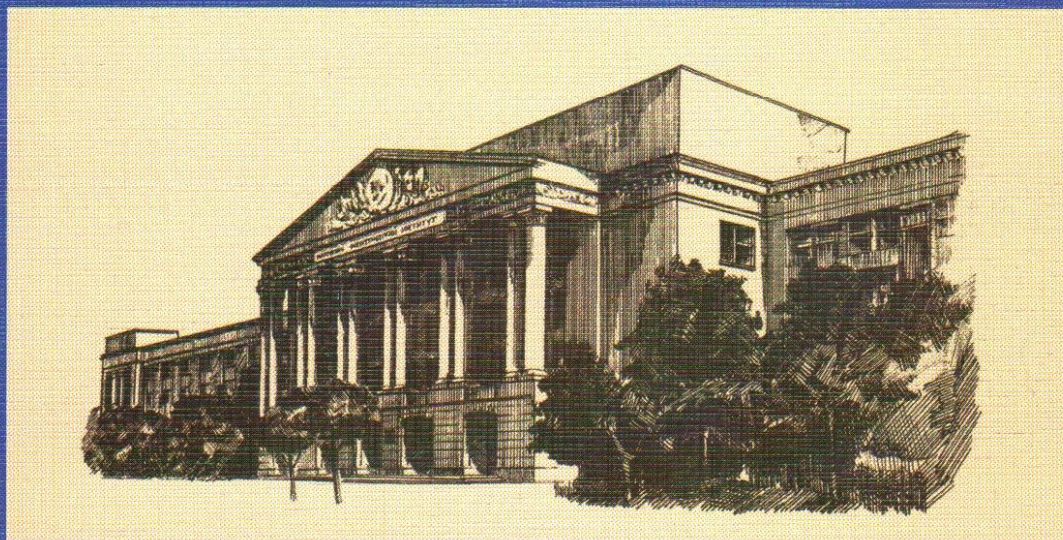


1 - 3 июня 2010 г.
Москва, МЭИ (ТУ)

Э 2010
ЭНЕРГО

80-летию
Московского
энергетического
института
посвящается



МРЭДЫ

Всероссийской научно-практической конференции

**Повышение надежности
и эффективности эксплуатации
электрических станций
и энергетических систем**

МОИ
МОСКОВСКИЙ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ
технический университет



Enel

РЭИ

Мон 2

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ЖЕСТКОЙ ОШИНОВКИ ОРУ 110-500 кВ

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрен отечественный опыт производства и внедрения ОРУ с жесткой ошиновкой, конструктивные особенности ошиновки различных производителей, в том числе исполнение демпфирующих устройств, шинодержателей, компенсаторов температурных деформаций. Приведены основные условия выбора и методы расчетов жесткой ошиновки, требования к объему сертификационных испытаний, а также результаты экспериментально-аналитических исследований параметров жесткой ошиновки ОРУ 110-500 кВ различного исполнения.

1. ВВЕДЕНИЕ

Жесткая ошиновка находит все более широкое применение в ОРУ, а также ЗРУ 110 кВ и выше. Использование жестких шин позволяет создать компактные и экономичные распределительные устройства, занимающие меньшую площадь, имеющие более низкое расположение шин, высоту порталов, чем в ОРУ с гибкой ошиновкой. Благодаря этому сокращается длина контрольных и силовых кабелей, дорог, облегчается очистка изоляторов, ремонт шинных конструкций, улучшается обзор шин и аппаратов. При использовании жесткой ошиновки снижается трудоемкость монтажных работ. На основе конструкций с жесткими шинами созданы конструкции высокой заводской готовности, в том числе компактные модули и комплектные ПС. Все это позволяет сократить сроки и стоимость сооружения РУ.

2. РАЗРАБОТКА И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЖЕСТКОЙ ОШИНОВКИ

Первые конструкции с жесткими медными и стальными шинами были применены в отечественных ОРУ 110 кВ в 30-х годах прошлого века. В последние годы ЗАО «Завод электротехнического оборудования» (ЗЭТО), ЗАО «КЭС – ЭнергоСтройИнжиниринг», ЗАО «КТП-Урал», ОАО «Орбита» и другие организации выполнили разработку и внедрение ошиновки ОРУ 110 – 500 кВ (рис. 1). Следует отметить, что ряд шинных конструкций во многом копируют разработки 60-80-х гг. Вместе с тем имеется опыт положительного использования и внедрения наилучших зарубежных и новых оригинальных отечественных конструктивных решений.

Эксплуатационная надежность жесткой ошиновки закладывается на этапах проектирования и изготовления. В частности, шины не должны иметь значительных прогибов от собственного веса (включая вес ответвлений), а также собственного веса и веса



Рис. 1. Современное ОРУ с жесткой ошиновкой напряжением 330 кВ (ЗАО ЗЭТО)

гололедных отложений, вызывающих негативную реакцию эксплуатационного персонала.

Должны эффективно подавляться устойчивые ветровые резонансные колебания шин (поперек воздушного потока), вызванные срывами вихрей при относительно малых скоростях ветра.

Высокие технико-экономические показатели ОРУ с жесткой ошиновкой могут быть достигнуты в результате использования следующих решений:

- индустриальных шинных конструкций высокой заводской готовности, в том числе блочных комплектных подстанций (распределительных устройств), быстромонтируемых модулей и т.п.;

- компоновок ОРУ, позволяющих сократить занимаемую площадь, а также материалоемкость благодаря использованию конструкций с жесткими шинами в сочетании с другим прогрессивным оборудованием (элегазовыми выключателями, пантографическими и полупантографическими разъединителями, комбинированными измерительными трансформаторами и др.);

- металлоконструкций опор и порталов из коррозионностойких сталей или сталей с надежным антикоррозионным покрытием, а также облегченных предварительно-напряженных железобетонных стоек и лежней;

- сокращения сроков строительства ОРУ, снижения объемов или полного отказа от проведения сварочных работ на монтажной площадке, низкого профиля ошиновки и др.;

- удобства проведения диагностического контроля, что обеспечивает надежность работы ошиновки.

Успешному внедрению новых конструкций способствовали разработка требований и методов расчетов и введение новых нормативных документов [5-8], которые определяют требования к проектиро-

ванию, выбору, расчетам и испытаниям жесткой ошиновки ОРУ и ЗРУ 110-500 кВ.

В частности, жесткими выполняются сборные шины, а в ряде случаев — внутреарейковые связи нижнего яруса. В качестве шин рекомендуется использовать трубы из алюминиевых сплавов прежде всего 1915, 1915Т, а также АВТ1. Используются как фарфоровые, так и полимерные изоляторы.

Важнейшим звеном современных шинных конструкций являются шинодержатели. В настоящее время разработаны различные варианты крепежных узлов жесткой ошиновки. Но наиболее прогрессивными конструкциями остаются шинодержатели обжимного типа, выполненные из сварных элементов или методом литья. Литые шинодержатели, имеющие рифленую внутреннюю поверхность, как правило, позволяют увеличивать рассеяние энергии при колебаниях (например, при эоловых вибрациях) по сравнению с узлами с гладкой внутренней поверхностью, что обеспечивает более эффективное подавление ветровых резонансных колебаний.

Другим важным элементом конструкции являются компенсаторы температурных деформаций. Ряд производителей использует устаревшие технические решения, требующие опрессовки гибких связей компенсаторов на монтажной площадке. Аналогичным путем выполняются гибкие ответвления. При этом прессующие зажимы, приваренные к шине на заводе, требуют точной установки шин в соответствии с местом опрессовки. К сожалению, при небрежном монтаже, транспортировке имели место поломки этих узлов, что потребовало проведения сварочных работ на месте монтажа. Следует отметить, что сварка, проведенная в полевых условиях, практически всегда приводит к снижению прочности узлов и, как следствие, к снижению надежности конструкции.

Более прогрессивными являются компенсаторы и ответвления, устанавливаемые с помощью устройств обжимного типа. Изделия имеют полную заводскую готовность и монтируются с использованием болтовых соединений.

Жесткая ошиновка ОРУ напряжением 110 кВ и выше отвечает нормативным требованиям и удовлетворяет требованиям эксплуатационной надежности, если выполнены проверки (испытания и расчеты), в том числе:

- шин по допустимым прогибам от собственного веса (включая ответвления), а в ОРУ, кроме того, веса гололеда;
- изоляционных расстояний с учетом отклонений шин и опорных изоляторов при ветровых нагрузках (в ОРУ) и после воздействия токов КЗ;
- ошиновки по условиям короны и радиопомех;
- шин, шинодержателей и компенсаторов по допустимым температурным удлинениям;
- жесткой ошиновки по нагреву в рабочих режимах, при этом в ОРУ с учетом солнечной радиации, а также вынужденным (при ветре) или свободновынужденным (при штиле) конвективным теплообменом;

- термической стойкости шин;
 - электродинамической стойкости изоляторов и шин, включая оценки при неуспешных АПВ;
 - ветровой стойкости ошиновки ОРУ с учетом пульсирующей (переменной) составляющей ветровой нагрузки;
 - эффективности отстройки шин ОРУ от ветровых резонансов;
 - стойкости (прочности) изоляторов и шин при различных сочетаниях внешних нагрузок (ветровых, гололедных и электродинамических) с учетом собственного веса и веса ответвлений;
- а также проверка прочности заделки проводов, испытания на прочность при транспортировании, испытания на стойкость к воздействию климатических факторов внешней среды и др.

Следует отметить, что все конструкции жесткой ошиновки должны проходить испытания, перечисленные выше, и отвечать нормативным требованиям. В частности, испытания на электродинамическую стойкость необходимо проводить на трехпролетных шинных конструкциях. Допускается испытывать двухпролетные конструкции. При этом контрольными являются изоляторы, установленные в середине опытной конструкции.

Проводить испытания на ветровую стойкость, а также проверку эффективности отстройки от ветровых резонансов затруднительно. Поэтому предложен и успешно реализован экспериментально-аналитический метод.

В соответствии с методикой проводятся испытания и экспериментальное определение логарифмических декрементов затухания шинной конструкции при колебаниях в вертикальной и горизонтальной плоскостях, а также определение жесткости изоляционных опор. Далее проводятся расчеты прогибов, напряжений в материале шин, нагрузок на изоляторы и сопоставление полученных результатов с допустимыми значениями.

Для измерения колебаний (прогибов) системы шины–изолятор используются вибрационные датчики, основные рабочие параметры которых приведены в табл.1. В качестве регистрирующего устройства используется цифровой осциллограф, для хранения результатов измерений – переносной компьютер.

Таблица 1. Основные рабочие параметры датчика

Напряжение питания	5,00 В
Потребляемый ток	2,2 мА
Рабочая температура	-40+100 °С
Диапазон частот	0,1±50 Гц
Погрешность	5 %

Для проведения испытаний монтируется 1-3 пролета типовой шинной конструкции (рис. 2). (Шина устанавливается на изоляторах и закрепляется шинодержателями. Внутри размещается гаситель вибрации).

При измерениях датчик крепится в средней части шины. Деформация шины в вертикальной плоскости осуществляется путем подвески к ней груза в сечении, близком к месту установки датчика. Затем

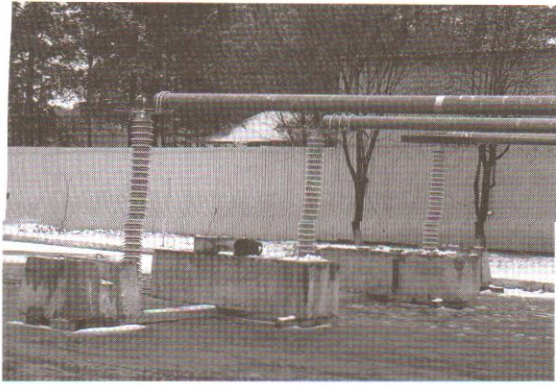


Рис. 2. Экспериментальные конструкции с жесткой ошиновкой 220 кВ

груз сбрасывается и производится осциллографирование свободных колебаний шины (рис. 3). Для возбуждения колебаний в горизонтальной плоскости груз подвешивается через блок.

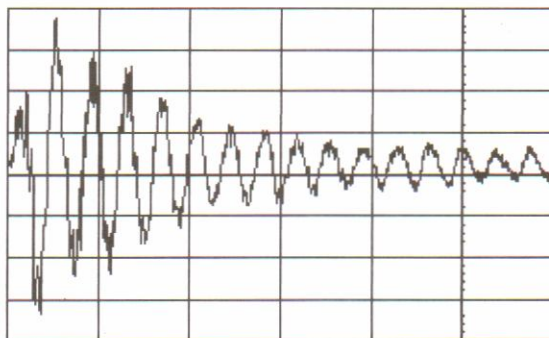


Рис. 3. Осциллограмма свободных колебаний шины

Результаты измерений свободных колебаний шинных конструкций различного класса напряжения показывают, что колебания имеют достаточно

сложный характер, поскольку возбуждаются несколько форм колебаний, а также имеют место удары демпферов о стенку шины, а также соударения других элементов за счет люфтов крепежных деталей и другие.

Все это затрудняет обработку осциллограмм. Поэтому для снижения погрешности использовались оценки диссипативных сил на достаточно продолжительном интервале свободных колебаний.

Логарифмический декремент затухания определяется по формуле

$$\delta = \frac{1}{k-m} \ln \frac{A_m}{A_k}, \quad (k > m), \quad (1)$$

где k и m – номера амплитуд свободных колебаний.

Испытания и расчеты шинных конструкций позволили определить влияние конструктивных факторов на логарифмический декремент затухания, и как следствие, на эффективность отстройки от ветровых резонансов и электродинамическую стойкость при неуспешных АПВ.

Во время испытаний исследовалось влияние узлов крепления и различных типов демпферов жесткой ошиновки 110-500 кВ на ветровой резонанс и ветровую стойкость и другие параметры. Результаты некоторых испытаний и расчетов шинных конструкций заводского изготовления, а также их опытных образцов приведены в табл.2.

Как видно из таблицы, логарифмический декремент затухания в значительной степени зависит от типа демпфирующего устройства, а также в ряде случаев от типа шинодержателей.

Таблица 2. Результаты расчетов и испытаний опытно-экспериментальных конструкций с жесткой ошиновкой ОРУ 110-500 кВ

U, кВ	D/d, мм	l, м	Шинодержатель	Демпфер	δ_y	δ_x	Соответствие требованиям			
							1	2	3	4
110	80/60	9	Литой обжимного типа	Стержень	0,042	0,073	+	+	+	-
110	100/90	9	Сварной обжимного типа Исполнение 1	Пруток	0,036	0,209	+	-	-	-
			Сварной обжимного типа Исполнение 2	Провод А185	0,217	0,186	+	+	+	+
220	120/112	15,4	Литой обжимного типа	Провод АС-150/34	0,08*	0,23*	-
220	160/150	15,4	Литой обжимного типа	Провод АС-500/26	0,150	0,314	+	+	+	+
330	220/112	17,1	Литой обжимного типа	2 провода	0,032	0,41	+	+	-	-
330	220/212	17,1	Литой обжимного типа	Провод АС-500/27 и демпфер ЗАО «ЗЭТО»	0,124	...	+	+	+	+
500	220/210	19	Литой обжимного типа	Провод АС 630/43,6	0,068	0,445	+	-	-	-
500	220/204	19	Литой обжимного типа	Провод АС 630/43,6	0,06	0,4	+	-	+	+

Примечания:

1. Требования: 1 – допустимые прогибы от собственного веса, а также собственного веса и гололеда; 2 – отстройка жесткой ошиновки от ветровых резонансов; 3 – электродинамическая стойкость ошиновки при неуспешных АПВ; 4 – стойкость (прочность) ошиновки при сочетании нагрузок.

2. Значение «+» соответствует требованию, «-» – не соответствует требованию.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали следующее.

1. Увеличение рассеяния энергии за счет изменения конструкций шинодержателей и применения более эффективных демпфирующих устройств является наиболее эффективным способом отстройки от устойчивых ветровых резонансных колебаний.

2. В ряде случаев определяющим для выбора прочности изоляторов является условие электродинамической стойкости при неуспешных АПВ.

3. Определение электродинамической стойкости при повторных включениях на КЗ согласно [1, 4] проводится при наиболее неблагоприятных условиях (в том числе длительности КЗ и угла включения тока КЗ). Учет реальной продолжительности КЗ для РУ с современными элегазовыми выключателями может позволить снизить расчетные значения наибольших нагрузок на изоляторы и напряжений в материале шин и обосновать использование более экономичных решений без снижения требований надежности ошиновки.

4. Надежность жесткой ошиновки обеспечивается качеством ее изготовления, монтажа, а также строгим выполнением требований нормативных документов [1-4].

Опыт показал, что ошибки проектирования, расчетов, монтажных работ снижают эффективность прогрессивных решений, приводят к необоснованному завышению стоимости распределительных устройств, необходимости корректировки и изме-

нения принятых проектных решений, а в ряде случаев к технологическим нарушениям и авариям.

Разработанные подходы позволили успешно внедрить шинные конструкции различного исполнения в ОРУ напряжением 110, 220, 330 и 500 кВ, обеспечив необходимую эксплуатационную надежность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долин А. П., Шонгин Г. Ф. Открытые распределительные устройства с жесткой ошиновкой. М.: Энергоатомиздат, 1988.

2. Кудрявцев Е. П., Долин А. П. Расчет жесткой ошиновки распределительных устройств. М.: Энергия, 1981.

3. Долин А.П., Кудрявцев Е.П., Козина М.А. Расчет электродинамической стойкости и других параметров жесткой ошиновки ОРУ высоких и сверхвысоких напряжений // Электрические станции. 2005. №4. С. 49-53.

4. Долин А.П. Исследование стойкости жесткой ошиновки при ветровых нагрузках. Известия АН ССР // Энергетика и транспорт. 1990. № 4. С. 57-66.

5. ГОСТ Р 50736 – 2007. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета электродинамического и термического действия тока КЗ, 1994.

6. СТО 56947007-29.240.10.028-2009. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ. ОАО «ФСК ЕЭС», 2009.

7. СТО 56947007-29.060.10.005-2008. Руководящий документ по проектированию жесткой ошиновки ОРУ 110 – 500 кВ. ОАО «ФСК ЕЭС», 2008.

8. СТО 56947007-29.060.10.006-2008. Методические указания по расчету и испытаниям жесткой ошиновки ОРУ 110 – 500 кВ. ОАО «ФСК ЕЭС», 2008.