



## ООО "ПЕТЕРБУРГЭНЕРГОСТРОЙ": ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ПОДСТАНЦИЙ 110/10 КВ В СРЕДЕ ELECTRICS STORM

**ООО** "Петербургэнергострой" является самым крупным предприятием, входящим в ассоциацию "ЭнергоСоюз". "Петербургэнергострой" выполняет весь спектр услуг по строительству энергообъектов напряжением до 220 кВ и выше, начиная от проектной подготовки и разработки проектных решений до ввода законченного объекта в эксплуатацию.

"Петербургэнергострой" является членом саморегулирующихся организаций — некоммерческих партнерств "Энерго-

строй" и "Энергопроект" и имеет допуск к работам по всем направлениям своей деятельности, включая услуги генерального подрядчика.

В списке наиболее важных проектов, реализованных "Петербургэнергострой":

- работы по выносу воздушных линий и строительству сетей электроснабжения при строительстве КАД;
- участие в строительстве подстанции "Южная" в Великом Новгороде;
- участие в строительстве Усть-Лужского контейнерного терминала;
- работа на объектах по техническому

присоединению к сетям ОАО "Ленэнерго" и другие.

Основные заказчики и партнеры "Петербургэнергострой" — крупные и известные компании северо-западного региона России: ОАО "МРСК Северо-Запада" (филиалы "Новгородэнерго", "Псковэнерго", "Вологдаэнерго", ОАО "Ленэнерго"), ОАО "Усть-Лужский контейнерный терминал", Северо-Западный филиал ОАО "Мегафон", ООО "Балттранснефтепродукт" и многие другие.

Объекты электроэнергетики являются мощными источниками электромагнит-

ных возмущений, представляющих потенциальную опасность для биологических объектов и для нормального функционирования технических средств (в первую очередь, для устройств, выполненных на микропроцессорной и микроэлектронной базах), размещенных и на самих энергообъектах, и на примыкающих к ним объектах промышленного и гражданского назначения. Нормальная безопасная эксплуатация мощных энергетических и промышленных объектов возможна лишь при выполнении требований электромагнитной совместимости (ЭМС), базирующейся на точной оценке и координации электромагнитной обстановки (ЭМО).

Система ElectriCS Storm предназначена для автоматизированного проектирования молниезащиты, заземления и электромагнитной совместимости промышленных и энергетических объектов. Четвертая версия системы ElectriCS состоит из четырех основных подсистем: расчета молниезащит (РМЗ), классического расчета заземляющих устройств (РЗУ), специализированного расчета заземления подстанций (РП) и расчета электромагнитной обстановки (ЭМО).

Подсистема расчета ЭМО системы ElectriCS Storm предназначена для автоматизированного расчета электромагнитной обстановки и решения задач ЭМС. Расчет ЭМО производится по СО 34.35.311-2004 "Методические указания по определению электромагнитной обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях", СТО 56947007-29.240.044-2010 "Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства" и СТО 56947007-29.130.15.114-2012 "Руководящие указания по проектированию заземляющих устройств подстанций напряжением 6-750 кВ".

Подсистема расчета ЭМО системы ElectriCS Storm выполняет следующие функции:

- ввод естественных и искусственных заземлителей (горизонтальных, вертикальных, фундаментов) как вручную, так и с планов, выполненных в AutoCAD;
- автоматическая загрузка заземлителей с чертежей, выполненных в AutoCAD;
- ввод кабельных трасс и кабелей с результатами раскладки: вручную, с чертежей AutoCAD, из системы кабельной раскладки ElectriCS 3D;
- расчет сопротивления растеканию

тока заземлителей индивидуально для каждого заземлителя;

- расчет потенциалов и токов по узлам и ветвям ЗУ для ударов молнии и КЗ;
- расчет и построение магнитного поля (распределение напряженности магнитного поля) для указанной зоны: расчет производится как для полей от заземлителей, так и для полей от токоограничивающих реакторов и шин первичных цепей (расположение реакторов при этом произвольное, в том числе ступенчатое);
- расчет наведенных от молнии импульсных напряжений во вторичных цепях (с учетом экранирования кабельных трасс и самих кабелей);
- расчет и построение поля потенциалов для указанной зоны;
- расчет и построение поля напряжения прикосновения для указанной зоны;
- расчет и построение поля напряжения шага для указанной зоны;
- расчет всех указанных видов для точек контроля и кабельных трасс;
- расчет токов в экранах кабелей, допустимых токов и их сравнение;
- расчет допустимых токов в заземлителях и их сравнение с расчетными;
- просмотр результатов расчета для кабельных трасс и кабелей в виде диаграмм;
- вывод результатов расчета в AutoCAD в виде 3D-поверхности;
- вывод результатов расчета в AutoCAD на план как в виде цветового поля, так и в виде изолиний (линий заданного уровня);
- вывод в AutoCAD в 3D-виде и на план: заземлителей (естественных и искусственных), узлов заземлителей, кабельных трасс, кабелей, реакторов, проводов, точек контроля, точек входа тока, молниеприемников (стержневых).

Исходными данными для проектирования подстанций 110/10 кВ являлись:

- компоновки оборудования на территории подстанций;
- компоновки оборудования внутри общеподстанционных пунктов управления (ОПУ);
- компоновки оборудования комплектного распределительного устройства 10 кВ (КРУМ);
- главная схема подстанции;
- планы расположения заземляющего устройства;
- спецификации оборудования и его технические характеристики (степень жесткости испытания);

- результаты расчета токов КЗ и другие.

В систему ElectriCS Storm для расчета ЭМО вводились следующие данные:

- горизонтальные и вертикальные заземлители — их координаты зачислялись одновременно с планов, выполненных в AutoCAD, а размеры добавлялись полуавтоматически с помощью макроса;
- точка измерения удельного сопротивления земли — задавалась одна на подстанцию с указанием параметров многослойного грунта;
- стержневые молниеприемники — их координаты (X и Y) вводились с планов, а параметры (координата Z и высота) вводились вручную;
- точки входа тока — токи молнии вводились в верхних точках стержневых молниеприемников, токи короткого замыкания вводились в цепи заземления нейтралей (баков) силовых трансформаторов, для двухфазных КЗ за точки входа токов принимались цепи заземления нейтралей (баков) силовых трансформаторов и узловые точки заземлителя вокруг зданий ОПУ или КРУМ (с учетом трасс прохождения силовых кабелей напряжением 10 кВ). Координаты точек входа (X и Y) вводились с планов, а параметры токов (величина входного тока, длительность фронта импульса, частота) и координата Z вводились вручную;
- провода (гибкие ошиновки) — координаты (X1, Y1, X2, Y2) вводились как линии с планов, а ток и высота — вручную. При этом вводились только ошиновки фазы, наиболее близкой к кабельным трассам;
- кабельные трассы — координаты (X1, Y1, X2, Y2) вводились как линии с планов, а тип трассы с точки зрения экранирования (ж/б лоток, стальная труба и т.д.) и координаты Z вводились вручную;
- кабели — сначала они рисовались на планах как полилинии AutoCAD, а затем координаты этих полилиний вводились в ElectriCS Storm. Параметры кабелей (Тип, NxS) вводились вручную. Вводились не все кабели, а наиболее критические: уходящие на самые дальние точки подстанции, проходящие близко к молниеприемникам и т.д.;
- точки контроля — вводились по углам и в центре помещений ОПУ и КРУМ;
- также вводились здания ОПУ и

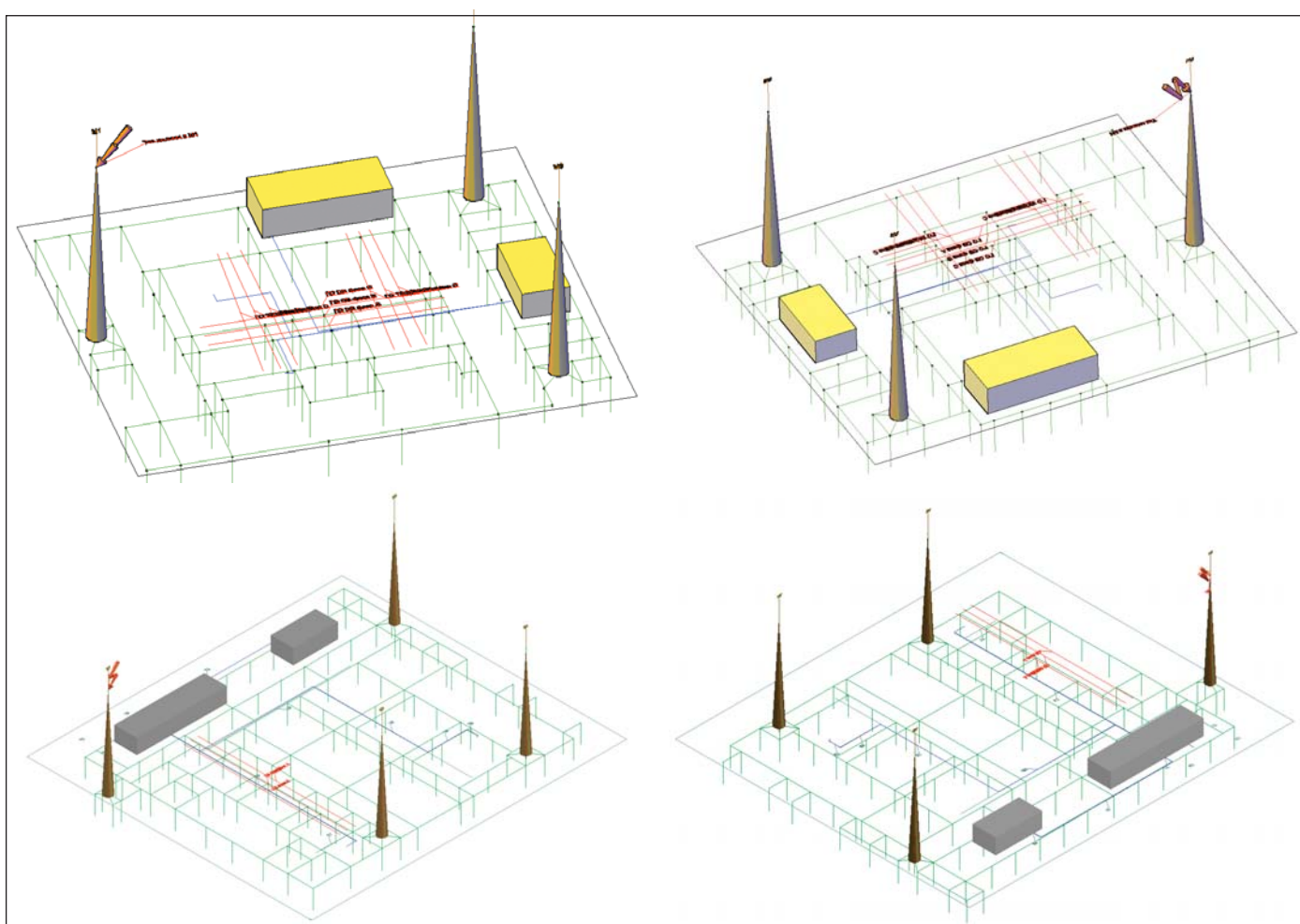


Рис. 1-4. Исходные данные для расчета ЭМО в 3D-виде

КРУМ, зона расчета и общие данные. Примеры исходных данных в 3D-виде приведены на рис. 1-4.

Для каждого из молниеприемников проводились расчеты: потенциалов в узлах системы заземлителей, токов в заземлителях, допустимых токов в заземлителях, по-

ля потенциалов, напряженности магнитного поля, полей шагового напряжения, наведенных ЭДС в кабелях с учетом и без учета экранирования. Для отображения распределения был выбран метод цветового поля. На рис. 5 приведено распределение потенциалов (В) при молниевом

разряде в молниеотвод М1. На рис. 6 представлены потенциалы (В) узлов ЗУ при молниевом разряде в молниеотвод М1. На рис. 7 показано распределение напряженности магнитного поля (А/м) на территории подстанции при молниевом разряде в молниеотвод М1. На рис. 8 приведено распределение напряженности магнитного

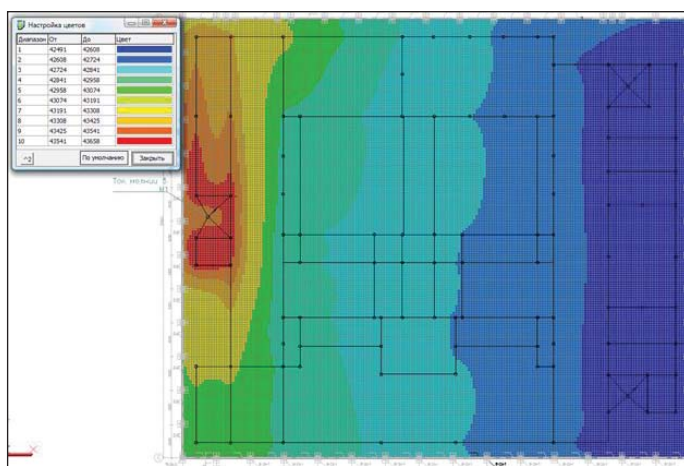


Рис. 5. Распределение потенциалов (В) при молниевом разряде в молниеотвод М1

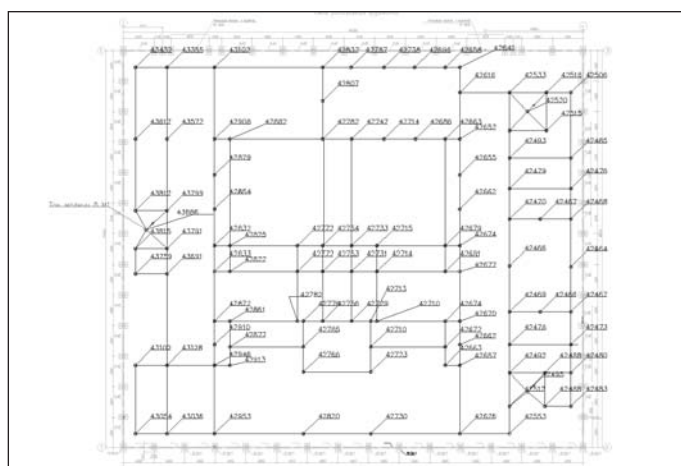


Рис. 6. Потенциалы (В) узлов ЗУ при молниевом разряде в молниеотвод М1



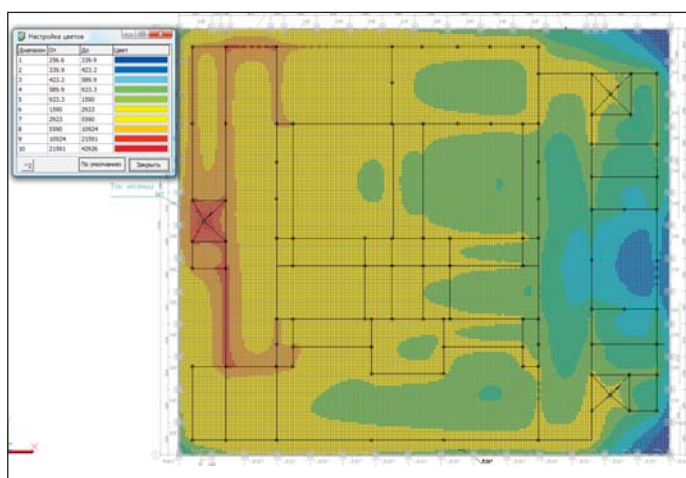


Рис. 7. Распределение напряженности магнитного поля на территории подстанции при молниевом разряде в молниеотвод М1

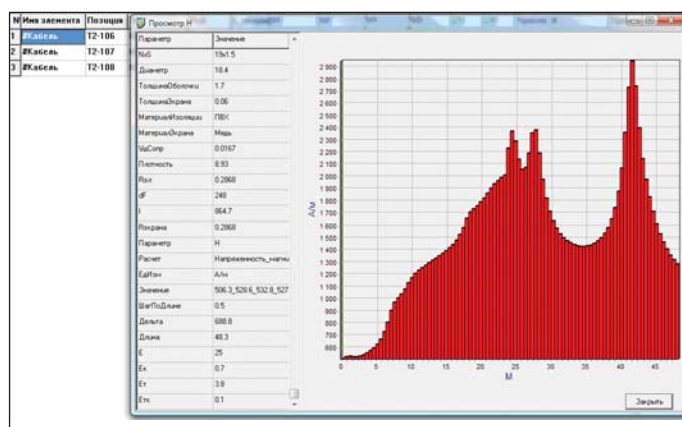


Рис. 8. Распределение напряженности магнитного поля вдоль кабеля КРУМ-ОПУ при молниевом разряде в молниеотвод М1

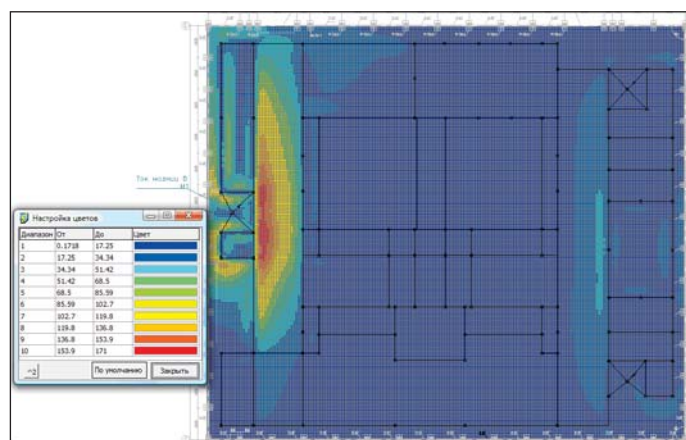


Рис. 9. Распределение напряжения шага (В) при молниевом разряде в молниеотвод М1

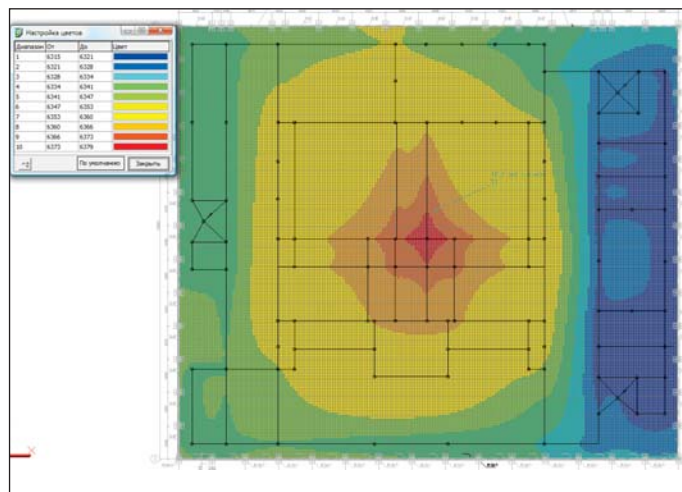


Рис. 11. Распределение потенциалов (В) при однофазном КЗ в сети 110 кВ на Т1

№	Имя элемента	Позиция	Тип	NxS	Длина	X1	X2	Y1	Y2	Z1	Z2	Трасса_X	Трасса_Y	Трасса_Z	E	Етк
1	Кабель	T2-106	КВВГЭнг-LS	19x1.5	48.34	51	32.1	22	45	0.2	0.2	27.9_27.9	22.1_42.4	0.2_0.2	94055	406.5
2	Кабель	T2-107	КВВГЭнг-LS	10x1.5	36.02	21.9	51	15.1	22	0.2	0.2	22.9_22.9	14.9_21.8	0.2_0.2	75865	236.9
3	Кабель	T2-108	КВВГЭнг-LS	7x1.5	43.5	18.2	51	32.6	22	0.2	0.2	18.2_24.7_24.7	31.2_31.2_21.9	0.2_0.2_0.2	86345	259.1

Рис. 10. Наведенные ЭДС в кабелях (В) без учета экранирования трасс и экрана кабеля (Е) и с учетом (Етк) при молниевом разряде в молниеотвод М1

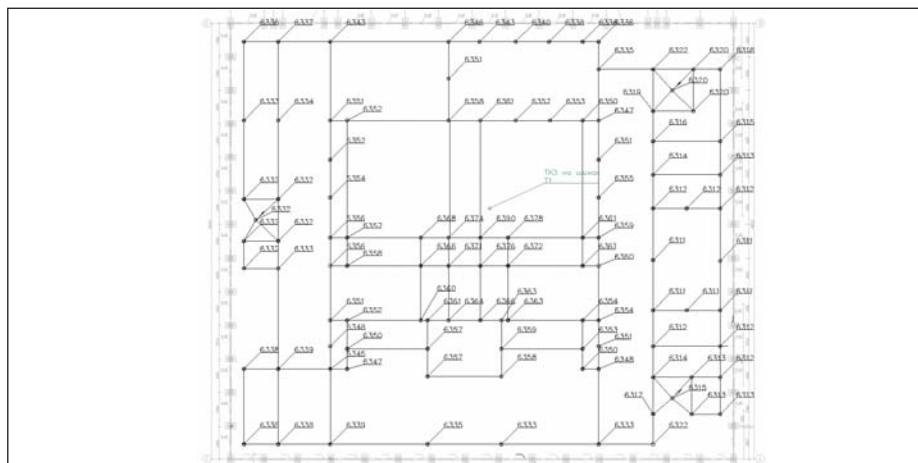


Рис. 12. Потенциалы (В) узлов 3У при однофазном КЗ в сети 110 кВ на Т1

поля (А/м) вдоль кабеля КРУМ-ОПУ при молниевом разряде в молниеотвод М1. На рис. 9 представлено распределение напряжения шага (В) при молниевом разряде в молниеотвод М1. На рис. 10 показаны наведенные ЭДС в кабелях (В) без учета экранирования трасс и экрана кабеля (Е) и с их учетом (Етк) при молниевом разряде в молниеотвод М1.

Для каждого из трансформаторов проводились расчеты для однофазных токов КЗ на стороне высшего напряжения: потенциалов в узлах системы заземлителей, токов в заземлителях, допустимых токов в заземлителях, поля потенциалов, напряженности магнитного поля, токов в экранах кабелей, допустимых токов в экранах кабелей, полей шагового напряжения. Напряженность магнитного поля при КЗ считалась как от токов в заземлителях, так и от тока в гибких ошиновках. На рис. 11 приведено распределение потенциалов (В) при однофазном КЗ в сети 110 кВ на трансформаторе Т1. На рис. 12 представлены потенциалы (В) узлов 3У



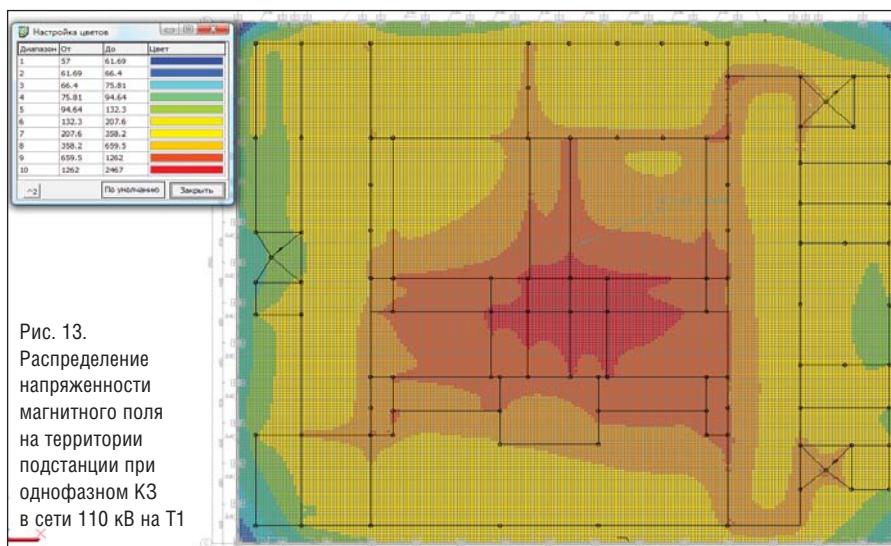


Рис. 13.  
Распределение  
напряженности  
магнитного поля  
на территории  
подстанции при  
однофазном КЗ  
в сети 110 кВ на Т1

№Имя элемента	Позиция	Тип	№С	X1	X2	Y1	Y2	Z1	Z2	Трасса_X	Трасса_Y	Трасса_Z	I	U
1 ВКабель	T2-106	КВНГЭнг-LS	18х1.5	51	32.1	22	45	0.2	0.2	27.9, 27.9	22.1, 42.4	0.2, 0.2	160.4	3
2 ВКабель	T2-107	КВНГЭнг-LS	18х1.5	21.9	51	15.1	22	0.2	0.2	22.9, 22.9	14.9, 21.8	0.2, 0.2	178.5	7
3 ВКабель	T2-108	КВНГЭнг-LS	7х1.5	18.2	51	32.6	22	0.2	0.2	18.2, 24.7, 24.7	31.2, 31.2, 21.9	0.2, 0.2, 0.2	106.4	5

Рис. 14. Токи в экранах кабелей от ОПУ к КРУМ, самой дальней точке ОПУ и Т2 расчетные (I) и допустимые (Iдоп) при однофазном КЗ в сети 110 кВ на Т1

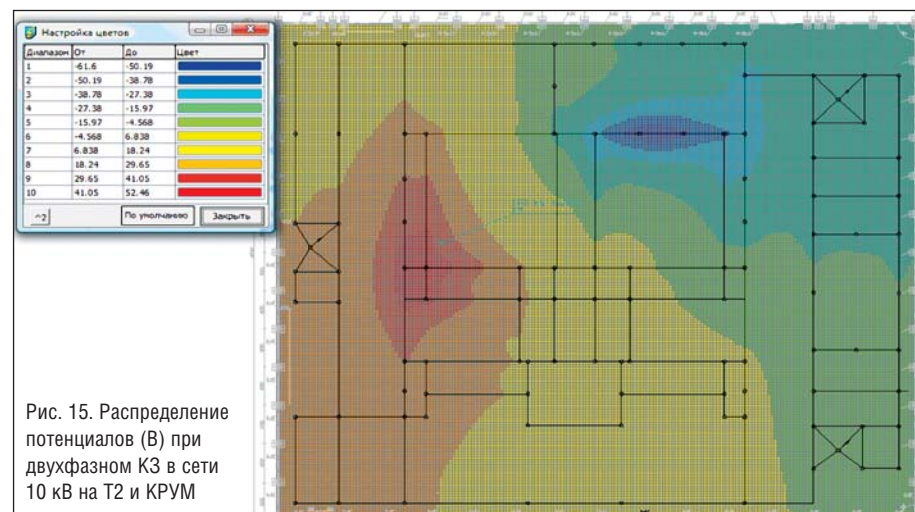


Рис. 15. Распределение  
потенциалов (В) при  
двухфазном КЗ в сети  
10 кВ на Т2 и КРУМ

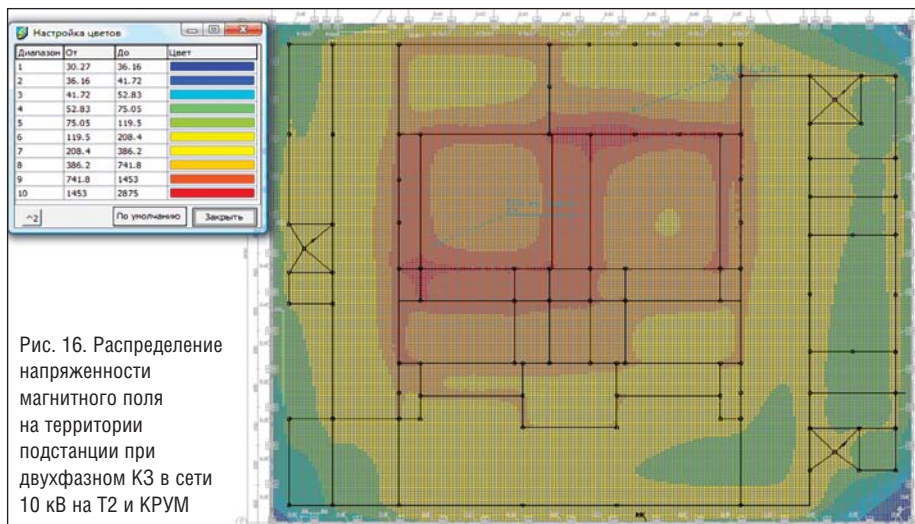


Рис. 16. Распределение  
напряженности  
магнитного поля  
на территории  
подстанции при  
двухфазном КЗ в сети  
10 кВ на Т2 и КРУМ

при однофазном КЗ в сети 110 кВ на Т1. На рис. 13 показано распределение напряженности магнитного поля (А/м) на территории подстанции при однофазном КЗ в сети 110 кВ на Т1. На рис. 14 приведены токи в экранах кабелей от ОПУ к КРУМ, самой дальней точке ОПУ и Т2 расчетные (I) и допустимые (Iдоп) при однофазном КЗ в сети 110 кВ на Т1. Для расчета токов в экранах кабелей в исходные данные точки входа тока вводилось время действия тока как время срабатывания резервной защиты. Длительность фронта импульса при КЗ задавалась как длительность полупериода тока промышленной частоты, то есть 0,01 с.

Для двухфазных КЗ на стороне низшего напряжения вводилось две точки входа тока: цепи заземления нейтралей (баков) силовых трансформаторов и узловые точки заземлителя вокруг зданий ОПУ или КРУМ. При этом были задействованы одновременно две точки входа тока. На рис. 15 показано распределение потенциалов (В) при двухфазном КЗ в сети 10 кВ на Т2 и КРУМ. На рис. 16 представлено распределение напряженности магнитного поля (А/м) на территории подстанции при двухфазном КЗ в сети 10 кВ на Т2 и КРУМ.

Результаты расчетов ЭМО сравнивались с нормативными и на основании этого сравнения делались выводы об электромагнитной совместимости объектов проектирования. Так, на одном из объектов было принято решение о переносе одного из молниеприемников на несколько метров от здания ОПУ.

Применение системы ElectricStorm для автоматизации проектирования электромагнитной совместимости позволяет сократить сроки проектирования в части ЭМС, а также повысить производительность труда проектировщиков и качество выполненных проектов.

д.т.н. Александр Салин  
СSoft Иваново,  
к.т.н. Сергей Словесный  
Ивановский государственный  
энергетический университет,  
Татьяна Маринич  
ООО "Петербургэнергострой"  
Тел.: (4932) 33-3698