

ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ В СРЕДЕ ELECTRICS STORM ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОРУ 220 КВ В ООО «РОСЭНЕРГОПРОЕКТ» (Г. МОСКВА)



ООО «Росэнергопроект» осуществляет комплекс услуг по проектированию объектов энергетики, в том числе:

- предпроектные проработки;
- основные технические решения;
- разработка проектной документации;
- разработка технических требований к оборудованию, строительным конструкциям и материалам;
- прохождение экспертизы;
- авторский надзор.

Объектами проектирования ООО «Росэнергопроект» являются:

- в сетевом строительстве: ПС 110/220/330 кВ, ВЛ и КЛ 110/220 кВ;
- в генерации: системы возбуждения, турбогенераторы, котлоагрегаты, АСУТП и т.д.

В случае, о котором пойдет речь в этой статье, специалисты ООО «Росэнергопроект» разрабатывали проект реконструкции ОРУ-220 кВ и строительства нового КРУЭ-220 кВ ТЭЦ-20 (филиала ОАО «Мосэнерго»), а также их электромагнитной совместимости (ЭМС).

Особенностью проектирования реконструируемых объектов является необходимость нахождения компромисса между стремлением проектировщиков максимально использовать уже существующие инженерные сооружения и точным выполнением требований действующих нормативных документов. На реконстру-

ируемых энергообъектах одновременно может использоваться и основное (первичное) и вспомогательное (вторичное) оборудование разных поколений, требования к которому постоянно изменяются в сторону ужесточения.

В первую очередь это относится к устройствам релейной защиты и противоава-

рийной автоматики (РЗ и ПА), выполняющим наиболее ответственные функции по управлению и информационному обеспечению объектов электроэнергетики. Устройства РЗ и ПА последних поколений отличаются от ранее используемых большей чувствительностью и большим объемом выполняемых функций и, как следствие, — более жесткими требованиями к качеству информационных сигналов и электропитания, а также к уровням электромагнитных излучений, воздействующих на терминалы РЗ и ПА непосредственно в месте их расположения.

Качество информационных сигналов и электропитания определяется наводками в цепях передачи данных и в цепях питания, создаваемыми действующими электроустановками, при этом максимальные электромагнитные помехи в указанных цепях возникают при растекании по элементам заземляющего устройства токов молнии (удар молнии в молниеприемник) и токов короткого замыкания в первичном оборудовании и в системе собственных нужд (двухфазное замыкание). В этих условиях одной из основных задач проектировщиков является координация характеристик существующей электромагнитной обстановки с соответствующими характеристиками заменяемого или вновь устанавливаемого оборудования.

Система ElectriCS Storm предназначена для автоматизированного проектирования молниезащиты, заземления и электромагнитной совместимости промышленных и энергетических объектов. Система ElectriCS Storm 5-й версии состоит из четырех основных подсистем: расчета молниезащит (РМЗ), классического расчета заземляющих устройств (РЗУ), специализированного расчета заземления подстанций (РП) и расчета электромагнитной обстановки (ЭМО).

Подсистема РМЗ системы ElectriCS Storm предназначена для автоматизированного расчета и построения зон защит молниевыводов, а также горизонтальных и вертикальных сечений этих зон. Расчет и построение зон защит производится по СО 153-34.21.122-2003 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных предприятий», РД 34.21.122-87 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений» и СТО Газпром 2-1.11-170-2007 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и коммуникаций ОАО Газпром».

Подсистема расчета ЭМО системы ElectriCS Storm предназначена для авто-

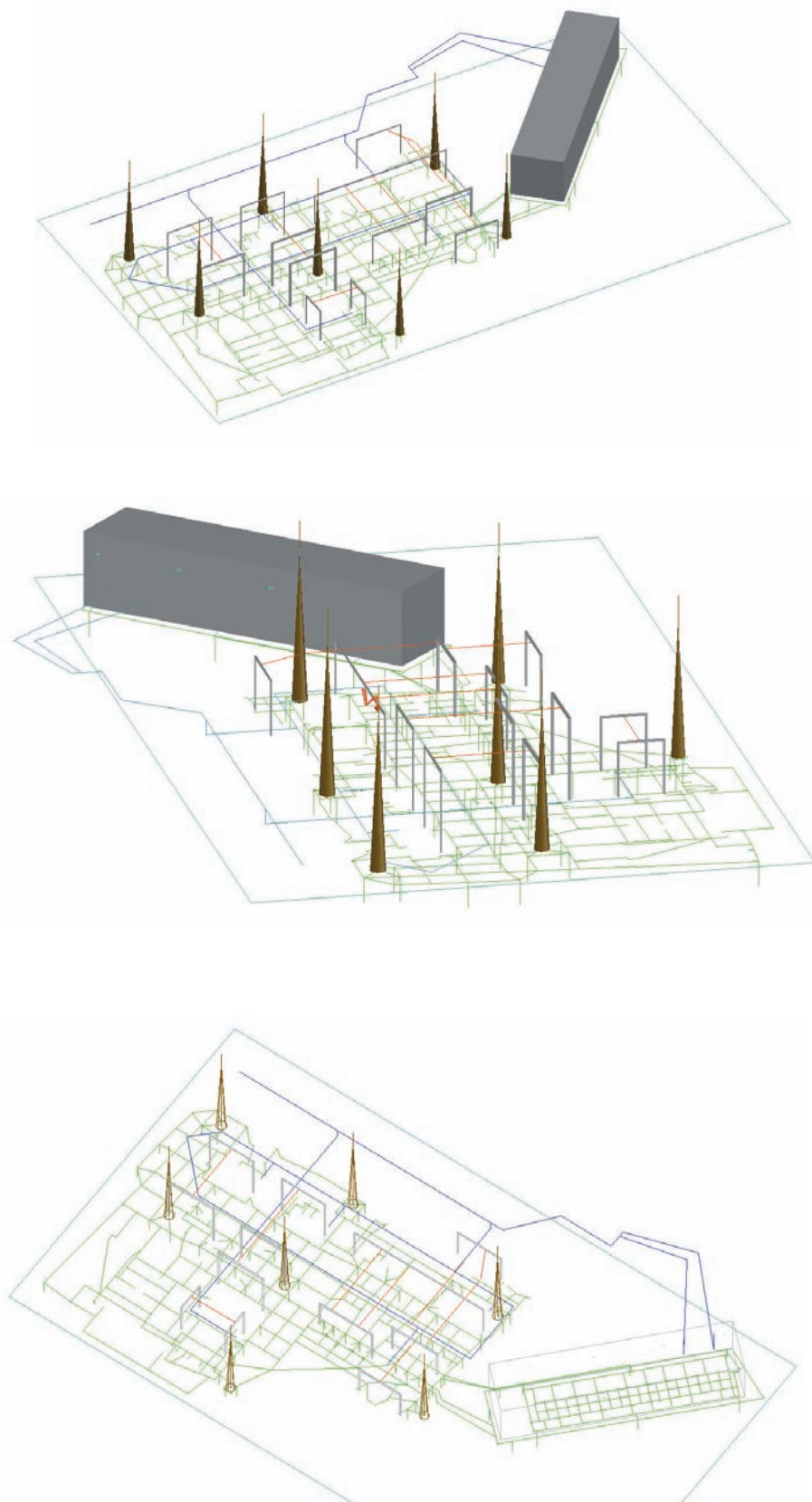


Рис. 1-3. Исходные данные для расчета ЭМО в 3D-виде



матризированного 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;

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

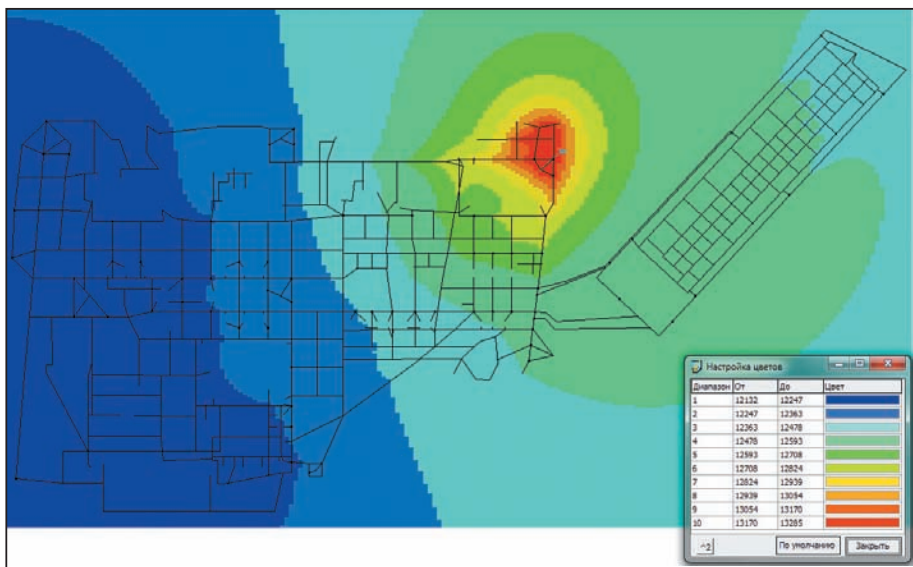
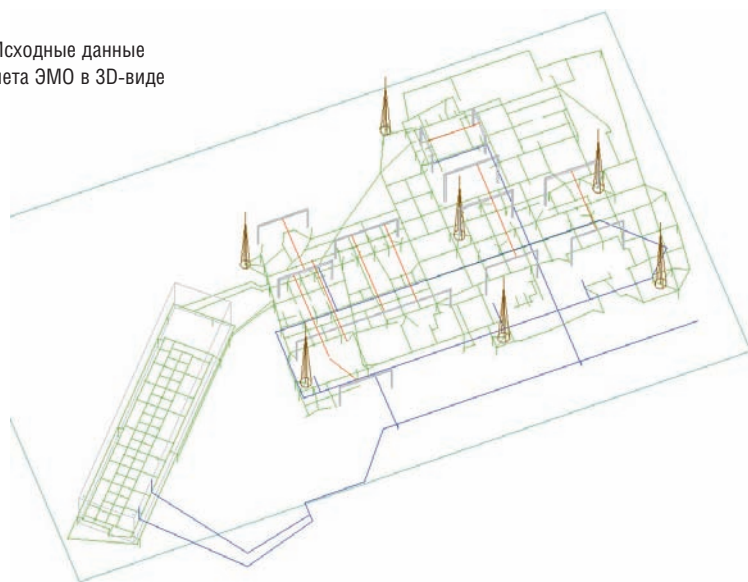


Рис. 5. Распределение потенциалов (В) при молниевом разряде в молниеотвод М3

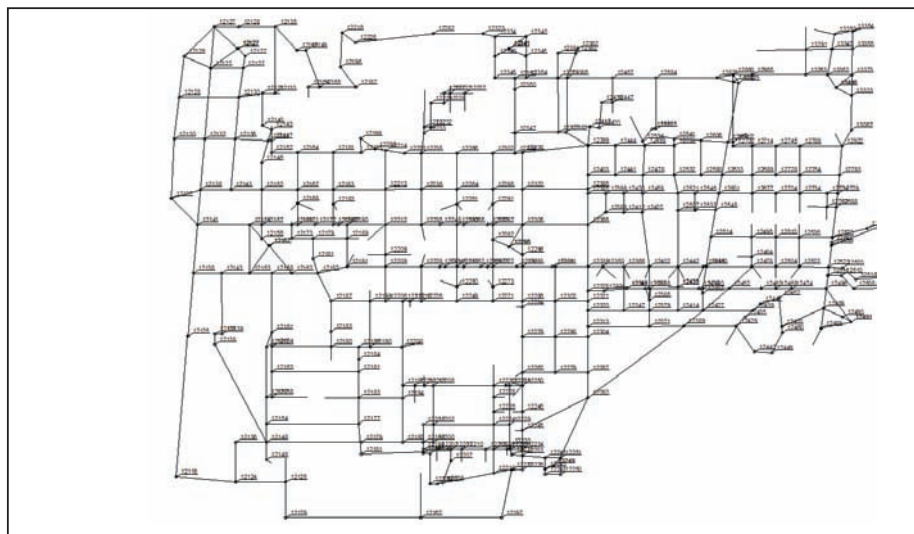


Рис. 6. Потенциалы (В) узлов ЗУ ОРУ при молниевом разряде в молниеотвод М3

- 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 (линии 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 при проектировании реконструкции ОРУ 220 кВ являлись:

- компоновка оборудования на территории ОРУ;
- компоновка оборудования внутри КРУЭ;
- компоновка оборудования ГРУ-6 и ГРУ-10 кВ;
- главная схема электрических соединений ТЭЦ-20;
- план расположения заземляющего устройства;
- схема кабельных трасс;
- спецификации оборудования и его технические характеристики (степень жесткости испытания);
- результаты расчета токов КЗ и другие.

В систему ElectricCS Storm для расчета ЭМО вводились следующие данные:

- *горизонтальные и вертикальные заземлители* — их координаты зачислялись с планов, выполненных в AutoCAD, а размеры добавлялись полуавтоматически с помощью макроса. Горизонтальные заземлители зачислялись из AutoCAD в два этапа. Это было вызвано тем, что существующие и вновь добавляемые заземлители находились в двух разных слоях чертежа. К тому же, у них отличались габариты (4x40 мм — у существующих и 5x60 мм — у новых);
- *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, а также на шинах КРУЭ. Координаты точек входа (X и

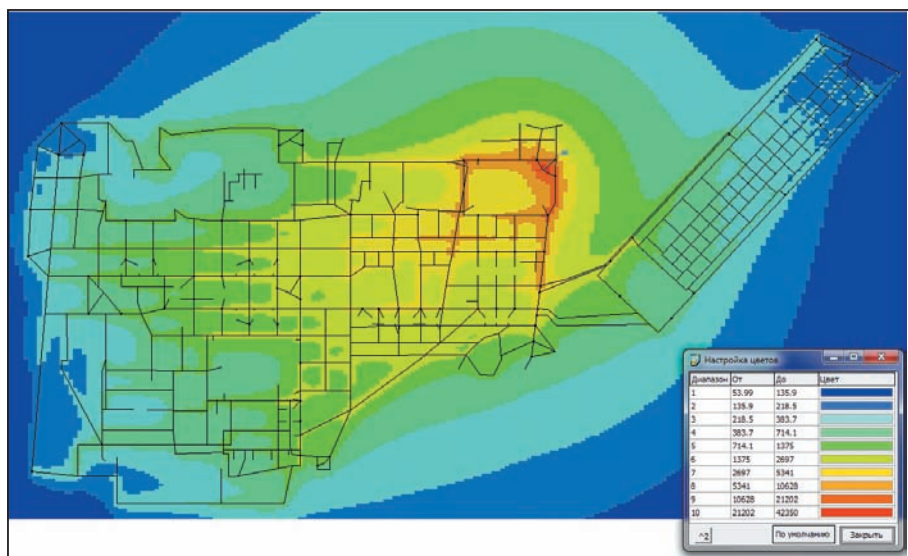


Рис. 7. Распределение напряженности магнитного поля на территории ОРУ при молниевом разряде в молниеотвод МЗ

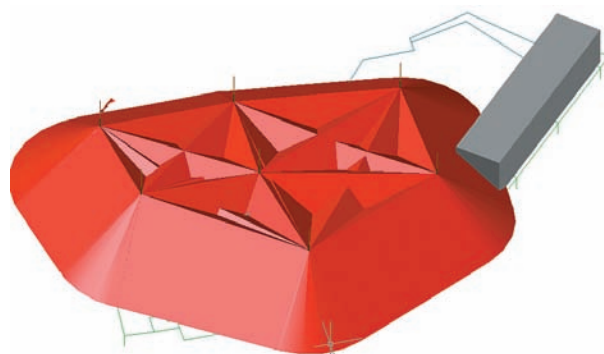


Рис. 8. Зоны молниезащиты в 3D-виде

- 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 вводились вручную;
- *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 ElectricCS Storm. Параметры кабелей (тип, NxS) вводились вручную. Вводились не все кабели, а только потенциально проблемные: уходящие на самые дальние точки ОРУ, проходящие вблизи молниеприемников и т.д.;
- *точки контроля* — вводились по углам и в центре помещений щитов управления КРУЭ, а также в местах установки шкафов с микропроцессорными терминалами защит в ГРУ-6 кВ и в ГРУ-10 кВ;

- также вводились здание ОРУ и порталы, зона расчета и общие данные.

Примеры исходных данных в 3D-виде приведены на рис. 1-4.

Для каждого из молниеприемников производились расчеты потенциалов в узлах системы заземлителей, токов в заземлителях, допустимых токов в заземлителях, полей 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 МЗ, на рис. 6 показаны потенциалы (В) узлов ЗУ ОРУ при молниевом разряде в молниеотвод МЗ, а на рис. 7 представлено распределение напряженности магнитного поля (А/м) на территории ОРУ при молниевом

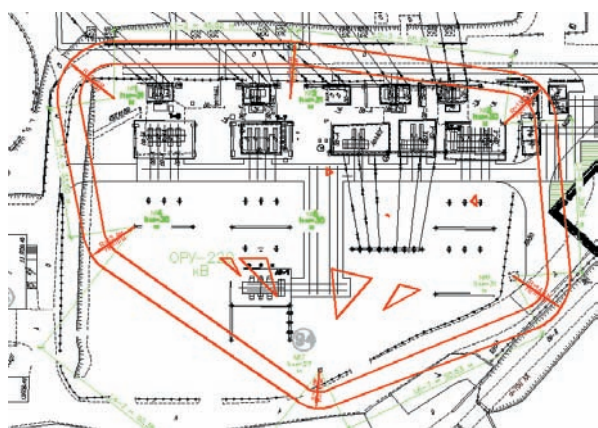


Рис. 9. Горизонтальное сечение зон молниезащиты на высоте 16 м

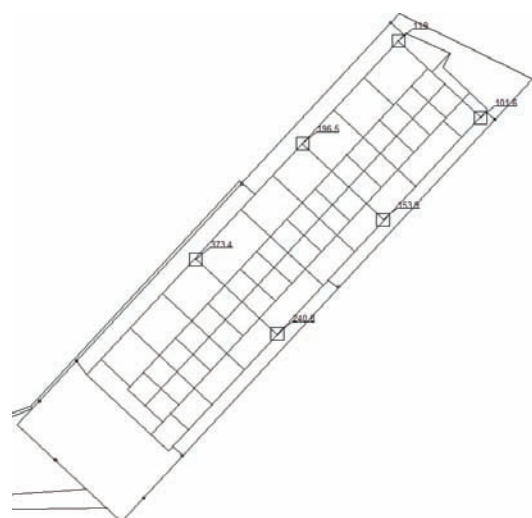


Рис. 10. Напряженность магнитного поля в контрольных точках в здании КРУЭ на высоте 11 м при молниевом разряде в молниеотвод М3

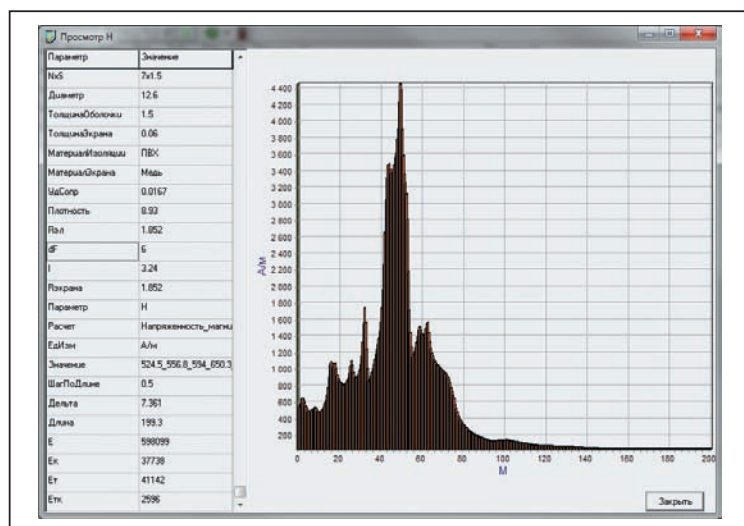


Рис. 11. Распределение напряженности магнитного поля вдоль кабеля АТ1-КРУЭ при молниевом разряде в молниеотвод М3

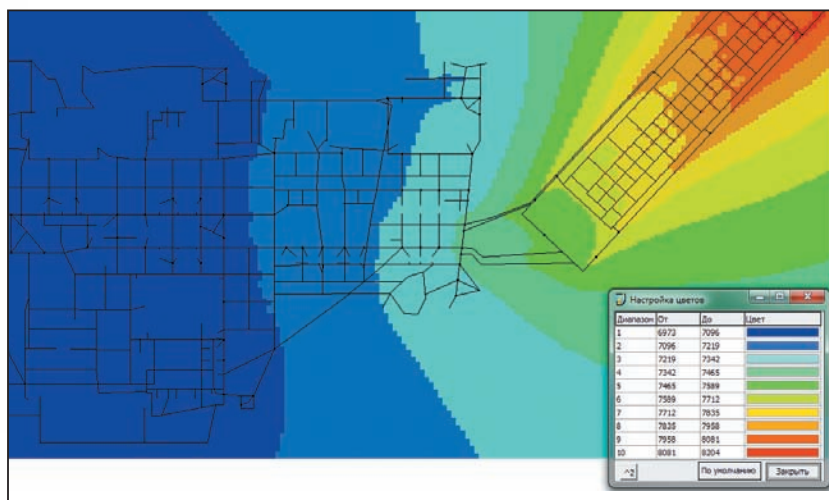


Рис. 12. Распределение потенциалов (В) при однофазном КЗ в сети 220 кВ на шинах КРУЭ

разряде в молниеотвод М3. На рис. 8 показаны зоны молниезащиты в 3D-виде, а на рис. 9 представлено горизонтальное сечение зон молниезащиты на высоте 16 метров. На рис. 10 приведено распределение напряженности магнитного поля (А/м) в контрольных точках в здании КРУЭ на высоте 11 м при молниевом разряде в молниеотвод М3, а на рис. 11 показано распределение напряженности магнитного поля вдоль кабеля АТ1-КРУЭ при молниевом разряде в молниеотвод М3.

По каждому из трансформаторов (автотрансформаторов) для однофазных токов КЗ на стороне высшего напряжения производились расчеты потенциалов в узлах системы заземлителей, токов в заземлителях, допустимых токов в заземлителях, полей 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.

Такие же расчеты производились для однофазного КЗ на шинах КРУЭ-220. На рис. 12 приведено распределение потенциалов (В) при однофазном КЗ в сети 220 кВ на шинах КРУЭ, а на рис. 13 показано распределение напряженности магнитного поля (А/м) при однофазном КЗ в сети 220 кВ на шинах КРУЭ. При расчете токов в экранах кабелей в исходные данные точки входа тока вводилась продолжительность действия тока как время срабатывания резервной защиты. Длительность фронта импульса при КЗ задавалась как длительность полупериода тока промышленной частоты, то есть 0,01 с.

По плану реконструкции ОРУ-220 кВ часть микропроцессорных терминалов защит должна размещаться в помещениях ГРУ-6 кВ и ГРУ-10 кВ, поэтому для данных помещений был выполнен расчет магнитных полей от токоограничивающих реакторов, установленных в ячейках на первом этаже ГРУ. Поля считались для реакторов, наиболее близких к шкафам с терминалами и с максимальными токами КЗ. На рис. 14 приведено распределение магнитного поля (А/м) в здании ГРУ 10 кВ на высоте 6 м, а на рис. 15 показано распределение магнитного поля (А/м) в здании ГРУ 6 кВ на высоте 6 м.

Результаты выполненных расчетов характеристик ЭМО сравнивались с допустимыми характеристиками для принятых к установке технических средств и на основании этого делались выводы об электро-

магнитной совместимости объектов проектирования. В том случае, если расчетные характеристики ЭМО превышали допустимые, разрабатывался комплекс защитных мероприятий, после чего выполнялся новый расчет корректируемого параметра.

Так, например, в результате расчета было установлено, что токи в экранах кабелей, соединяющих КРУЭ с ОРУ 220 кВ, при однофазном КЗ в сети 220 кВ на шинах КРУЭ превышают допустимые по термической устойчивости. Для уменьшения токов в экранах указанных кабелей может быть выполнена прокладка дополнительных металловязей между рассматриваемыми объектами (КРУЭ 220 кВ и ОРУ 220 кВ).

Повторный расчет токов в экранах проблемных кабелей для указанного режима с учетом предложенных рекомендаций показал соответствие расчетных характеристик допустимым.

Программа ElectriCS Storm сертифицирована для расчета и проектирования молниезащиты, заземления и электромагнитной совместимости (сертификат представлен на рис. 16) и позволяет сократить сроки проектирования, повысить производительность труда проектировщиков и качество проектов.

к.т.н. Наум Сандлер
«Росэнергопроект»

д.т.н. Александр Салин
CSoft Иванова

к.т.н. Сергей Словесный,
Анатолий Рунцов
Ивановский государственный
энергетический университет

E-mail: Salin@dsn.ru

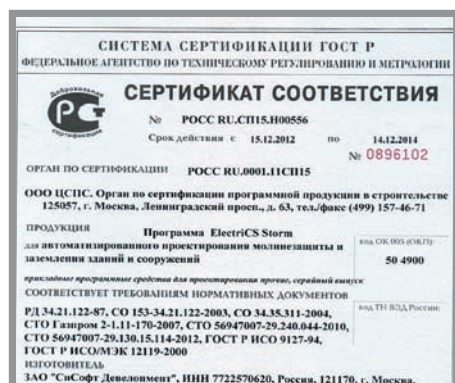


Рис. 16. Сертификат ElectriCS Storm

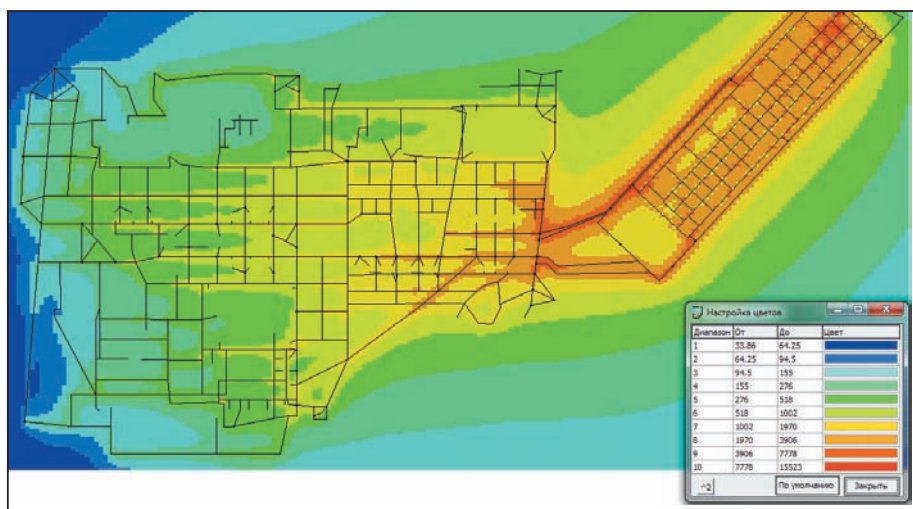


Рис. 13. Распределение напряженности магнитного поля при однофазном КЗ в сети 220 кВ на шинах КРУЭ

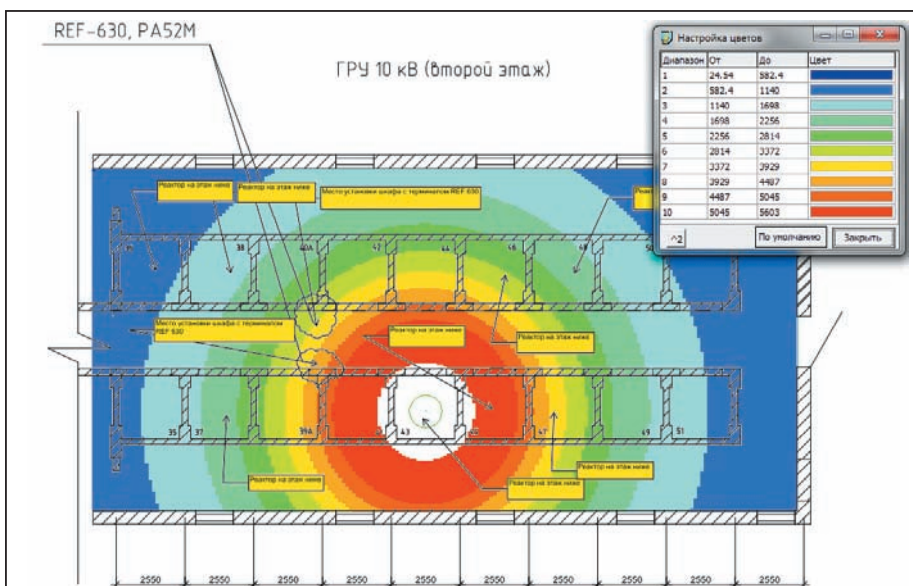


Рис. 14. Распределение магнитного поля в здании ГРУ 10 кВ на высоте 6.0 м

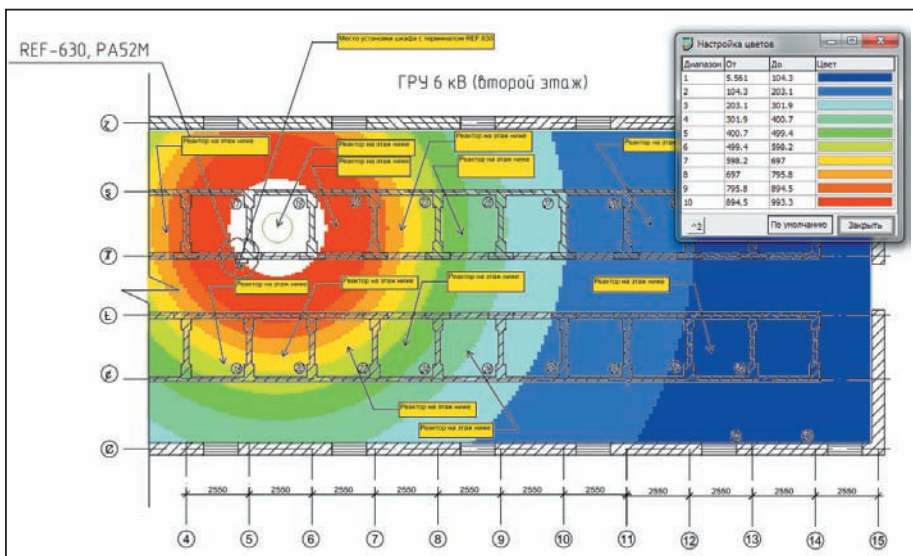


Рис. 15. Распределение магнитного поля в здании ГРУ 6 кВ на высоте 6.0 м