

Федеральная
Сетевая Компания



Единой
Энергетической Системы

«Особенности эксплуатации кабельно-воздушных линий с СПЭ изоляцией 110 кВ и выше»

Заместитель главного
инженера по эксплуатации
основного оборудования
ПАО «ФСК ЕЭС»

Епифанов А.М.

г. Сочи, 2016 год



1. Объемы обслуживания КЛ (кабельных участков КВЛ) ПАО «ФСК ЕЭС».
2. Аварийность ПАО «ФСК ЕЭС».
3. Нормативно-техническая документация.
4. Зарядная емкость кабельных линий.
5. Автоматическое повторное включение (АПВ) на кабельно-воздушных линиях 110 кВ и выше.

Объемы обслуживания ПАО «ФСК ЕЭС»

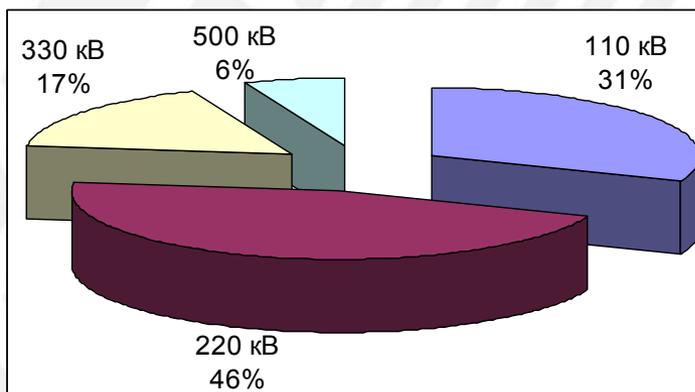
Кабельные линии, кабельные участки КВЛ



	Количество КЛ, шт.						Протяженность КЛ, км					
	10 кВ	35 кВ	110 кВ	220 кВ	330 кВ	500 кВ	10 кВ	35 кВ	110 кВ	220 кВ	330 кВ	500 кВ
МЭС Востока	9			16			1,7			42,5		
Амурское ПМЭС	2			8			0,2			1,1		
Хабаровское ПМЭС	2			2			0,9			4,2		
Приморское ПМЭС	5			6			0,6			37,2		
МЭС Урала	2			2		2	4,0			0,3		1,1
Пермское ПМЭС				2						0,3		
Свердловское ПМЭС	2						4,0					
Южно Уральское ПМЭС						2						1,1
МЭС Волги				4						1,3		
Нижегородское ПМЭС				4						1,3		
МЭС Юга	413		18				448,4		107,4			
Сочинское ПМЭС	413		18				448,4		107,4			
МЭС Центра			51	85		9			12,2	124,1		24,1
Вологодское ПМЭС			18	13					1,9	1,2		
Московское ПМЭС			33	71		8			10,3	122,6		23,9
Приокское ПМЭС				1		1				0,3		0,2
МЭС Северо-Запада	18	2	24	9	16		62,3	98,5	9,1	20,8	70,3	
Карельское ПМЭС	18	2					62,3	98,5				
Ленинградское ПМЭС			24	9	16				9,1	20,8	70,3	
ИТОГО ПАО "ФСК ЕЭС"	442	2	93	116	16	11	516	99	129	189	70	25

В эксплуатации ПАО «ФСК ЕЭС» находится более 1 тыс. км кабельных линий с СПЭ изоляцией, в том числе:

- КЛ 500 кВ - 25 км;
- КЛ 330 кВ - 70 км;
- КЛ 220 кВ - 189 км;
- КЛ 110 кВ - 129 км.



Объемы обслуживания ПАО «ФСК ЕЭС»

Подводные кабельные участки КВЛ

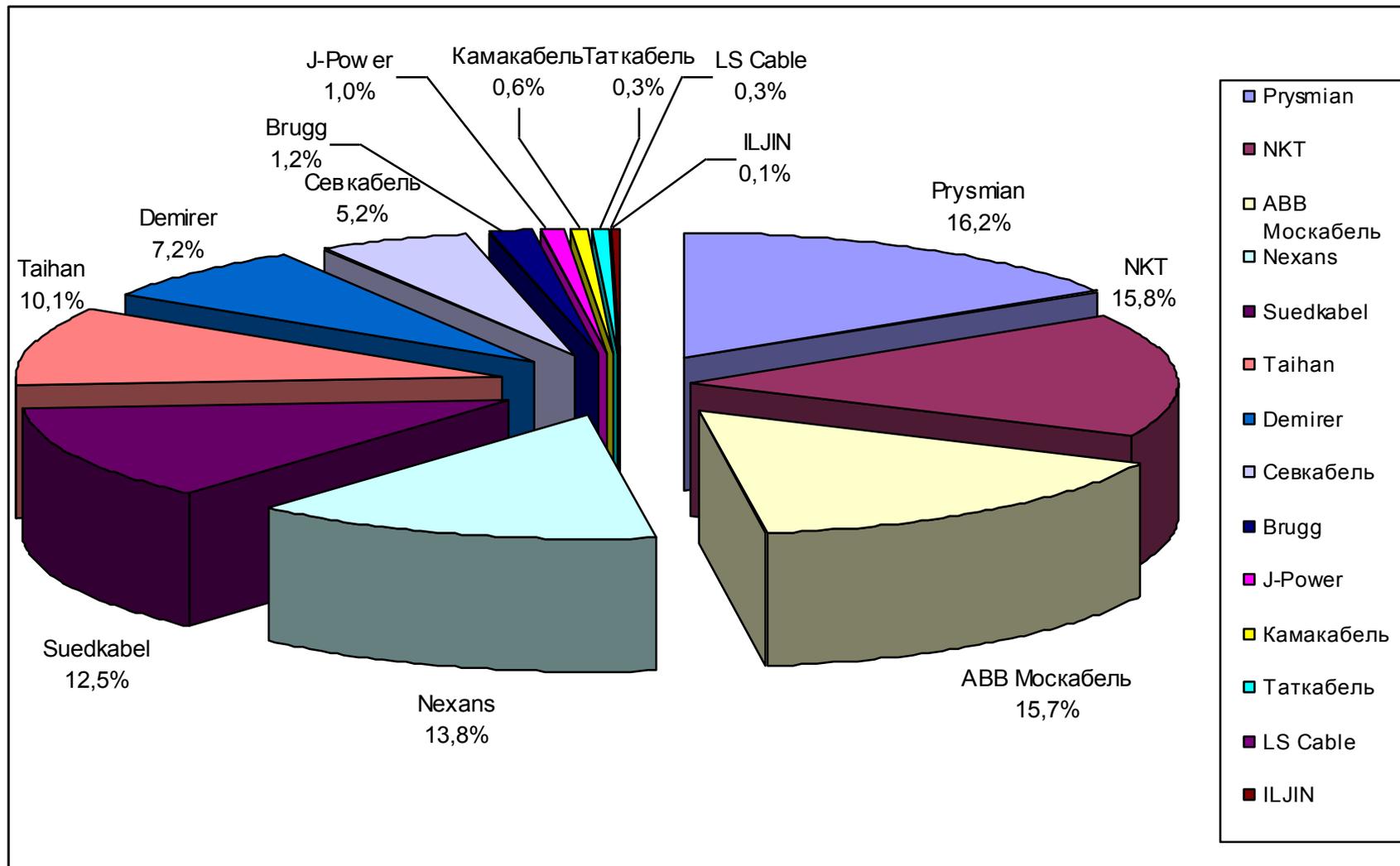


В том числе в эксплуатации ПАО «ФСК ЕЭС» находится 63 км подводных кабельных участков, а именно:

№ п/п	Наименование МЭС, ПМЭС	Наименование КЛ	Год ввода	Марка кабеля	Тип изоляции	Производитель кабеля	Длина, м
1	МЭС Востока Приморское ПМЭС	КЛ 220 кВ Патрокл - Русская	2011	WCLWA 3x500	СПЭ	J-Power Systems (Япония)	2 060
2	МЭС Востока Приморское ПМЭС	КВЛ 220 кВ Зеленый угол - Русская	2011	WCLWA 3x500	СПЭ	J-Power Systems (Япония)	2 060
3	МЭС Северо-Запада Ленинградское ПМЭС	КЛ 330 кВ Северная-Василеостровская	2014	HXLKMGJ-W 1x2000 330 kV	СПЭ	Prysmian (Голландия)	4 178
4	МЭС Северо-Запада Карельское ПМЭС	КВЛ 35 кВ Ляскеля - о.Валаам I цепь	2011	HXYLKPJ-W/24F 3*95	СПЭ	Prysmian (Голландия)	27 250
5	МЭС Северо-Запада Карельское ПМЭС	КВЛ 35 кВ Ляскеля - о.Валаам II цепь	2011	HXYLKPJ-W/24F 3*95	СПЭ	Prysmian (Голландия)	27 250

Объемы обслуживания ПАО «ФСК ЕЭС»

Распределение по производителям кабеля 110-500 кВ

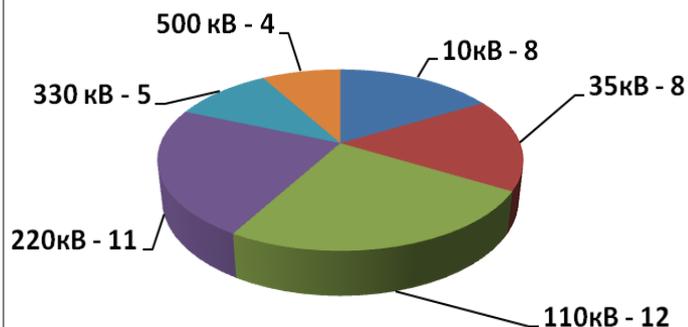


Аварийность ПАО «ФСК ЕЭС»

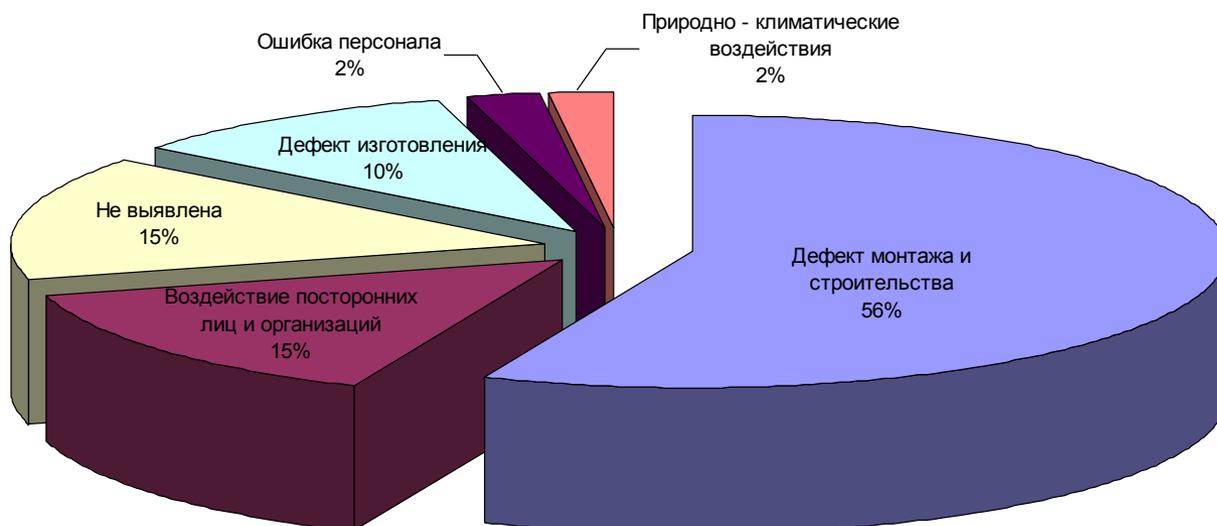
Статистика за 2013-2015 годы



Аварийность на КЛ из сшитого полиэтилена за 2013-2015 гг.



По существующей статистике повреждения кабеля и кабельной арматуры в основном связаны с дефектами прокладки и монтажа (отсутствует соответствующая культура производства работ строительными-монтажными организациями) и механическими повреждениями в результате воздействия сторонних организаций (несанкционированное проведение земляных работ). В отдельных случаях причиной повреждений является дефект изготовления (производства).





1	<p>СО 153-34.20.120-2003 Правила устройства электроустановок (ПУЭ), 6 издание (в ПУЭ 7 издания раздел по КЛ отсутствует)</p>	<p>Глава 2.3 «Кабельные линии напряжением до 220 кВ» не распространяется на кабельные силовые линии 220 кВ и выше. В соответствии с данной главой кабельные линии более высоких напряжений выполняются по специальным проектам.</p>	<p>Необходимость разработки требований по устройству КЛ напряжением 220 – 500 кВ выполненных с применением силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ).</p>
2	<p>СО 153-34.20.501-2003 (РД 34.20.501-95) Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации</p>	<p>Глава 5.8 «Силовые кабельные линии» распространяется на маслонаполненные кабельные линии 110 кВ и выше и кабельные линии до 10 кВ включительно с пропитанной бумажной изоляцией, с изоляцией из полиэтилена, ПВХ, резины. Не рассмотрены требования по особенностям эксплуатации силовых КЛ выполненных с применением кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена.</p>	<p>Необходимость внесения изменений в части особенностей эксплуатации силовых КЛ выполненных с применением кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ).</p>
3	<p>СО 34.45-51.300-97 (РД 34.45-51.300-97) Объем и нормы испытаний электрооборудования</p>	<p>Глава 29 «Силовые кабельные линии» распространяется на кабельные линии с пластмассовой изоляцией. Не рассмотрены требования по проведению измерений и испытаний силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена.</p>	<p>Необходимость внесения требований по измерениям и испытаниям кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ).</p>



4	ГОСТ Р 55025-2012 Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение от 6 до 35 кВ включительно. Общие технические условия.		
5	ГОСТ Р (проект) Кабельные линии напряжением от 6 до 500 кВ. Требования к технологическому проектированию	проект редакции ГОСТ Р разработанный ОАО «Институт Энергосетьпроект»	

! Существующая нормативная база по силовым кабельным линиям выполненным с применением кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) несовершенна, требует доработки. В связи с этим обычной проблемой для многих электросетевых организаций, впервые сталкивающихся с данным типом кабеля, является вопрос их обслуживания.

Нормы приемо-сдаточных испытаний кабеля берутся из различных источников, в основном эти нормы определяются заводами-изготовителями кабелей на основе зарубежного опыта.



Для решения вопросов в области нормативно-технического обеспечения в ПАО «ФСК ЕЭС» в 2010-2015 г.г. были разработаны и введены в действие следующие внутренние стандарты организации:

- СТО 56947007-29.060.20.071-2011 Силовые кабельные линии напряжением 110-500 кВ. Условия создания. Нормы и требования;
- СТО 56947007-29.060.20.170-2014 Силовые кабельные линии напряжением 110-500 кВ. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования;
- СТО 56947007-29.060.20.10-2011 Силовые кабели. Методика расчета устройств заземления экранов, защиты от перенапряжений изоляции силовых кабелей на напряжение 110-500 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена;
- СТО 56947007-29.230.20.087-2011 Типовые технические требования к кабельным системам 110, 220, 330, 500 кВ;
- СТО 56947007-29.240.85.046-2010 Инструкция по эксплуатации силовых маслонаполненных кабельных линий напряжением 110-500 кВ;
- СТО 56947007-29.240.65.205-2015 Кабельные системы на напряжение 0,66-35 кВ. Типовые технические требования;
- СТО 56947007-29.060.20.020-2009 Методические указания по применению силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 10 кВ и выше.



По опыту эксплуатации КЛ в филиале ПАО «ФСК ЕЭС» - МЭС Юга

Текущие и перспективные балансы мощности Сочинского энергорайона определяют низкий уровень загрузки питающих сетей, что наряду с избыточной зарядной мощностью кабельных линий приводит к повышенным уровням напряжения в прилегающей сети 110-220 кВ.

В условиях исчерпания диапазона регулирования реактивной мощности на Адлерской и Сочинской ТЭС для предотвращения недопустимых повышений напряжения в сети Кубанским РДУ производятся действия по выводу КЛ в резерв без выполнения операций по заземлению (линия отключена выключателями с обеих сторон, заземляющие ножи в сторону КЛ не включены).

При последующем включении КЛ находившихся в резерве (отключенных и не заземленных) при подаче напряжения происходили неоднократные случаи пробоя соединительных транспозиционных кабельных муфт в первые часы работы КЛ.

№ п/п	Наименование КЛ	Ввод в эксплуатацию	Кол-во операций по выводу в резерв	Дата и время аварийного отключения	Оперативное состояние	Время с момента включения до повреждения	Поврежденный элемент
1	КЛ 110 кВ Псоу – Имеретинская	Октябрь 2011	526	23.11.2014 в 08:24	В резерве 10 дн.	н/д	транспозиционная муфта МТ 8
2	КЛ 110 кВ Роза Хутор – Спортивная № 1	Август 2013	505	25.11.2014 в 21:48	В резерве 66 дн.	н/д	соединительная муфта М 7
				21.10.2015 в 10:21	В резерве 130 дн.	71 мин	транспозиционная муфта МТ 10
3	КЛ 110 кВ Адлерская ТЭС – Ледовый дворец	Март 2013	279	05.11.2015 в 09:11	В резерве 6 дн.	0 мин 6 сек.	транспозиционная муфта МТ 1
				22.11.2015 в 11:18	В резерве 2 дн.	111 мин	транспозиционная муфта МТ 3
				04.12.2015 в 14:47	В ремонте 12 дн.	3 мин	транспозиционная муфта МТ 9



Кабель с СПЭ изоляцией имеет емкость, которая при включении КЛ под напряжение начинает заряжаться, при этом, на обкладках цилиндрического конденсатора (жила и экран) возникает разность потенциалов, которая зависит от времени и величины приложенного напряжения.

Далее, при отключении кабельной линии величина напряжения на обкладках конденсатора (жила и экран) начинает убывать и кабель постепенно разряжается.

При самостоятельном разряде (без заземления жилы), накопленный заряд кабеля будет разряжаться через токи утечки в изоляции, а учитывая большое значение сопротивления изоляции из СПЭ процесс саморазряда до безопасного напряжения может занимать месяцы.

Зарядная емкость КЛ

Расчетная модель



Зависимость напряжения на КЛ от времени саморазряда можно рассчитать следующим образом.

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon l}{\frac{\ln r_2}{r_1}}$$

C – емкость цилиндрического конденсатора;

ϵ_0 – электрическая постоянная;

ϵ – диэлектрическая проницаемость изоляции;

r_2 – радиус по изоляции;

r_1 – радиус по жиле;

l – длина.

$$U = U_0 * \exp\left(-\frac{t}{CR}\right)$$

U – напряжение на обкладках конденсатора при саморазряде;

U_0 – напряжение до которого конденсатор был заряжен;

t – время;

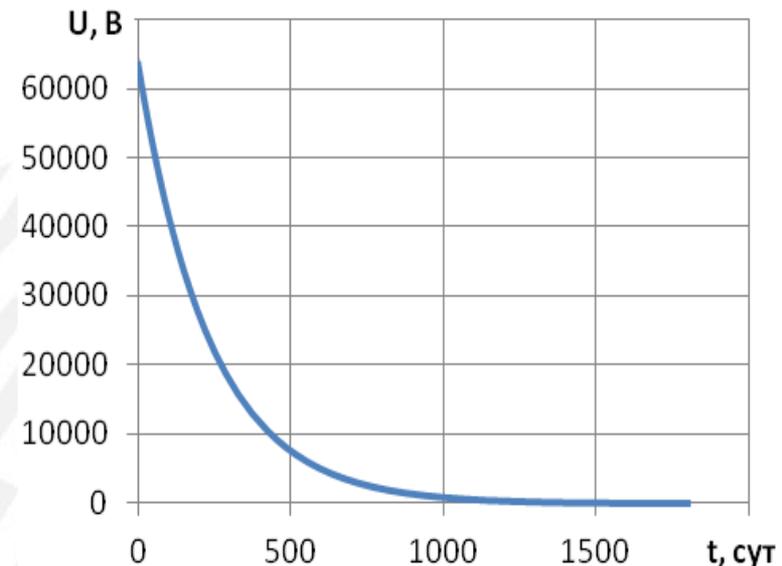
R – сопротивление изоляции.

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

ρ – удельное сопротивление изоляции.

Произведение CR есть постоянная времени саморазряда конденсатора $\tau = CR = \epsilon\epsilon_0\rho$. Эта величина равна промежутку времени, в течение которого напряжение на конденсаторе уменьшается в e (2,72) раз.

Для кабеля 110 кВ при условии его заряда до уровня фазного напряжения - 64 кВ можно привести следующий график зависимости напряжения на КЛ от времени саморазряда



! На графике видно, что процесс саморазряда КЛ с 64 кВ до 10 кВ длится более года!



Режим отключения КЛ без заземления приводит к сохранению остаточного напряжения на КЛ уровень которого может достигать фазного значения, а при последующем включении КЛ максимальный импульс напряжения может достигать двукратного значения при совпадении фазы напряжения сети с полярностью остаточного напряжения КЛ.

Для КЛ 110 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена данный уровень напряжения является испытательным, но с учетом скорости нарастания напряжения данный режим является более сложным, чем испытательный.

! В целях предупреждения повреждений кабельных линий при отключении и выводе КЛ в резерв необходимо производить их заземление для снятия остаточного зарядного напряжения.

Данные заключения подтверждаются также международными концернами и отечественными производителями кабельной продукции, имеющими значительный опыт в разработке, конструировании, производстве и проведении испытаний силового кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена и высоковольтной кабельной арматуры.

Зарядная емкость КЛ

Экспертное мнение



Заместителю главного инженера
по эксплуатации основного
оборудования ПАО «ФСК ЕЭС»
А.М. Епифанову

Иск. № ТК-08-1 от ИС.16
На № ЕА-7783 от 25.12.2015

В ответ на Ваше сообщение, что при приложении заряды в изоляции кабелей полноты напряжений существует в кабелях происходит ионизация именно для кабелей по которому добавлены до зарядов. Мы такие матер

Но так как кабель емкость начинает заряд достаточно долго, то на остается разность по приложенного напряжен обладаках начинает убыв

При самостоятельном будет разряжаться через изоляции из сшитого П занимает месяцы.

По общеизвестным саморазряда кабеля. Рад достигло фазного 64кВ.



ООО «КАМСКИЙ КАБЕЛЬ»
Банковские реквизиты:
ИНН 5504194047
КПП 550701001
ИД: 4070281094930032406
в г. Пермь, ул. Свободы, д. 2
Молдавского ОПС №1703
к/с 3010181090000000693
БИК 045779502

И.О. заместителя главного инженера по
эксплуатации основного оборудования,
начальнику Департамента воздушных линий
И.Н. Калиновскому

От 18.01.2016 № 71/97-03
На № 263 216 от 21.01.2016

Об аварийных отключениях КЛ

В ответ на Ваше письмо № 263 216 от 21.01.2016 можем сообщить следующее:

Возможными причинами выхода из строя кабельной арматуры могут быть отсутствие заземления КЛ в отключенном состоянии и частое воздействие коммутационных переклюжений при частых включениях и отключениях КЛ, кроме того в Вашем письме указано, что выводит из строя транспозиционные соединительные муфты, что говорит о возможном несоответствии установленных ОПН в ящиках транспозиции экранов фактическим напряжениям на экранах КЛ и ОПН на основную цепь. В связи с этим рекомендуем Вам:

1. После отключения кабельной линии от напряжения производить принудительное заземление жил и экранов для снятия остаточного потенциала.
2. Проверить соответствие установленных ОПН в ящиках транспозиции экранов фактическим напряжениям на экранах.
3. Проверить соответствие установленных ОПН в основной цепи, при отсутствии установить (защита изоляции КЛ).
4. Обратиться в ОАО «ВНИИКП» либо другой профильный институт за более детальным анализом причин аварийных отключений и разработкой соответствующих мероприятий.

С уважением,
Главный технолог

И. В. Буров

Иск. Боровос С.Л.
Тел. д/б. 24-80

614200, г. Пермь, ул. Галицкого, д. 105
телефоны: (342) 219-51-77, 214-31-47
e-mail: kamskabel@kamskabel.ru, www.kamskabel.ru



ПАО «ФСК ЕЭС»
Заместителю главного инженера
по эксплуатации основного оборудования
Епифанову А.М.

19 января 2016 г.
Иск. № 2016-01-19/001

Ответ на № ЕА-98 от 14.01.2016 г.

Уважаемый Андрей Михайлович,

В ответ на Ваше письмо № ЕА-98 от 14.01.2016 г. настоящим сообщаем, что в

м с изоляцией из сшитого каботы действительно могут лучше если в отключенном нии этих кабельных линий, заряды могут негативно рых случаях могут явиться ли кабельных муфт.

изоляции упомянутых выше ичим объемных зарядов в заземление этих линий в

то эксплуатация кабельных ании, данное письмо носит может рассматриваться как

ООО «Эстралин ПС»
111024, Москва
ул. 2-ая Кабельная, д.2, стр.24

тел: +7 495 956 25 25, факс: +7 495 956 26 26

www.estralin.com
Номер отправителя
ЗИК-16-043

Дата отправления
29.01.2016



ПАО «ФСК ЕЭС»
И.о. заместителя главного инженера
по эксплуатации основного оборудования,
начальник Департамента Воздушных линий
Калиновскому И.Н.

Ответ на письмо № 263/220 от 29.12.2015

Уважаемый Игорь Николаевич!

В ответ на Ваше письмо № 263/220 от 29.12.2015 сообщаем, что описанный режим эксплуатации кабельных линий (отключение без заземления с последующей постановкой под напряжение) является неблагоприятным с точки зрения надежности кабельной линии в целом. При таких режимах уровень перенапряжений, возникающих при включении кабельной линии, может достигать значений, превышающих более чем в два раза по отношению к фазному напряжению. Данный феномен связан с отражением и наложением коммутационного импульса, с наличием остаточного напряжения на КЛ, а также наведенного потенциала при наличии рядом расположенных линий электропередачи. Уровень перенапряжений и их характеристики, а также частота их возникновения значительно влияют на ресурс оборудования кабельной линии. Соединительные транспозиционные муфты являются точкой преломления и отражения коммутационного импульса, что также влияет на уровень перенапряжений непосредственно на соединительных муфтах. Поэтому перенапряжения могут привести к повреждению и выходу из строя соединительных транспозиционных муфт.

Основываясь на собственных и международных знаниях и опыте, рекомендуем производить заземление КЛ после отключения до момента постановки под напряжение.

С уважением

Менча А.С.
Технический директор

10052099 КПП 761001001 ОГРН 1027601107313
0281077190101125 в Рыбинском ОПС № 1576,
ый банк, Сбербанка РФ г. Ярославль
№ 7701087801, БИК 04784001



В большинстве случаев КЗ на ВЛ, вызванные нарушением изоляционных свойств воздушных промежутков, успешно самоликвидируются после снятия напряжения (происходит восстановление изоляционных свойств воздуха после погашения эл. дуги) и возможно восстановить нормальную работу таких ЛЭП кратковременно отключив поврежденную линию и повторно подав напряжение при цикле АПВ.

При повреждениях на КЛ или кабельных участках в составе ЛЭП, не происходит восстановление изоляционных свойств и повторная подача напряжения при цикле АПВ не повысит надежности работы КЛ, а приведет к дальнейшему распространению и увеличению объемов повреждений, в т.ч. возможному повреждению соседних целых фаз КЛ.

! Требования Правил устройства электроустановок (ПУЭ)

Согласно п.3.3.2 ПУЭ «Должно предусматриваться автоматическое повторное включение воздушных и смешанных (кабельно-воздушных) линий всех типов напряжением выше 1 кВ. Отказ от применения АПВ должен быть в каждом отдельном случае обоснован. Вопрос о применении АПВ на кабельных линиях 110 кВ и выше должен решаться при проектировании в каждом отдельном случае с учетом конкретных условий».



Применение автоматического повторного включения (АПВ) на кабельно-воздушных линиях 110 кВ ПАО «ФСК ЕЭС» и выше регламентируется:

- Протоколом заочного заседания Технического совета ПАО «ФСК ЕЭС» 07.04.2014 № ДВ-1640;

- Протоколом технического совещания представителей ОАО «СО ЕЭС», ПАО «Россети», ПАО «ФСК ЕЭС» от 12.10.2015 № ФА/116/662;

- Разъяснением ПАО «Россети» от 02.11.2015 № РС/87/986, в которых отражены следующие решения:

1. Применять АПВ КВЛ 110 кВ и выше, если кабельные участки используются только для захода КВЛ в КРУЭ.

2. В иных случаях, кроме указанных в п. 1 использовать АПВ КВЛ 110 кВ и выше при отсутствии на них кабельных участков с непосредственным соприкосновением кабелей разных фаз.

3. Для КВЛ 110 кВ и выше, указанных в п. 1, 2 считать не целесообразным применение устройств РЗА для выявления КЗ на кабельных участках КВЛ при проектировании объектов.



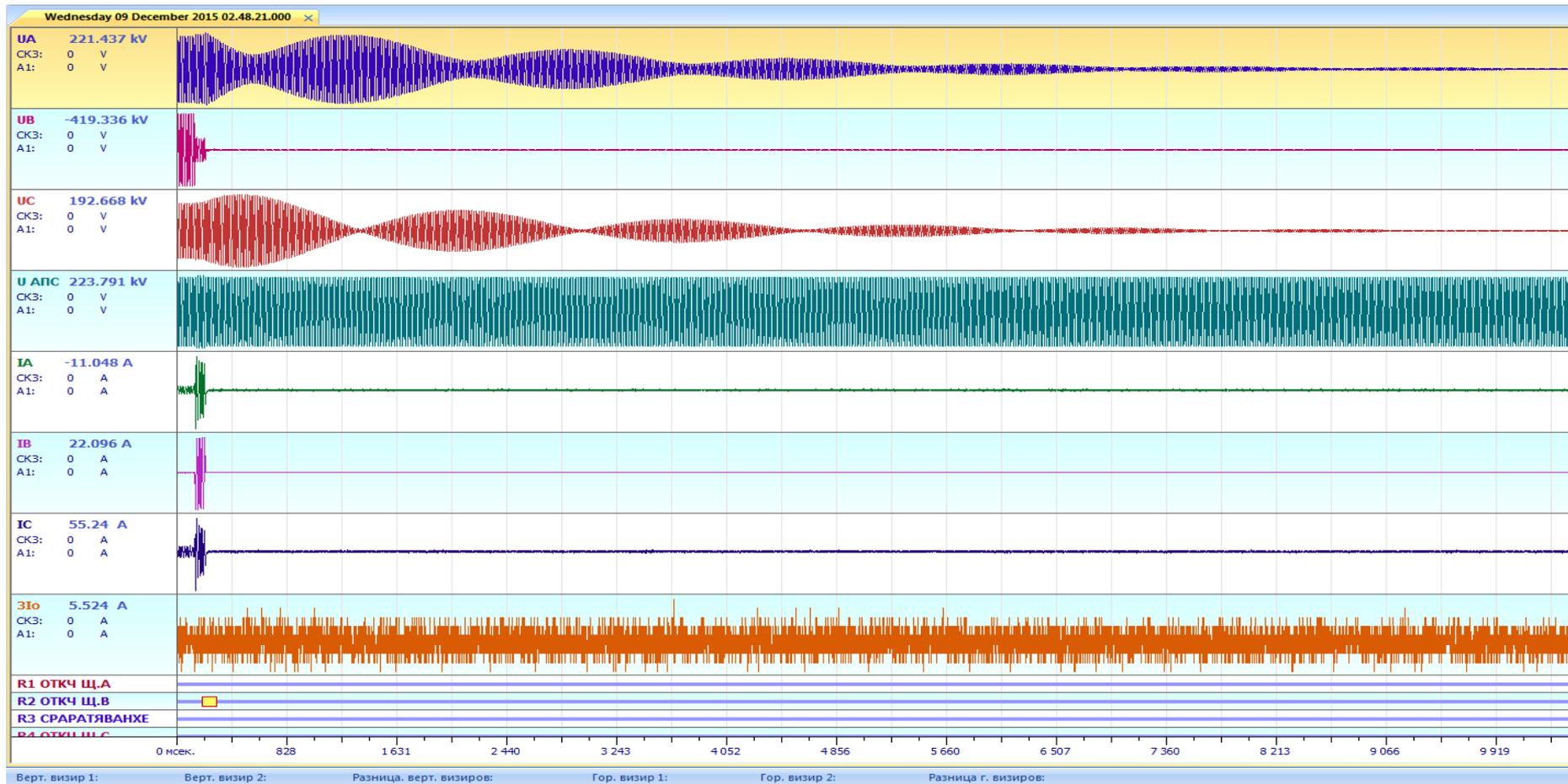
Однако целесообразность действия АПВ на КВЛ не так очевидна по следующему ряду причин:

- Во-первых, при отключении КВЛ на кабельном участке, как было указано на предыдущих слайдах, остается остаточный заряд.
- Во-вторых, если к КВЛ подключен шунтирующий реактор, то после отключения линии возникает медленно затухающий колебательный процесс разряда линии. При АПВ такой линии может возникнуть интенсивный переходный процесс с большими токами и перенапряжениями.

В качестве примера на следующем слайде приведена осциллограмма отключения КВЛ 500 кВ Западная-Очаково с включенным шунтирующим реактором.



Осциллограмма отключения КВЛ 500 кВ Западная-Очаково с включенным ШР



! При внедрении АПВ на КВЛ необходимо решение вопросов по снятию зарядной емкости линии за время бестоковой паузы до безопасных значений остаточного напряжения.



В настоящее время отсутствуют специализированные устройства, позволяющие реализовать систему АПВ КВЛ, обладающую свойством абсолютной селективности, т. е. запрещающую работу АПВ на всем протяжении кабельного участка линии и разрешающую работу АПВ на всем протяжении воздушного участка.

Для решения данного вопроса в ПАО «ФСК ЕЭС» инициировано проведение НИОКР на тему: **«Разработка и исследование системы селективного автоматического повторного включения для кабельно-воздушных линий электропередачи с напряжением 110 кВ и выше»**

Разрабатываемые методы и алгоритмы работы призваны повысить эффективность АПВ и предотвратить развитие аварий путем запрета АПВ при коротких замыканиях в кабелях, соединительных и концевых муфтах.



Спасибо за внимание!