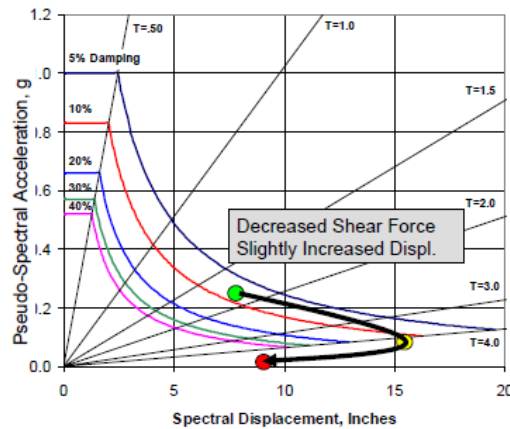
Постоянное увеличение стоимости сейсмического проектирования, стоимости зданий и сооружений и оборудования в сейсмостойком исполнении.

Принципы сейсмоизоляции

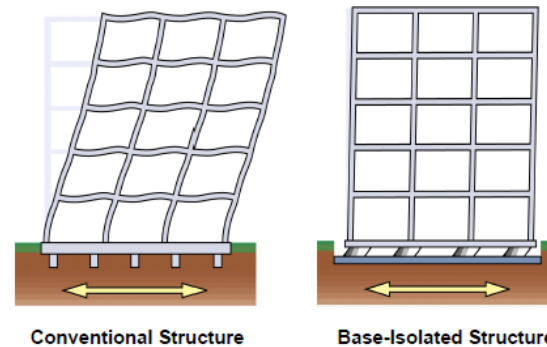
(Из: a) FEMA 461; b) US NRC, "Technical Considerations for Seismic SI of Nuclear Facilities")
JNES SS-1101; JEAG 4614; USNRC



Effect of Seismic Isolation with Supplemental Dampers (ADRS Perspective)



Behavior of Building Structure with Base Isolation System



Преимущества и ограничения использования СИС

Преимущества

- СИС обеспечивает большую безопасность АЭС при внешних воздействиях.
- Значительно меньшие ускорения (воздействия) на здания, сооружения, системы, оборудование и трубопроводы.
- Возможность снижения масс зданий, сооружений, систем, оборудования и трубопроводов, в том числе за счет сокращения количества антисейсмических опор.
- Возможность упрощения расчетных моделей зданий и сооружений и использования общестроительных методов проектирования.
- Возможность корректировки и поддержания вертикального положения зданий и сооружений.
- Уменьшение неопределенности в вероятностном анализе безопасности: одна ключевая система отвечает за сейсмическую безопасность.
- Уменьшение давления со стороны надзорных органов, общественности и средств массовой информации по вопросам сейсмостойкого проектирования АЭС.
- Уменьшение общей стоимости строительства АЭС.

Преимущества и ограничения использования СИС

Ограничения и сложности применения СИС

- Необходимость использования разрезного фундамента.
- Увеличенные относительные смещения верхней изолированной структуры относительно основного нижнего фундамента, требующие компенсационных решений для распределительных систем (проблема «пуповины»).
- Повышенные требования к надежности и безопасности одной ключевой системы, обеспечивающей устойчивость и сейсмостойкость АЭС.
- Необходимость формулирования специальных требований по безопасности, комбинациям нагрузок и условий эксплуатации, в том числе при запроектных событиях и авариях.
- Более сложная и дорогая конструкция разрезного фундамента с верхней и нижней частями.

Экономическая эффективность применения СИС

1. Стоимость АЭС мощностью 1200 MWt можно оценить, примерно, в \$ 5 млрд. Эта стоимость имеет существенно нелинейную зависимость от сейсмике.
2. В соответствии с анализом J.D. Stevenson стоимость сейсмостойкого проектирования и инжиниринга, плюс добавленная стоимость поставки оборудования и трубопроводов в сейсмостойком исполнении, плюс добавленная стоимость сейсмостойких зданий, конструкций и сооружений, для площадки АЭС с PGA 0.4g составляет не менее 10% от общей стоимости АЭС. Для PGA 0.6g вклад сейсмике составит не менее 15% от стоимости АЭС.
3. При этих предположениях общая стоимость затрат на обеспечение сейсмостойкости АЭС может составить приблизительно \$500 -750 млн. на один блок.
4. С уверенностью можно утверждать, что применение СИС позволит сократить вышеупомянутые затраты, по крайней мере, на 50% с учетом возросшей стоимости разделенного фундамента и стоимости самой СИС. Экономия на 1 блок может быть оценена в \$250-375 млн. или около 6% от общей стоимости АЭС.

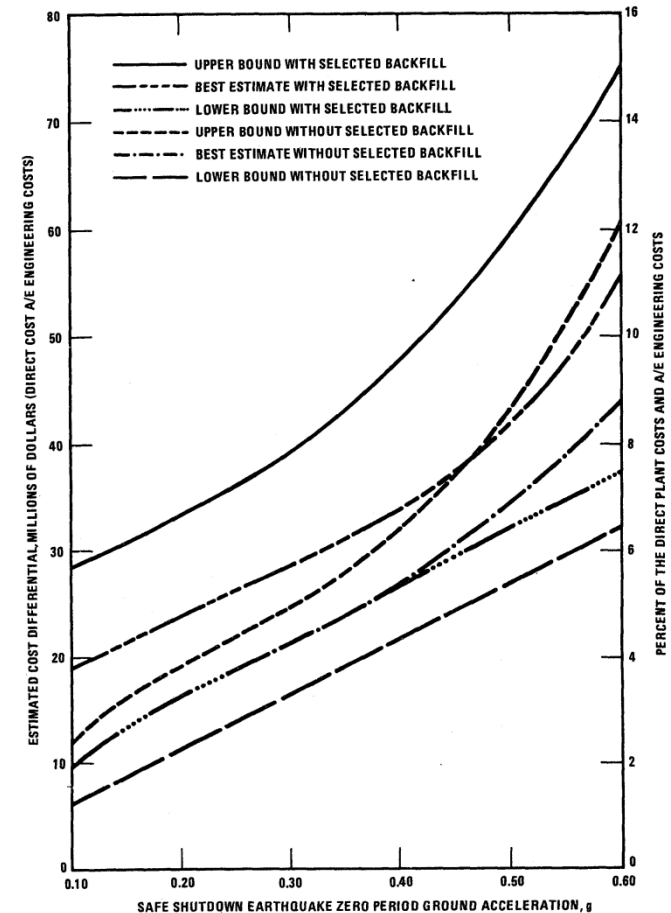


Figure 4.1 Cost Increase as a Function of Seismic Load for Nominal 1100-MWe Nuclear Power Plant (1977 Dollars).

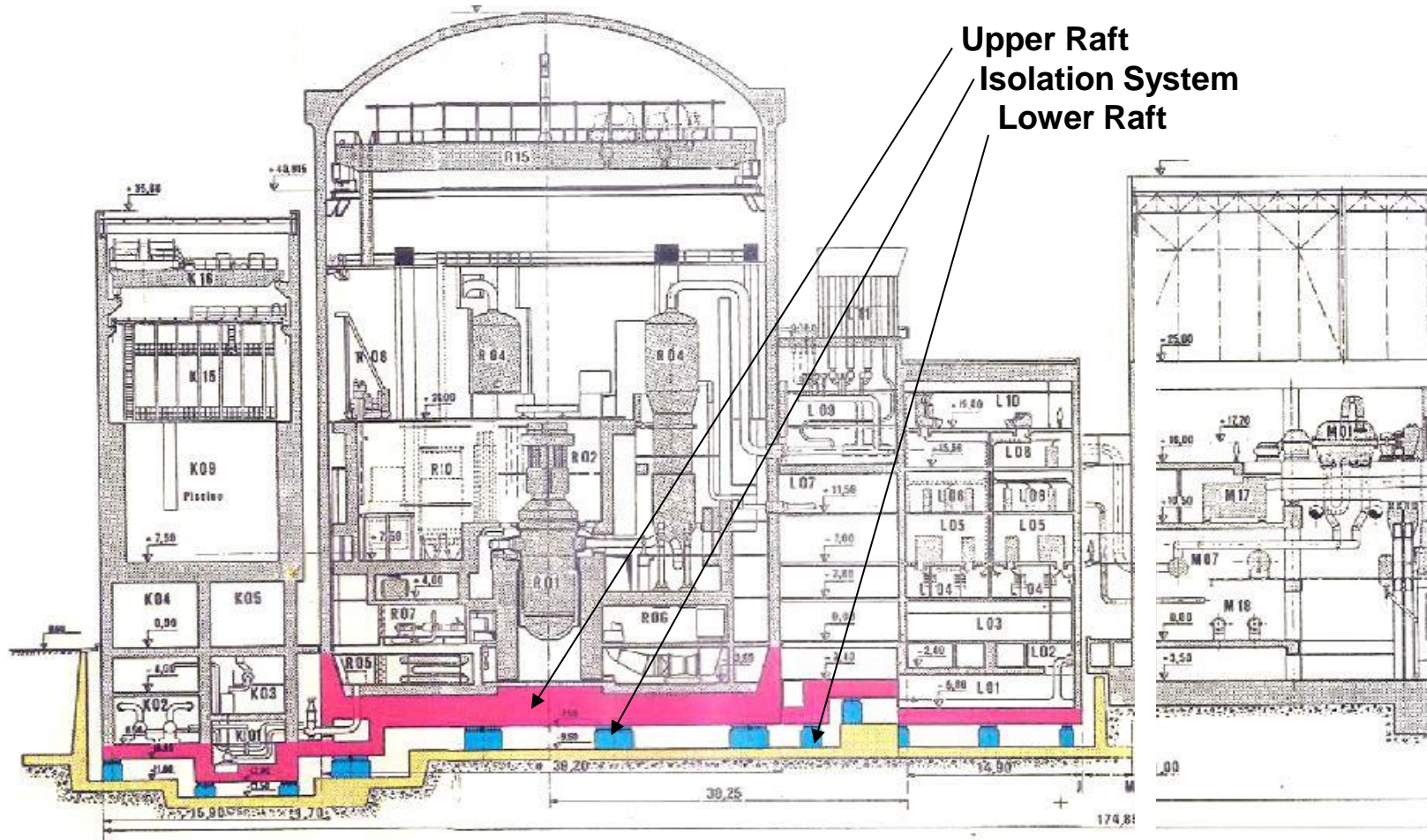
NUREG/CR-1508, "Evaluation of Cost Effects on Nuclear Power Plant Construction Resulting From the Increase in Seismic Design Load," April 1981

Применение СИС для АЭС и ядерных установок

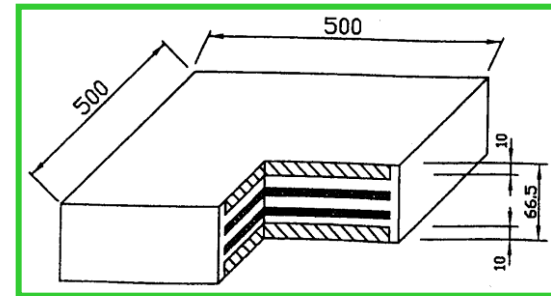
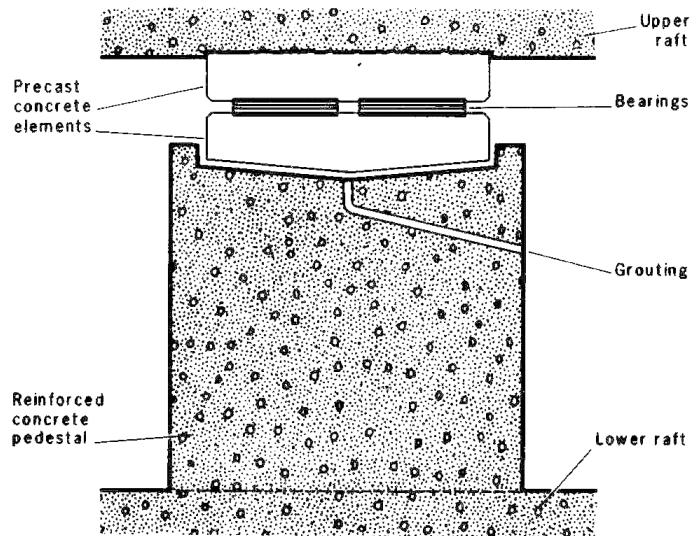
- Cruas PWR NPP, France
- Koeberg PWR NPP, South Africa
- Laguna Verde BWR NPP, Mexico
- Jules Horowitz Research Reactor Structure, France
- Georges Besse II Enrichment Facility Structure, France
- ITER Prototype for Fusion Reactor Structure, France
- Fast Breeder Reactor Project ... GEN 4, France
- **Проект ВВЭР 640, СПб АЭП, Россия**
- Сотни примеров применения СИС известны для хранилищ ОЯТ, компонентов и структур АЭС и гражданских объектов.
- В настоящее время все известные Атомные проектанты, архитекторы и поставщики оборудования интенсивно разрабатывают СИС для полной изоляции структур АЭС (здание РО и ТЗ)

Применение СИС для АЭС и ядерных установок

АЭС Круаз, Франция, 4 блока по 900 МВт, 30 лет успешной эксплуатации

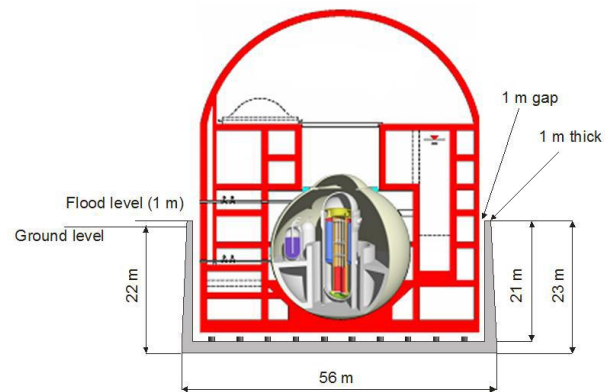


Сейсмоизолирующие опоры АЭС Круаз, Франция

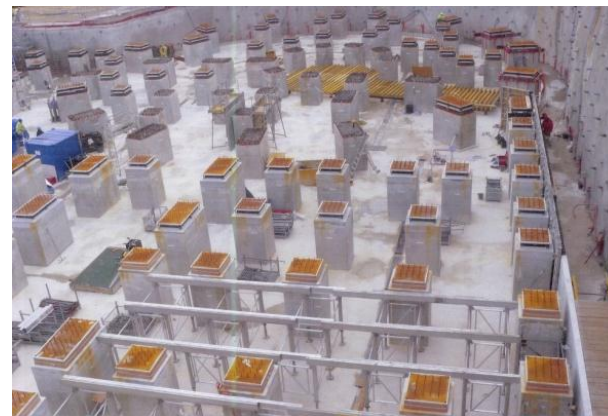
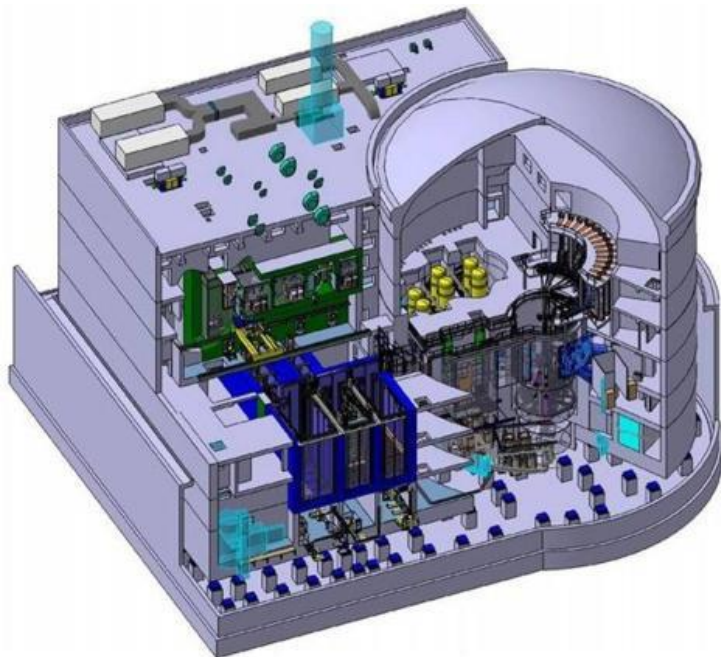


Примеры применения СИС для АЭС и АУ

The four PWR units of Cruas, France with seismic isolation



The IRIS Reactor (Innovative and Secure) with a seismic isolation system made of 99 HDRBs

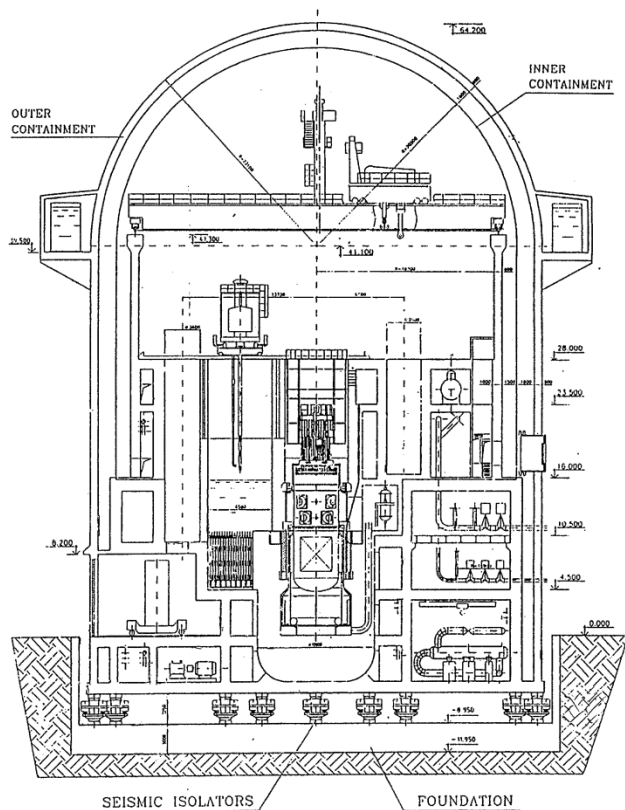


The Jules Horowitz Reactor and view of the isolation system during installation at the Cadarache centre (France)

Российский опыт создания системы СИС

Проект ВВЭР НР640 с 3D СИС для Кольской АЭС

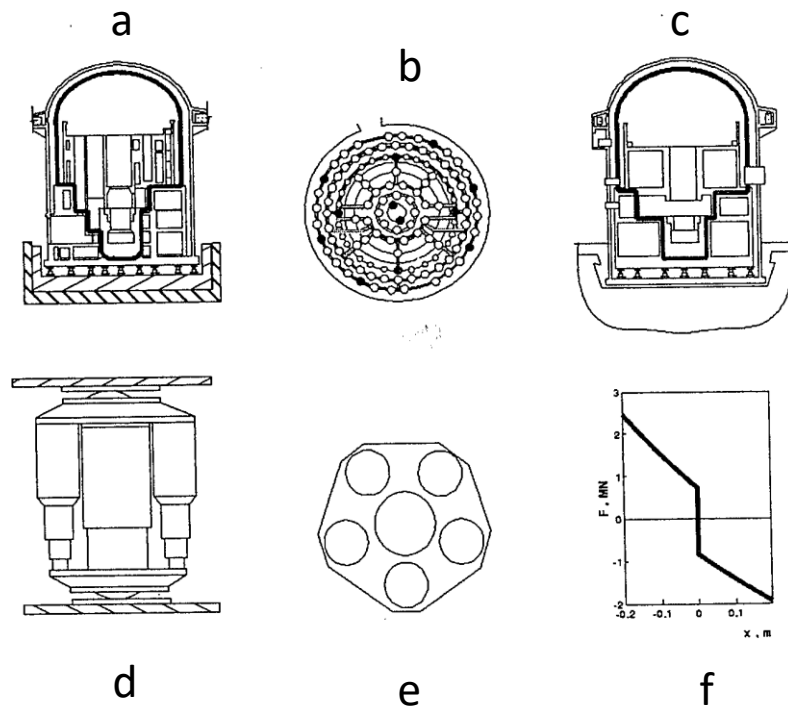
Качающиеся изоляторы с воздушными пружинами и 3D высоковязкими демпферами типа ВД по ТУ (СПб АЭП, В.Беляев, М.Рубинштейн и др.)



Общий вид

Fig. 1 Seismic isolated building of NPP VVR 640

Собственные частоты СИС
 $F_h=0.2\text{Hz}$, $F_v=0.3\text{ Hz}$



- a. Общий вид
- b. Расположение изоляторов и демпферов ВД на разделенном фундаменте
- c. Система частичной СИС
- d. Изолятор с фаской для «мертвой зоны»
- e. Разрез блока изолятора
- f. Зависимость «Сила-перемещение» для изолятора

Российский опыт создания системы СИС

Проект ВВЭР НП640 с 3D СИС для Кольской АЭС

Натурные испытания СИС с демпферами ВД на сейсмозрывном полигоне. Привод
стенда за счет пороховых двигателей



Общий вид Испытательного стенда с
1000 тонной моделью



Изоляторы СИС
и
Пороховые двигатели
Стенда СИС



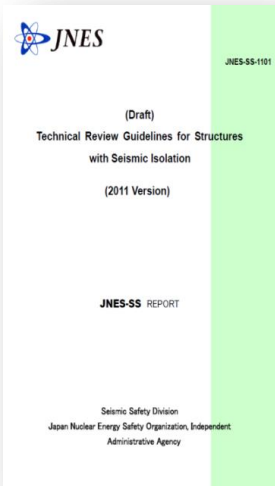
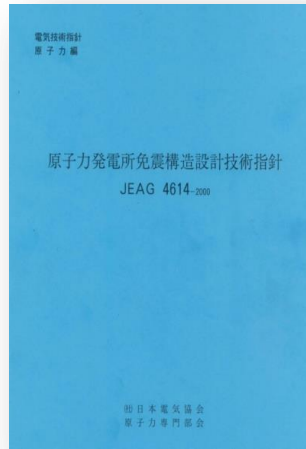
Демпфер ВД850

1. Демпферами ВД достигается более 20% критического демпфирования.
2. Демпферы играют также роль мягких упоров СИС.

Стандарты СИС для АЭС

JNES, JEAG, US NRC, IAEA Safety Report

Regulators



Industry

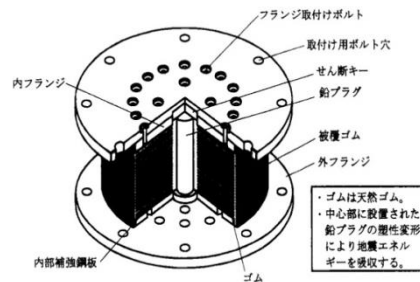


図 2.1-2 鉛入り積層ゴムの例

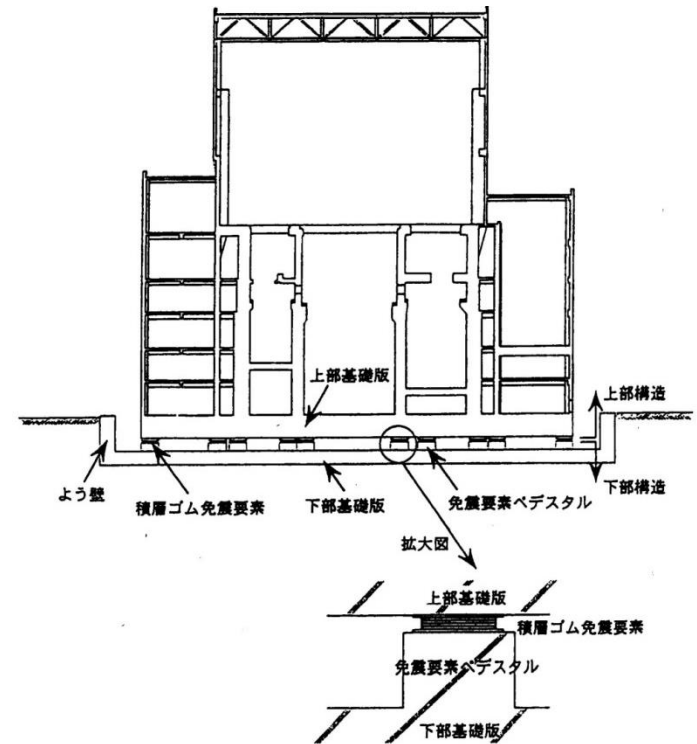


図 2.1-4 建物・構築物の名称

Новый Российский стандарт по СИС для гражданского строительства

(готовится к изданию ЦНИИСК в 2015 году, руководитель редакционной группы В.И. Смирнов)

Министерство регионального развития
Российской Федерации

СВОД ПРАВИЛ СП _____

ЗДАНИЯ СЕЙСМОСТОЙКИЕ И СЕЙСМОИЗОЛИРОВАННЫЕ.
ПРАВИЛА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

ИЗДАНИЕ ОФИЦИАЛЬНОЕ

Москва 2013

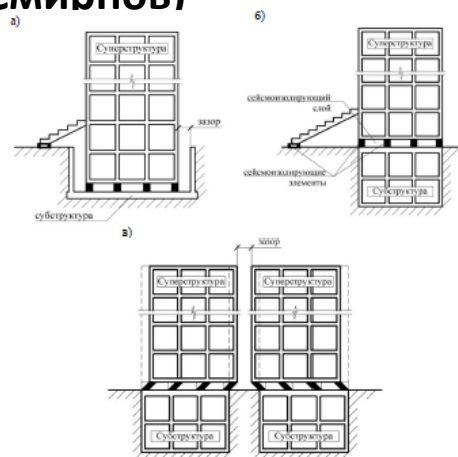


Рисунок 1 – Схемы расположения сейсмоизолированных сооружений

6 Критерии соответствия

Таблица Б1 — Идеализированные зависимости «нагрузка-перемещение», используемые для описания поведения систем сейсмоизоляции

Типы сейсмоизолирующих элементов	Схемы сейсмоизолирующих элементов	Идеализированные зависимости «нагрузка-перемещение» (F-D)
Эластичные опоры	с низкой способностью к диссипации энергии	
	с высокой способностью к диссипации энергии	
	со скатными сердечниками	
Фрикционные опоры	с плоскими горизонтальными поверхностями скольжения	
	основанные со сферическими поверхностями скольжения	

Новый подход к проектированию СИС для Реакторного Отделения (РО) АЭС с использованием целевой функции

Обычный подход

В проекте АЭС с СИС РО используются известные либо новые изобретенные изоляторы, имеющие определенные и неизменные характеристики жесткости и демпфирования.

Динамический анализ проводится на обобщенные (не специфические для площадки) спектры и показывает положительные и отрицательные свойства данной СИС. Анализ проводится только на горизонтальное воздействие. Вертикальное воздействие, как правило, не рассматривается вкуче с другими особым динамическими воздействиями (ураган, падение самолета, взрыв и т.д.)

Новый подход

Формулирование требуемых параметров СИС посредством целевой функции:

Целью является разработка эффективной многокомпонентной 3D СИС с приемлемыми относительными компенсационными смещениями разрезного фундамента для всех видов внешних воздействий помимо сейсмике .

Путь к достижению цели:

Проект СИС основывается на оптимизационном процессе, учитывающим особенности РО и его площадки, специфические данные по сейсмике площадки АЭС (UHS/TH, PSHA) и определении, таким образом, специфических динамических характеристик жесткости и демпфирования СИС для данного РО данной АЭС.

Примечание:

Любой блок АЭС является уникальными по своим характеристикам (включая много блоковые однотипные АЭС) и требует специально для него разработанной СИС.

Методы расчетов для учета нелинейных характеристик СИС для РО АЭС при больших перемещениях

1. Метод модального суммирования **Modal TNA (МТНА)** при расчетах на произвольное воздействие, заданное, например, акселерограммами сейсмических колебаний грунта.

$$M \times \ddot{Y} + C \times \dot{Y} + K \times Y = P(t)$$

Недостаток: пренебрежение недиагональными членами матрицы демпфирования и связанные с этим погрешности расчета.

2. Метод прямого интегрирования с матрицей демпфирования Релея (**Direct TNA**).

Недостаток: Невозможность задания различного уровня демпфирования для всего спектра собственных частот.

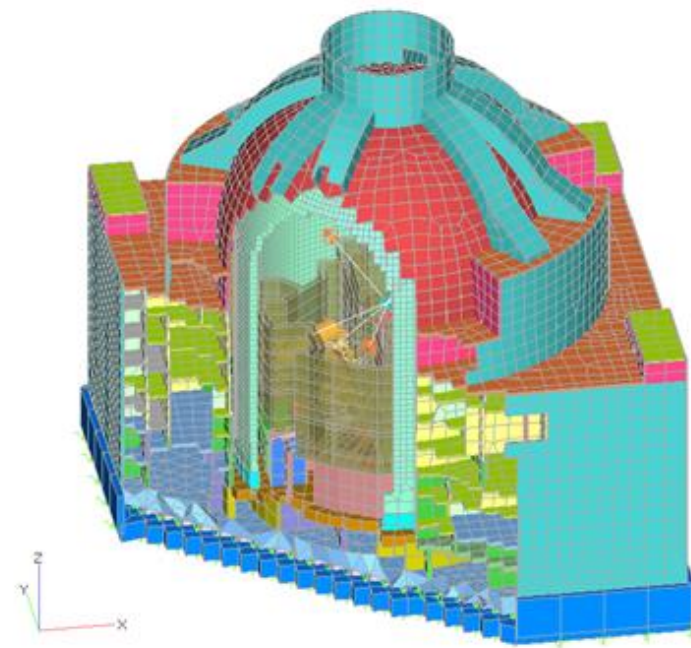
3. Метод быстрого нелинейного анализа (**Fast Nonlinear Analysis**)

$$M \times \ddot{u} + C \times \dot{u} + K \times u + R_{NL}(t) = R(t)$$

Наиболее приемлем для расчета СИС. Позволяет учитывать нелинейные свойства СИС и любых других элементов системы. Реализован в программах SAP2000, dPIPE и др.

Создание оптимизационной модели СИС для РО АЭС

Ввиду сложности и уникальности каждого блока АЭС и его РО, особенностей грунтовых условий и сейсмичности площадки, не существует какой-либо одной универсальной системы СИС годной, например, даже для всех однотипных блоков. Основные параметры СИС, такие как жесткости и демпфирование, определяющие собственные частоты и затухание системы, могут быть определены оптимизационным процессом для конкретных характеристик РО и специфического входного сейсмического воздействия.



Полная структурная КЭ модель блока ВВЭР-1200

Формулировка целевой функции для системы СИС

К модели РО прикладывается 3D ТН сейсмическое воздействие (три различные некоррелированные акселерограммы в трех ортогональных направлениях).

В качестве выходных параметров используются сейсмические ускорения и перемещения опор реактора и максимальные относительные смещения в наиболее нагруженных изоляторах и демпферах.

Комбинация двух критических параметров была принята как Целевая Функция СИС:

- Пиковые ускорения реакторных опор (A), и
- Максимальные смещения в изоляторах (D).

Таким образом, целевая функция была сформулирована следующим образом:

$$GF = \left(\frac{A}{Aw} \right)^2 + \left(\frac{D}{Dw} \right)^2$$

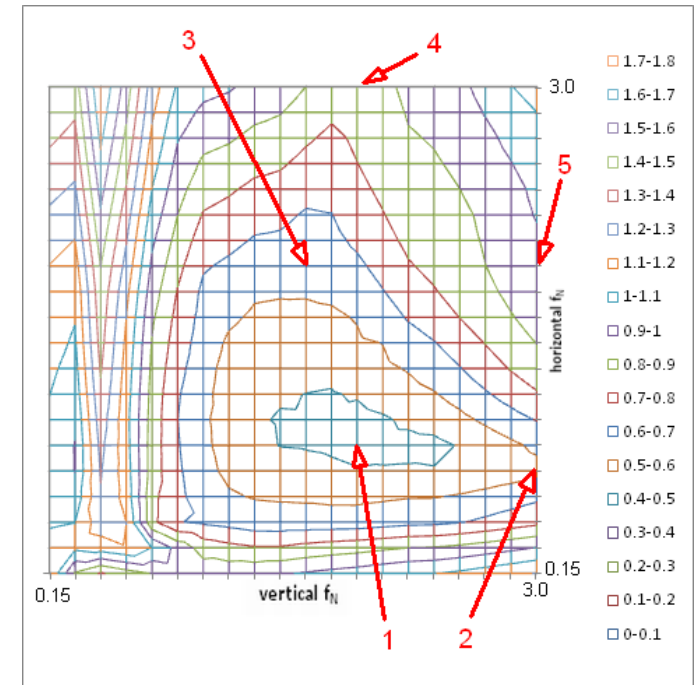
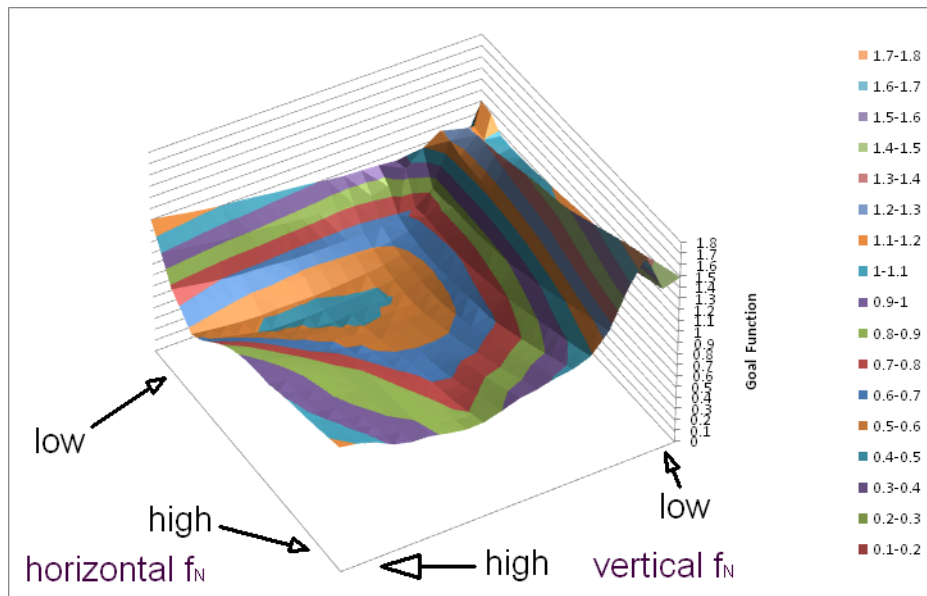
Aw и Dw в этой формуле являются весовыми коэффициентами, которые представляют собой нежелательные параметры ускорений и перемещений на выходе системы, а именно:

$Aw = 0.4g$ (нулевой эффект изоляции – ускорения не изменились),

$Dw = 100$ mm (максимальной допустимые относительные перемещения разрезного фундамента для самокомпенсации распределительных систем и трубопроводов).

Результаты оптимизационного анализа СИС РО для опор реактора

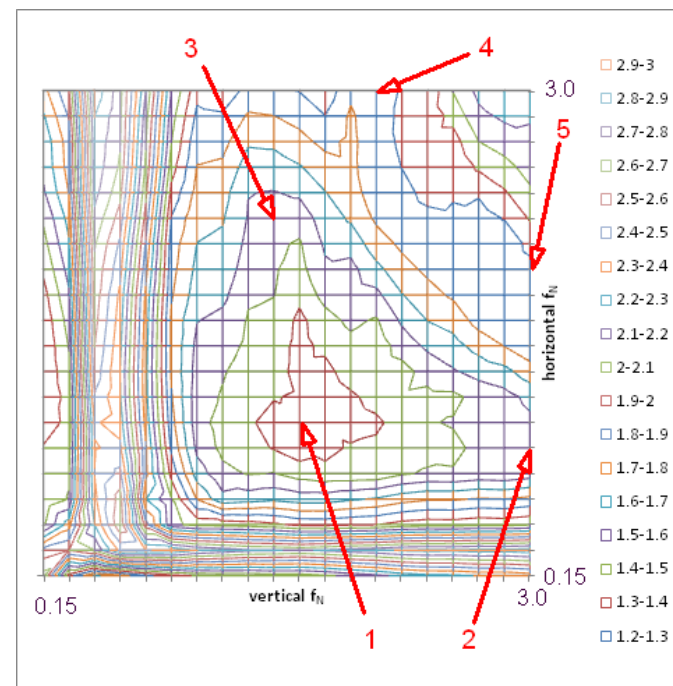
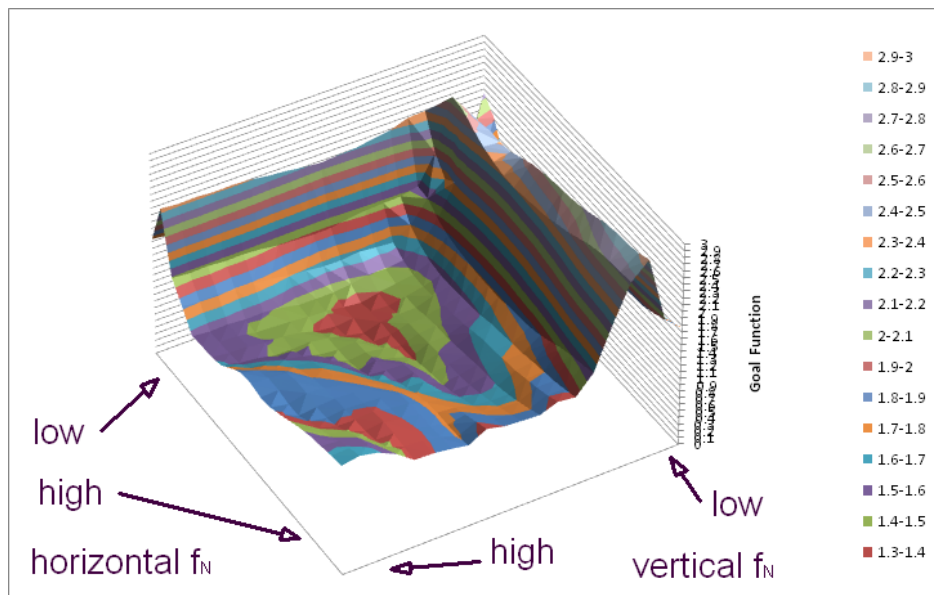
Поверхности целевой функции для 40% демпфирования



Point #	Nominal frequency, Hz		Displacement, mm			Acceleration, g			Goal function
	horizontal	vertical	X	Y	Z	X	Y	Z	
1	0.90	1.95	24	22	23	0.13	0.12	0.15	0.49
2	0.75	3.00	28	27	10	0.11	0.10	0.21	0.59
3	1.95	1.65	8	7	36	0.19	0.17	0.13	0.65
4	3.00	1.95	5	4	32	0.23	0.22	0.15	0.88
5	1.95	3.00	12	12	20	0.22	0.23	0.21	0.98

Результаты оптимизационного анализа СИС РО для опор реактора

Поверхности целевой функции для 20% демпфирования

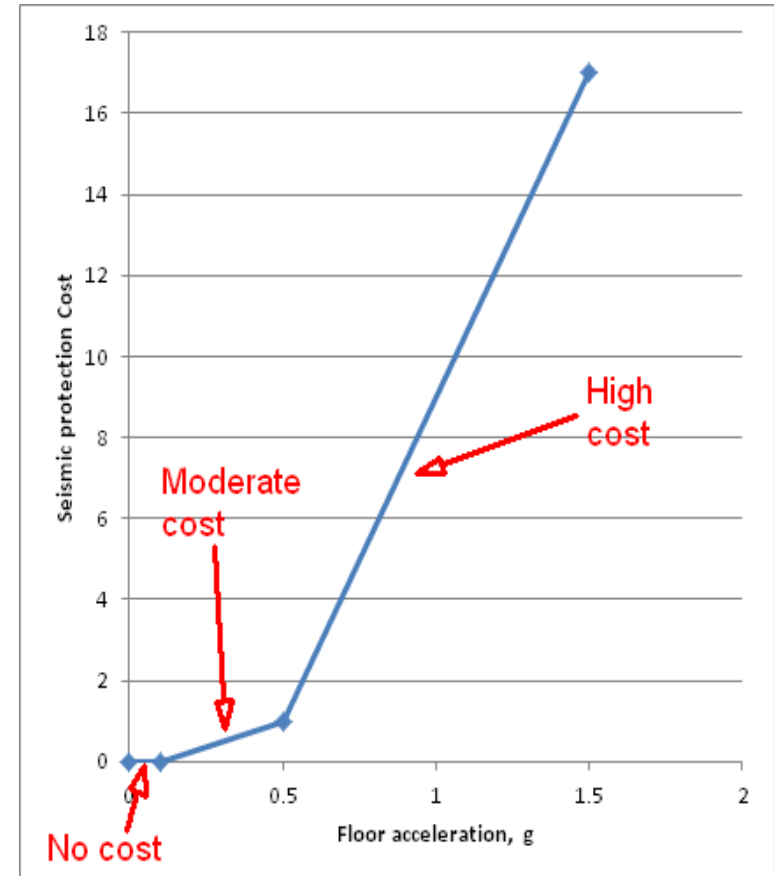


Point #	Nominal frequency, Hz		Displacement, mm			Acceleration, g			Goal function
	horizontal	vertical	X	Y	Z	X	Y	Z	
1	1.05	1.65	30	25	47	0.16	0.14	0.14	0.80
2	0.90	3.00	39	39	15	0.15	0.14	0.26	1.00
3	2.25	1.50	8	8	55	0.20	0.21	0.14	0.97
4	3.00	2.10	6	5	41	0.28	0.25	0.20	1.31
5	1.95	3.00	16	14	28	0.26	0.24	0.26	1.31

Возможности расширения целевой функции за счет включения дополнительных членов

Можно также оптимизировать количество и стоимость изолирующих элементов и демпферов, учитывать различные особенности работы системы в горизонтальном и вертикальном направлениях и т.д., в соответствии с пожеланиями проектантов и Заказчиков.

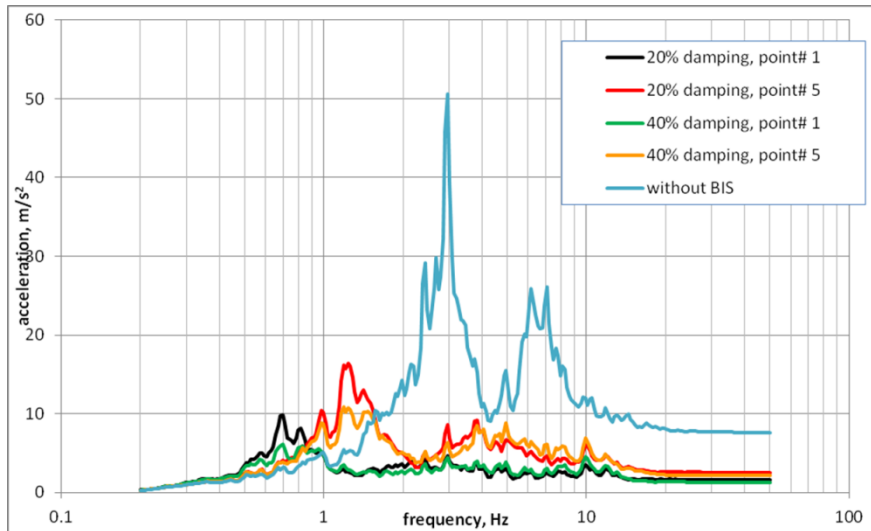
На рисунке справа приведен пример нелинейной целевой функции для СИС, учитывающий ее стоимость при увеличении входного сейсмического воздействия



Результаты оптимизационного анализа СИС РО

Спектры ISRS на опорах реактора

Горизонтальное направление



Точка # 1: $f_h \approx 1$ Hz, $f_v \approx 2$ Hz,

Точка # 5 : $f_h \approx 2$ Hz, $f_v \approx 3$ Hz.

Эффективность изоляции по горизонтальным ускорениям:

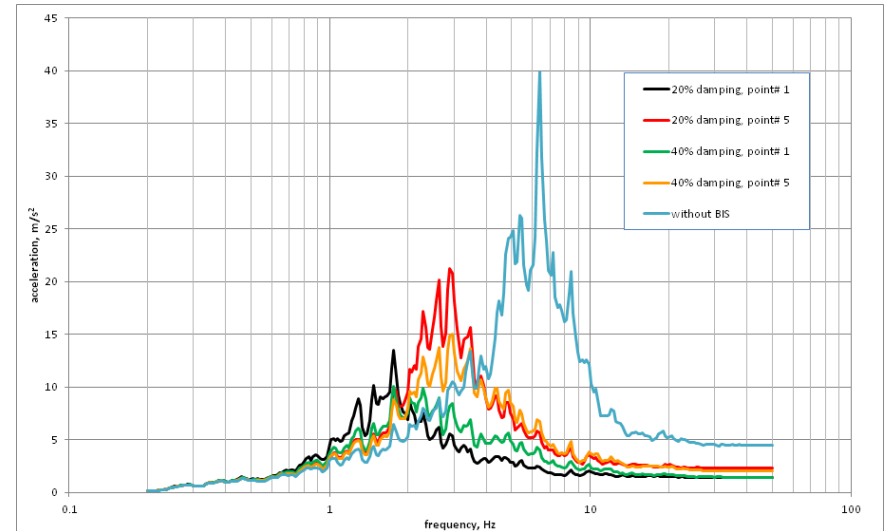
$$4.0 < A_n/A_i < 10.0$$

Максимальные горизонтальные смещения в угловых изоляторах:

$$12 \text{ mm} < D_h < 30 \text{ mm}$$

Демпфирование: 20-40%

Вертикальное направление



Точка # 1: $f_h \approx 1$ Hz, $f_v \approx 2$ Hz,

Точка # 5 : $f_h \approx 2$ Hz, $f_v \approx 3$ Hz.

Эффективность изоляции по вертикальным ускорениям:

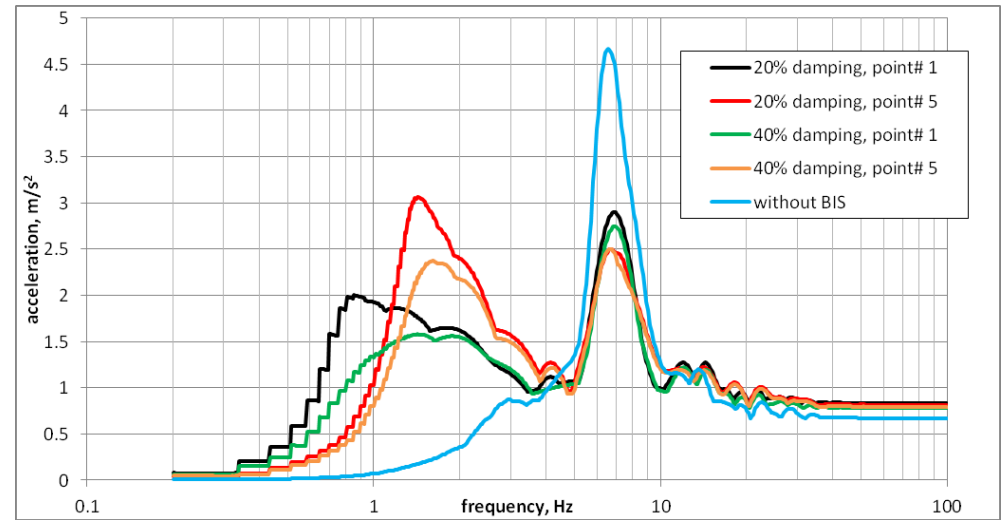
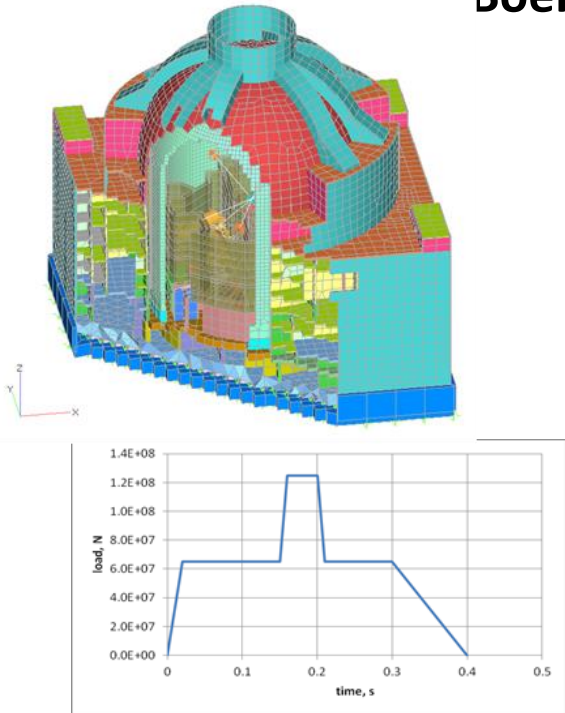
$$2.0 < A_n/A_i < 4.0$$

Максимальные вертикальные смещения в угловых изоляторах:

$$20 \text{ mm} < D_v < 47 \text{ mm}$$

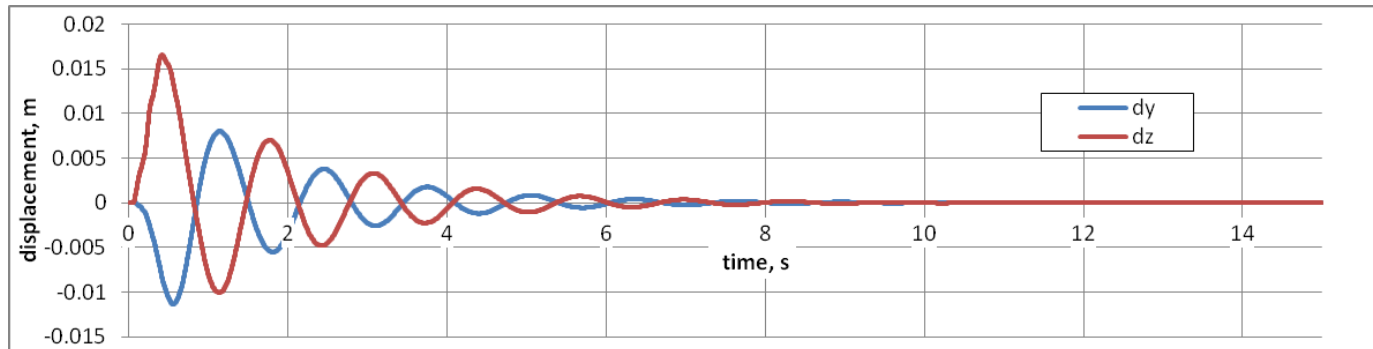
Демпфирование: 20-40%

Падение большого коммерческого самолета на РО с СИС. Boeing 747-400. M = 390 tons.



Спектр воздействия для опор реактора
Эффективность изоляции около $R_h = 1.5$

Нагрузочная функция по Риере



Перемещение РО при падении Boeing 747-400

Реакция РО с СИС на сильный ветер

Ветровая (ураганная) нагрузка

Расчеты проводились в соответствии с требованиями NUREG-0800 и ASCE/SEI 7-05.

Параметры ураганного ветра:

- Проектная скорость ветра 58 m/s (130 mi/h).
- Проектное ветровое давление на высоте 40 метров - 2100 N/m² (51.7 lb/ft²).

Анализ показал, что даже при таких экстремальных условиях перемещение (качание) РО на СИС не превышает 1.0 мм., что не влияет на безопасность РО и окружающих конструкций.

Выводы по оптимизационному анализу СИС

Для данной РО установки ВВЭР-1200 и его грунтовых условий , а также особенностей сейсмического воздействия на площадке АЭС с интенсивностью PGA 0.4g, наиболее предпочтительной представляется система СИС со следующими оптимальными характеристиками:

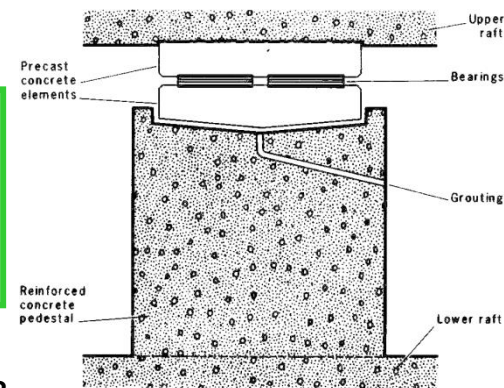
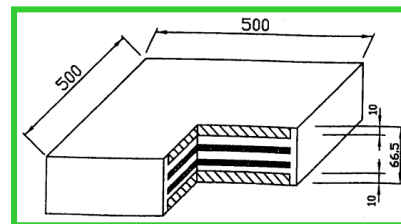
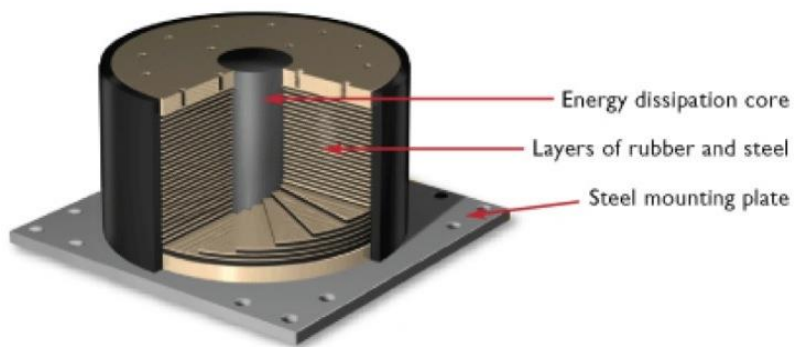
- Номинальная частота в горизонтальном направлении **$f_h = 1.0-1.5$ Hz;**
- Номинальная частота в вертикальном направлении **$f_v = 2.0-2.5$ Hz;**
- Демпфирование в системе должно быть не меньше 20% от критического.

В этом случае обеспечивается:

- Высокая изоляционная способность СИС в пределах
 $5.0 < R_h < 10.0$ и $2.0 < R_v < 4.0$;
- Приемлемые (суммарные x-y-z вектор) относительные перемещения в угловых изоляторах, не требующие серьезного перепроектирования распределительных систем
 $40 \text{ mm} < D < 60 \text{ mm}$.

Окончательное решение должно приниматься на основе более углубленного анализа. В частности, на базе рассмотрения задачи взаимодействия грунта и основания РО, а также фактических характеристик принятых к использованию изоляторов и демпферов. Во взаимодействии с Генпроектантом АЭС.

Доступные на рынке элементы СИС



Опора АЭС Круаз,
Франция



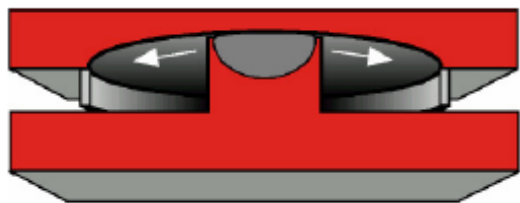
LRB Резино-металлическая опора
(Япония, Кореяб Китай)



Опора с витыми
Пружинами
Россия-Германия



Многокомпонентный
Демпфер ВД по ТУ
Россия-Германия



Качающийся подшипник (FPS),
США

Основные требования, предъявляемые к элементам СИС (по материалам IAEA, JNES, US NRC)

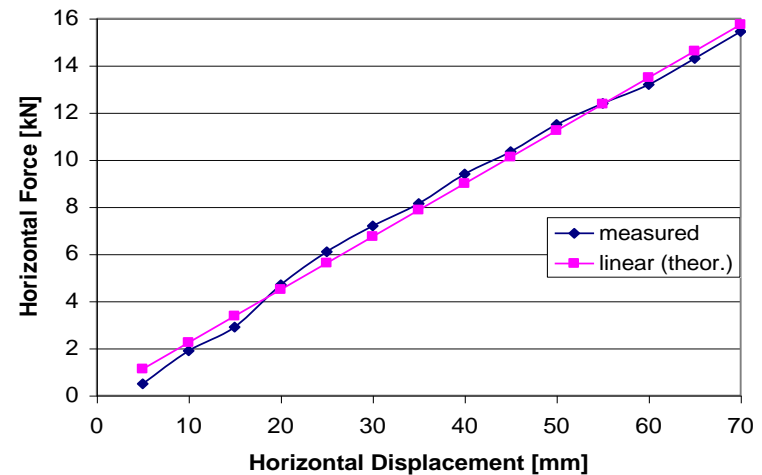
- СИС должна состоять только из пассивных (не активных) элементов, обеспечивающих необходимые собственные частоты изолируемой структуры в горизонтальном и вертикальном направлениях для достижения заданных параметров изоляции (+).
- Обладать высокой демпфирующей способностью, не менее 20%. (+).
- Долговременной стабильностью характеристик под воздействием всех возможных эксплуатационных факторов (температура, влажность, радиация, воздействие повреждающих элементов, пожар, затопление, экстремальный ветер, другие внешние воздействия, включая падение самолета, взрывы, противоправные действия и т.д.). (+)
- Надежность при всех сейсмических воздействиях от МРЗ до запроектных. (+)
- Возможностью быстрого и легкого обслуживания и замены устройств СИС. (+).
- Сохранение общей несущей способности СИС и фундаментов и исключение их чрезмерных прогибов при потере одного или нескольких изолирующих устройств. (+)
- Способностью компенсировать наклоны РО и просадки грунта. (+)
- Равномерно распределять усилия по разрезному фундаменту. (+)
- Иметь в наличии экспериментальные результаты по характеристикам натуральных образцов. (+)
- СИС должна иметь способность к быстрому пассивному восстановлению своего начального центрального положения и характеристик для противодействия возможным афтершокам (+)

По совокупности всех предъявляемых к СИС требованиям, им, в наилучшей степени, соответствуют пружинные опоры и демпферы ВД

Типичный изоляционный элемент ГЕРБ с витыми пружинами

Характеристики и преимущества

- Одинаковые статические и динамические характеристики;
- Большая податливость в горизонтальном и вертикальном направлениях, определяемые константами;
- Линейная зависимость «Сила-Перемещение»;
- Перемещения до 300 мм;
- Несущая нагрузка одной опоры, до 456-1140 тонн;
- Равномерное распределение нагрузки в разрезном фундаменте;
- Возможность центровки РО;
- Простое обслуживание и замена элементов,.



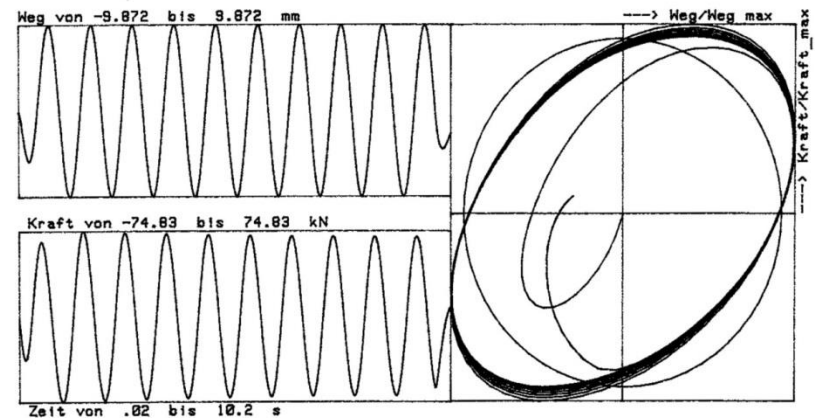
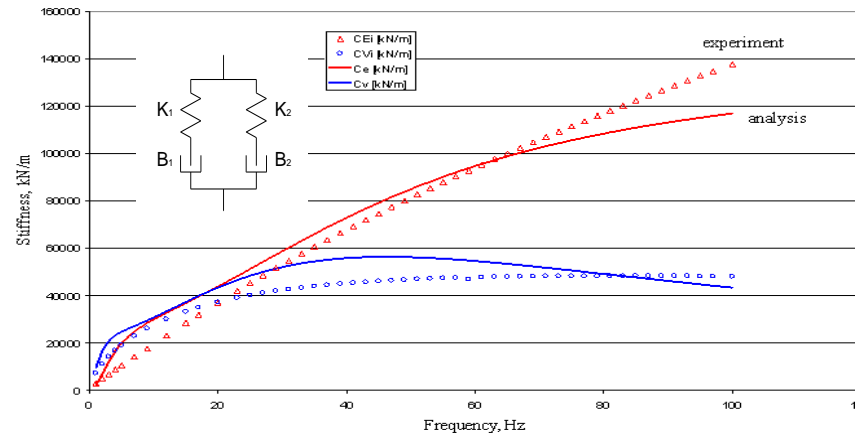
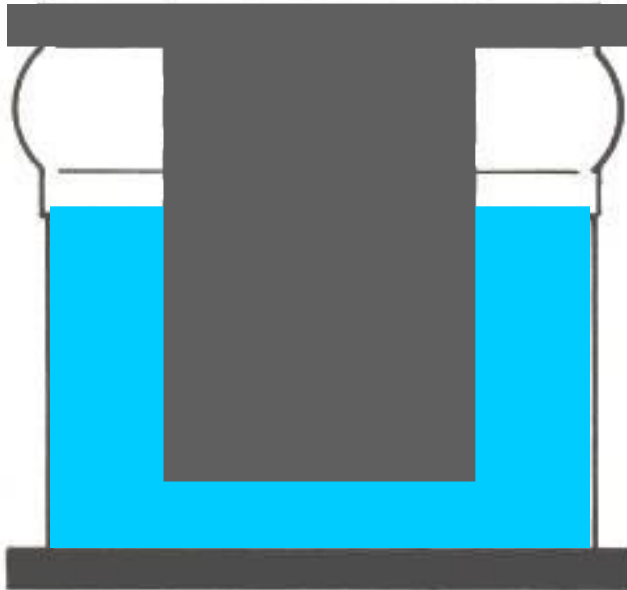
Натурные испытания пружины для СИС АЭС особо большой грузоподъемности для запроектных условий



Многокомпонентный демпфер ВД

Характеристики демпфера ВД:

- Работа в 3-х степенях свободы в одном элементе;
- Высокая демпфирующая способность в диапазоне 0.0 to 50 Hz;
- Неограниченный срок службы без обслуживания.



Демпфер СИС типа ВД 850 на натуральных испытаниях



Примеры изоляции конструкций и сооружений системой Base Control System (BCS)

**Пружинные элементы с отдельными высоковязкими
демпферами ВД**

30+ лет успешного опыта эксплуатации

Различные типы пружинных блоков и демпферов ГЕРБ



Одна из первых сейсмоизолирующих пружинных опор для опор реактора (1980)



Load Capacity:
1300 kN

Natural
Frequencies:

- vertical: 1 Hz

- horizontal: 1 Hz

Различные комбинации пружинных и демпферных опор



Мощный демпфер для системы TMD (Динамический гаситель колебаний) на главном небоскребе Гунжоу-Гонконг Bay Tower

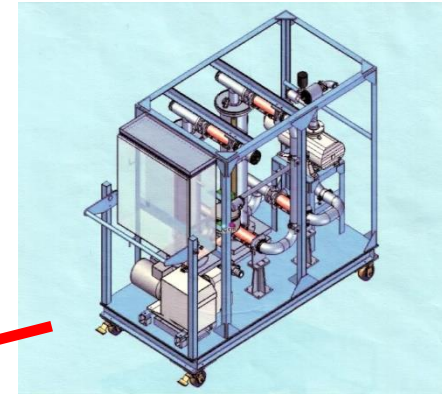
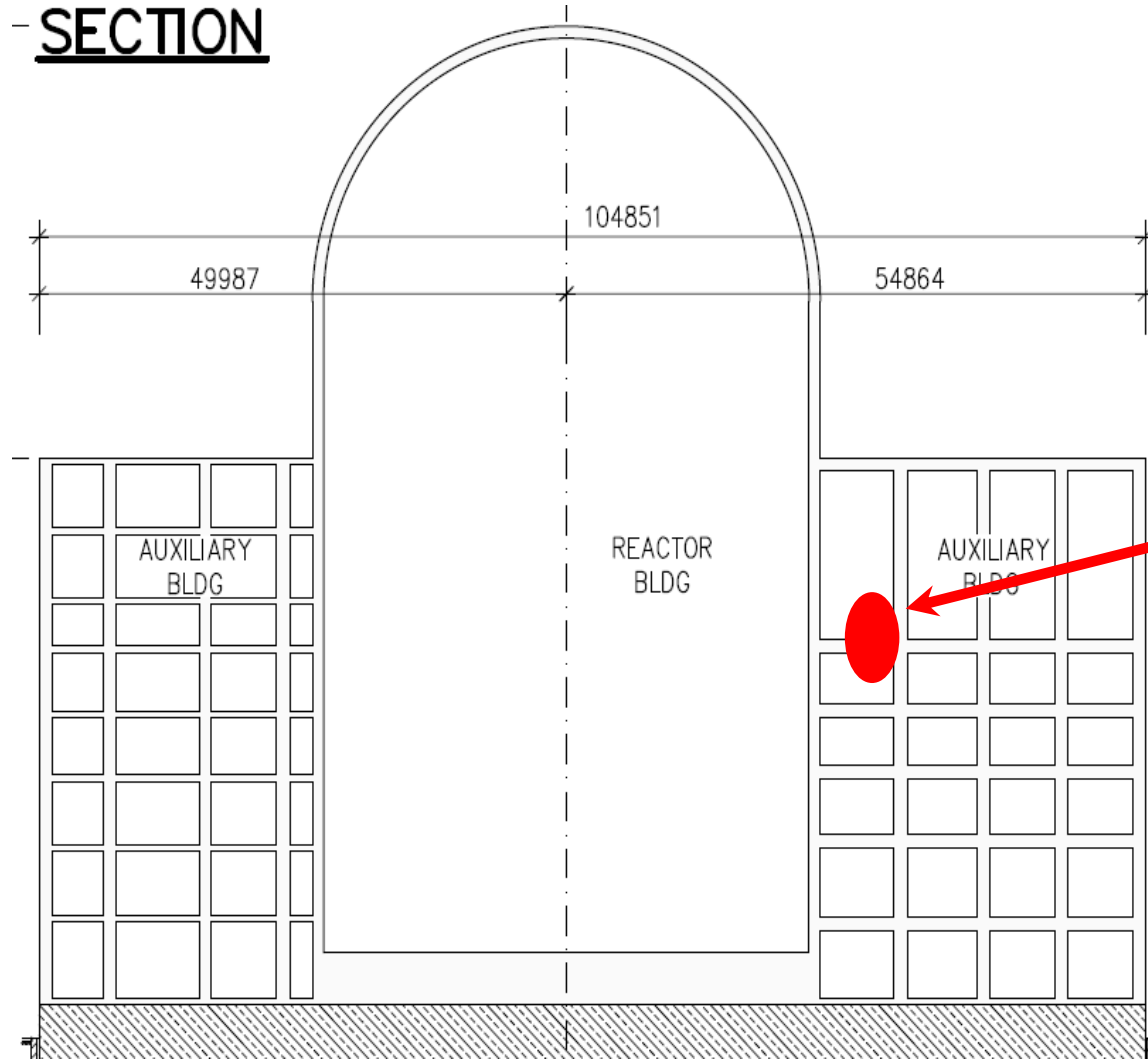




Сейсмическая изоляция оборудования АЭС

Защита от воздействий падения самолета

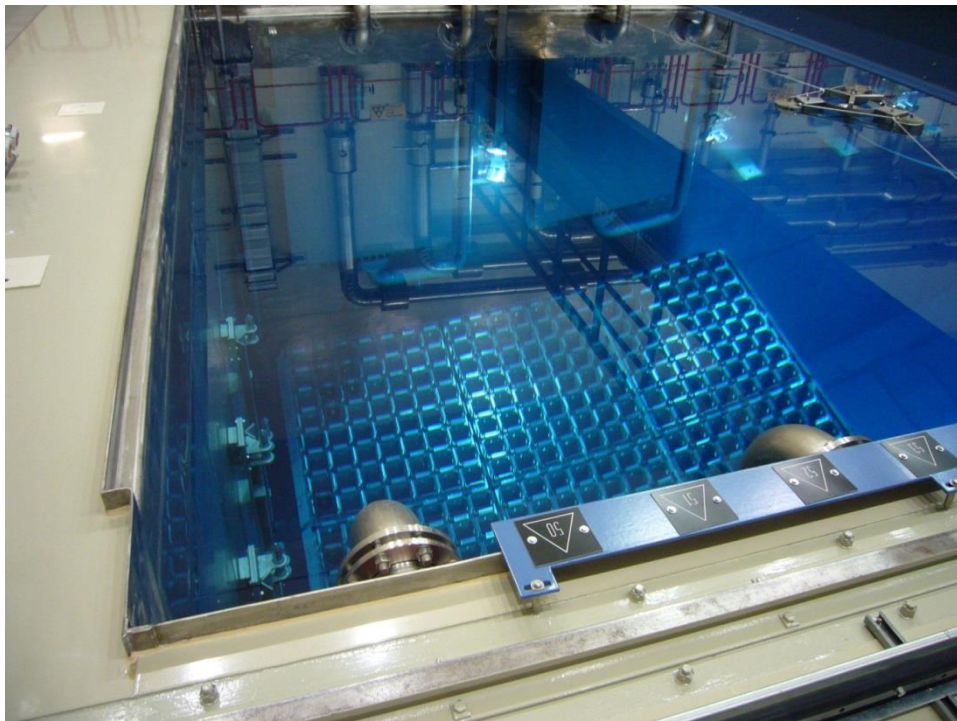
SECTION



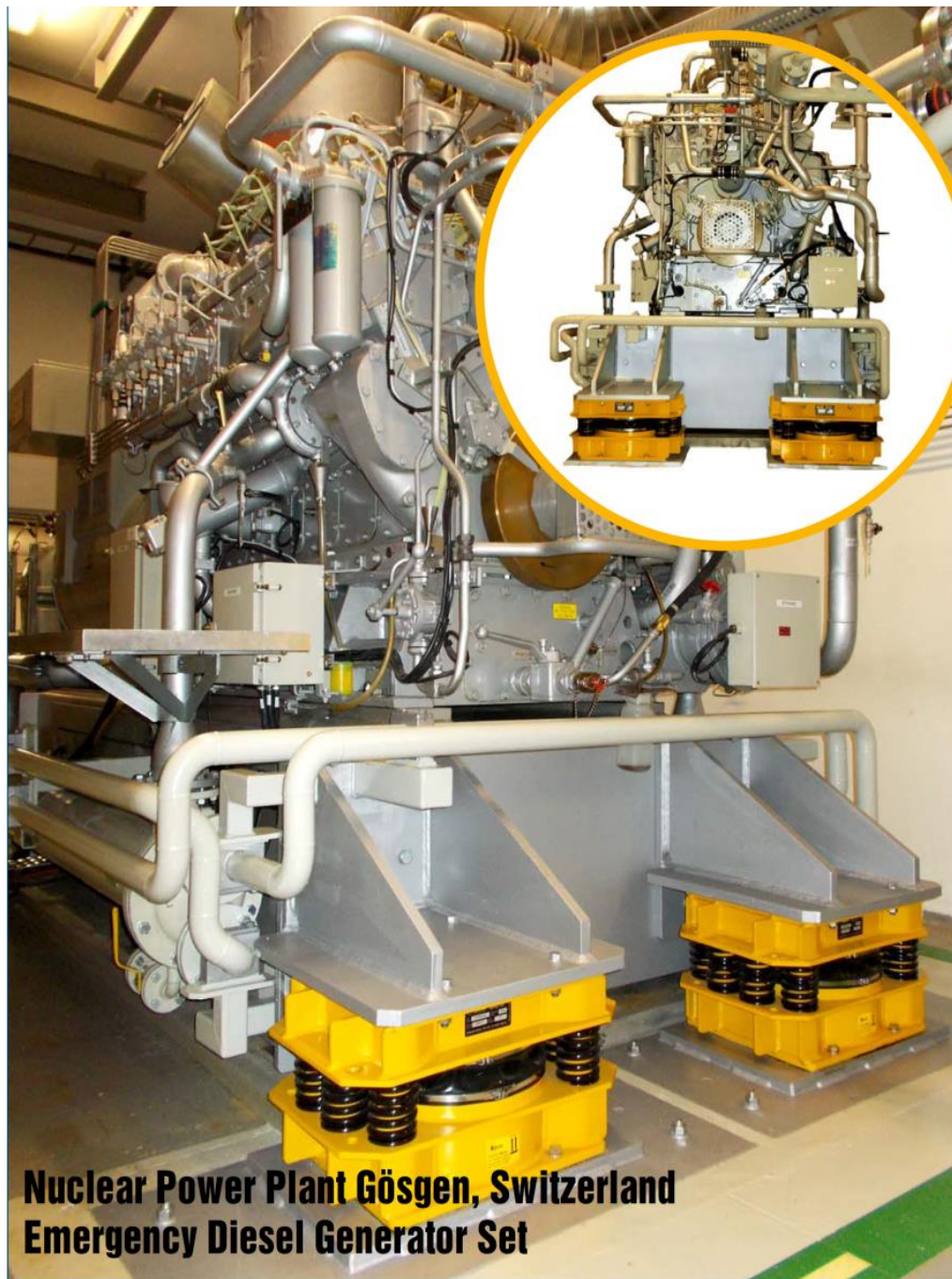
Excitation:
FRS Seismic &
Airplane Crash

Изоляция бассейна выдержки отработанного топлива (Сейсмика + Падение самолета), NPP Gösgen, Switzerland

Общая масса изолированной системы 5 800 Тонн, ISRS PGA 0,45-0,55 g



Сейсмоизоляция
И защита от
падения
самолета
Аварийного
Дизель-
Генератора,
АЭС Госген,
Швейцария

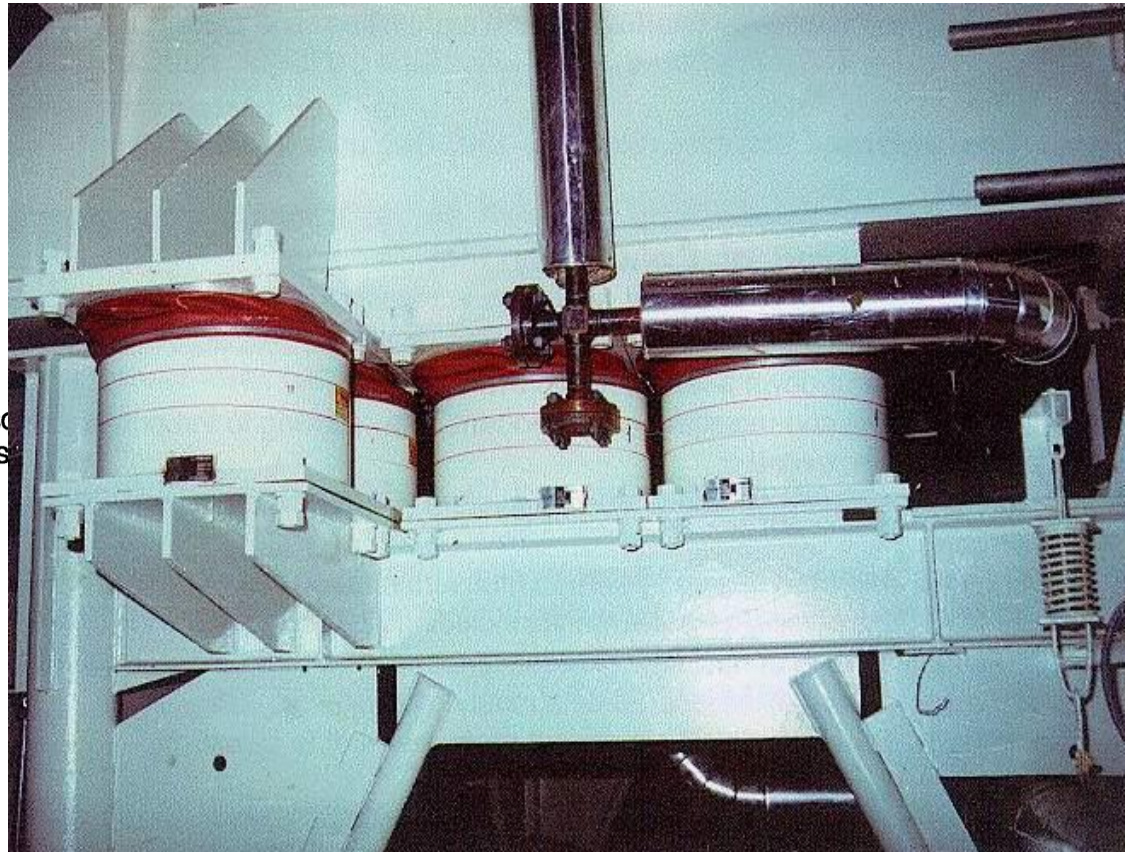
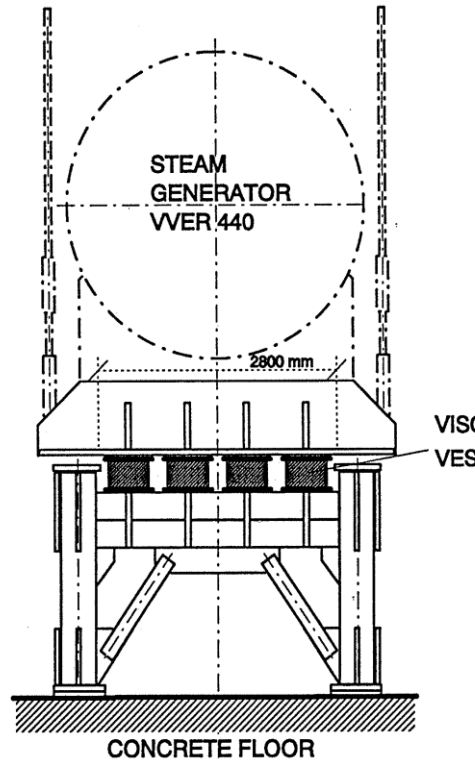


**Nuclear Power Plant Gösgen, Switzerland
Emergency Diesel Generator Set**

Испытания на сейсмостойкость сейсмоизолированного оборудования АЭС при помощи BCS (Switchboard, Server Rack, Control Room , etc)



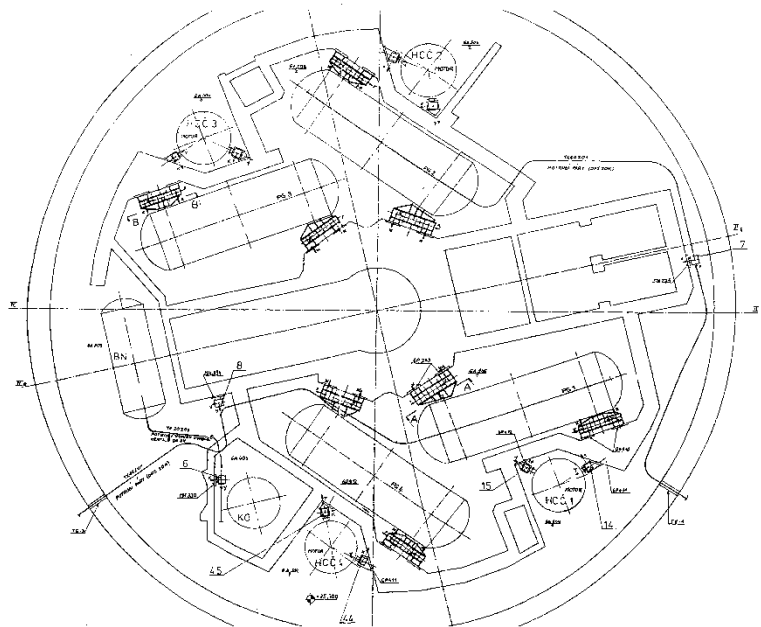
Изоляция парогенератора, АЭС Bohunice - Slovakia



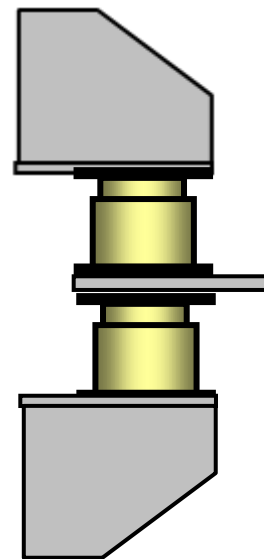
Viscous dampers VES under the VVER 440 steam generator (NPP V1, Jaslovské Bohunice)

GERB pipework dampers as lateral dynamic restraints in the upper part of the VVER 440 pressurizer (NPP V1, Jaslovské Bohunice)

Сейсмическая и вибрационная защита (изоляция) Парогенераторов ВВЭР-1000 АЭС «Темелин», Чехия



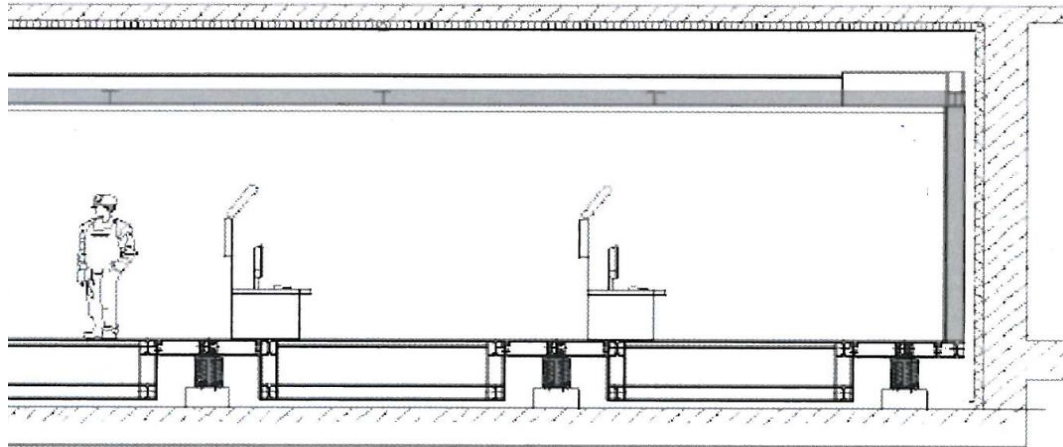
Раскрепление 4-х ПГ (план)



Демпферы ВД-630/426-15 на ПГ

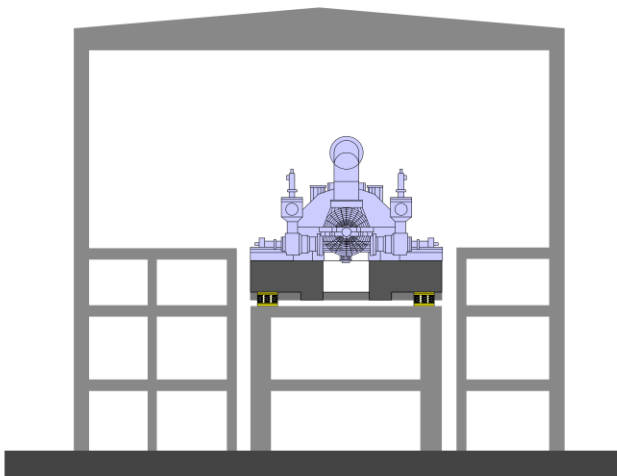
Изоляция БЩУ

Оккилуото, EPR – 1600, Финляндия



Изоляция турбоагрегата 1000 Мвт, NPP Tianwan 1&2, Китай

General View

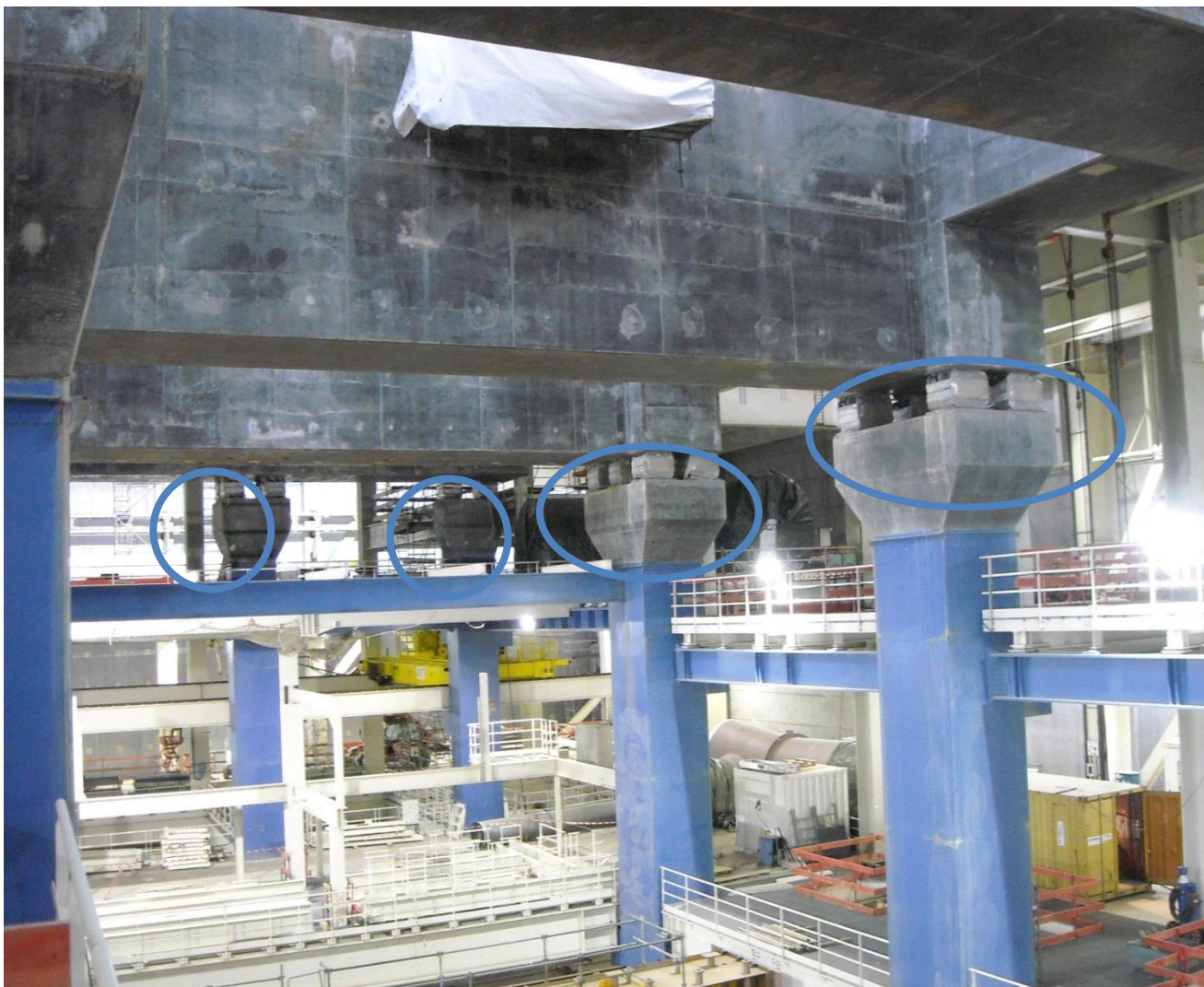


Spring elements between
upper and lower decks

Сейсмо- и виброизоляция турбоагрегата 1000 МВт, Линг Ao II, Китай

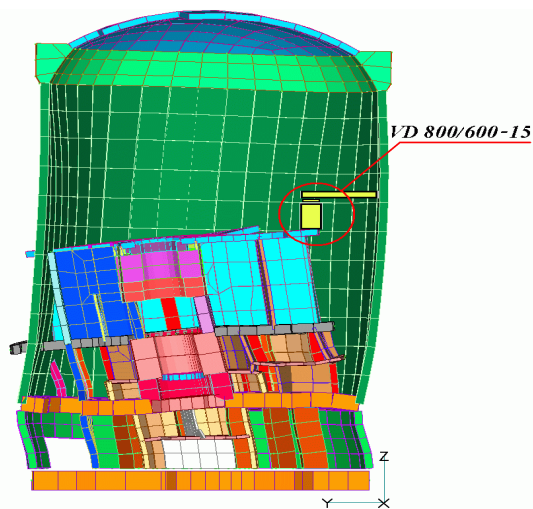


Изоляция турбоагрегата 1600 Мвт, АЭС Фламанвиль, Франция

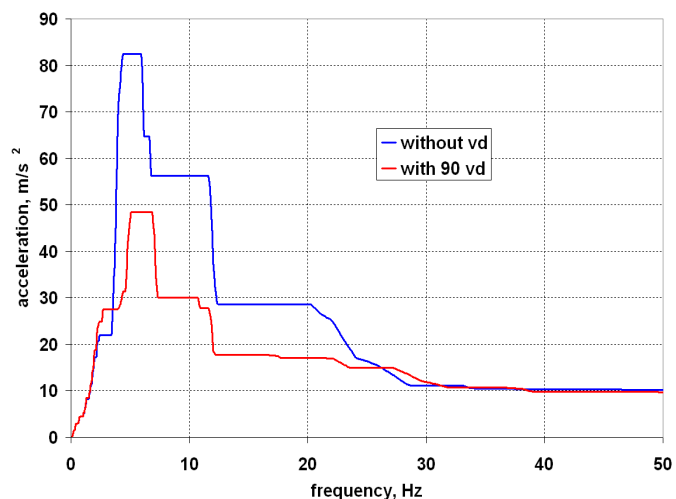


Сейсмоизоляция структур соединением демпферами ВД

Соединение внутренних структур РО



Обобщенные спектры (Seismic + Blast + BCAC)



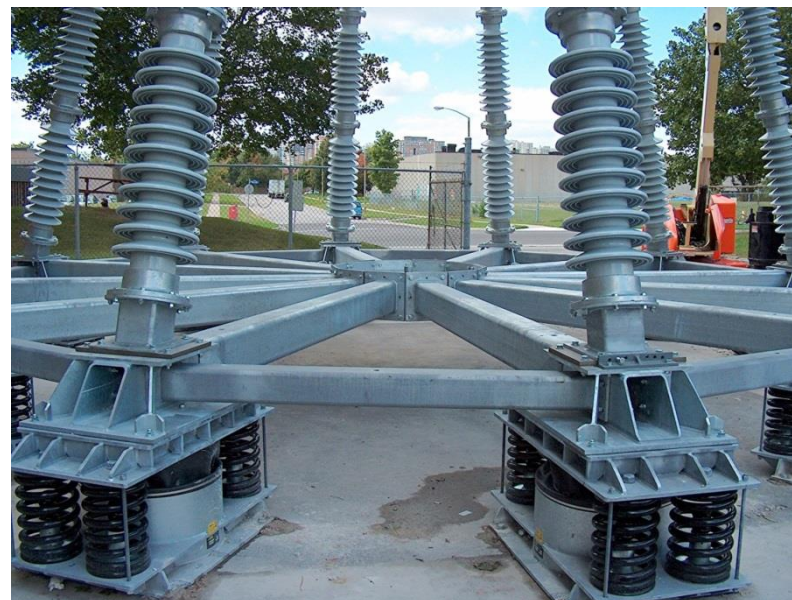
Международный аэропорт в Иркутске



Соединение демпферами двух конструкций готового к пуску здания аэропорта снизило их сейсмическую реакцию более, чем в 2 раза

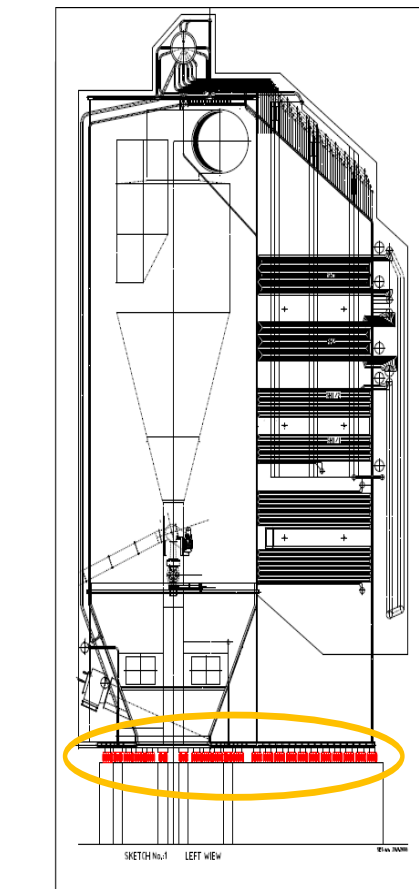


Сейсмоизоляция реакторной установки солнечной станции в Калифорния



PGA (IEEE) > 1.0 g

Изоляция мощного котельного агрегата



Демпфер ВД850. Сейсмоизоляция путепровода Сочи



Уникальный опыт по сейсмоизоляции лабораторного здания кампуса, Университет Мендоза, Аргентина

Два абсолютно одинаковых близкорасположенных зданий, одно из которых сейсмоизолировано (BCS), а другое твердо оперто

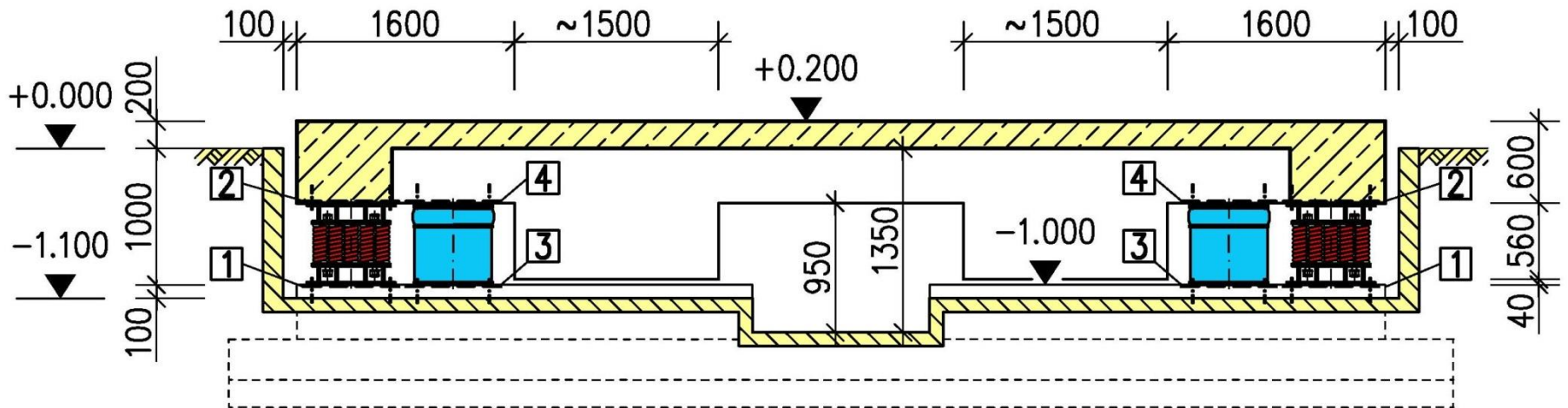


Уникальный опыт по сейсмоизоляции лабораторного здания кампуса, Университет Мендоза, Аргентина

Установка пружинных опор и демпферов на разрезном фундаменте

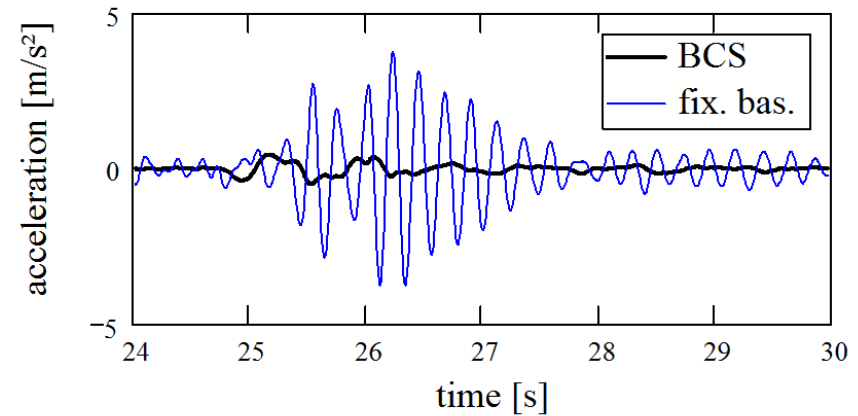
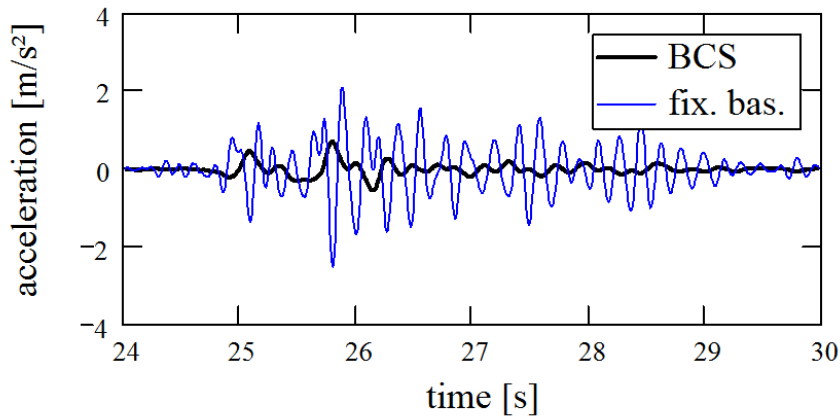


SECTION B-B (FINAL HEIGHT)



Результаты сейсмического воздействия на изолированное и не изолированное одинаковые здания

PGA = 0.12g. Запись ускорений на крыше зданий
X-Dir. Y-Dir.



Основные результаты

Перемещение в пружинах и демпферах 3.0 mm.
Постоянное ускорение по высоте изолированного здания.

Сравнение ускорений на крыше зданий изолированного - "NI" и не изолированного "I" buildings' roofs:

$$X_{ni/i} = 0.25/0.05g$$

$$Y_{ni/i} = 0.4/0.06g$$

$$Z_{ni/i} = 0.06/0.07g$$

Отсутствие структурных разрушений.

Уменьшение общего вектора 3D ускорений по крыше > 75%

По структуре изолированного здания:

Уменьшение осевых сил > 60%.

Уменьшение сдвиговых нагрузок > 75%

Уменьшение моментов в несущих колоннах > 90%

Уменьшение относительных смещений этажей изолированного здания > 80%

Простота установки, обслуживания и замены элементов сейсмоизоляции



2400 - местный
концертный зал,
Манчестер, UK



Сейсмоизоляция нового концертного зала в Шанхае



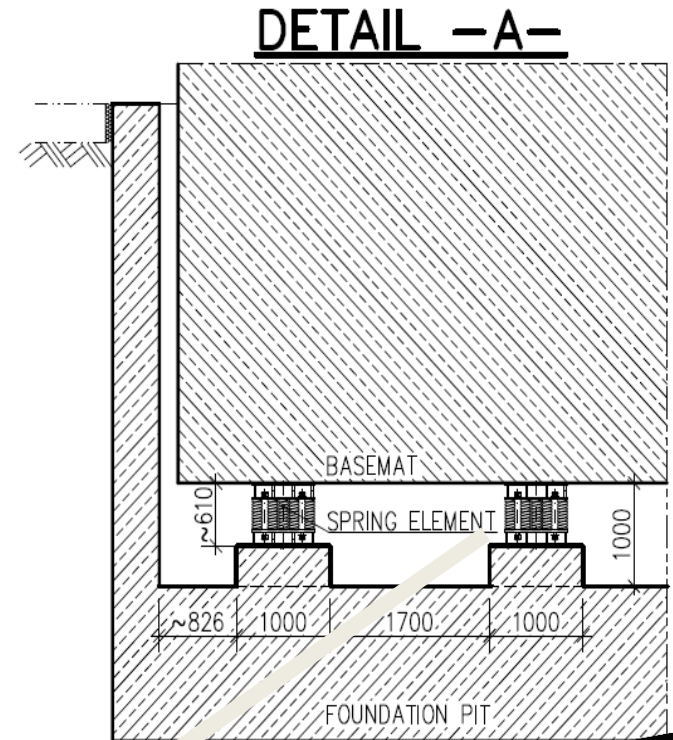
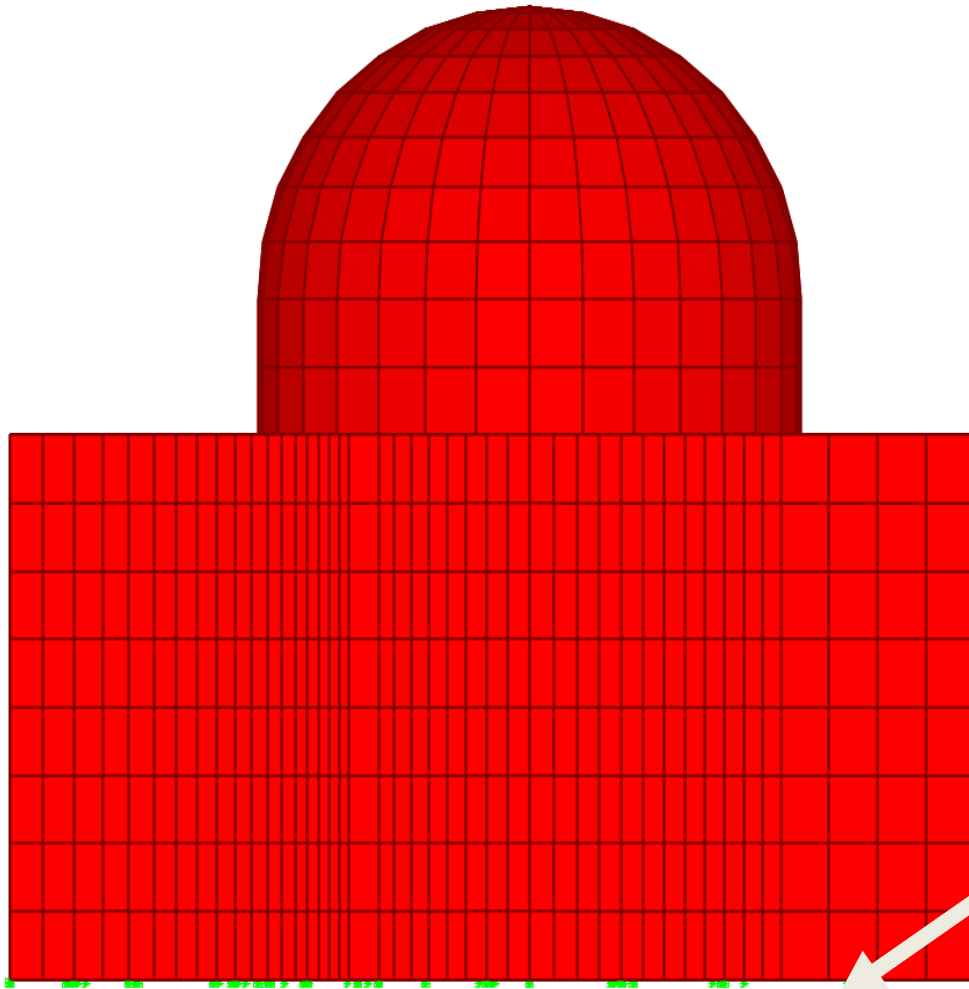
New Shanghai Concert Hall



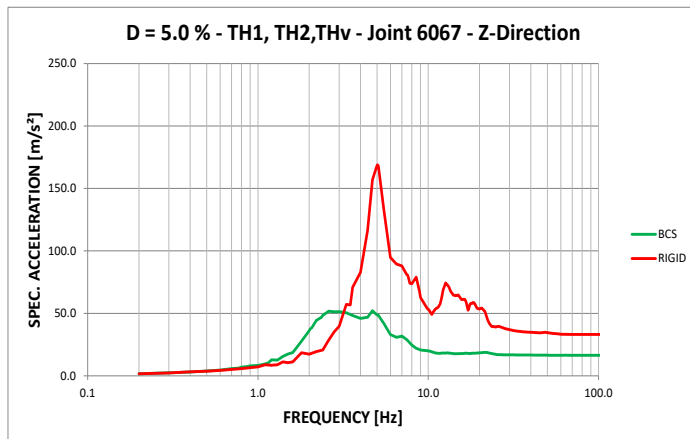
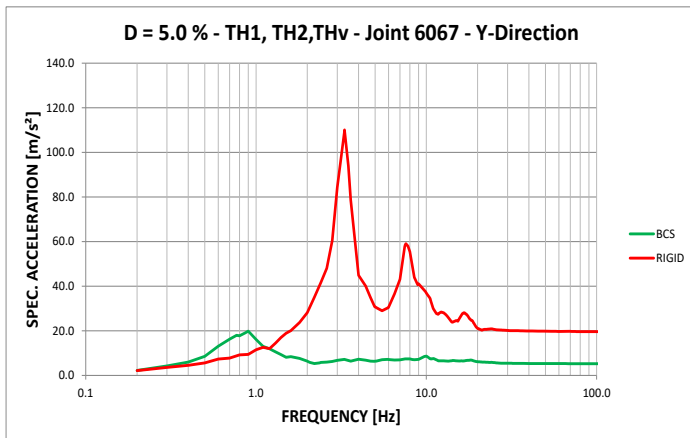
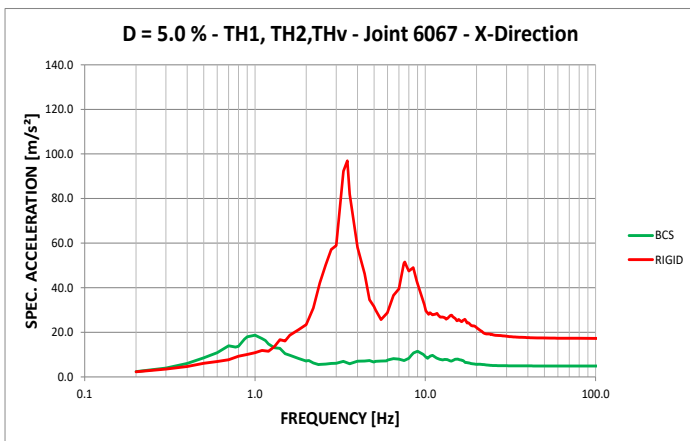
Простота установки , обслуживания и замены элементов сейсмоизоляции



Вариант сейсмоизоляции РО АЭС



PRELIMINARY
STATUS: 2010-09-10 / OST



Предварительная расчетная оценка эффективности системы сейсмоизоляции для одной из зарубежных АЭС: Ядерный остров с и без системы BCS;
Типичные сравнительные спектры ответа.

Эффективность по осям X и Y

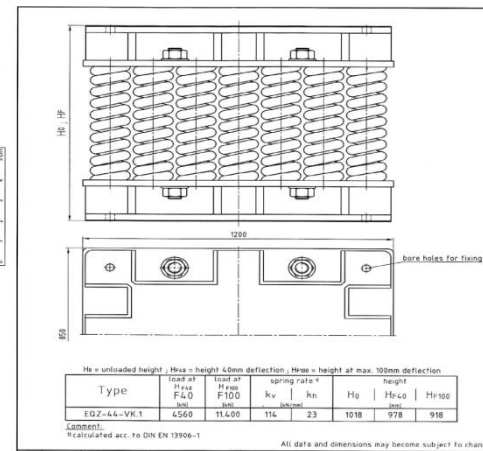
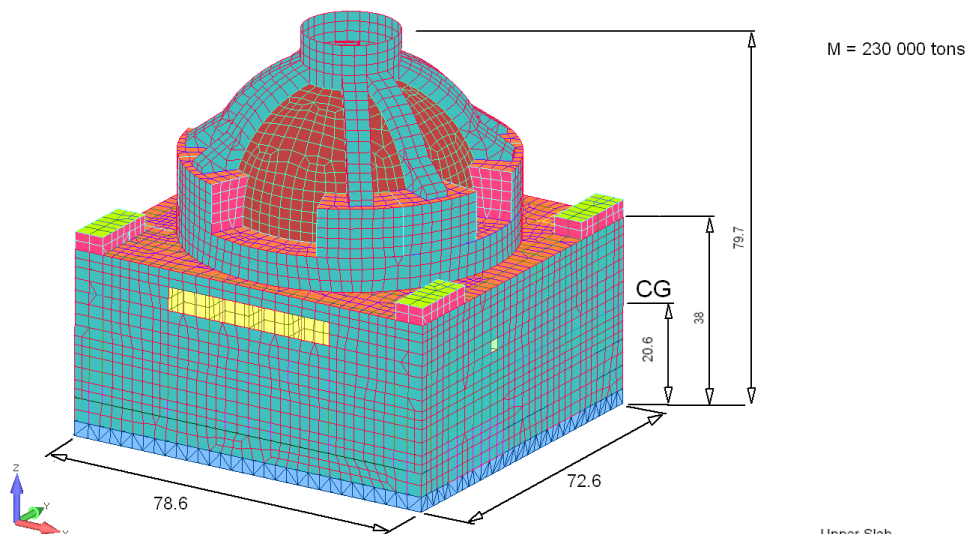
Эффективность по вертикали Z

Варианты СИС для АЭС с ВВЭР 1200

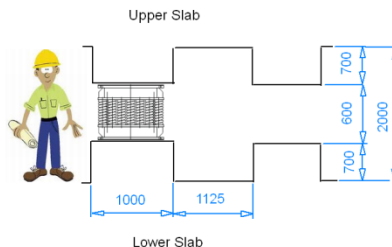
А. Пружинная опора EQZ. Статическая грузоподъемность 456 т, динамическая/сейсмическая 1140 т. Размеры в условиях нормальной эксплуатации 1200 x850x978 мм. Площадь одной пружинной опоры 1,02 м².

Б. Демпфер ВД1000. Размеры 1050x1050x978 мм. Площадь одного демпфера 1.1 м².

Для блока ВВЭР 1200 при Массе 230 000 т и площади фундамента около 72.6 x 78.6=5700 м² необходимо установить примерно 505 опор СИС и 400 демпферов ВД общей занимаемой площадью менее 1000 м². Например 22 x 23 пружинные опоры по каждой из сторон фундамента. Распределение опор и демпферов является предметом отдельного исследования и проектирования.



Условная горизонтальная частота системы $F_h=1.12$ Hz
Условная вертикальная частота системы $F_v=2.5$ Hz



Заключение

1. Предлагаемая система сейсмоизоляции, основанная на применении блоков витых пружин и отдельно стоящих демпферов ВД может быть практически реализована. При этом ожидается повышение общей безопасности АЭС и снижение ее общей стоимости.

Наиболее эффективно применение СИС для площадок с пиковым ускорением грунта более $PGA > 0.3g$.

2. Считаю необходимым безотлагательно начать работы по проектированию отечественной системы сейсмоизоляции блоков АЭС с реакторами ВВЭР и разработке соответствующих нормативных материалов на базе отечественного, передового зарубежного опыта и рекомендаций МАГАТЭ.