

УДК 621.316

## ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ ГИБКОЙ ОШИНОВКИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА 110 КВ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ПОДСТАНЦИИ

Баран А.Г.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПОНОМАРЕНКО Е.Г.

Объектом исследования является гибкая ошиновка открытого распределительного устройства (ОРУ) 110 кВ модернизируемой подстанции 110/10 кВ. Исследования электродинамической стойкости гибкой ошиновки распределительного устройства обусловлены ростом уровня тока короткого замыкания в районе расположения подстанции.

Открытое распределительное устройство 110 кВ выполнено по схеме двойной системы шин, с одним выключателем на присоединение. Элегазовые выключатели располагаются в один ряд. Выход воздушных линий предусмотрен в северном направлении, а силовых трансформаторов – в южном. Проводники расположены в трех ярусах. Первый ярус располагается на высоте около 4 м, второй – шинный порталы – на высоте 7,85 м, а третий – линейные порталы – 11,35 м от уровня земли. Опорные конструкции – железобетонные. Расстояние между точками подвеса проводников на шинных порталах составляет 3 м, а на линейных – 2,5 м. Шаг ячеек – 9 м. При выполнении расчетов высоты аппаратов необходимо будет брать из соответствующего чертежа исследуемой ячейки. Согласно спецификации, ошиновка ОРУ выполнена проводом АС-185/29, для подвеса провода использованы гирлянды изоляторов 10×ПС70Е. Стрела провеса для всех пролетов составляет 5 %.

ОРУ 110 кВ подстанции состоит из 7 ячеек, из которых:

- 1 – ячейка отходящей линии с шинными аппаратами первой системы шин;
- 2 – ячейка отходящей линии;
- 3 – ячейка присоединения силового трансформатора;
- 4 – ячейка резервная;
- 5 – ячейка отходящей линии;
- 6 – ячейка присоединения силового трансформатора;
- 7 – ячейка шиносоединительного выключателя с шинными аппаратами второй системы шин.

В соответствии с конструктивными чертежами распределительное устройство подстанции состоит из шести шинных пролетов (рисунок 1) длиной 18 м, 19 м и 27 м, а также восьми анкерных пролетов ячеек 3, 6 и 7 распределительного устройства длиной – 25 м, 21 м, 16,7 м и 16 м (рисунок 2–4). Длины анкерных пролетов (с севера на юг) составляют для ячейки 3 – 25 м, 21 м и 16,7 м (пролет косой – имеет горизонтальное смещение относительно оси в западном направлении), для ячейки 6 – 25 м, 21 м (пролет косой – имеет горизонтальное смещение относительно оси в западном направлении) и 16,7 м, для ячейки 7 – 25 м и 16 м.

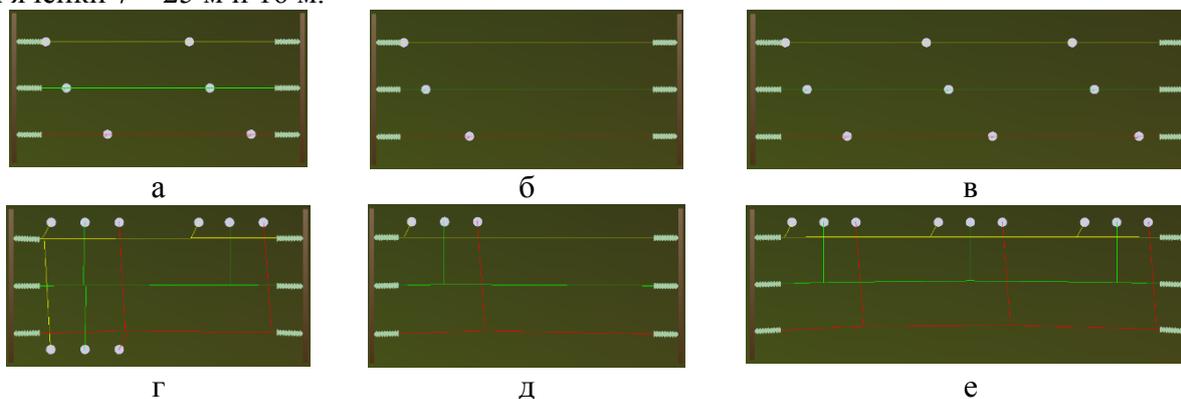
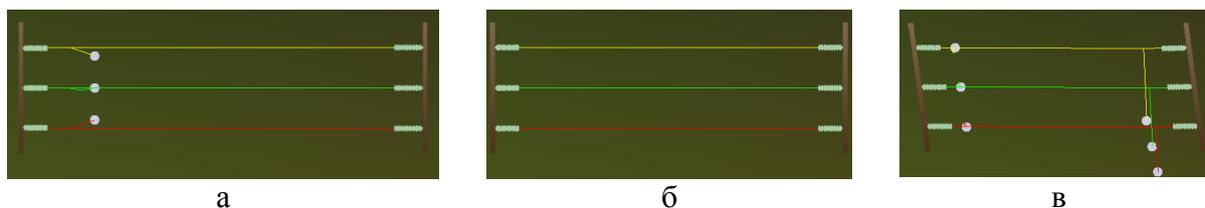


Рисунок 1 – План расположения шинных пролетов  
а и г – пролеты длиной 18 м; б и д – 19 м; в и е – 27 м



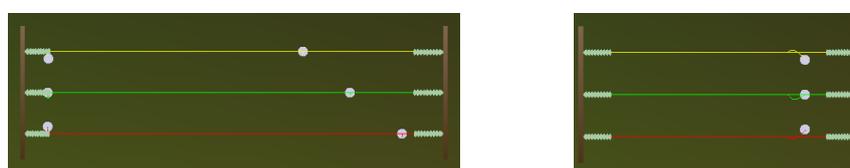
а б в

Рисунок 2 – План расположения пролетов ячейки 3  
а – пролет длиной 25 м; б – 21 м; в – 16,7 м (со смещением)



а б в

Рисунок 3 – План расположения пролетов ячейки 6  
а – пролет длиной 25 м; б – 21 м (со смещением); в – 16,7 м



а б

Рисунок 4 – План расположения пролетов ячейки 7  
а – пролет длиной 25 м; б – 16 м

Состав конструктивного исполнения анкерных пролетов следующий:

- Пролет длиной 25 м (без смещения по оси пролета):
- ячейка 3 и 6 с одной отпайкой (рисунок 2а и 3а);
- ячейка 7 с двумя отпайками (рисунок 4а).
- Пролет длиной 21 м:
- ячейка 3 без отпаек (без смещения по оси пролета) (рисунок 2б);
- ячейка 6 без отпаек (со смещением вдоль оси пролета) (рисунок 3б).
- Пролет длиной 16,7 м:
- ячейка 3 с двумя отпайками (со смещением по оси пролета) (рисунок 2в);
- ячейка 6 с двумя отпайками (без смещения по оси пролета) (рисунок 3в).
- Пролет длиной 16 м (без смещения по оси пролета):
- ячейка 7 с одной отпайкой (рисунок 4б).

Механический расчет выполнен по компьютерной программе MR215 в регламентированных для территории республики ПУЭ [1] четырех климатических режимах (таблица 1). Расчеты выполнены для каждой фазы шинных и анкерных пролетов распределительного устройства. Если же геометрия некоторых или всех фаз одного пролета идентичны, то расчет не дублировался (примером идентичности геометрии служит представленный на рисунке 2 пролет длиной 21 м ячейки 3). Результаты механического расчета используются для построения монтажных кривых и определения начального положения ошиновки для электродинамического расчета.

Таблица 1 – Параметры климатических режимов

Номер климатического режима	1	2	3	4
Температура провода, °С	-5	-5	-5	40
Скорость ветра, м/с	15	30	0	0
Толщина стенки гололеда, мм	15	0	15	0

При оценке электродинамической стойкости конструкции в проектной практике нельзя полагаться на результаты одного расчета [3–4]. Следует провести серию расчетов с подбором наиболее тяжелых условий короткого замыкания для данной конструкции, изменяя величину тока, продолжительность, вид и место короткого замыкания, климатические условия и другие параметры. Причем, наибольшие возможные ток и продолжительность КЗ далеко не всегда будут являться самыми тяжелыми условиями с точки зрения электродинамической стойкости гибких шин со спусками [4].

Расчет электродинамической стойкости гибкой ошиновки распределительного устройства подстанции выполнялся по компьютерной программе FleBus [4]. Вычислительный эксперимент проводился для каждого из пролетов распределительного устройства в режиме «нормальной» эксплуатации при температуре воздуха в 25 °С при отсутствии ветра и гололедного отложения. Также выполнены расчеты в четырех регламентированных ПУЭ климатических режимах (таблица 1). Для пролетов, имеющих отпайки к электрическим аппаратам были выполнены расчеты этих же пролетов без отпайк.

Вычислительный эксперимент выполнен путем проведения серийных расчетов шинных и анкерных пролетов для токов короткого замыкания от 0 кА до 50 кА с шагом 0,5 кА. Расчеты проводились для двухфазных коротких замыканий между шинами А и В, В и С и А и С.

Критериями потери электродинамической стойкости считаем:

- схлестывание проводов фаз;
- схлестывание спусков отпайки с проводниками шин;
- схлестывание спусков отпайки.

Результаты вычислительного эксперимента для режима «нормальной» эксплуатации приведены в таблицах 2–3.

Таблица 2 – Ток электродинамической стойкости пролетов ОРУ по критерию – схлестывание проводов фаз

Пролет	КЗ между фазами		
	А и В	В и С	А и С
<b>Шинные пролеты</b>			
18 м (рисунок 1а)	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
18 м (рисунок 1г)	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
19 м (рисунок 1б)	42 кА	> 50 кА	> 50 кА
19 м (рисунок 1д)	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
27 м (рисунок 1в)	41 кА	39 кА	> 50 кА
27 м (рисунок 1е)	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
<b>Анкерные пролеты</b>			
25 м (рисунок 2а)	22 кА	23 кА	> 50 кА
21 м (рисунок 2б)	21 кА	21 кА	> 50 кА
16,7 м (рисунок 2в)	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
25 м (рисунок 3а)	22 кА	23 кА	> 50 кА
21 м (рисунок 3б)	21 кА	21 кА	> 50 кА
16,7 м (рисунок 3в)	> 50 кА	47 кА	> 50 кА
25 м (рисунок 4а)	27 кА	24 кА	> 50 кА
16 м (рисунок 4б)	40 кА	> 50 кА	> 50 кА

Анализ данных вычислительного эксперимента показывает, что в режиме «нормальной» эксплуатации:

– по критерию схлестывания проводов фаз (таблица 2) наименьший ток электродинамической стойкости в 21 кА имеют анкерные пролеты длиной 21 м (рисунок 2б и 3б);

– по критерию схлестывания спусков отпайки с проводниками шин (таблица 3) – наименьший ток электродинамической стойкости в 16 кА (рисунок В.6) имеет шинный пролет длиной 27 м (рисунок 1е);

– по критерию схлестывания спусков отпайки (таблица 4) – наименьший ток электродинамической стойкости в 23 кА имеет анкерный пролет длиной 16,7 м (рисунок 2в).

Таблица 3 – Ток электродинамической стойкости пролетов ОРУ

Пролет	Отпайка	Схлестывание спусков отпайки с проводниками шин			Схлестывание спусков отпайки		
		КЗ между фазами			КЗ между фазами		
		А и В	В и С	А и С	А и В	В и С	А и С
<b>Шинные пролеты</b>							
18 м (рисунок 1а)	1	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
	2	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
18 м (рисунок 1г)	1	> 50 кА	23 кА	30 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
	2	33 кА	> 50 кА	39 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
	3	49 кА	28 кА	44 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
19 м (рисунок 1б)	1	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
19 м (рисунок 1д)	1	31 кА	21 кА	29 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
27 м (рисунок 1в)	1	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
	2	> 50 кА	40 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
	3	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
27 м (рисунок 1е)	1	29 кА	23 кА	27 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
	2	16 кА	18 кА	25 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
	3	31 кА	22 кА	41 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
<b>Анкерные пролеты</b>							
25 м (рисунок 2а)	1	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
21 м (рисунок 2б)	–	–	–	–	–	–	–
16,7 м (рисунок 2в)	1	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
	2	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	23 кА	27 кА	27 кА
25 м (рисунок 3а)	1	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
21 м (рисунок 3б)	–	–	–	–	–	–	–
16,7 м (рисунок 3в)	1	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
	2	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	26 кА	> 50 кА	50 кА
25 м (рисунок 4а)	1	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	38 кА	29 кА	> 50 кА
	2	45 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА
16 м (рисунок 4б)	1	> 50 кА	> 50 кА	> 50 кА	37 кА	29 кА	> 50 кА

Исходя из этого следует, что в режиме «нормальной» эксплуатации ток электродинамической стойкости рассматриваемого распределительного устройства по критерию схлестывания составляет 16 кА.

Анализ результатов вычислительного эксперимента для регламентированных ПУЭ климатических режимов показывает, что:

– по критерию схлестывания проводов фаз наименьший ток электродинамической стойкости в 21 кА имеют анкерные пролеты длиной 25 м (рисунок 2а и 3а) и анкерные пролеты длиной 21 м (рисунок 2б и 3б);

– по критерию схлестывания спусков отпайки с проводниками шин – наименьший ток электродинамической стойкости в 16 кА имеет шинный пролет длиной 27 м (рисунок 1е);

– по критерию схлестывания спусков отпайки – наименьший ток электродинамической стойкости в 21 кА имеет анкерный пролет длиной 16,7 м (рисунок 2в).

Исходя из этого следует, что в регламентируемых ПУЭ климатических режимах ток электродинамической стойкости рассматриваемого распределительного устройства по критерию схлестывания составляет 16 кА.

На основании проведенного анализа результатов вычислительного эксперимента можно сделать заключение, что ток электродинамической стойкости исследуемого распределительного устройства по критерию схлестывания составляет 16 кА.

#### Литература

1 Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 648 с.

2 Электротехнический справочник: В 4 т. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии / Под общ. ред. В.Г. Герасимова и др. – 9-е изд., стер. – М. : Издательство МЭИ, 2004. – 964 с.

3 Токоведущие части электростанций и подстанций: методическое пособие для студентов специальностей 1-43 01 01 «Электрические станции», 1-43 01 03 «Электроснабжение» и 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети» / И.И. Сергей [и др.]. – Минск : БНТУ, 2011. – 82 с.

4 Сергей, И.И. Проверка на схлестывание гибкой ошиновки распределительных устройств электростанций: методические указания для студентов специальностей 1-43 01 01 «Электрические станции», 1-43 01 02 «Электроснабжение» и 1-43 01 03 «Электрические системы и сети» / И.И. Сергей, Е.Г. Пономаренко. – Минск : БНТУ, 2008. – 44 с.