

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ ВОПРОСА СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ АЭС

Матяс Е.О., Рождественский В.Д., Попрыгин Д.В.

АО ИК «АСЭ»

В последние годы наблюдается тенденция ужесточения требований по сейсмостойкости. Причиной тому является предшествующий опыт фактически произошедших землетрясений, а также прогнозирование по увеличению возможной силы землетрясений в ряде районов размещения АЭС. Во всем мире пересматриваются проектные сейсмические основы в сторону их увеличения, в том числе для сейсмической переквалификации существующих станций. Стоит отметить, что на данный момент активно развивается строительство новых АЭС в сейсмически опасных районах мира, с увеличением сейсмичности площадок размещения станций до 9 баллов по шкале MSK-64¹. Одним из наиболее перспективных методов активной сейсмозащиты является сейсмоизоляция, которая обеспечивает повышение сейсмостойкости станций. Таким образом, разработка эффективной многокомпонентной системы сейсмоизоляции (СИС) является необходимым и перспективным направлением в строительстве АЭС.

Директор по науке и инновациям АО ИК «АСЭ» Сергей Егоров отметил, что подход по исполнению системы полной сейсмоизоляции зданий и сооружений АЭС, возводимых в районах умеренной и высокой сейсмичности, является апробированным решением в мировой практике. Примером является применение СИС для ядерных установок АЭС Круаз (Франция) – 4 блока по 900 МВт, которые имеют тридцатилетний опыт успешной эксплуатации. Российский опыт создания системы СИС представлен проектом ВВЭР НП640

¹ 12-балльная шкала интенсивности землетрясений Медведева-Шпонхойера-Карника (MSK-64) была разработана в 1964 году и получила широкое распространение в Европе и СССР. MSK-64 лежит в основе СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах» и продолжает использоваться в России и странах СНГ

с 3D СИС для Кольской АЭС. В настоящее время в Госкорпорации «Росатом» ведется широкомасштабная деятельность по унификации проектных решений АЭС, а также деятельность по снижению стоимости сооружения и эксплуатации станций. Поэтому в данном зале, техническое решение по применению СИС является одним из наиболее эффективных и зрелых решений, - сообщает Сергей Егоров.

Различают следующие виды доступных систем СИС:

- Резинометаллические опоры (Япония, Корея, Китай, Франция), рис. 1.
- Качающийся подшипник (США).
- Системы с использованием упругих и демпфирующих элементов и другие.

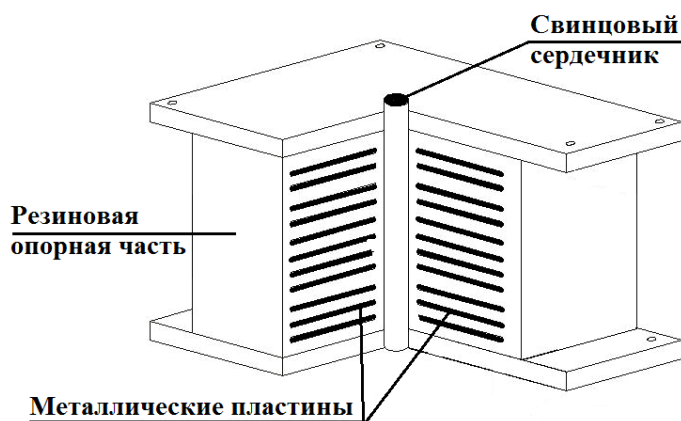


Рисунок 1 – Принципиальная схема резинометаллической опоры

С использованием сейсмоизолирующего фундамента на основе резинометаллических опор построены здания АЭС Крюа² (Франция), рис. 2 и АЭС Коберг³ (ЮАР).

² АЭС Крюа (фр. *Centrale nucléaire de Cruas*) – действующая АЭС на юго-востоке Франции в регионе Овернь – Рона – Альпы. АЭС включает в свой состав 4 энергоблока, на которых используются реакторы с водой под давлением (PWR) CP2 разработки Framatome мощностью 900 МВт каждый. Для охлаждения используется вода из реки Роны. АЭС вырабатывает 4-5% от всей электроэнергии, производимой во Франции и обеспечивает 40% годового потребления электроэнергии в районе Рона - Альпы

³ АЭС Коберг (англ. *Koeberg Nuclear Power Station*) – действующая первая и единственная АЭС ЮАР и Африки. На атомной станции Коберг установлены два реактора французского типа CP1 PWR с общей мощностью АЭС – 1 880 МВт



Рисунок 2 – Сейсмоизолированная АЭС Крюа (Франция)

Сейсмоизоляция, не обеспечивающая возвращающей силы, действующей на сейсмоизолированные части конструкции, реализуется путем устройства скользящего пояса. Одно из наиболее известных технических решений такого типа – сейсмоизолирующий фундамент фирмы Spie Batignolle и Electricite de France.

Конструкция антисейсмической фрикционной опоры представлена на рис. 3. Опора, поддерживающая верхнюю фундаментную плиту, состоит из фрикционных плит, армированной прокладки из эластомера (неопрена), нижней фундаментной плиты, бетонной стойки, опирающейся на нижнюю фундаментную плиту. Жесткость опор в вертикальном направлении примерно в 10 раз выше, чем в горизонтальном.

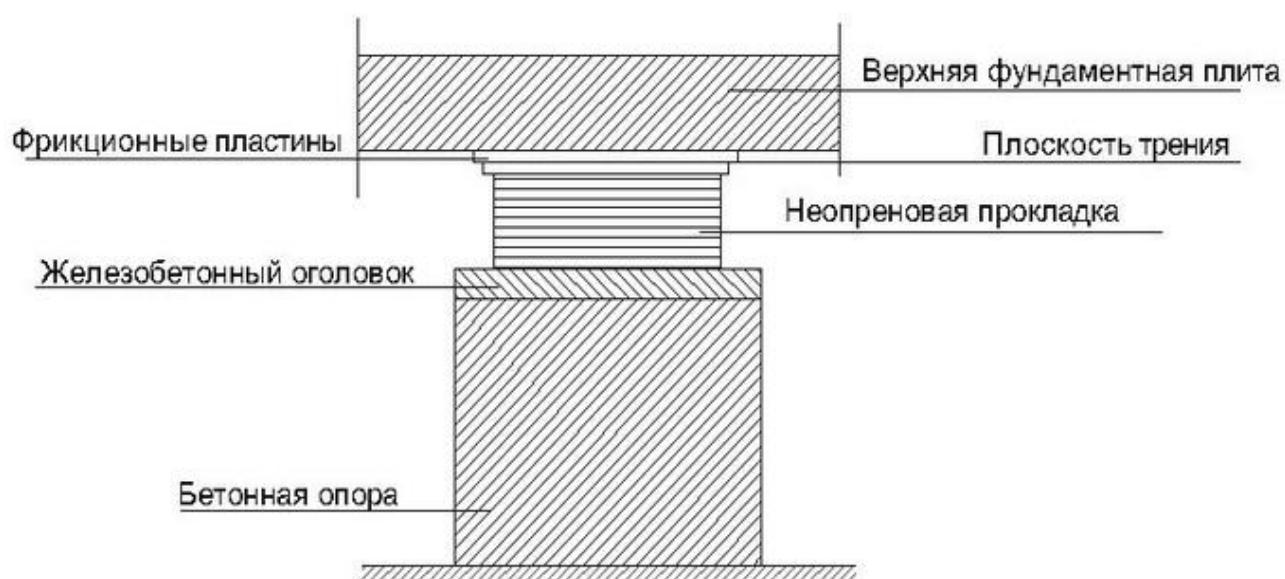


Рисунок 3 – Сейсмоизолирующий фундамент фирмы Spie Batignolle

Сейсмоизолирующий фундамент фирмы Spie Batignolle является классическим примером сейсмоизоляции с последовательным расположением упругих и демпфирующих элементов. При относительно слабых воздействиях, когда горизонтальная нагрузка на опорную часть не превосходит сил трения, система работает в линейной области; при увеличении нагрузки сила трения преодолевается и происходит проскальзывание верхней фундаментной плиты относительно нижней. При этом удается в несколько раз снизить нагрузки на оборудование и здание.

АО ИК «АСЭ» совместно с российскими и зарубежными партнерами предлагает в качестве инновационной системы СИС разработку, состоящую из пружинных элементов большой грузоподъемности (477 тонн) и высоковязких демпферов, обеспечивающих уровень затухания до 50% и более от системного критического затухания. Данный подход обеспечит сейсмоизоляцию сооружений АЭС во всех направлениях сейсмического воздействия, а также снижение воздействия на АЭС других внешних экстремальных факторов.

По своим характеристикам и по соответствию всех предъявляемых к СИС требованиям, предлагаемая система превосходит все известные зарубежные и отечественные аналоги.

Характеристики и преимущества типичного изоляционного элемента с витыми пружинами:

- 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, от ~200 до ~1000 тонн.
- Равномерное распределение нагрузки в разрезном фундаменте.
- Возможность центровки.
- Простое обслуживание и замена элементов.

Характеристики многокомпонентного демпфера:

- Работа в 3-х степенях свободы в одном элементе.
- Высокая демпфирующая способность в диапазоне 0,2 до 50 Hz.
- Длительный срок службы без обслуживания.

Для завершения испытаний по верификации и валидации отдельных элементов системы сейсмоизоляции, а также для проверки влияния СИС на поведение изолированного сооружения с учетом грунтовых условий в России, в Санкт-Петербурге сооружен уникальный стенд натуральных испытаний изолированных сооружений (рис. 4). Проведены первые испытания, которые показали положительный эффект. Отчет по данной работе будет закончен в 2018 году.



Рисунок 4 – Стенд натуральных испытаний в г. Санкт-Петербург

Однако стоит помнить, что ввиду сложности и уникальности каждого блока АЭС, особенностей грунтовых условий и сейсмичности площадки, не существует какой-либо одной универсальной системы СИС, пригодной для всех однотипных блоков. Каждый проект разрабатывается индивидуально для каждой площадки. Основные параметры СИС, такие как жесткости и демпфирование, определяющие собственные частоты и затухание системы,

могут быть определены оптимизационным процессом для конкретных условий площадки размещения АЭС.

Список литературы

1. Костарев В.В. «ЦКТИ-Вибросейсм», Санкт-Петербург, Россия.
Презентация «Инновационная система полной сейсмоизоляции гражданских сооружений и зданий АЭС, возводимых в районах умеренной и высокой сейсмичности до 10 баллов по шкале MSK-64 (PGA=0.3-1,0g), 2017.pdf – 43 с.
2. Беляев В.С., Костарев В.В., Васильев П.С. «Динамика натуральных сейсмоизолированных зданий», 2017 -29 с.
3. Ушаков А. С. Методы сейсмоизоляции фундаментов сооружений// Технические науки: проблемы и перспективы: материалы Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, март 2011 г.). — СПб.: Реноме, 2011. — С. 180-186. — URL <https://moluch.ru/conf/tech/archive/2/236/>
4. NUVIA Group «Nuclear Seismic isolation solutions», 2017. – 57 с.
5. Стационарные системы сейсмоизоляции, www.studbooks.net.