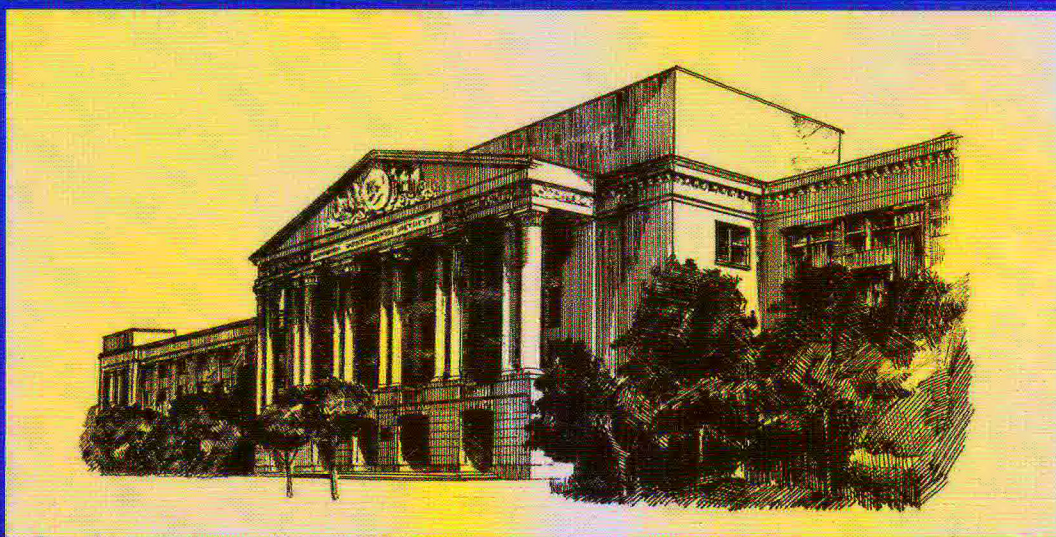


1 - 3 июня 2010 г.
Москва, МЭИ (ТУ)

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

МЭИ

Цырук С.А., Матюнина Ю.В., Кошарная Ю.В.

Особенности действующего законодательства Российской Федерации в вопросах технологического присоединения потребителей электроэнергии к электрическим сетям субъектов электроэнергетики.... 62

Чемборисова Н.Ш., Чистякова Ю.Ю.

Использование «жестких» узлов для упрощения решения задачи ограничения токов короткого замыкания 66

Штыков В.В.

Пассивные беспроводные пьезодатчики для энергетики..... 67

Секция №6

РАЗВИТИЕ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Алфёров Д.Ф., Иванов В.П., Мазуренко А.К., Остапенко Е.И., Шульга А.Р., Шульга Р.Н.

Разработка комплекса электротехнического оборудования для распределительных подстанций 110-220 кВ нового поколения 73

Геворкян В.М.

Применение автоматического комплексного измерительного устройства для учета количества, мониторинга качества и долевого вклада субъектов высоковольтных сетей в искажение качества электроэнергии..... 76

Герасимов А.С., Есипович А.Х., Кабанов Д.А.

Использование ЦАФК для повышения уровня системной надежности ЕЭС России 80

Герасимов А.С., Есипович А.Х., Смирнов А.Н.

К вопросу о критериях достоверности динамических моделей сложных энергообъединений 84

Дьяков А.Ф.

Основные направления повышения надежности и эффективности развития электрических станций и энергетических систем 88

Зеленохат О.Н., Севостьянов А.О.

Управление асинхронным ходом по межсистемным связям в сложной электроэнергетической системе 93

Зеленохат О.Н., Лянзберг С.В.

Разработка алгоритмов управления возбуждением генераторов с применением метода структурной аналогии..... 97

Ильиных М.В., Сарин Л.И., Ширковец А.И.

Анализ повреждений кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена в сети 35 кВ металлургического завода 101

Карташёв И.И., Нгуен Динь Дык

Трансформатор как источник высших гармоник при несимметричных режимах 104

Карташёв И.И., Салтыков А.В., Салтыков В.М.

Рациональное использование электрооборудования подстанций при питании дуговых сталеплавильных печей 108

Крюков К.В., Сазонов В.В., Кваснюк А.А.

Использование фотоэлектрических преобразователей в системах электроснабжения 111

Лазарев Н.С., Лытаев Р.А., Мазуренко А.К., Мустафа Г.М., Шульга Р.Н.

Направления модернизации и реконструкции преобразовательных блоков Выборгской вставки постоянного тока..... 113

АНАЛИЗ ПОВРЕЖДЕНИЙ КАБЕЛЯ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА В СЕТИ 35 кВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ЗАВОДА

АННОТАЦИЯ

Изложены результаты комплексных исследований работы линии 35 кВ питания ДСП-80 крупного металлургического завода, выполненной с использованием однофазных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена. Выполнен анализ повреждений кабелей, определены основные причины повреждений, разработаны мероприятия по предотвращению подобных повреждений в дальнейшем с целью повышения надежности электроснабжения ДСП-80 в целом.

1. ВВЕДЕНИЕ

В 2008 г. при совместной работе специалистов цеха электроснабжения электротехнической лаборатории металлургического завода и ООО «ПНП Болид» в рамках договора была выполнена работа «Исследование и разработка мероприятий по повышению надежности электроснабжения печи ДСП-80».

После ввода в эксплуатацию кабельной линии, питающей печь, практически сразу стали происходить пробои кабельных муфт и самих кабелей. Кроме этого, неоднократно происходили аварийные повреждения конденсаторов фильтров на СТК-35 кВ. Это приводило к незапланированному простою ДСП-80, недоставке продукции и значительным экономическим потерям. Остро встал вопрос повышения надежности электроснабжения печи ДСП-80, а особенно эксплуатационной надежности силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена в сети 35 кВ ПС «Электросталь» и конденсаторов батарей фильтров СТК.

Для решения указанных задач необходимо было разобраться в причинах, вызывающих повреждение оборудования, и разработать комплекс мероприятий по повышению надежности его работы.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОТЫ КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА 35 кВ

Линия 35 кВ питания ДСП-80 от ПС «Электросталь» выполнена с использованием семи однофазных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) типа АПВнг2г 1х630/35-35 кВ (один однофазный кабель - резервный). Кабельная линия была выполнена из двух участков (1 участок - от ячейки до реактора, расположенного на ОРУ, 2 участок - от реактора до ДСП-80), без транспозиции, с заземлением экранов кабелей с двух сторон. Такое конструктивное выполнение линии из одножильных кабелей с изоляцией из СПЭ и заземлением экранов кабелей с двух сторон приводит к появлению в экранах кабеля в нормальном симметричном режиме значительных

токов. Появление таких токов приводит к нарушению теплового режима кабеля, повреждению оболочки кабеля и основной изоляции жилы кабеля.

Проведенный анализ различных видов обследований линии присоединения ДСП-80 позволяет выделить ряд основных причин, приведших к возникновению дефектов и повреждениям линии.

1. Грубые ошибки монтажа кабельной линии фидера ДСП-80:

- несоответствие фактической укладки КЛ проекту.

Согласно проекту на каждую фазу протянуты две нитки кабеля АПВнг-1(1х630), по три кабеля уложены в «треугольник». Осмотр трассы показал, что фактически укладку КЛ нельзя считать соответствующей проекту: на некоторых участках все шесть кабелей проходят рядом в одном кабельном лотке, в том числе на участках «подъема-спуска». Здесь кабели зачастую ложатся на ребро полки, что приводит к повреждению их внешних оболочек;

- неправильная опрессовка токопроводящих жил кабеля.

Наконечники фирмы АВВ, которые были установлены на жилах каждой фазы кабеля, требуют специальной техники для опрессовки, длина опрессованного участка должна составлять 90 мм. Фактически при монтаже кабеля были опрессованы участки длиной 40-45 мм (т.е. в 2 раза меньше, чем нужно), а вместо 6-гранной опрессовки сделана 2-гранная. Проблема была устранена после перехода на опрессователи фирмы REUSHEM, монтаж которых достаточно прост, а потому надежен;

- нарушение допустимого радиуса изгиба кабеля.

При выходе КЛ на эстакаду и по трассе угол изгиба достигал иногда практически 90 градусов при несоблюдении минимального радиуса изгиба, в связи с чем механическая нагрузка была излишней, что вызывало местный перегрев изоляции.

Проблема была решена путем переукладывания кабелей таким образом, чтобы угол изгиба соответствовал минимальному радиусу изгиба согласно требованиям организации-изготовителя (порядка 900 мм). Но, к сожалению, из-за нарушений требований по минимальным радиусам изгиба в изоляции кабелей уже образовались дефекты.

Была ли проверена «геометрия» прокладок кабелей по трассе с оборудованием мест «подъема-спуска» специальными желобами и установкой прокладок из эластичного материала под скобы и хомуты, неизвестно.

2. Нарушение теплового режима кабельной линии по причине протекания сверхтоков в экранах кабелей 35 кВ фидера ДСП-80.

Вследствие переменной нагрузки исследуемой кабельной линии АПВВнг-35-6(1х630/35), обусловленной режимами работы печной установки, рабочий ток фазы и соответственно ток жилы каждой нитки кабельной линии, может значительно меняться – от единиц до сотен ампер. Поэтому токи в экранах кабеля также изменяются, однако составляют значительную долю от тока жилы – около 60 % при условии двустороннего заземления экрана. Соответственно при малом сечении экрана это приводит к его значительному перегреву с ускоренным старением изоляции кабеля.

Проблема сверхтоков в экранах кабелей линии на ДСП-80 была решена путем одностороннего разземления их экранов со стороны ПС «Электросталь». В результате произошло снижение токов в экранах кабелей со 180-270 А (386 А расчетно при максимальной нагрузке печного трансформатора) до 8-10 А (2-3 А расчетно при тех же условиях). Следует отметить, что установка ОПН со стороны разземленных концов экранов для защиты изоляции в сетях 6-35 кВ не требуется [1].

Однако при одностороннем разземлении экрана возникает проблема появления напряжения на его незаземленном конце. Расчеты показали, что оно составляет 135 В в нормальном режиме (ток нагрузки по каждой нитке кабеля 660 А) и 3,92 кВ в режиме трехфазного к.з. (ток к.з. 19,2 кА). Это напряжение существенно превышает допустимое при возможности прикосновения к экрану кабеля персонала – 24 В. Поэтому при одностороннем разземлении экранов кабелей АПВВнг-35-6(1х630/35) в сети 35 кВ необходимо обеспечить недопустимость прикосновения человека к экрану кабеля. В противном случае экран каждой нитки кабеля 35 кВ следует заземлить с двух сторон и решать проблему сверхтоков в экранах однофазных кабелей другим способом.

3. Воздействие на изоляцию кабелей АПВВнг-35-6(1х630/35) высокочастотных перенапряжений при коммутациях элегазового выключателя линии 35 кВ типа HD4/Z ABB и выключателя печного трансформатора типа ISF2 40,5 kV/2500 A *Schneider Electric*.

Установленные в ячейках ЗРУ-35 кВ ПС «Электросталь» ОПН МК-36 согласно экспериментам не обеспечивают должного уровня ограничения коммутационных перенапряжений, которые фактически превышают $4U_{\phi}$ (80,8 кВ). Перенапряжения, воздействующие на линию 35 кВ при коммутациях выключателя печного трансформатора, как показали экспериментальные исследования, невелики (либо вовсе отсутствуют), однако при частых коммутациях печного трансформатора их воздействие на изоляцию СПЭ также крайне неблагоприятно. Отметим, что число коммутаций выключателя печного РУ 35 кВ, работающего на фидере ДСП, со-

ставляло до 400 раз в сутки (в среднем каждые 3,5 мин) и было снижено с целью облегчения условий работы изоляции КЛ-35 кВ.

Для определения остаточного ресурса было проведено диагностическое обследование кабеля методами неразрушающего контроля с определением уровня частичных разрядов и локализацией месторасположения проблемных мест с помощью специализированной аппаратуры *OWTS* и *CDS*.

Результаты диагностического обследования кабельной линии 35 кВ фидера ДСП-80 показали наличие мест с повышенным уровнем ЧР в различных местах кабелей, зафиксированы признаки снижения ресурса изоляции двух рабочих кабелей АПВВнг-35-1(1х630/35) из шести, находящихся в эксплуатации (без учета резервного кабеля). В области риска по уровню частичных разрядов в изоляции оказались две концевые муфты – на резервной нитке кабеля со стороны ДСП-80 и на одной из ниток фазы «С» со стороны ПС «Электросталь». Ниже приведена сводная таблица с данными обследования (табл. 1).

Указанные дефекты были зафиксированы после 1,5 лет эксплуатации кабеля АПВВнг-35-6(1х630/35) и осуществленных мероприятий по частичному устранению ошибок монтажа, изменению режима заземления экранов и нескольких ремонтов с установкой муфт по трассе кабеля. После проведения ремонтов рекомендована повторная диагностика в целях проверки качества монтажа.

3. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДСП-80

В итоге для сети 35 кВ ПС «Электросталь» были обобщены результаты различных диагностических обследований кабелей линии 35 кВ ДСП-80. Выявлены дефекты изоляции кабеля, внешней изоляции экрана кабелей, кабельных муфт, обнаружены признаки снижения ресурса изоляции кабелей. Также были рассмотрены причины повреждения кабелей линии 35 кВ ДСП-80, проанализированы выполненные мероприятия по их устранению и разработаны дополнительные мероприятия по повышению надежности электроснабжения ДСП-80:

- осуществить прокладку резервной кабельной линии;
- для обеспечения высокой эксплуатационной надежности применять в сети 35 кВ электроснабжения ДСП-80 кабелей из сшитого полиэтилена на напряжение не менее 50 кВ;
- выполнить эффективное ограничение перенапряжений в сети 35 кВ ДСП-80.

Таблица 1. Результаты диагностического обследования КЛ-35 кВ АПвВнг-6(1х630) фидера ДСП-80 с помощью специализированной аппаратуры *OWTS* и *CDS*

КЛ-35 кВ, длина	Заключение, рекомендации	Техсостояние изоляции на отметке от ПС «Электросталь», м (место ослабления изоляции)		
		Фаза «А»	Фаза «В»	Фаза «С»
КЛ-1 АПвВнг-3(1х630), 1080 м	Заключение по результатам появления локальных ЧР	Область риска 10-25 м	Предельная область риска 0-21 м	Предельная область риска 570-584 м
	Заключение по результатам обследования методом тока релаксации	Признаков сниженного ресурса изоляции не зафиксировано	Снижен ресурс изоляции	Неудовлетворительное состояние изоляции
	Рекомендации	Ремонт фазы на указанных отметках в течение года	Срочный ремонт фазы на отметках 0-21 м	Срочный ремонт фазы на отметках 570-584 м
КЛ-2 АПвВнг-3(1х630), 1076 м	Заключение по результатам появления локальных ЧР	Предельная область риска 4-25 м	Область риска 4-23 м	ЧР возникают при напряжениях выше уровня фазного. Область риска – концевая муфта со стороны ДСП-80
	Заключение по результатам обследования методом тока релаксации	Признаков сниженного ресурса изоляции не зафиксировано		
	Рекомендации	Срочный ремонт фазы на отметках 0-25 м	Срочный ремонт фазы на отметках 0-23 м	Ремонт концевой муфты со стороны ДСП-80 в течение года
Резервная нитка АПвВнг-1(1х630), 1082 м	Заключение по результатам появления локальных ЧР	В изоляции концевой муфты со стороны ПС «Электросталь» зафиксированы ЧР при номинальном фазном напряжении. Предельная область риска - концевая муфта со стороны ПС «Электросталь»		
	Заключение по результатам обследования методом тока релаксации	Признаков сниженного ресурса изоляции не зафиксировано		
	Рекомендации	Ремонт концевой муфты со стороны ПС «Электросталь»		

Для ограничения перенапряжений при однофазных замыканиях на землю и времени их воздействия рекомендовано изменить номинал резистора, установленного в нейтрали сети 35 кВ ПС «Электросталь». Принимая во внимание необходимость повышения ресурса кабельной изоляции линии 35 кВ, питающей ДСП-80, и ввода в эксплуатацию (в дальнейшем) резервной линии на ДСП-80 с уровнем изоляции 35 кВ, что определяет согласно стандарту IEC (МЭК) 60502-2 [2] кратковременную работу кабеля в режимах ОЗЗ, был проведен комплекс расчетов по определению соответствующего номинала резистора. Такое заземление нейтрали позволит отключать любое замыкание на землю в сети 35 кВ электроснабжения ДСП-80 мгновенно либо с выдержкой времени.

Основываясь на результатах расчётов, было рекомендовано с целью повышения надежности электроснабжения ДСП-80 за счет существенного ограничения длительности ОЗЗ и кардинального снижения уровня возникающих перенапряжений при ОДЗ в сети 35 кВ ПС «Электросталь» использование включенного в нейтраль резистора типа РЗ номиналом 1000 Ом, рассчитанного на кратковременную работу в режиме однофазного замыкания на землю. В качестве нейтралеобразующего уст-

ройства можно использовать установленный на ОРУ-35 кВ трансформатор ТМГ-1000/35. При этом ДГР типа РЗДПОМ-700/35 на ПС «Электросталь» должен быть выведен из эксплуатации, поскольку применение дугогасящих аппаратов на тупиковых подстанциях с одной линией (в данном случае линия электроснабжения ДСП-80) не допускается согласно ПУЭ.

Для ограничения коммутационных высокочастотных перенапряжений рекомендовано выполнить установку дополнительных ОПН. Расчеты показали, что защита от перенапряжений в выявленных по результатам замеров «проблемных» точках будет обеспечена с помощью аппарата типа ОПН-35/40,5-10(II) УХЛ1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриев М.В., Евдокунин Г.А. Расчет заземления экранов однофазных силовых кабелей 6-500 кВ // Новости электротехники. 2007. №2(44). С.124-128.
2. Международный стандарт МЭК (IEC) 60502-2. Силовые кабели с экструдированной и арматура на номинальное напряжение от 1 кВ ($U_m = 1,2$ кВ) до 30 кВ ($U_m = 36$ кВ) /Часть 2.