



ЭЛЕКТРО

ПЕРЕДАЧА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ

ЭНЕРГИЯ

№ 5 (8), сентябрь-октябрь, 2011



ВЭЛК

MOSCOW
МОСКВА 2011



WELC

*Интервью
с Андре Мерлином,
президентом СИГРЭ*

*Курс на развитие
малой
энергетики*

ISSN 2218-3116



9772218 311106

Конструктивные особенности жёсткой ошиновки ОРУ 110–500 кВ

В последние годы в открытых и закрытых распределительных устройствах 110 кВ и выше все чаще применяется жёсткая ошиновка. Её использование предусмотрено технической политикой ведущих энергетических компаний. Это позволяет сократить сроки строительства и стоимость РУ, облегчить очистку изоляторов, ремонт шинных конструкций, улучшить обзор шин и аппаратов, а также уменьшить площадь ОРУ, длину силовых кабелей, дорог, снизить трудоёмкость монтажных работ.

Анисим ДОЛИН, к.т.н., Людмила ЕГОРОВА,
ООО НТЦ «Электроинжиниринг Диагностика и Сервис» (ООО НТЦ «ЭДС»)

В России первые медные и стальные жёсткие шины стали применяться в 30-е годы 20 века, а в 50-е и 60-е медные и алюминиевые жёсткие шины использовались в ЗРУ 110 и 150 кВ ТЭЦ и ГЭС. В 70–80-е годы были построены ОРУ 110 и 220 кВ с жёсткой ошиновкой по упрощённым и развитым схемам, а Самарским (Куйбышевским) заводом «Электроцит» освоены блочные комплектные трансформаторные подстанции — КТПБ 110 и 220 кВ и КРУБ 110 кВ. На ПС «Агадырь» было сооружено единственное в СССР ОРУ 500 кВ по схеме блока с жёсткой ошиновкой, разработанной институтом «Энергосетьпроект» и изготовленной ПО «Союзэлектросетьизоляция».

В настоящее время успешно освоено производство жёсткой ошиновки на 35–500 кВ ЗАО «Завод электротехнического оборудования» (ЗАО «ЗЭТО»), ЗАО ПФ «КТП-Урал», ЗАО «КЭС — ЭнергоСтройИнжиниринг» и др. (рис. 1). Успешно ведутся работы по разработке и производству ошиновки на напряжение 750 кВ. Следует отметить, что ряд шинных конструкций во многом копирует разработки 60–80-х гг. Вместе с тем имеется опыт положительного использования и внедрения наилучших зарубежных и новых оригинальных отечественных конструктивных решений.

Успешному внедрению новых конструкций способствовали разработка и введение новых нормативных документов [1–4], которые определяют требования к проектированию, выбору, расчётам и испытаниям жёсткой ошиновки ОРУ и ЗРУ 110–500 кВ.

В частности, жёсткими выполняются сборные шины, а в ряде случаев — внутрирейсовые связи нижнего яруса. В качестве шин рекомендуется использовать трубы из алюминиевых сплавов, прежде всего 1915, 1915Т, а при больших рабочих токах, кроме того, АВТ1, а также АДЗ1Т1, Т6-6063 и другие [5]. Изоляторы используются как фарфоровые, так и полимерные.

Важнейшим звеном современных шинных конструкций являются шинодержатели. В настоящее время разработаны различные варианты крепёжных узлов жёсткой ошиновки. В качестве примера на рис. 2 а представлен шинодержатель типа «скоба», который повторяет решения 60–70-х годов.

Однако всё шире используются более прогрессивные конструкции — шинодержатели обжимного типа, выполненные из сварных элементов (рис. 2 б) или методом литья (рис. 2 в).

Тем не менее сортамент отечественных шинодержателей, компенсаторов, узлов присоединения к аппаратам по номенклатуре, а зачастую и по качеству существенно

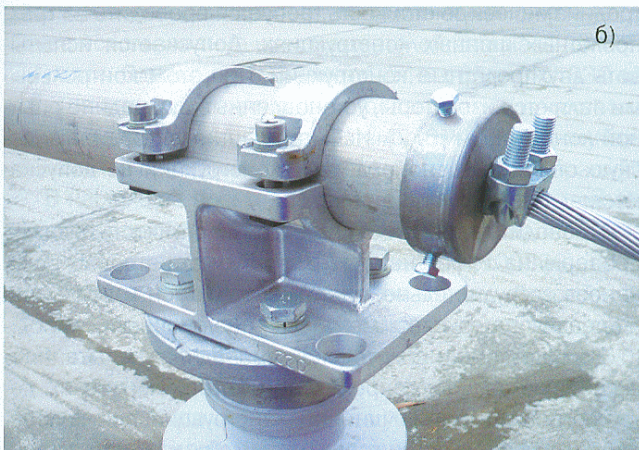
Рис. 1. Современное ОРУ с жёсткой ошиновкой 330 кВ ПС «Новгородская»



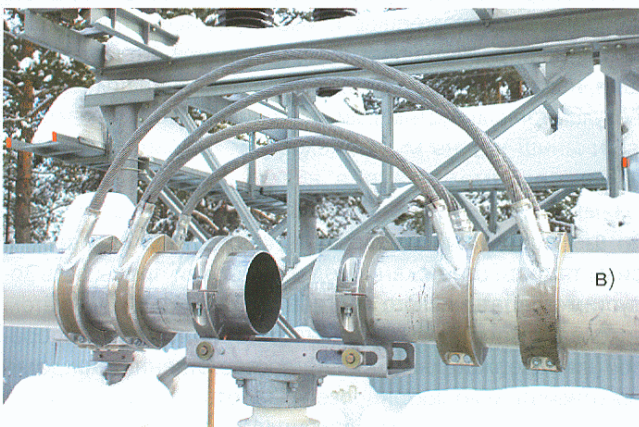
Рис. 2. Современные шинодержатели: а — типа «скоба»; б — торцевой литой обжимного типа; в — проходной литой обжимного типа



а)



б)



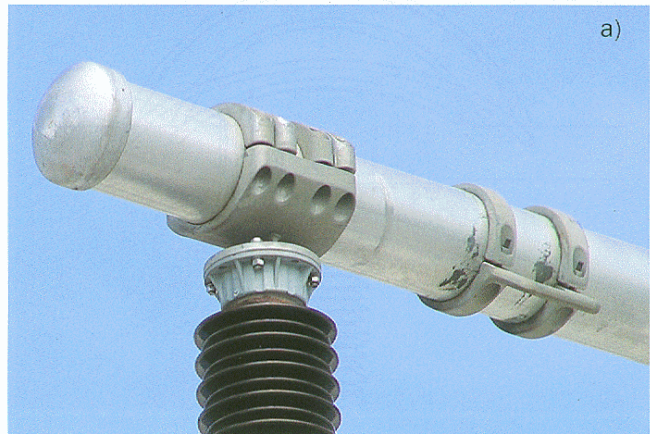
в)

уступает зарубежным (рис. 3), в том числе «Arruti» (Испания), «Dalekovod» (Хорватия), «Lorünser» (Австрия).

Важным элементом конструкции являются компенсаторы температурных деформаций. Ряд производителей использует устаревшие технические решения (рис. 4 а), требующие опрессовки гибких связей компенсаторов на монтажной площадке. Аналогично выполняются гибкие ответвления. При этом прессующие зажимы, приваренные к шине на заводе, требуют точной установки шин в соответствии с местом опрессовки. К сожалению, при транспортировке и монтаже бывают поломки этих узлов, в этом случае сварочные работы и устранение дефектов проводятся на месте монтажа.

Рис. 3. Узлы крепления жёстких шин зарубежных производителей:

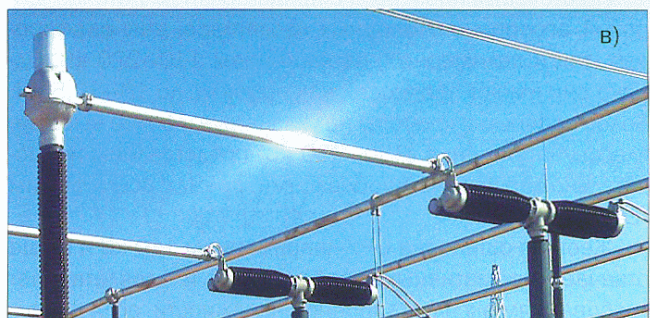
а — шинодержатель обжимного типа фирмы «Arruti»; б — токовый компенсатор фирмы «Lorünser»; в — узел присоединения к аппаратам фирмы «Arruti»



а)



б)



в)

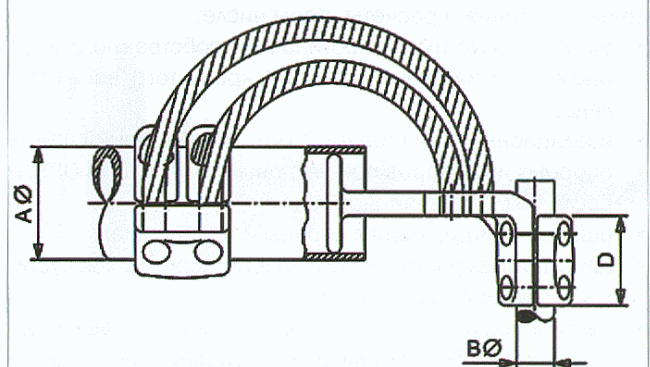
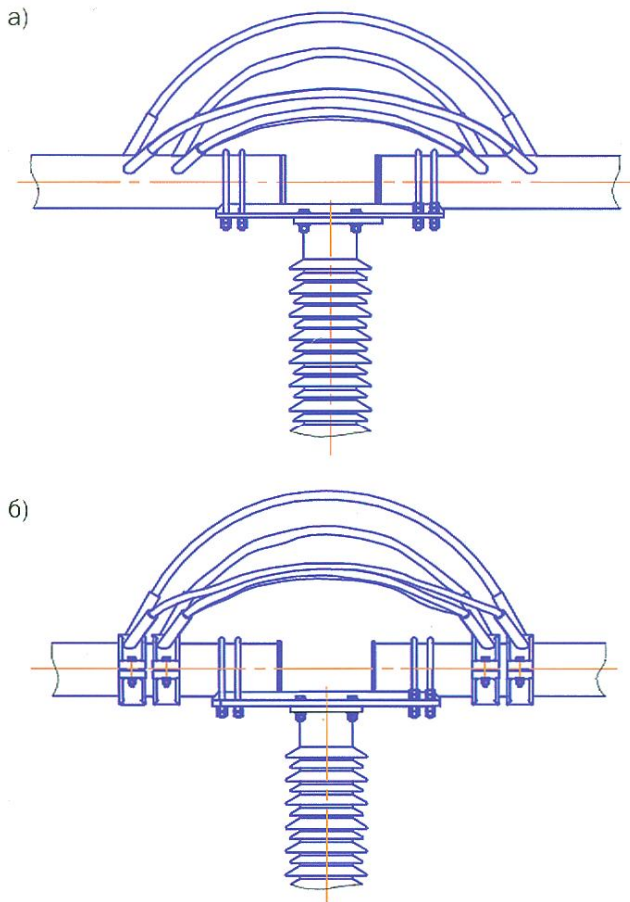


Рис. 4. Отечественные компенсаторы температурных деформаций, установленные с использованием прессующих зажимов (а) и узлов крепления обжимного типа (б)



Более прогрессивными являются компенсаторы (рис. 4 б), устанавливаемые с помощью устройств обжимного типа. Изделия имеют полную заводскую готовность и монтируются с использованием болтовых соединений.

На отечественном рынке представлен достаточно широкий ассортимент опорных изоляторов, как фарфоровых, так и полимерных, напряжением 110–220 кВ. Однако они имеют прочность, как правило, до 10–12,5 кН. Более прочные изоляторы на указанные и более высокие классы напряжения (330–750 кВ) представлены исключительно зарубежными образцами, прежде всего фирмы «LAPP».

Жёсткая ошиновка ОРУ напряжением 110 кВ и выше отвечает нормативным требованиям и удовлетворяет требованиям эксплуатационной надёжности, если выполнены испытания и расчёты, в том числе:

- шин по допустимым прогибам от собственного веса (включая ответвления), а в ОРУ, кроме того, веса гололёда;
- изоляционных расстояний с учётом 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;
- жёсткой ошиновки по нагреву в рабочих режимах, при этом в ОРУ с учётом солнечной радиации, а также

вынужденным (при ветре) или свободно-вынужденным (при штиле) конвективным теплообменом;

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

К отдельным видам испытаний могут предъявляться специальные требования, например, испытания на электродинамическую стойкость требуется проводить на трёхпролётных шинных конструкциях. Допускается испытывать двухпролётные конструкции. При этом контрольными являются изоляторы, установленные в середине опытной конструкции [6, 7]. Испытания на электродинамическую стойкость однопролётных конструкций не допускаются.

Проводить испытания на ветровую стойкость, а также проверку на эффективность отстройки от ветровых резонансов затруднительно, поэтому предложен и эффективно 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 жёсткости изоляционных опор. Далее проводятся расчёты прогибов, напряжений в материале шин, нагрузок на изоляторы и сопоставление полученных результатов с допустимыми значениями.

УСЛОВИЯ ВЫБОРА И МЕТОДИКИ РАСЧЁТОВ ЖЁСТКОЙ ОШИНОВКИ

1. Наибольший прогиб шин от собственного веса и силы тяжести ответвлений $y_{ст.макс}$ не должен превышать допустимого статического прогиба $y_{ст.доп} = l_0/100$, а с учётом гололёда $y_{ст.доп} = l_0/80$, где l_0 — длина шины между опорами (шинодержателями) [2–4], соответственно они должны отвечать условию:

$$y_{ст.макс} \leq y_{ст.доп} \quad (1)$$

2. Ошиновка ОРУ не должна быть подвержена устойчивым ветровым резонансным колебаниям, которые возбуждаются периодическими срывами вихрей при скорости ветра, лежащей в пределах:

$$K_1 V_s \leq V \leq K_2 V_s \quad (2)$$

где $V_s = df_{1y}/Sh$ — струхалевская скорость ветра, м/с; $Sh \approx 0,2$ — число Струхалея; f_{1y} — первая частота собственных колебаний шины в вертикальной плоскости, Гц; K_1 и K_2 — коэффициенты, определяющие область скоростей ветра при устойчивых резонансных колебаниях, примерно равные соответственно 0,7–1,0 и 1,0–1,3.

Устойчивые резонансные колебания не возбуждаются, если наибольший (расчётный) прогиб шины $y_{р.макс}$ при

вихревых возбуждениях не достигает критических (допустимых) значений $y_{p, доп}$, т.е.

$$y_{p, max} \leq y_{p, доп}. \quad (3)$$

Допустимый прогиб при вихревых возбуждениях лежит в пределах 0,02–0,1 диаметра шины D , а наибольший прогиб зависит от коэффициента подъёмной силы, жёсткости и декремента затухания шины при колебаниях в вертикальной плоскости.

Как показывают исследования и опыт эксплуатации, резонансная скорость ветра невелика и составляет около 2–3 м/с. Напряжения в материале шины и нагрузки на изоляторы в этом режиме обычно существенно меньше допустимых значений. Однако продолжительность ветровых резонансных колебаний может быть длительной (несколько часов), что оказывает отрицательное психологическое воздействие на персонал ОРУ, а также может приводить к ослаблению болтовых соединений и усталостным повреждениям элементов конструкций.

Наиболее простой метод борьбы с ветровыми резонансными колебаниями – прокладка внутри трубчатых шин проводов (или тросов), металлических стержней, а также использование шинодержателей специальной конструкции. Однако для длиннопролётных шин ОРУ 330 кВ и выше эти мероприятия часто оказываются недостаточными для подавления золотых вибраций. В этих случаях приходится применять специальные гасители вибраций.

В настоящее время внедрено в производство демпфирующее устройство типа «бабочка», разработанное ООО НТЦ «ЭДС» (патент на полезную модель №100859), представляющее собой трос с грузом на концах, который подвешивают к шине снизу, перевешивают через неё сверху (рис. 5 а), либо устанавливают внутри шины-трубы (рис. 5 б).

Оптимальный выбор массы и формы груза, жёсткости и длины троса, а также места установки и количества демпферов обеспечивает наиболее эффективное гашение колебаний и экономичное решение этой задачи.

На рис. 6 представлены осциллограммы колебаний жёсткой ошиновки 500 кВ (длина пролёта 18 м) в вертикальной плоскости с демпфером проводом марки АС 500/26 длиной 18 м, проложенным внутри шины и закреплённым с обеих сторон, а также с демпферами НТЦ «ЭДС» типа «бабочка», установленными внутри шины, которые наглядно отображают разницу эффективности гашения колебания с новым демпфером.

Одним из преимуществ демпфера типа «бабочка» является возможность его установки на действующих шинных конструкциях, не удовлетворяющих условию «отстройки» шин от ветровых резонансных колебаний, а также ветровой и электродинамической стойкости при неуспешных АПВ. Данное устройство может найти широкое применение в электроэнергетике в распределительных устройствах электрических станций и подстанций с жёсткой ошиновкой напряжением 110 кВ и выше.

3. В системах с быстродействующими АПВ следует проводить расчёт электродинамической стойкости при повторных включениях на КЗ. При этом необходимо учитывать рассеяние энергии при колебаниях шинных конструкций, частоту собственных колебаний, время бестоковой паузы и другие факторы. Инженерные оценки F_{max} и σ_{max} при неуспешных АПВ проводятся при наиболее неблагоприятных по условиям электродинамической стойкости углах включения и отключения тока КЗ.

Рис. 5. Демпфирующее устройство типа «бабочка»:
а – с установкой сверху на шине;
б – с установкой внутри шины

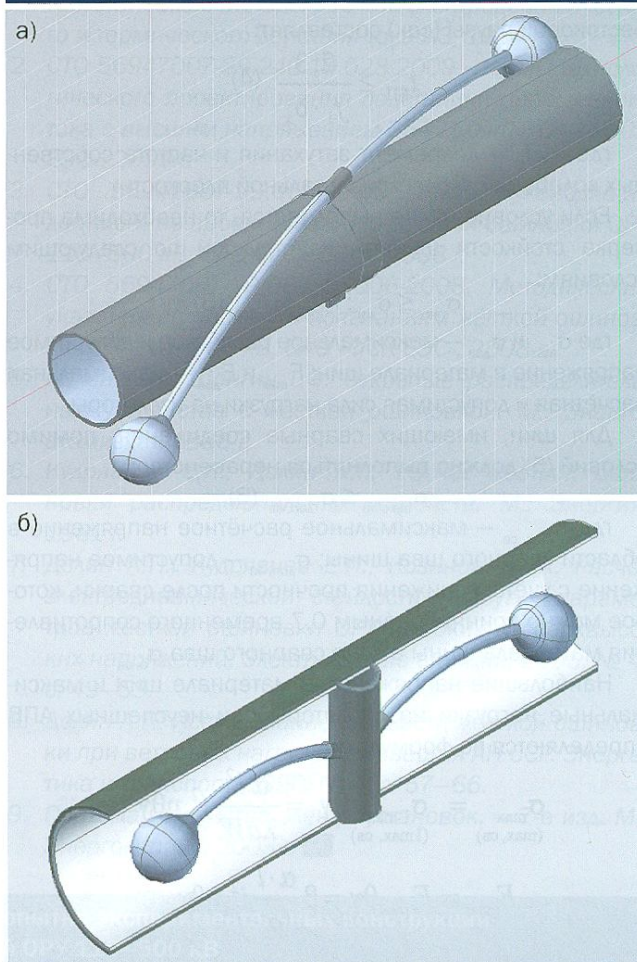
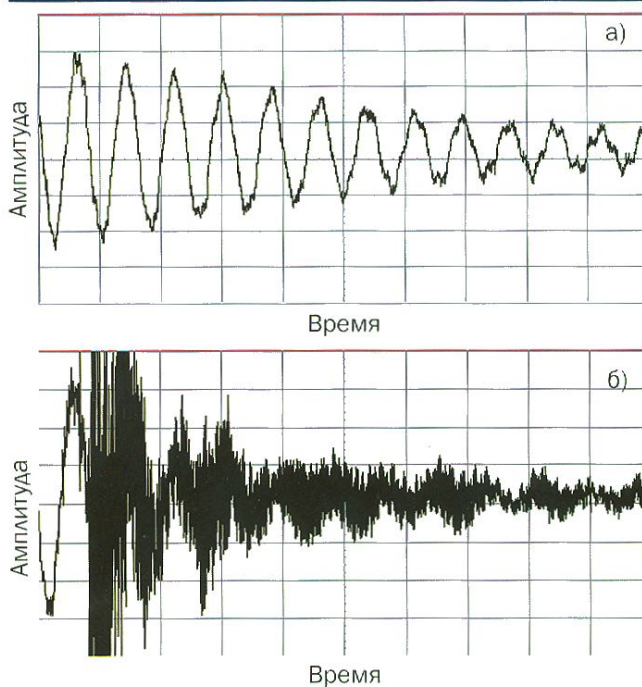


Рис. 6. Осциллограммы свободных колебаний в вертикальной плоскости шины с демпфером проводом (а) и демпфером типа «бабочка» (б)



Вместе с тем наибольшие напряжения в шине, нагрузки на изоляторы, а также прогибы конструкций при повторных включениях на КЗ не превышают соответствующих значений при первом КЗ, если продолжительность бестоковой паузы (сек) составляет:

$$t_{\text{БП}} \geq \frac{2,3}{f_1 \cdot \delta_x} \quad (4)$$

где δ_x, f_1 — декремент затухания и частота собственных колебаний, Гц, в горизонтальной плоскости.

Если условие (4) не выполняется, то необходима проверка стойкости шинной конструкции по следующим условиям:

$$\sigma_{\text{max}} \leq \sigma_{\text{доп}}; F_{\text{max}} \leq F_{\text{доп}} \quad (5)$$

где σ_{max} и $\sigma_{\text{доп}}$ — максимальное расчётное и допустимое напряжение в материале шин; F_{max} и $F_{\text{доп}}$ — максимальная расчётная и допустимая сила нагрузки на изоляторы.

Для шин, имеющих сварные соединения, помимо условий (5) должно выполняться неравенство:

$$\sigma_{\text{max, св}} \leq \sigma_{\text{доп, св}} \quad (6)$$

где $\sigma_{\text{max, св}}$ — максимальное расчётное напряжение в области сварного шва шины; $\sigma_{\text{доп, св}}$ — допустимое напряжение с учётом снижения прочности после сварки, которое можно принять равным 0,7 временного сопротивления материала шины в зоне сварного шва $\sigma_{\text{в, св}}$.

Наибольшие напряжения в материале шин и максимальные нагрузки на изоляторы при неуспешных АПВ определяются по формулам:

$$\sigma_{\text{max (max, св)}} = \sigma_{1 \text{ max (I max, св)}} \theta \gamma = \frac{\alpha I^2}{\lambda a W} i_{\text{уд}}^2 \eta \theta \gamma \quad (7);$$

$$F_{\text{max}} = F_{1 \text{ max}} \theta \gamma = \beta \frac{\alpha \cdot l}{a} i_{\text{уд}}^2 \eta \theta \gamma \quad (8)$$

где $\sigma_1, F_{1 \text{ max}}$ — наибольшие напряжения и нагрузки при первом КЗ; θ — коэффициент превышения напряжений в материале шин и нагрузок на изоляторы при повторных КЗ; γ — коэффициент, учитывающий вероятность наступления максимальных нагрузок на изоляторы и напряжений в материале шин, а также требований надёжности ошиновки; α — параметр, равный $\sqrt{3} \cdot 10^{-7}$ Н/А² при трёхфазном КЗ; l — длина пролёта шины; $i_{\text{уд}}$ — ударный ток трёхфазного КЗ, А; η — динамический коэффициент; λ и β — параметры, зависящие от условий опирания шин на изоляторы (опоры) пролёта; a — расстояние между фазами, м; W — момент сопротивления поперечного сечения шины, м³.

Параметр λ является функцией координаты по оси z , направленной вдоль шины. При расчёте $\sigma_{\text{max, св}}$ в зоне сварного шва $\lambda = \lambda(z_{\text{св}})$, где $z_{\text{св}}$ — координата сварного шва; а при определении σ_{max} — $\lambda = \min \lambda(z)$.

Следует отметить, что коэффициенты превышения (при повторных КЗ) напряжений в материале шин и нагрузок на изоляторы θ получены [4] при наиболее неблагоприятных условиях коммутации и поэтому обеспечивают оценку сверху электродинамической стойкости ошиновки.

Опыт расчётов и испытаний отечественных конструкций жёсткой ошиновки напряжением 35–750 кВ показал необходимость введения в расчёт коэффициента γ (формулы 7 и 8), учитывающего вероятность наступления наиболее неблагоприятных фаз включения и отключения тока КЗ, флюктуации жёсткостей изоляторов и, соответственно, частоты собственных колебаний шин и других

факторов. С учётом требований к надёжности конструкции коэффициент γ оправдано принять равным 0,6–0,7 для класса напряжения 110–220 кВ, 0,7–0,8 — для 330–500 кВ и 0,8–0,9 — для 750 кВ.

4. Расчёт шин на ветровую стойкость учитывает как статическую (неизменяющую во времени) \bar{V} , так и динамическую (пульсирующую) составляющую $u(t)$ скорости ветра:

$$V = \bar{V} + u(t). \quad (9)$$

Динамические составляющие скорости $u(t)$ и, следовательно, ветровой нагрузки рассматриваются как стационарные случайные процессы [8]. В результате расчёта наибольшие нагрузки на опоры и напряжения в шине приводятся к виду:

$$F_{\text{max в}} = \beta q_{\text{ст. в}} l \eta_{\text{в}}; \quad \sigma_{\text{max в}} = \frac{q_{\text{ст. в}} l^2}{\lambda W} \eta_{\text{в}} \quad (10)$$

где $q_{\text{ст. в}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{в}} c_x D V_0^2$ — статическая составляющая ветровой нагрузки, Н/м; $\rho_{\text{в}}$ — плотность воздуха, кг/м³; D — внешний диаметр шины, м; c_x — коэффициент лобового сопротивления шины; V_0 — нормативная скорость ветра на высоте шины, м/с; $\eta_{\text{в}}$ — динамический коэффициент ветровой нагрузки, зависящий от частоты собственных колебаний и декремента затухания ошиновки, скорости ветра, определяемый в [4].

5. Расчёт на стойкость изоляторов и шин при сочетании ветровых $q_{\text{в}}$, гололедных $q_{\text{г}}$, электродинамических $q_{\text{э}}$ нагрузок, а также нагрузок от собственного веса и веса ответвлений $q_{\text{ш}}$ проводится при условии, что результирующее воздействие (в векторной форме) равно:

$$q_{\Sigma} = \gamma_1 \cdot q_{\text{в}} + \gamma_2 \cdot q_{\text{г}} + \gamma_3 \cdot q_{\text{э}} + q_{\text{ш}} \quad (11)$$

где $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ — коэффициенты, принимаемые в соответствии с рекомендациями [4, 9] и другими документами.

Расчёт изоляторов и шин ОРУ на прочность должен проводиться при следующих сочетаниях внешних нагрузок:

- вес ошиновки, нормативная гололёдная нагрузка и ветровая нагрузка при нормативной скорости ветра;
- вес ошиновки, ветровая нагрузка при нормативной скорости ветра и ЭДН, без учёта АПВ, равная 65% максимального расчётного значения (т.е. при токе КЗ, равном 80% от максимума);
- вес ошиновки, максимальная электродинамическая нагрузка (без учёта АПВ) и ветровая нагрузка, равная 60% нормативного значения;
- вес ошиновки и электродинамическая нагрузка при максимальном расчётном токе КЗ, в том числе при неуспешных АПВ (при повторных включениях на КЗ).

Испытания и расчёты 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 жёсткой ошиновки 110–500 кВ на ветровой резонанс и ветровую стойкость и другие параметры. Результаты некоторых испытаний и расчётов шинных конструкций заводского изготовления, а также их опытных образцов приведены в таблице.

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

Проведённые исследования показали следующее:

- увеличение рассеяния энергии за счёт изменения конструкций шинодержателей и применения более эффективных демпфирующих устройств является наиболее эффективным способом отстройки от устойчивых ветровых резонансных колебаний;
- демпферы НТЦ «ЭДС» обеспечивают наиболее эффективную «отстройку» длиннопролётных конструкций жёсткой ошиновки от устойчивых ветровых резонансных колебаний в вертикальной плоскости, а также повышение ветровой и электродинамической стойкости при неуспешных АПВ, что позволяет расширить область применения конструкций на более высокие токи КЗ и области с большей скоростью ветра практически без изменения стоимости конструкции;
- в ряде случаев определяющим для выбора прочности изоляторов является условие электродинамической стойкости при неуспешных АПВ;
- определение электродинамической стойкости при повторных включениях на КЗ, согласно литературе [1, 4], проводится при наиболее неблагоприятных условиях (в том числе длительности КЗ и угла включения тока КЗ). Учёт реальной продолжительности КЗ для РУ с современными элегазовыми выключателями может позволить снизить расчётные значения наибольших нагрузок на изоляторы и напряжений в материале шин и обосновать использование более экономичных решений без снижения требований надёжности ошиновки;
- надёжность жёсткой ошиновки обеспечивается качеством её изготовления, монтажа, а также строгим выполнением требований нормативных документов [1–4].

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 50736 – 2007. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчёта электродинамического и термического действия тока КЗ, 1994 г.
2. СТО 56947007-29.240.10.028-2009 «Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35–750 кВ». ОАО «ФСК ЕЭС», 2009 г.
3. СТО 56947007-29.060.10.005-2008. Руководящий документ по проектированию жёсткой ошиновки ОРУ 110–500 кВ, ОАО «ФСК ЕЭС», 2008 г.
4. СТО 56947007-29.060.10.006-2008. Методические указания по расчёту и испытаниям жёсткой ошиновки ОРУ 110–500 кВ. ОАО «ФСК ЕЭС», 2008 г.
5. Долин А.П., Шонгин Г.Ф. Открытые распределительные устройства с жёсткой ошиновкой. М.: Энергоатомиздат, 1988 г.
6. Кудрявцев Е.П., Долин А.П. Расчёт жёсткой ошиновки распределительных устройств. М.: Энергия, 1981 г.
7. Долин А.П., Кудрявцев Е.П., Козина М.А. Расчёт электродинамической стойкости и других параметров жёсткой ошиновки ОРУ высоких и сверхвысоких напряжений. Электрические станции, 2005, № 4, с. 49–53.
8. Долин А.П. Исследование стойкости жёсткой ошиновки при ветровых нагрузках. Известия АН ССР. Энергетика и транспорт, 1990, № 4, с. 57–66.
9. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. М.: Энергосервис, 2003 г.

Таблица. Результаты расчётов и испытаний опытно-экспериментальных конструкций с жёсткой ошиновкой ОРУ 110–500 кВ

U, кВ	Шинодержатель	l, м	D/d, мм	Демпфер	δ_y	δ_x	Соответствие требованиям			
							1	2	3	4
110	Литой обжимного типа	9	80/60	Стержень	0,042	0,073	+	+	+	–
	Сварной обжимного типа Исполнение 1		100/90	Провод А185	0,045	0,495	+	–	–	–
				Пруток	0,036	0,209	+	–	–	–
Сварной обжимного типа Исполнение 2		Пруток	0,078	0,193	+	+	+	+		
220		15,4	120/112	Провод АС-150/34	0,08*	0,23*	–
			160/150	Провод АС-500/26	0,150	0,314	+	+	+	+
500	Литой обжимного типа	17,1	220/212	4 провода АС-500/27 и демпфер ЗАО «ЗЭТО»	0,124	0,362	+	+	+	+
		18	220/204	Провод АС 630/43,6	0,06	0,4	+	–	+	+
			240/230	Демпфер НТЦ «ЭДС» типа «бабочка»	0,346	0,321	+	+	+	+

Примечания.

1. Требования: 1 – допустимые прогибы от собственного веса, а также собственного веса и гололёда; 2 – отстройка жёсткой 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.