Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей
"ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ"

КРИТЕРИИ И ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ПОДСТАНЦИЙ И ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Том I. Анализ стойкости электротехнического оборудования при землетрясениях и лабораторных испытаниях и предложения по повышению его стойкости.

№ I3 тм-тI

Главный инженер В.С.Ляшенко

Начальни ПТО Л.М.Кулаков

Москва, I996 г.

gost.e-ecolog.ru

Состав работы:

Том I.

Анализ стойкости электротехнического оборудования при землетрясениях и лабораторных испытаниях и предложения по повышению его стойкости*.

Том 3.

Критерии оценки сейсмостойкости подстанций и линий электропередач напряжением II0-500 кВ.

Том 5.

Основные технические требования к сейсмостойкости подстанций и линий электропередач напряжением II0-500 кВ.

*в работе принимали участие: Кулаков А.М., Мурашко Н.В., Панкрушин Е.В.

А Н Н О Т А Ц И Я

Работа "Критерии и основные технические требования к сейсмостойкости подстанций и линий электропередач" выполнена в соответствии с отраслевой научно-технической программой II "Сейсмостойкость энергетических объектов" и договором от 24.09.96. № 7I-96/245ф/ф.I0I2 института "Энергосетьпроект" с Внебюджетным фондом НИОКР Корпорации "Единый электроэнергетический комплекс".

Актуальность выполнения работы обусловлена необходимостью обеспечения требуемой сейсмостойкости подстанций и линий электропередач проектируемых и строящихся в регионах с уровнем сейсмичности 7, 8 и 9 баллов посредством разработки критериев и основных технических требований к сейсмостойкости подстанций и линий электропередач и реализации их при разработке сейсмостойкого электротехнического оборудования и разработке соответствующих технических решений при проектировании подстанций и линий электропередач в регионах с повышенным (более 6баллов) уровнем сейсмичности.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

Стр.

I. Материалы Армянского землетрясения..... 4

I.I. Краткая характеристика обследованных подстанций..... 4

I.2. Описание сейсмических воздействий..... 6

I.3. Интенсивность землетрясения на площадках подстанций..... 8

I.4. Общая характеристика повреждений электрооборудования..... I6

2. Материалы Кайраккумского землетрясения..... I7

3. Анализ сейсмостойкости строительных сооружений и конструкций..... 22

4. Предложения, обеспечивающие повышение сейсмостойкости подстанций..... 24

5. Требования к промышленности..... 28

6. Список литературы..... 30

I. МАТЕРИАЛЫ АРМЯНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 07.I2.88

Приведенные ниже материалы получены в результате обследования бригадой Минэнерго СССР в период со 2 по I2 января I989 г. подстанций напряжением 35 кВ и выше, находившихся в зоне землетрясения.

I.I. Краткая характеристика обследованных подстанций

Подстанция 220/II0/I0 кВ Ленинакан-2

Узловая ПС, РУ II0 и 220 кВ выполнено по схеме "Две рабочие и обходная системы шин". ЗРУ I0 кВ имеет две секции. Два трансформатора по I25 МВА. Одноэтажное ОПУ, компрессорная. ПС с постоянным дежурным персоналом. Эксплуатация ПС осуществляется Западным предприятием электрических сетей.

Подстанция 220/II0/6-I0 кВ Кировакан-I

ОРУ 220 кВ выполнено по схеме "Два блока линия-трансформатор" с трансформатором мощностью 63 МВА. ОРУ II0 кВ выполнено по схеме "Две рабочие системы шин", и с двумя линиями и 4-мя трансформаторами мощностью 40 МВА. ЗРУ 6 кВ имеет I0 секций, а ЗРУ I0 кВ - 2 секции. Трехэтажное здание ЗРУ и ОПУ с новой пристройкой, компрессорная, башня ТМХ. Эксплуатация осуществляется Северным предприятием электрических сетей. ПС с постоянным дежурным персоналом.

Подстанция 220/II0/35 кВ Кировакан-2

Узловая ПС, ОРУ 220 кВ выполнено по схеме "Одна рабочая секционированная выключателем система шин с обходной", а ОРУ II0 кВ - по схеме "Две рабочие и обходная системы шин", ОРУ 35 кВ - "Одна секционированная выключателем система шин". На ПС установлены два трансформатора каждый мощностью I25 МВА. ОПУ одноэтажное, компрессорная. ПС с постоянным дежурным персоналом. Эксплуатация ПС осуществляется Северным предприятием электрических сетей.

РУ 220 кВ Разданской ГРЭС

Выносное ОРУ станции выполнено по схеме "Две рабочие и обходная системы шин". ОРУ имеет 7 линейных и 6 трансформаторных присоединений из которых - четыре осуществляют связь с блочными трансформаторами станции. Имеются здания компрессорной и ОПУ.

Подстанция II0/35/6 кВ Спитак-I

Узловая ПС, ОРУ II0 кВ выполнено по схеме "Две рабочие системы шин", ОРУ 35 кВ - "Одна секционированная выключателем система шин", ЗРУ 6 кВ - две секции из КРУН. Два трансформатора мощностью 25 МВА и 20 МВА. Трехэтажное ОПУ полностью разрушено. ПС с постоянным дежурным персоналом. Эксплуатация осуществляется Северным предприятием электрических сетей.

Подстанция II0/I0 кВ Спитак-2

ОРУ II0 кВ выполнено по схеме "Два блока с неавтоматической перемычкой". ПС типа КТПБ изготовления Куйбышевского завода "Электрощит". Трансформаторы: 2х25 МВА. ПС обслуживается по схеме (В). Эксплуатация ПС осуществляется Северным предприятием электрических сетей.

Подстанция II0/35/6 кВ Ленинакан-I

Узловая ПС. ОРУ II0 кВ и 35 кВ выполнено по схеме "Две рабочие системы шин", ОРУ 6 кВ имеет четыре секции. На ПС установлено три трансформатора, каждый мощностью 3I,5 МВА. ОПУ и ЗРУ - в двухэтажном здании.

ПС с постоянным дежурным персоналом. Эксплуатация осуществляется Западным предприятием электрических сетей.

Подстанция II0/35/I0 кВ Полигон

ПС типа КТПБ с двумя трансформаторами мощностью I6 МВА каждый. ОРУ II0 кВ выполнено по схеме "Два блока с отделителями и неавтоматической перемычкой". ОРУ 35 кВ - "Одна рабочая секционированная выключателем система шин" ПС обслуживается по схеме

СВВ. Эксплуатация ПС осуществляется Западным предприятием электрических сетей.

Подстанция II0/35/6 кВ Димац

ПС типа КТП с двумя трансформаторами мощностью I0 МВА каждый. ОРУ II0 кВ выполнено по схеме "Два блока с отделителями и неавтоматической перемычкой". РУ 35 кВ содержит два трансформаторных и одно линейное присоединения. ПС обслуживается по схеме кВ . Эксплуатация ПС осуществляется Северным предприятием электрических сетей.

Подстанция II0/35/I0 кВ Базум

ПС типа КТПБ с двумя трансформаторами мощностью I6 МВА каждый. ОРУ II0 кВ выполнено по схеме "Два блока с отделителями и неавтоматической перемычкой". РУ 35 кВ - "Одна рабочая секционированная выключателем система шин". Подстанция обслуживается по схеме СВБ. Эксплуатация ПС осуществляется Северным предприятием электрических сетей.

Подстанция 35/I0 кВ Гирак

ПС типа КТПБ с двумя трансформаторами мощностью 6,3 МВА каждый. ОРУ 35 кВ выполнено по схеме "Два блока с отделителями и неавтоматической перемычкой". Подстанция обслуживается по схеме СВБ. Эксплуатация ПС осуществляется Западным предприятием электрических сетей.

I.2. Описание сейсмических воздействий на обследуемых подстанциях

Землетрясение произошло в I0.4 московского времени 07.I2.88 г., в условиях нормального режима работы обследуемых подстанций. Очаговая область землетрясения относится к системе Северозеванских разломов с эпицентральной областью в окрестностях города Спитак. Магнитуда в очаге оценивается в 7 баллов шкалы Рихтера, максимальная интенсивность 9-I0 баллов шкалы MSK-64. Вслед за основным толчком на 09.0I.89 г. отмечена серия

повторных толчков - афтершоков с магнитудами от 3 до 5.5 баллов по шкале Рихтера, с интенсивностями на поверхности до 5 - 6 баллов шкалы М К.

Интенсивность на площадках подстанций определена ниже согласно СНиП 2-7-81[К] - "Нормы проектирования. Строительство в сейсмических районах", поскольку для обследуемых объектов отсутствуют карты сейсмического микрорайонирования, приращение балльности определялось на основании категорийности грунтов, слагающих площадки подстанций по сейсмическим свойствам (см.таблицу I).

Полученные данные уточнялись далее по материалам обследований, давшим возможность оценить вклад резонансных эффектов в грунте, не учитываемых простым сложением макросейсмической интенсивности и приращением за счёт категорий грунтов.

Таблица 1

I.3. Интенсивность землетрясения на площадках подстанций

Подстанция	Грунты (послойное описание сверху вниз)	Категория грунта по сейсмическим свойствам	Макросейсмическая интенсивность	Интенсивность на площадке подстанций	
				по данным категории грунта	на основании результатов обследования
I	2	3	4	5	6
I. Ленинакан-I 110/35/10 кВ	I) 0,0...5,0 м – суглинки с незначительным включением щебня, гальки. I_L =0,22; e =0,810-0,880, грунтовые воды до 5,0 м не обнаружены.	II	8	8	8
2. Ленинакан-2 220/110/10 кВ	I) 0,7...2,0 м – насыпной грунт – суглинок со строит.мусором.				
	2) 0,3 м – почвенный слой – суглинок с корнями растений.				
	3) 0,5...2,0 м – галечно-гравелистый грунт с песчаным заполнителем до 30%	II	8	8	8

	4) I,0...I,5 м – глина тугопластичная с включением гальки, гравия 20% консистенция I_L =0,20-0,30; коэффиц.пористости e =0,8I-0,83.				
	5) 3,0...5,0 м – глина мягкопластичная, местами песчанистая I_L =0,47-0,50; e =0,852-0,990; грунтовые воды на глубине 0,8-5,0 м.				
3. Полигон (в Ленинакане) КТПБ II0/35/I0 кВ	I) 0,8...I,0 м – суглинок с редким включением щебня, древесы I_L =0,25; e =0,860	II	8	8	8
	2) 5,0 м – глина полутвердая и тугопластичная с прослоями галечников и гравия. I_L =0,20-0,25; e =0,850-0,900 грунтовые воды до 5 м не обнаружены	II	8	8	8
4. Ширак 35/I0 кВ	I) 0,5...0,7 м – суглинок слабо влажный с обломками 20%.				
	2) 0,7...5,0 м – супесчано-песчаный грунт мелкозернистый сильно влажный со щебнем, древесй ~ 30% грунтовые воды до глубины 5 м не обнаружены	III	8	9	9

1	2	3	4	5	6
5. Спитак I 110/35/6 кВ	1) 5,0 м - песок среднезернистый с галькой, гравием 10-20%, сухой залегает в восточной части площадки.				
	2) 3,0 м - галечно-гравелистый грунт с супесчаным заполнителем 30-40%, сухой залегает в западной части площадки, грунтовые воды до 5 м не обнаружены	II	5	5	5
6. Спитак 2 КТПБ 110/10 кВ	1) 3,0...3,5 м - суглинок влажный с включением щебня и дресвы до 30%.				
	2) 3,0 м - дресвяно-щебеночный грунт с мелкими глыбами, супесчаным заполнителем до 40%, грунтовые воды на глубине 1,2-1,8м	III	8	9	9
7. Кировакан I 220/110/10 кВ	1) 2,0 м - суглинок тугопластичный.				
	2) 5,0 м - супись с включением гравия и дресвы 30-35% I_L =0,2; e = 0,71-0,74 грунтовые воды до глубины 5 м не обнаружены	II	7	7	7

1	2	3	4	5	6
8. Кировакан 2 220/110/35 кВ	1) 1,5...4,0 м – валунно-галечные отложения с песчаным заполнителем 20–40%				
	2) 3,0 м – валунно-галечные отложения с песчано-супесчаным заполнителем 20–40%, грунтовые воды до глубины 5 м не обнаружены	II	7	7	7
9. Димац (в Кирова-кане) КТПБ 110/35/6 кВ	1) 4,0...7,0 м – суглинок тугопластичный и полутвердый с включением щебня и дресвы 20% I_L = 0,2–0,3; e = 0,85–0,90	II	7	7	7
	2) 3,0...5,0 м – порфирит крепкий, частично слабо выветрелый, грунтовые воды до глубины 5 м не обнаружены				
10. Базум КТПБ 110/35/10 кВ	1) 0,3 м – почвенный слой – суглинок с корнями растений				
	2) 5,0 м – глины, суглинки тугопластичные, карбонатные I_L =0,20–0,28; e = 0,82 0,89, грунтовые воды до глубины 5 м не обнаружены	II	7	7	7

I	2	3	4	5	6
II. ОРУ 220 кВ Раздайской ГРЭС	I) 0,0...0,5 м - почвенный слой - суглинок с корнями раст.				
	2) 0,5...5,0 м - суглинок от полутвердого до текучего с включ. гравия, галыки 10%, залегает в виде прослоев с галечно-гравелистым грунтом, грунтовые воды на глубине 2,3-3,5 м	III	6	7	7,5

Примечание: I_L - показатель консистенции

e - коэффициент пористости

Таблица № 2

Подстанция	Интенсивность землетрясения	Степень повреждения		Примечание
		значительные	незначительные	
I	2	3	4	5
I. Ленинакан-I 110/35/6 кВ	8	+		
2. Ленинакан-2 220/110/10 кВ	8	+		Частично разрушено ОПУ
3. Полигон (в Ленинакане) КТПБ 110/35/10 кВ	8		+	
4. Ширак 35/10 кВ	9		+	Частично разрушено здание ЗРУ - 10 кВ
5. Спитак-I 110/35/6 кВ	9	+		3-х этажное здание ОПУ разрушено полностью
6. Спитак-2 КТПБ 110/10 кВ	9	+		
7. Кировакан-I 220/110/10 кВ	7		+	
8. Кировакан-2 220/110/35	8	+		Трещины в здании ОПУ
9. Димац (в Кировакане) КТПБ 110/35/6 кВ	7	-	-	
10. Базум КТПБ 110/35/10 кВ	7	-	-	
II. ОРУ 220 кВ Разданской ГРЭС	7,5	+		

Таблица № 5

Сводная таблица повреждения оборудования на подстанциях

Наименование и тип оборудования	220 кВ		110 кВ		35 кВ		Характер повреждения
	установл.	повреж.	установл	поврежд.	установл.	поврежд	
I	2	3	4	5	6	7	8
Трансформаторы	8	2	I0	7	4[x]	I[x]	Сброс с рельс, повреждение вводов
Выключатели							
ВВП	23	6	28	–	2	–	Трещины в изоляторах
ВВБ	6	I	–	–	–	–	
ВВД	2	–	–	–	–	–	
МКП	–	–	20	–	–	–	
С	–	–	–	–	I3	–	
Разъединители							
РДЗ	I7	–	–	–	–	–	
РНДЗ	–	–	9I	–	35	–	Излом колонок изоляторов
РНДЗ-У	2	–	–	–	–	–	
РЛНД-У	58	48	–	–	–	–	

[x]В том числе 2 линейно-регулировочных тр-ра, один из которых поврежден.

I	2	3	4	5	6	7	8
РЛНД	28	26	72	–	2	–	Излом колонок изоляторов 4х ИШД-35
Отделители ОД	–	–	II	–	–	–	
Трансформаторы тока							
ТФЗМ	5	2	–	–	–	–	Падение с опор
ТФНД	42	–	57	–	5	–	
Трансформаторы напряжения НКФ	I0	I	I3	–	–	–	
НСМ	–	–	–	–	5	–	
Разрядники							
РВС	4	I	24	5	8	–	Излом фарфора в нижней части
РВМГ	I0	5	–	–	–	–	
Конденсаторы связи							
СМР	I9	–	25	2	2	–	Излом фарфора в нижней части
В.ч. заградители							
ВЗ	I9	–	25	2	2	–	Излом опорного изолятора
Реакторы конденсаторной батареи ВЗ	–	–	3	3	–	–	Излом опорного изолятора

I.4. Общая характеристика повреждений оборудования

Обследованы подстанции, получившие повреждения в результате землетрясения в районах Северной Армении.

Повреждения имели место на восьми подстанциях с высшим напряжением 35, II0 и 220 кВ и ОРУ 220 кВ Разданской ГРЭС (см. таблицу 2).

Более высокой сейсмостойкостью отличаются распредустройства блочных подстанций типа КТПБ на незаглублённых фундаментах.

Специальные мероприятия по обеспечению сейсмостойкости электрооборудования на обследуемых подстанциях не предусматривались.

Объемы повреждения электрооборудования характеризует табл.3

Наиболее характерными являются следующие повреждения:

- перемещение установленных на железнодорожных рельсах трансформаторов вдоль рельсов до I метра или сброс с рельс с поломкой вводов,

- повреждение воздушных выключателей с поломкой фарфора,

- повреждение разъединителей 220 кВ с разрушением опорных колонок изоляторов,

- разрушение разрядников напряжением II0 и 220 кВ,

- повреждение высокочастотных заградителей при установке их на опорный изолятор или конденсатор связи,

- разрушение шинных опор напряжением 220 кВ,

- разрушение аккумуляторных батарей типа СК.

Неповрежденным оборудованием являются: всё оборудование 35 кВ, оборудование II0 кВ, кроме разрядников и конденсаторов связи, частично высокочастотные заградители, аппаратура КРУ и КРУН, а также аппаратура релейной защиты, автоматики, связи и управления.

Поврежденные силовые трансформаторы после замены поврежденных вводов включены в работу.

Пожаров, связанных с повреждением маслонаполненного оборудования на обследованных ПС не было.

Все повреждения можно разделить на три типа в зависимости от причин, их вызывающих:

первый - вследствие действия инерционных сил (силовые трансформаторы, аккумуляторные батареи);

второй - повреждение фарфора вследствие увеличения нагрузок, вызванных резонансными свойствами как самого аппарата, так и опорной конструкции;
(разрядники, разъединители 220 кВ, выключатели);

третий - повреждение из-за увеличения тяжения ошиновки, вызванного смещением оборудования
(вводы трансформаторов, шинные опоры, выключатели).

Данную классификацию следует использовать при разработке антисейсмических мероприятий, которые должны быть направлены на ликвидацию указанных выше причин повреждения оборудования при землетрясениях.

2. МАТЕРИАЛЫ КАЙРАККУМСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ I3.I0.85

Вследствие этого землетрясения произошли повреждения оборудования на следующих ПС и ОРУ ГЭС:

ОРУ 220/II0/I0 Кайраккумской ГЭС,
ПС 220/II0/I0 Ходжент,
ПС II0/35/I0 Новая,
ПС II0/35/6 Ленинабадская,

ПС 220/II0/I0 Қанибадам,
ПС II0/35/6 Ковровая,
ПС II0/6 Восточная,
ПС 35/I0 Кайраққумская,
ПС II0/I0 Самгар.

Интенсивность землетрясения колебалась в пределах 8-9 баллов по шкале MSK-64.

В таблице 4 приведен перечень и количество поврежденного электрооборудования на подстанции Ленинабадская.

Ниже дано описание устойчивости основных типов электротехнического оборудования в зависимости от сейсмической интенсивности.

Трансформаторы силовые

Наиболее тяжелое оборудование на ПС II0/35/I0(6) установлено на монолитных фундаментах.

Как правило, трансформаторы не закрепляются на рельсах путей перекатки, а стопорятся небольшими подкладками из уголкового профиля, приваренные электродуговой сваркой к головке рельса.

При перемещении трансформаторы в случае жесткой ошиновки ломают вводные изоляторы из-за перегрузок при тяжении, причем через места излома из-за нарушения герметизации начинается утечка масла, что создает пожарную опасность.

При воздействии землетрясения с интенсивностью более 9 баллов возможен сброс трансформатора с рельс и вывод его из строя с последующим значительным ремонтом в заводских условиях.

Выключатели масляные

Широкобазовые тяжелые конструкции с установкой на фундаментные плиты близко к поверхности земли. При тщательном аакреплении к фундаментным плитам устойчивы на опрокидывание при 9 баллах.

При интенсивности начиная с 7 баллов, возможно появление трещин с очень мягким раскрытием в фарфоровых вводах на стыке с опорным фланцем на корпусе выключателя. В сухую погоду ввод работоспособен, но при увлажнении происходит перекрытие и разрушение фарфоровой изоляции.

Таблица 4

Перечень и количество поврежденного электрооборудования на ПС Ленинабадская

№№ пп	Вид оборудования ПС	Тип оборудования	Количество поврежденного оборудования
I.	Разрядники	РВС-35	2
		РВС-II0м	II
		РВМГ-220	3
		РВС-220	2
			I8
2.	Разъединители	РЛИ-II0	I
		РНДЗ-I54	I
		РОНЗ-220	7
			9
3.	Опорная изоляция	ОНС-II0/I000	I3
4.	Высоковольтные вводы	ПНТУ-20/8000-УI	6
		ГБМТ-II0/630-УI	I
		МГ-II0/630	2
			9
5.	Трансформаторы напряжения	НКФ-II0	2
		НКФ-220	3
			5
6.	Аккумуляторная батарея	СК-6	I

При интенсивности землетрясения 8 баллов и более отмечены случаи излома фарфоровых вводов.

Проходные изоляторы

Не устойчивы к сейсмическим воздействиям, в случае, если ошиновка смонтирована с натяжением, начиная с 8 баллов происходит излом фарфоровых конструкций изоляторов.

Разъединители, отделители, короткозамыкатели

Конструкции характеризуются относительно тонкими фарфоровыми колоннами с высокорасположенным центром тяжести. Конфигурация их и хрупкость фарфора очень неблагоприятны для устойчивости, частота собственных колебаний этих видов оборудования 0,I÷I0 Гц, близка к частоте воздействующих на них колебаний при сейсмической воздействии.

При землетрясении 7 баллов отмечены отдельные случаи повреждения нижних секций фарфоровых колонок, при 8 баллах разрушения достигают до 50%, а при интенсивности свыше 8 баллов происходит массовое разрушение стоечной изоляции.

Разрядники

Абсолютно несейсмостойкая конструкция из нескольких составных секций, сопряженных болтами на фланцевых соединениях. РВС-II0 разрушаются, начиная с 7 баллов, РВС-35 - с 8 баллов. На отдельных ПС остаются неповрежденными до 9 баллов разрядники типа РВС-II0, если они смонтированы на опоре типа ТО-II0-3I; но это - исключительные случаи.

Трансформаторы тока и напряжения

Измерительные трансформаторы высокого напряжения с фарфоровыми кожухами более сейсмоустойчивы, вследствие относительно более высокой частоты собственных колебаний, большего затухания колебаний и большей прочности фарфора.

При интенсивности 9 баллов начинается необратимый процесс разрушения, характеризующийся появлением сколов и трещин в зоне монтажа с металлом опорного узла, что в конечном счете приводит

к снижению электрической прочности изоляции, перекрытию ее и выходу из строя оборудования.

Ячейки КРУ-35/I0(6)

Устойчивая пространственная конструкция, площадь основания значительна по сравнению с высотой, распределение масс оборудования в ней относительно равномерное, каркас изготовлен из сталей с высоким пределом упругости.

Статистические данные и результаты вибрационных испытаний показали, что ячейки КРУ-35/I0 сейсмоустойчивы при колебаниях поверхности земли 9 баллов, за исключением РВС-35 и РВС-I5.

Шкафы, панели

КРУ-I0, распределительные ящики, шкафы с реле и измерительными приборами устойчивы к сейсмическому воздействию с интенсивностью 9 баллов при условии тщательного закрепления к бетонным фундаментам на болтовых или сварных соединениях.

Результаты вибрационных испытаний, проводимых на платформе, показали устойчивую работу системы без отказов и ложных срабатываний при интенсивности 9 баллов.

Аккумуляторные батареи

Абсолютно неустойчивая конструкция.

Если стеллажи не закреплены в бетонные полы и не раскреплены к стенам, разрушение аккумуляторной батареи наступает при интенсивности 7 баллов Если приняты в проекте меры по закреплению конструкций стеллаже , но не закреплены аккумуляторные элементы, то при интенсивности 8 баллов банки падают со стеллажей.

Необходимо в проектах предусматривать конструкцию стеллажей с закрепленными в стены и полы стойками и мероприятиями по фиксации стеклянных аккумуляторных банок на стеллажах от подвижек и расплескивания электролита.

3. АНАЛИЗ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ И КОНСТРУКЦИЙ НА ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ ОБЪЕКТАХ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ В АРМЕНИИ И СРЕДНЕЙ АЗИИ

3.I. Опоры ВЛ электропередач

Анализ аварий от землетрясений в энергосистемах на территории бывшего СССР показывает, что повреждения линий электропередачи при землетрясениях происходят крайне редко и в большинстве случаев относятся к ВЛ I0 кВ и ниже.

Как правило, отдельные случаи аварий конструкций ВЛ происходят из-за низкого качества заводского изготовления и строительных работ.

Типовые, унифицированные опоры не рассчитываются на сейсмические воздействия. В 1979 г. Среднеазиатским отделением института "Энергосетьпроект" была проведена научно-исследовательская работа по теме "Исследование сейсмостойкости типовых переходных опор II0 и 220 кВ".

На основании работы сделан вывод: унифицированные, металлические переходные опоры высотой до I00 м для ВЛ II0÷220 кВ могут применяться в условиях 9-балльной сейсмичности при толщине гололеда до 20 мм без усиления.

Для правильного решения создания сейсмостойких конструкций опор ВЛ электропередач необходима разработка расчётных моделей и методик расчета сейсмостойкости строительных конструкций ВЛ.

3.2. Сооружения и строительные конструкции ПС и РПБ

3.2.I. Опоры под оборудование

Наиболее подвержено разрушениям при землетрясениях электрооборудование, установленное на железобетонные стойки типа УСО (разрядники, трансформаторы тока, трансформаторы напряжения, разъединители, короткозамыкатели, выключатели и т.п.). Это, по-видимому, связано с тем, что размещение массивного оборудования на железобетонных стойках, обладающих высокой гибкостью, приводит к тому, что частота собственных колебаний такой системы лежит в интервале

частот колебания почвы при землетрясении. Усугубляется это еще некачественным выполнением заделки стоек в грунт (заполнение пазух между стойкой УСО и стенкой котлована грунта песчано-гравийной смесью). Как правило, отмечаются значительные наклоны стоек после землетрясений (отклонение оси стоек от вертикали), а между грунтом и поверхностью стойки на уровне заделки образуются зазоры шириной до 5 см.

В качестве мероприятий по предотвращению разрушения оборудования могут быть предложены следующие мероприятия:

а) снижение высоты установки оборудования, предпочтение наземной установки оборудования с ограждением;

б) установку аппаратов на конструкцию, как минимум из трех стоек типа УСО с развязкой стоек металлическими связями для создания пространственной жесткости опоры;

в) при этом особое внимание должно быть обращено на качественное выполнение грунтовых заделок стоек и особо качественное выполнение сварных стыков при составных железобетонных стойках.

3.2.2. Фундаменты под силовые трансформаторы и реакторы

При землетрясениях интенсивностью 8-9 баллов часто происходит сброс с рельсов или откат по рельсам силовых трансформаторов и реакторов, что приводит к поломке вводов и выходу из строя трансформаторов.

Установку трансформаторов следует выполнять без кареток и рельс непосредственно на фундамент. Сейсмостойкая установка трансформаторов должна разрабатываться совместно проектной организацией и заводом-изготовителем трансформатора (реактора) и учитывать совместную работу металлических конструкций трансформатора и фундамента.

Первый опыт такой совместной работы нашёл отражение в "Типовых материалах для проектирования "Фундаменты под сейсмостойкие трансформаторы II0 кВ", выполненной институтом "Дальэнергосетьпроект" для установки сейсмостойких трансформаторов II0 кВ, выпускаемых СВПС "Трансформатор" (г.Тольятти).

3.2.3. Здания

Большому количеству вспомогательных зданий, ОПУ и ЗРУ на подстанциях Армении при землетрясении нанесен значительный ущерб. Так полностью разрушено здание ОПУ на п/ст Спитак-I, выполненное из туфовых камней.

Большинство повреждений и разрушений вызвано низким качеством строительных работ и отсутствием антисейсмических мероприятий.

Более высокой сейсмостойкостью отмечаются блочные ПС типа КТПБ на незаглубленных фундаментах.

В районах повышенной сейсмичности рекомендуется для зданий применение конструкций заводской готовности типа БМЗ сейсмостойкого исполнения (серия 7272).

Так как большой ущерб, нанесенный при землетрясении является и результатом неудовлетворительного качества заводского изготовления строительных конструкций и производства строительных работ, **то при строительстве необходимо осуществлять жёсткий авторский надзор.**

4. ПРЕДЛОЖЕНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ПОВЫШЕНИЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ПОДСТАНЦИЙ

4.I. При проектировании подстанций следует выполнять требования к сейсмостойкости предусмотренные нормативными документами:

- Нормами технологического проектирования подстанций 35-750 кВ (I),
- СНиП П-7-8I* (2)
- ГОСТ I7516.I-90 (3)

При выборе оборудования, устанавливаемого на ПС, необходимо использовать имеющееся электрооборудование в сейсмостойком исполнении. При отсутствии оборудования в сейсмостойком исполнении допускается применять оборудование общепромышленного исполнения в сочетании с проектными решениями по его установке, обеспечивающими повышение его сейсмостойкости при расчетных сейсмических воздействиях.

4.2. Величина интенсивности расчетного землетрясения на площадке, проектируемой подстанции определяется проектной организацией применительно к району расположения подстанции в соответствии

со СНиП II-7-8I* (2).

4.3. Необходимость разработки сейсмостойкого оборудования, особенно для напряжений 330 и 500 кВ является технико-экономической задачей, альтернативным решением которой является ускоренная замена поврежденного оборудования путем обеспечения ПС специальными монтажными приспособлениями и складских запасов оборудования.

4.4. При проектировании ПС в районах с повышенной сейсмичностью следует особое внимание уделять выбору площадки ПС. В зависимости от грунтов площадка может характеризоваться интенсивностью землетрясения на один балл больше, или той же балльностью, или баллом меньше (а по материалам института физики земли АН СССР – на 2 балла больше или меньше).

Поэтому при выборе площадки ПС необходимо в числе сравниваемых вариантов иметь площадку с I или, в крайнем случае, II категорией грунта по сейсмическим свойствам.

4.5. Компоновка ПС в сейсмическом районе по возможности должна быть распластанной, поскольку при установке оборудования на повышенных по отношению к нулевой отметке интенсивность сейсмического воздействия возрастает.

При выборе оборудования в РУ и его компоновке следует стремиться к снижению центра тяжести этого оборудования. В случае применения разрядников 220 кВ следует выбирать тот тип разрядника, который конструктивно состоит из двух колонок на фазу или ограничители перенапряжений (ОПН).

Следует стремиться к снижению высоты строительной конструкции, на которой устанавливается оборудование, в том числе, отдавая предпочтение наземной установке с ограждением.

Применять многоярусную установку оборудования даже при реконструкции и техперевооружении ПС недопустимо.

4.6. Трансформаторы (автотрансформаторы) напряжением 35 кВ и выше должны устанавливаться на фундаменты без каретск и рельс непосредственно днищем с креплением к закладным элементам фундамента для предотвращения смещений в горизонтальных и вертикальных направлениях при расчетных сейсмических воздействиях. В зависимости от типа трансформатора и способа его установки возможны разные

конструктивные решения крепления его к фундаменту.

4.7. При применении комплектных распредустройств (КРУ, КРУН, КРУЭ) к встроенным в них элементам могут быть предъявлены дополнительные требования по увеличенным максимальным амплитудам ускорений в диапазоне резонансных частот комплектных изделий ( ).

4.8. Гибкую ошиновку ОРУ следует выполнять так, чтобы выбранное значение стрелы провеса провода исключало поломку аппаратов при их максимально возможном отклонении. Указанное достигается при обеспечении одного из следующих значений (4):

- в I,5 раза больше максимального расчетного отклонения аппаратов,

- на 5% больше расстояния по прямой между выводами двух аппаратов.

Применение гибкой ошиновки предпочтительнее жесткой.

Жесткая ошиновка РУ 35 кВ и выше должна иметь элементы компенсации, допускающие возможность отклонения аппаратов без их поломки.

Выводы низшего напряжения трансформаторов и другого электрооборудования следует соединять с жесткой ошиновкой через гибкие вставки.

4.9. При выборе типа аппаратуры и опорной изоляции следует применять полимерную пространственную изоляцию(при ее наличии), поскольку фарфоровая изоляция как показали обследования, имеет высокую повреждаемость при землетрясении.

Количество фарфоровой опорной изоляции на ПС должно быть по возможности уменьшено путем использования, например, для шин РУ конструкций в виде ферм.

4.I0. При применении высокочастотных заградителей следует использовать подвесной способ их установки.

4.II. При проектировании установки аккумуляторной батареи должны быть приняты меры по закреплению конструкций стеллажей, а также по фиксации аккумуляторов на стеллажах от подвижек. В целях предотвращения расплескивания электролита рекомендуется применять аккумуляторные батареи типа СН, либо другие аккумуляторы закрытого типа.

4.I2. При разработке проектно-сметной документации по проектируемой ПС следует предусматривать аварийный запас оборудования в объеме соответствующих нормативов, обеспечивающих замену повреждаемого оборудования в сжатые сроки.

4.I3. При использовании типовых проектов, предназначенных для несейсмических районов, следует осуществлять проверку стойкости оборудования и конструкций при соответствующих данному району сейсмических воздействиях и в случае необходимости выполнять мероприятия по повышению их стойкости. При расчете отдельных конструкций ПС целесообразно вести расчеты для пары "аппарат-его строительная конструкция", т.к. их совместная резонансная частота определяет стойкость сооружения.

4.I4. При установке оборудования на нескольких стойках следует выполнять жесткие связи между верхними, а при высоте более 3 метров и средними частями этих стоек.

4.I5. При выборе оборудования для ПС, расположенных в сейсмически активных районах, следует учитывать данные по повреждаемости оборудования при землетрясениях, приведенных в данной работе.

Требования к промышленности по освоению сейсмостойкого электротехнического оборудования

Статистика разрушений электротехнического оборудования подстанций, подвергшихся сейсмическим воздействиям с интенсивностью 7-9 баллов свидетельствует о том, что для подстанций находящихся и строящихся в регионах с указанной сейсмичностью, должно разрабатываться и поставляться специальное сейсмостойкое электрооборудование.

В связи с этим заводам, изготавливающим электрооборудование и аппаратуру для подстанций энергосистем, необходимо прежде всего провести испытания в соответствии с ГОСТ 17516.I-90(3), с целью аттестации изготавливаемого оборудования на величину его фактической сейсмостойкости.

Разработка сейсмостойкого оборудования должна осуществляться на два уровня сейсмических воздействий - 7 и 9 баллов по шкале MSK-64 для высот 2500 и 3500 метров. При соответствующем экономическом обосновании может быть только одно исполнение на 9 баллов.

Допускается, по требованию заказчика, индивидуальная разработка на конкретные величины сесмических воздействий и высоту установки.

Силовые трансформаторы и автотрансформаторы напряжением до 500 кВ включительно должны предусматривать возможность установки их на специальный фундамент без кареток и рельс с жёстким креплением их к фундаменту, для предотвращения их перемещений в горизонтальном и вертикальном направлениях.

Поскольку при сейсмических воздействиях 7-9 баллов имеет место массовое повреждение фарфоровой изоляции, необходимо:

- освоить производство высокопрочного фарфора и на его основе более сейсмостойкой изоляции трансформаторных вводов, измерительных трансформаторов, разъединителей, выключателей, ограничителей перенапряжений и опорной изоляции,

- разработать и освоить производство соответствующей изоляции для аппаратов из полимерных материалов с электрическими и механическими характеристиками, не уступающими фарфоровой изоляции.

Для распределительных устройств напряжением 330 и 500 кВ необходима разработка вводов, аппаратов и опорной изоляции из полимерных материалов. Подтверждением этому требованию является массовое разрушение фарфоровой изоляции разъединителей

напряжением 220 кь на Розданской ГРЭС выполненной усиленной (до класса 330 кь) при интенсивности сейсмических воздействий 7,5 балла. Окончательное заключение по этому вопросу можно сделать после проведения аттестационных испытаний фарфоровой изоляции напряжением 330 и 500 кь на её фактическую сейсмостойкость.

Для предотвращения раскола стеклянных банок аккумуляторных батарей и распескивания электролита необходимо освоение производства аккумуляторных элементов (банок) из полимерных материалов с заменой электролита на гель с сохранением электрических параметров и разрядных характеристик.

Для обеспечения проектирования сейсмостойких подстанций напряжением 110 и 220 кь должны в первоочередном порядке разработан и освоены в производстве сейсмостойкие маломасляные выключатели, разъединители, ограничители перенапряжений и опорная изоляция 110 и 220 кВ.

Аппаратура, приборы и устройства систем управления, разработанные и изготавливаемые для атомных станций в соответствии с ГОСТ 25804.3-83 и удовлетворяющие требованиям по стойкости к внешним воздействующим факторам на интенсивность землетрясения 7-9 баллов, должны также поставляться, по требованию заказчика, и для подстанций энергосистем, находящихся или проектируемых в регионах с повышенной сейсмичностью.

Технические требования к отдельным конкретным видам электрооборудования подстанций более подробно будут изложены в третьем томе работы.

5. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нормы технологического проектирования ПС переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (изд.4-е, № I3865 тм-тI, М., Энергосетьпроект, I99I г.).

2. СНиП II-7-8I* "Нормы проектирования. Строительство в сейсмических районах, М., Госстрой, I99I г.

3. ГОСТ I75I6.I-90 "Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам".

4. Оказа и др. Сейсмоустойчивая конструкция ошиновки ОРУ (В книге: ПС переменного тока, М., Энергоатомиздат, I988 г.).

5. О проектировании электрической части ПС, расположенных в сейсмических районах, М., Энергосетьпроект, № 8099 тм-тI, I989 г.

6. Разработка предложений по повышению надежности ВЛ и подстанций при землетрясениях в Средней Азии, № I224I тм-т2, Ташкент, I990 г.

7. Отчет по научно-исследовательской работе по теме "Исследование сейсмостойкости типовых переходных опор II0 и 220 кВ", № 3285 тм-тI, Ташкент, I979 г.

gost.e-ecolog.ru