

*Д-р техн. наук В.Я.Геча, канд. техн. наук А.И.Горшков,
канд. техн. наук Е.А.Канунникова, инж. А.И.Прусс,
инж. Ю.Ф.Пчеляков, инж. В.А.Фатнев*

КВАЛИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ АЭС В ЧАСТИ ЕГО СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРЕДШЕСТВУЮЩИХ ИСПЫТАНИЙ

В настоящей работе приведены материалы квалификации отдельных типов электрооборудования (ЭО) системы управления и защиты (СУЗ) АЭС "Тяньвань" для подтверждения способности его выполнять свои функции в соответствии с предъявленными требованиями при сейсмических воздействиях.

Квалификация ЭО СУЗ АЭС "Тяньвань" проведена на основе анализа квалификации электрооборудования базового комплекса (БК) в соответствии с международными стандартами [1,2] и разработанной в НПП ВНИИЭМ "Программой квалификации электрооборудования системы управления и защиты АЭС "Тяньвань". В соответствии с рекомендациями [1] предпочтительным методом приемочных (квалификационных) испытаний является испытание реального оборудования с использованием моделирования реальных условий эксплуатации.

При проведении квалификации ЭО СУЗ АЭС "Тяньвань" применялись расчетно-экспериментальный метод и метод приемочных (квалификационных) испытаний ЭО БК, выбранного в качестве прототипа [3]. Подлежащее квалификации ЭО СУЗ АЭС "Тяньвань" идентично прототипам по конструкции, схемно-техническим решениям, составу комплектующих компонентов, материалов, электрорадио-элементов, технологическому процессу изготовления и контроля.

Испытания БК проводились в соответствии с техническими требованиями ТЗ, ТУ и типовой программой и методикой испытаний [4].

Перед началом и по окончании каждого вида испытаний ЭО на сейсмостойкость проводился визуальный контроль конструкции шкафов, электромонтажа, комплектующих шкафы блоков, крейтов, контроль сопротивления изоляции, проверка функционирования и соответствия параметров, указанных в ТУ на ЭО. Устойчивость ЭО

к сейсмическим воздействиям контролировалась в процессе проведения испытаний.

Испытания БК проводилось на испытательном оборудовании, аттестованном в соответствии с ГОСТ Р 8. 568-97 [5].

Испытание на обнаружение резонансных частот ЭО в нерабочем состоянии проводилось при воздействии синусоидальной вибрации в трех взаимно перпендикулярных направлениях:

- по оси X - перпендикулярно лицевой панели шкафов;
- по оси Y - перпендикулярно боковой стенки шкафов;
- по оси Z - перпендикулярно основанию шкафов;

в диапазоне частот $5 \div 100$ Гц, при плавном изменении частоты 2 окт/мин с амплитудой ускорения 0,12 g.

Контрольные датчики устанавливались в местах вероятных резонансов конструкции ЭО и в точках крепления встроенных блоков, крейтов.

Резонансными частотами считались частоты, при которых амплитуды ускорения превышали амплитуды ускорения на платформе вибростенда в два и более раза.

В сводной табл. 1 приведены данные по резонансным частотам f_p и коэффициентам динамичности k_d БК по направлениям воздействия вибрационного ускорения. Из анализа результатов f_p и k_d видно, что в частотном диапазоне 5 - 30 Гц f_p лежат в пределах от 6 до 18 Гц.

При испытаниях на сейсмостойкость базовое оборудование подвергалось воздействию в трех взаимно перпендикулярных направлениях.

Крепление оборудования на испытательных вибрационных стендах выполнялось способом, обеспечивающим прочность и устойчивость, соответствующим креплению в условиях эксплуатации.

Современными стандартами (как отечественными, так и зарубежными) сейсмическое воздействие нормируется спектрами ответа в местах установки оборудования, что обусловлено необходимостью статистической обработки большого количества возможных реализаций (нестационарных затухающих зависимостей ускорения от времени). Именно эти спектры являются определяющими при построении обобщенной акселерограммы или спектра виброускорений, которые необходимы для проведения стендовых испытаний. Поэтому на первом этапе квалификации оборудования целесообразно провести сопоставление обобщенных спектров ответа для вновь проектируемой АЭС со спектрами ответа АЭС, для которой аналогичное оборудование уже прошло соответствующие испытания.

Таблица 1

Массы, резонансные частоты и коэффициенты динамичности квалифицируемого базового электрооборудования СУЗ АЭС

Параметры	Оборудование									
	ПП26М шкаф питания	ПП28М шкаф питания	ПП29М шкаф питания	ПП30М шкаф питания	ПКУ1М шкаф кон- троля и управления приборами	РСУ2М устройства управления электро- магнитными приборами ОР	ТСЗМ-16- 0М5 трансфор- матор	ИП261М индика- торы по- ложения	ШСР шкаф сбора обработки и передачи информации по положе- нию ОР	ППК11.2 шкаф промежу- точных клемни- ков
Масса m , кг	230	320	220	220	250	250	145	0,37	240	180
Частота резонанса $f_{рх}$, Гц	17	17	18	15	7,2	13	62	70	16	18
Коэффициент динамичности $k_{дх}$	18	12	9	9	12	8,0	8	15	8	5
Частота резонанса $f_{рy}$, Гц	9,5	7	9	8	12	7	52	45	7	9,6
Коэффициент динамичности $k_{дy}$	5	5	14	5	10	5	5	2	6	5
Частота резонанса $f_{рz}$, Гц	38	40	43	28	36	-	38	45	25	88
Коэффициент динамичности $k_{дz}$	18	5	4,0	8,3	5	-	2	2	6,2	11,6

Сравнение требований по сейсмостойкости БК и комплекса электрооборудования СУЗ АЭС «Тяньвань» приведены в табл.2 и 3.

Таблица 2

Спектры ответа ускорений (м/с^2) при относительном демпфировании 5%

Базовый комплекс (для высоты менее 20 м)

Направление	Частота, Гц						
	2,0	4,0	5,5	10,0	17,0	21,0	30,0
X	28,0	28,0	24,5	17,0	17,0	7,0	7,0
Y	28,0	28,0	24,5	17,0	17,0	7,0	7,0
Z	28,0	28,0	24,5	17,0	17,0	7,0	7,0

«Тяньвань» (для высоты 23,6 м)

Направление	Частота, Гц						
	2,0	4,0	5,5	10,0	17,0	21,0	30,0
X	5,6	31,0	9,2	8,6	8,6	6,6	5,6
Y	5,5	24,5	9,0	14,0	8,0	6,5	5,5
Z	2,0	7,2	5,6	15,2	19,4	13,2	6,8

«Тяньвань» (для высоты 30,8 м)

Направление	Частота, Гц						
	2,0	4,0	5,5	10,0	17,0	21,0	30,0
X	6,4	40,0	16,0	8,0	6,4	6,0	5,6
Y	6,4	37,6	12,8	8,0	8,0	7,2	6,4
Z	2,0	8,0	7,5	22,5	16,0	11,0	8,0

Таблица 3

Спектры ответа ускорений (м/с^2) при относительном демпфировании 10%

Базовый комплекс (для высоты менее 20 м)

Направление	Частота, Гц						
	2,0	4,0	5,5	10,0	17,0	21,0	30,0
X	17,5	17,5	15,5	12,0	12,0	7,0	7,0
Y	17,5	17,5	15,5	12,0	12,0	7,0	7,0
Z	17,5	17,5	15,5	12,0	12,0	7,0	7,0

«Тяньвань» (для высоты 23,6 м)

Направление	Частота, Гц						
	2,0	4,0	5,5	10,0	17,0	21,0	30,0
X	4,6	20,0	7,9	7,3	6,6	5,9	5,6
Y	4,5	15,5	9,0	10,0	7,5	6,0	5,5
Z	1,6	4,8	4,8	10,0	12,8	10,0	6,0

«Тяньвань» (для высоты 30,8 м)

Направление	Частота, Гц						
	2,0	4,0	5,5	10,0	17,0	21,0	30,0
X	4,8	24,8	12,8	8,0	6,4	6,0	5,6
Y	5,6	23,2	12,0	7,0	8,0	7,2	6,4
Z	1,5	5,5	6,0	16,0	13,5	10,5	8,0

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения ускорений для комплекса электрооборудования СУЗ АЭС «Тяньвань», превышающие значения ускорений для базового комплекса.

Сопоставление значений, приведенных в таблицах, показывает, что требования по спектрам ответа для электрооборудования СУЗ АЭС «Тяньвань» более жесткие, чем для базового комплекса лишь в районе частоты 4 Гц, где отсутствуют резонансные частоты базового оборудования, которые лежат выше 7 Гц (см. экспериментальные данные в табл. 1).

Таким образом, уже на данном этапе можно сказать, что поскольку требования по сейсмостойкости для БК более жесткие, чем для электрооборудования СУЗ АЭС «Тяньвань», базовое ЭО СУЗ АЭС может быть квалифицировано для применения на АЭС "Тяньвань". При этом запас по сейсмостойкости в диапазоне значимых частот 7-18 Гц (резонансные частоты базового комплекса в соответствии с табл. 1) составляет не менее 20%.

Для сравнительного анализа требований по испытаниям к ЭО БК и ЭО АЭС «Тяньвань» был использован эмпирический подход, основанный на подобии спектров ответа и спектров воздействий. При этом коэффициенты подобия определялись по ГОСТ 17 516.1-90 с учетом экспериментальных данных по демпфированию конструкций (см. табл. 1).

В табл. 4 приведены ускорения спектров воздействия для базового комплекса и для ЭО СУЗ АЭС «Тяньвань», полученные при обработке спектров ответа, представленных Атомэнергопроектом (Санкт-Петербург) [6].

Таблица 4

Спектры воздействия ускорений (m/s^2) при испытаниях БК в сравнении со спектром воздействия для ЭО СУЗ АЭС "Тяньвань", заданные для максимального расчетного землетрясения (МРЗ)

Базовое ЭО СУЗ АЭС. Высотная отметка 20 м. МРЗ 8 баллов

Направление	Частота, Гц					
	4,0	5,5	10,0	18,0	24,0	30,0
X	5,6	5,1	3,8	4,3	1,0	1,0
Y	5,6	5,1	3,8	4,2	1,0	1,0
Z	5,6	5,1	3,8	4,20	1,0	1,0

ЭО СУЗ АЭС "Тяньвань". Высотная отметка 23,6 м. МРЗ - 7 баллов

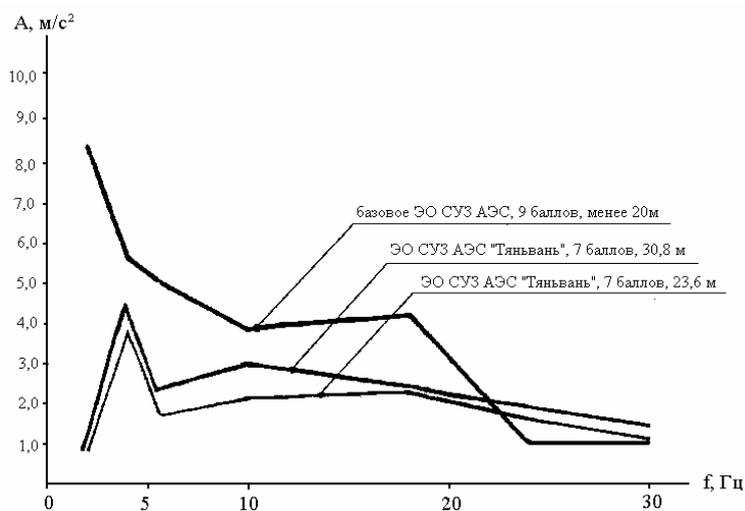
Направление	Частота, Гц					
	4,0	5,5	10,0	18,0	24,0	30,0
X	3,8	1,7	2,1	2,3	1,6	1,1
Y	3,8	1,7	2,1	2,3	1,6	1,1
Z	3,8	1,7	2,1	2,3	1,6	1,1

ЭО СУЗ АЭС "Тяньвань". Высотная отметка 30,8 м. МРЗ - 7 баллов

Направление	Частота, Гц					
	4,0	5,5	10,0	18,0	24,0	30,0
X	4,6	2,4	3,0	2,4	1,9	1,4
Y	4,6	2,4	3,0	2,4	1,9	1,4
Z	4,6	2,4	3,0	2,4	1,9	1,4

Сравнение значений виброускорений, которым подвергалось ЭО БК при испытаниях на сейсмоустойчивость (8 баллов, высотная отметка - 20 м) и виброускорений, которым оно может подвергаться на АЭС "Тяньвань" на высотах 23,6 м и 30,8 м, приведенных на рисунке, свидетельствует о наличии 25% квалификационного запаса по сейсмостойкости в диапазоне частот 5÷22 Гц. Превышение уровня виброускорений на частотах 22÷30 Гц не приведет к нарушению функционирования базового ЭО СУЗ АЭС и его механическим повреждениям, так как резонансы в этом диапазоне частот отсутствуют.

Таким образом, можно сделать вывод о возможности применения базового ЭО СУЗ АЭС в условиях сейсмического воздействия АЭС "Тяньвань" без проведения дополнительных испытаний на сейсмостойкость.



**Сравнение виброускорений при испытаниях ЭО БК
и виброускорений ЭО на АЭС «Тяньвань»**

Аналогичные результаты были также получены с использованием расчетно-экспериментального метода [7].

Результаты, полученные расчетно-экспериментальным методом и прямыми испытаниями базового ЭО СУЗ АЭС на сейсмостойкость, позволяют сделать вывод о допустимости квалификации базового ЭО СУЗ АЭС для применения на АЭС "Тяньвань".

Базовое ЭО СУЗ АЭС, проверенное и подтвержденное приемочными (квалификационными) испытаниями на устойчивость и стойкость к сейсмическим воздействиям, может быть применено в условиях действующих сейсмических воздействий для ЭО СУЗ АЭС "Тяньвань" без проведения дополнительных испытаний.

Рассматриваемый метод квалификации может быть применен в дальнейшем при квалификации ЭО СУЗ для других атомных станций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Международный стандарт МЭК 60980. Рекомендуемые методы сейсмической квалификации электрического оборудования системы безопасности для атомных электростанций.

2. Международный стандарт МЭК 60780. Атомные электростанции. Электрическое оборудование систем безопасности. Квалификация. IEC. 1986.
3. Квалификация электрооборудования системы управления и защиты АЭС "Тяньвань" по устойчивости к воздействию внешних механических и климатических факторов. Технический отчет ТАИК.500076.015. 2002.
4. Типовая программа и методика испытаний. Испытания электрооборудования АЭС на внешние механические и климатические воздействующие факторы. ТАИК.500051.005ПМ. 2003 .
5. ГОСТ Р8. 568-97. "Аттестация испытательного оборудования. Основные положения".
6. Определение режима испытаний на сейсмостойкость оборудования для АЭС на основе заданных спектров /Горшков А.И., Канунникова Е.А., Блинников Д.Н.// См. наст. том.
7. Расчетно-экспериментальный метод подтверждения сейсмостойкости оборудования АЭС / Белостоцкий А.М., Геча В.Я., Горшков А.И., Канунникова Е.А. // См. наст. том.