



# ЭЛЕКТРО

ПЕРЕДАЧА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ

# ЭНЕРГИЯ

№ 4 (13), июль–август, 2012



ООО «Евроконтракт -  
Высоковольтные аппараты»



Интеллектуальные  
КРУЭ для сетей  
110 и 220 кВ

ФСК ЕЭС — работа  
в новых условиях

Электрические сети  
железных дорог

ISSN 2218-3116



9772218 311106

# Применение современных шинодержателей в отечественных конструкциях жёсткой ошиновки

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

**В** ОРУ 35 кВ и выше всё шире используется жёсткая ошиновка. Её применение позволяет повысить технико-экономические показатели электроустановок: сократить материалоемкость, трудозатраты и сроки сооружения распределительных устройств, создать более эстетичные, удобные для эксплуатации и ремонта РУ, а также разработать конструкции высокой заводской готовности, в том числе комплектные модули и ПС.

Первые конструкции с жёсткими медными и стальными шинами были применены в отечественных ОРУ 110 кВ в 30-х годах прошлого века [1–3]. В 50–60-е годы жёсткие трубчатые шины из меди, а также алюминия и его сплавов применялись в ЗРУ 110 и 150 кВ ТЭЦ и ГЭС. В 70–

80-е годы Куйбышевским (Самарским) заводом «Электрощит» были освоены блочные комплектные трансформаторные подстанции (КТПБ) 110 и 220 кВ по упрощённым схемам, а также 110, а позднее 220 кВ по схемам со сборными шинами (типа КРУБ). Были построены ОРУ 110, 220 и 500 кВ с жёсткой ошиновкой, сборного типа, разработанные институтом «Энергосетьпроект» и изготовленные производственным объединением «Союзэлектросетьизоляция».

С конца 90-х годов разработаны и внедрены конструкции жёсткой ошиновки ОРУ напряжением 35–220 кВ по схемам «мостика», а также 110–500 кВ со сборными шинами, выполненные различными предприятиями — ЗАО «ЗЭТО» (рис. 1, а), ЗАО «КЭС — ЭнергоСтройИнжиниринг», ЗАО

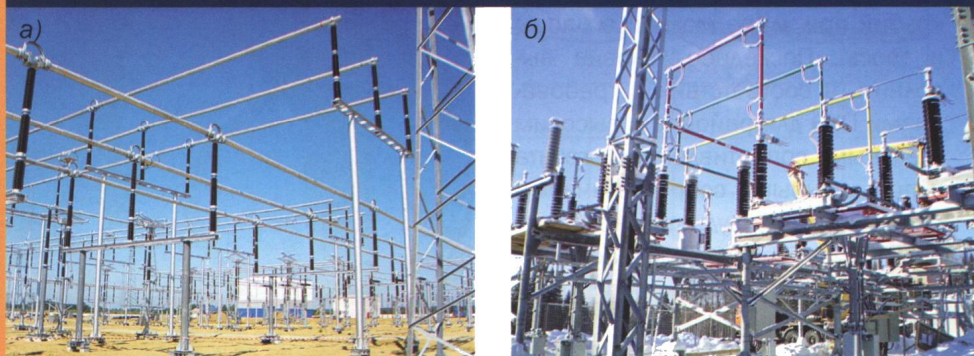
ПФ «КТП-Урал» (рис. 1, б), ЗАО «ГК «Электрощит» — ТМ Самара» и другими [2, 3]. Кроме того, в ЗАО «ЗЭТО» впервые в РФ разработана и прошла аттестацию жёсткая ошиновка напряжением 750 кВ.

Требования к проектированию, выбору и расчётам, а также к периодическим, квалификационным и приёмо-сдаточным испытаниям жёсткой ошиновки ОРУ и ЗРУ 110–500 кВ определяют стандарты ОАО «ФСК ЕЭС» [4–6], своевременная разработка и введение которых способствовали успешному внедрению современных отечественных конструкций.

Положительной тенденцией современного развития является: использование при строительстве ОРУ только шинных конструкций заводского изготовления, создание комплектных ОРУ, выполненных не только по «упрощённым», но и по развитым схемам на все классы напряжения, применение как фарфоровых, так и полимерных изоляторов, освоение (хотя и медленное) более широкой гаммы алюминиевых сплавов для изготовления шин (что позволяет в ряде случаев снизить материалоемкость и повысить технико-экономические показатели конструкций).

Наиболее важным было освоение и внедрение трубчатых шин диаметром до 250 мм. Это позво-

Рис. 1. Современные ОРУ с жёсткой ошиновкой



а) напряжением 500 кВ (ПС «Грибово», производство ЗАО «ЗЭТО»);  
б) 110 кВ (комплектная ПС «Ковдорский ГОК», производство ЗАО ПФ «КТП-Урал»)

Рис. 2. Зарубежные подстанции с жёсткой ошиновкой



а) Норвегия



б) США, штат Монтана

России помимо этого необходимо сформировать правильное психологическое отношение к данному вопросу.

Одними из первых отечественных конструктивных решений узлов крепления жёстких шин являются шинодержатели типа «скоба» (рис. 3), выполняемые хомутами или пластинами. Данный тип узлов достаточно прост в изготовлении,

Рис. 3. Современные шинодержатели типа «скоба» различного типоразмера



лило перейти к длиннопролётным конструкциям (до 20 м) и создать экономичные решения для классов напряжения 330–750 кВ. При этом, благодаря современным научным разработкам, в сжатые сроки был решён вопрос эффективного подавления ветровых резонансных колебаний длиннопролётных шин, а также освоен и внедрён в производство экономичный и достаточно простой динамический гаситель колебаний [3].

Однако, к сожалению, многие шинные конструкции напряжением 35 и 110 кВ (а в ряде случаев и 220 кВ), созданные в последние годы, мало отличаются от решений 30–50-летней давности. Более того, количество конструктивных решений, предлагаемых производителями сегодня, меньше, чем в прошлом веке. Ряд компоновок ОРУ 110 кВ и выше (включая габаритные размеры) практически не отличается от компоновок с гибкой ошиновкой, что резко снижает экономическую эффективность применения жёстких шин.

Во многих случаях узлы и детали ошиновки (шинодержатели, узлы присоединения к аппаратам, компенсаторы температурных деформаций и др.) не отличаются и даже уступают решениям прошлого столетия, а тем более современным

зарубежным узлам. В результате трудоёмкость монтажных и ремонтных работ, надёжность узлов, возможность реконструкции ОРУ существенно уступают зарубежным аналогам. Ряд предприятий (ЗАО «ЗЭТО», ЗАО ПФ «КТП-Урал» и др.) постепенно осваивают изготовление современных узлов. Но надо признать, что качество изготовления узлов уступает западноевропейскому, а их сортамент на 2–3 порядка (!) меньше, чем у ведущих производителей.

В результате значительно ограничиваются конструктивные возможности и компоновочные решения применения жёсткой ошиновки при рабочих токах 4000 А и более.

Следует отметить, что жёсткая ошиновка широко применяется в зарубежных странах, в том числе Австрии, Великобритании, Испании, Канаде, Китае, Норвегии, США, Финляндии, Франции, Японии и других (рис. 2).

Одним из преимуществ производства жёсткой ошиновки за рубежом является наличие специализированных компаний, изготавливающих шинодержатели, температурные компенсаторы и другие узлы. Для основания подобного производства необходимо иметь налаженное литейное производство, а для создания таких компаний в

поэтому применяется до сих пор рядом производителей. Однако для соединения шин смежных пролётов в этом случае используются провода, соединённые с шиной с помощью прессуемого зажима (рис. 4). Такой узел ненадёжен. Трубки прессуемого зажима, приваренные к шине, зачастую ломаются при монтажных работах. При демонтаже (например, при замене опорного изолятора) с таким узлом приходится разрезать гибкие провода, а затем их вновь соединять опрессовкой. При этом количество проводов в фазе может быть от 2 до 6. Надёжность узла крепления

Рис. 4. Шинодержатель типа «скоба» с токовыми перемычками, установленными с использованием прессуемых зажимов



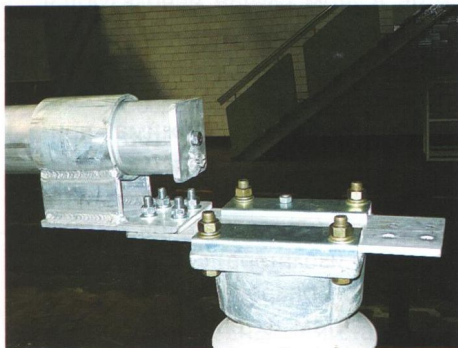
**Рис. 5. Современные шинодержатели обжимного типа отечественного производства напряжением**



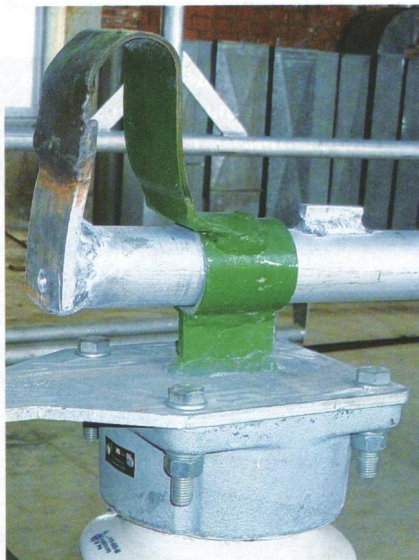
а) 330, 500 кВ



б) 330–750 кВ



в) 110 кВ



г) 35, 110 кВ

и ошиновки в целом после такой «реконструкции» снижается. В ряде случаев при коротких токовых перемичках приходится полностью восстанавливать узел, что требует проведения как сварочных работ, так и работ по опрессовке.

Этих недостатков лишены шинодержатели и другие узлы обжимного типа. За последнее десятилетие в России активно разрабатывались и внедрялись аналоги зарубежных узлов крепления жёстких шин обжимного типа (рис. 5). Разработаны конструкции литых и сварных шинодержателей, а также креплений токовых перемичек (компенсаторов температурных деформаций) обжимного типа с использованием болтовых соединений.

Это позволяет отказаться от сварочных работ и опрессовки гибких проводников, что в свою очередь обеспечивает удобство монтажа, демонтажа и сокращает сроки этих работ. Однако номенклатура изделий отечественных производителей составляет единицы и десятки наименований и типоразмеров.

В связи с этим отечественные компании начали или планируют применение узлов крепления жёсткой ошиновки РУ 35–500 кВ (рис. 7), а также узлов крепления, дистанционных распорок проводов воздушных линий и гибкой ошиновки подстанций.

Следует отметить, что номенклатура изделий для жёсткой ошиновки дан-

ной компании достигает порядка 10 тыс. наименований, это позволяет выполнить практически любые проектные решения.

Применение шинодержателей производства испанской фирмы «Arruti Sabestaciones, S.A.» позволило российским специалистам в кратчайшие сроки создать токопроводы и жёсткую ошиновку напряжением 35 и 110 кВ на номинальный ток 4000 А для строящейся ПС.

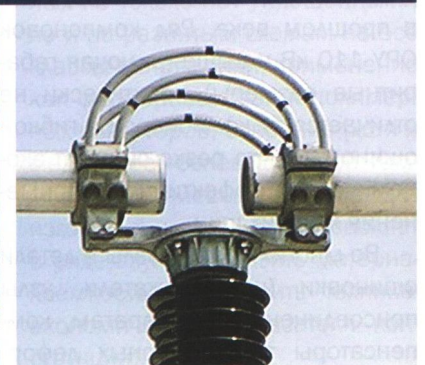
Следует отметить, что, согласно требованиям стандартов [4–8], узлы крепления жёсткой ошиновки ОРУ в её составе должны отвечать, в частности, следующим требованиям:

- по нагреву в рабочих режимах и при протекании сквозных токов  $K3 - v \leq v_{доп}$  (1),  $v_{K3} \leq v_{K3,доп}$  (2), где  $v, v_{доп}$  – температура нагрева шины в рабочих режимах и допустимое значение соответственно;  $v_{K3}, v_{K3,доп}$  – конечная (наибольшая) и допустимая (кратковременная) температура шин при K3;
- по условиям короны и радиопомех при напряжении  $1,1U_{н.р.}/\sqrt{3}$  измеренный уровень радиопомех не должен превышать значения 54 дБ (500 мкВ);
- по допустимым температурным удлинениям шин – температурные компенсаторы должны обеспечивать свободное продольное перемещение шин (удлинения и сжатия) во всем возможном интервале рабочих температур (от -60°C при климатическом исполнении ХЛ1 или УХЛ1 до +200°C при K3);
- по прочности шинодержателей  $F_{разр.шд} = 1,5F_{разр.из}$  (3) где  $F_{разр.шд}$  – разрушающая механическая нагрузка на шинодержатель;

**Рис. 6. Шинодержатели жёсткой ошиновки напряжением 110 кВ**



а) производство «Teco Electronics», Франция



б) производство «Arruti Sabestaciones, S. A.», Испания

Рис. 7. Продукция фирмы «Arruti Sabestaciones, S. A.», Испания



$F_{\text{разр.из}}$  — разрушающая нагрузка изолятора, на который он устанавливается;

- по прочности материалов при действии ветровых, гололёдных и электродинамических воздействий, в том числе при неуспешных АПВ, а также при их сочетании

$$\sigma_{\text{max}} \leq \sigma_{\text{доп}}; \quad (4)$$

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

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

- по эффективности отстройки шин ОРУ от ветровых резонансов — устойчивые резонансные колебания не возбуждаются, если выполняется условие

Рис. 8. Испытания узлов крепления жёстких и гибких проводников производства «Arruti Sabestaciones, S. A.» на нагрузочную способность в рабочем режиме



$$y_{\text{р.макс}} \leq y_{\text{р.доп}}; \quad (6)$$

где  $y_{\text{р.макс}}$  — наибольший прогиб шины при вихревых возбуждениях;

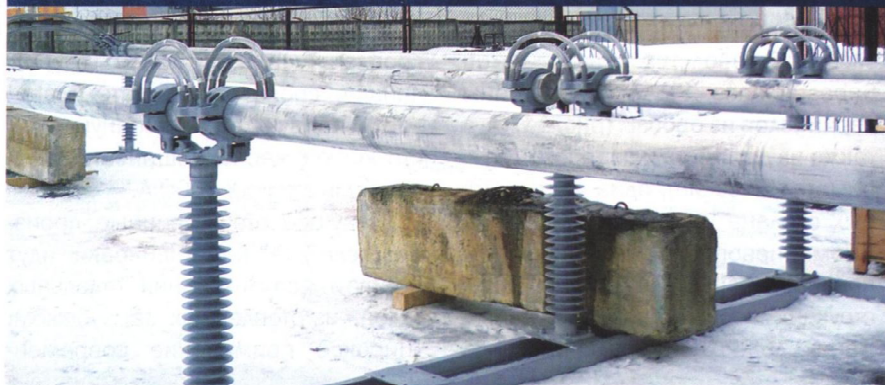
$y_{\text{р.доп}}$  — допустимый прогиб при вихревых возбуждениях равен  $0,02 \cdot D$  для шин диаметром  $D = 250$  мм и больше;  $0,04 \cdot D$  — для шин диаметром  $D = 90-150$  мм.

Жёсткая ошиновка с узлами, изготовленными «Arruti Sabestaciones, S.A.», прошла все необходимые проверки в различных лабораториях стран Европы и России. В частности, в Испании были проведены испытания узлов на нагрев при продолжительном протекании номинального тока 4000 А (рис. 8) в соответствии с требованиями российского ГОСТ 8024-90 [7], а также на корону и радиопомехи.

В России в испытательном центре ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» проведены испытания полномасштабной конструкции жёсткой ошиновки напряжением 35 и 110 кВ с испанскими узлами (рис. 9) сквозными токами КЗ на электродинамическую и термическую стойкость. Лабораторией НТЦ «ЭДС» проведены экспериментально-аналитические проверки работоспособности ошиновки при ветровых нагрузках, а также при сочетании ветровых, гололёдных и электродинамических сил. Кроме того, НТЦ «ЭДС» была проверена эффективность отстройки ошиновки от устойчивых резонансных колебаний. Благодаря современным шинодержателям и демпфирующему тросу резонансные колебания шин исключаются.

Проведённые авторами расчёты показали, что при рабочих токах более 3000 А оказывается экономически целесообразным и технически оправданным отказаться от шин из алюминиевых сплавов системой легирования Al-Zn-Mg (традицион-

Рис. 9. Испытания жёсткой ошиновки 110 кВ, изготовленной с применением изделий «Arruti Sabestaciones, S. A.», на термическую и электродинамическую стойкость

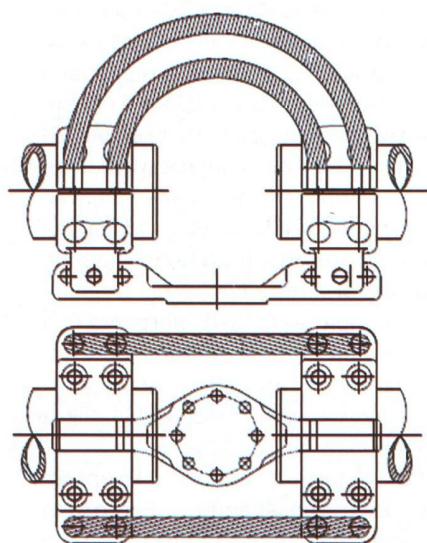


а) общий вид



б) литые шинодержатели обжимного типа производства испанской фирмы «Arruti Sabestaciones, S.A.»

**Рис. 10.** Шинодержатель «Arruti Sabestaciones, S. A.» для труб диаметром 220 мм с номинальным током 3600 А

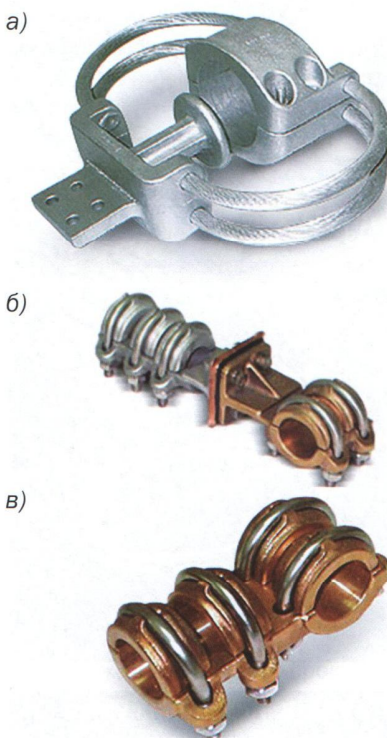


но используемых в России для шин 110 кВ и выше), а применить шины из алюминиевых сплавов группы Al-Mg-Si. Испытания полностью подтвердили такую возможность.

Как показывали исследования, наиболее эффективным является применение шин из сплавов Al-Mg-Si группы для внутричечковых связей при токах от 2000–2500 А, а также для сборных шин при рабочих токах 3150 А и более, поскольку эти сплавы имеют большую электрическую проводимость при меньшей механической прочности по сравнению со сплавами системой легирования Al-Mg-Si.

Все шинодержатели, компенсаторы, узлы присоединения жёстких шин к аппаратам, а также жёстких и гибких проводников к трубчатым шинам (узлы ответвлений) и другие элементы производства «Arruti Sabestaciones, S.A.» выполняются для шин различных диаметров — от 80 до 250 мм — на рабочие токи до

**Рис. 11.** Типы изделий «Arruti Sabestaciones, S. A.»



а) алюминиевые;  
б) бронзовые;  
в) биметаллические

8000 А, для напряжений до 500 кВ из алюминиевых сплавов (рис. 10, 11, а). Следует отметить, что налаженное производство позволяет в кратчайшие сроки изготавливать изделия на диаметры шин, рабочие токи и напряжения, не представленные в основном каталоге продукции. В частности, при создании в России ошиновки на 4000 А испанскими партнёрами были оперативно модернизированы и специально изготовлены узлы с учётом выдвинутых проектировщиками требований.

Для ОРУ, работающих в условиях, требующих применения медных проводников (например, в зоне морских побережий, химического производства и др.), «Arruti Sabestaciones, S. A.» разработаны серии узлов из бронзы (рис. 11, б), а также из двух металлов (рис. 11, в — биметаллические), одна часть которых сделана из бронзы, другая из алюминиевого сплава. Такие узлы предназначены для шинных конструкций и токопроводов на напряжение до 110 кВ (включительно). При необходимости компания изготавливает изделия и на более высокие классы напряжения.

Ассортимент продукции позволяет обеспечить все возможные варианты соединений гибких и жёстких проводников, а также присоединений к аппаратам (рис. 12):

- изделия для соединения двух гибких проводников, а также присоединения гибких проводников к жёстким шинам;
- соединения перпендикулярных шин;
- узлы прямых соединений жёстких шин с аппаратами;
- узлы присоединения проводов к аппаратам под углом (в том числе 90 и 45°);
- узлы присоединения расщеплённых проводников на два или три провода;
- Т-образные соединения как гибких, так и жёстких проводников;
- присоединения к аппаратам с компенсацией температурных деформаций шин;
- шинодержатели;
- контакты заземляющих устройств и другие.

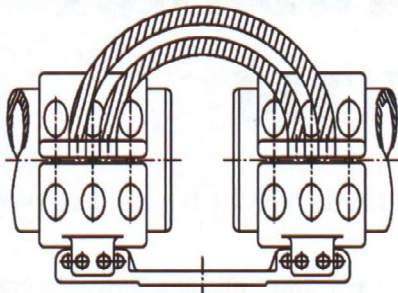
Таким образом, применение современных узлов крепления шин позволяет существенно расширить компоновки ОРУ, создать оригинальные конструктивные решения, применять жёсткую ошиновку при больших рабочих токах.

Для повышения номинальных токов и снижения диаметров проводников (а также их массы) как внутричечковых связей, так и сборных шин в ряде случаев целесообразно применение сплавов группы Al-Mg-Si (АВТ, АВТ1, АД31Т1, АД35Т, АД35Т1, 6063—Т6 и др.), имеющих большую проводимость, чем сплавы группы Al-Zn-Mg (1911, 1915, 1915Т и др.), обычно используемые в России для изготовления шин 110 кВ и выше. Наиболее эффективна замена сплавов для сборных шин с рабочими токами 3150 А и выше.

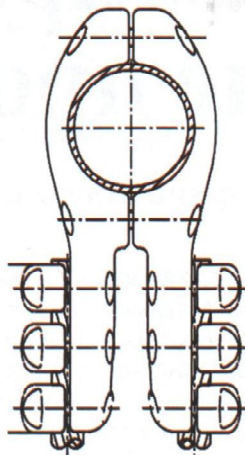
Применение зарубежных узлов крепления шин позволило в кратчайшие сроки разработать и внедрить первую отечественную конструкцию с жёсткой ошиновкой ОРУ с рабочим током 4000 А.

Ведущие отечественные производители жёсткой ошиновки идут по пути использования отдельных узлов, изготовленных за рубежом. Широкое применение современных узлов создаст экономические предпосылки развёртывания производства шинодержателей, компенсаторов, узлов присоединения жёстких шин к аппаратам, а также жёстких и гибких проводников к трубчатым шинам (узлы ответвлений) и другие элементы производства «Arruti Sabestaciones, S.A.»

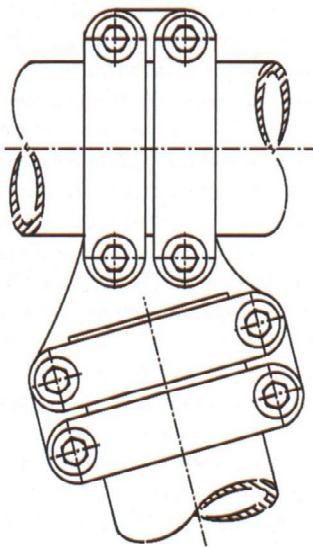
Рис. 12. Узлы крепления жёсткой ошиновки



а) на изоляторах



в) гибких ответвлений



б) жёстких ответвлений под углом

саторов и других элементов жёсткой ошиновки, соответствующих мировому уровню, на отечественных предприятиях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Долин А.П., Шонгин Г.Ф. Открытые распределительные устройства с жёсткой ошиновкой. М.: Энергоатомиздат, 1988.
2. Долин А.П., Егорова Л.Е. Анализ конструкций и опыт проведения расчётов и испытаний жёсткой ошиновки 110 кВ и выше // Энергетик, 2010, № 8, с. 36–39.

3. Долин А.П., Егорова Л.Е. Конструктивные особенности и опыт аналитических и экспериментальных исследований жёсткой ошиновки ОРУ 110–500 кВ // «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение», 2011, № 8, с. 76–81.
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. СТО 56947007-29.060.10.005-2008. Руководящий документ по проектированию жёсткой ошиновки ОРУ 110–500 кВ. ОАО «ФСК ЕЭС», 2008 г.
6. СТО 56947007-29.060.10.117-2012 «Типовые программы и методики квалификационных, периодических и приёмосдаточных испытаний жёсткой ошиновки ОРУ и ЗРУ 110–500 кВ». ОАО «ФСК ЕЭС», 2012 г.
7. ГОСТ 8024-90. Нормы нагрева при продолжительном режиме работы и методы испытаний, 1990 г.
8. ГОСТ Р 52736 – 2007. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчёта электродинамического и термического действия тока КЗ, 2007 г. [6]



ТРАВЭК

Международная Ассоциация производителей  
высоковольтного электротехнического оборудования

## XIV Международная научно-техническая конференция

«ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА, АВТОМАТИКА  
И ВЫСОКОВОЛЬТНОЕ КОММУТАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ»

7-8

ноября 2012 г.

Гостиница  
«Холидей Инн Сокольники»  
Москва, ул. Русаковская, 24

Конференция проводится при поддержке Российской академии наук, Академии электротехнических наук РФ, Министерства энергетики РФ, ОАО «ФСК ЕЭС», ОАО «Холдинг МРСК».

## Тематическая направленность конференции:

1. Технологии создания «интеллектуальных» электроэнергетических систем (ЭЭС).
2. Технологии Smart Grid. Опыт внедрения и перспективы развития.
3. Управляемое силовое электротехническое оборудование для электроэнергетики:
  - управляемые шунтирующие реакторы;
  - управляемые статические компенсаторы реактивной мощности;
  - фазоповоротные трансформаторы;
  - управляемые устройства продольной компенсации;
  - СТАТКОМы;
  - накопители электрической энергии.
4. Автоматизированные системы управления ЭЭС, подстанционного оборудования и электроснабжения потребителей.
5. Микропроцессорные системы противоаварийного управления ЭЭС.
6. Микропроцессорные системы защит, мониторинга, диагностики и управления электроэнергетическими объектами, сетями и системами.
7. Высоковольтное коммутационное оборудование на напряжение 10-1150 кВ.
  - элегазовые комплектные распределительные устройства;
  - колонковые и баковые элегазовые выключатели;
  - вакуумные выключатели;
  - высоковольтные разъединители;
  - комплектные распределительные устройства на напряжение 10-35 кВ;
  - выключатели нагрузки;
  - диагностика коммутационного оборудования;
  - интеллектуальное коммутационное оборудование.
8. Токоограничители для электрических сетей 10-220 кВ.
9. Опыт эксплуатации систем автоматики и коммутационного оборудования.
10. Вопросы рынка управляемого силового и коммутационного электротехнического оборудования.

Оргкомитет  
конференцииАдрес: 107023, г. Москва, Электrozаводская ул., 21  
Тел./факс: +7 (495) 777-82-85, 777-82-00 (доб. 27-93, 26-43)E-mail: travek@elektrozavod.ru,  
www.travek.elektrozavod.ru