

# Опыт применения интерактивной 3D-модели на подстанции 220 кВ

**Аникушкин М.Н.,**  
генеральный директор  
ООО «Тетравижн»

**Леонов А.В.,**  
директор по производству  
ООО «Тетравижн»

**Буйнов А.В.,**  
главный специалист  
отдела управления  
производственными  
активами филиала  
ПАО «ФСК ЕЭС» —  
Хакасского ПМЭС

**На подстанции 220 кВ Абакан Районная филиала ПАО «ФСК ЕЭС» — Хакасского ПМЭС успешно опробована методика подготовки работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования ОРУ-110 кВ с использованием интерактивной 3D-модели.**

**Н**аземное лазерное сканирование промышленных объектов стало стандартной технологией съемки для создания трехмерных САПР-моделей и документирования объектов. Однако в настоящее время для многих предприятий применение «тяжелых» статичных 3D-моделей, доступ к которым могут получить лишь специалисты в дорогостоящих САПР-системах, недостаточно и неэффективно.

Руководители и специалисты предприятий заинтересованы в создании простых интерактивных 3D-моделей, доступных широкому кругу пользователей без использования специальных САПР-систем, для более эффективного решения задач эксплуатации объектов, планирования работ по техническому обслуживанию и ремонту, а также обеспечения безопасности производства работ в действующих электроустановках.

Потенциал современных технологий лазерного сканирования, трехмерной интерактивной компьютерной графики и программных возможностей позволяет создавать такие визуально наглядные приложения. В частности, на ПС 220 кВ Абакан Районная такая 3D-модель используется в качестве эксперимента при организации эксплуатации энергообъекта.

## **АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ**

Правила организации технического обслуживания и ремонта оборудования, зданий и сооружений электростанций и сетей (СО 34.04.181-2003) предписывают: «...5.1.11. Работы по ремонту и техническому обслуживанию объектов электрических сетей производятся по типовым или местным инструкциям, технологическим картам, картам организации труда, проектам производства работ».

При подготовке проектов производства работ (ППР) специалисты предприятий, эксплуатирующих электроустановки, должны определить безопасную последовательность выполнения работ, пути передвижения персонала, места размещения оборудования и техники на каждом из этапов производства работ. Это невозможно без четкого представления о компоновке энергообъекта, габаритных размерах оборудования, сооружений, элементов конструкций и т.п. Необходимая информация содержится в проектной документации ПС. Большинство подстанций эксплуатируются 30, 40 или более лет, и полноценное использование проектной документации не всегда возможно ввиду ее ветхости или частичной утраты. В результате для составления качественной документации требуется выезд специалиста непосредственно на объект.

В обычной практике специалист энергопредприятия проводит замеры на поверхности земли, пытаясь определить расстояния между элементами электрооборудования и конструкций, расположенными на значительной высоте. Такие замеры проводятся, когда оборудование еще не выведено в ремонт и специалист должен учесть изменение положения коммутационных аппаратов. На основе проведенных измерений строятся эскизы и чертежи рабочих зон. Особой точностью такие построения отличаться не могут, и результаты полностью зависят от квалификации и опыта работы специалиста. Таким образом, процесс определения зон возможного безопасного производства работ в значительной мере зависит от субъективных факторов.

Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок устанавливают допустимые расстояния до токоведущих частей электроустановок, находящихся под напряжением. То есть при выполнении работ не допускается приближение к токоведущим частям, находящимся под напряжением, на расстояние менее допустимого. В процессе проведения работ расстояние измерять затруднительно, и работник должен полностью полагаться на визуальное восприятие допустимого габарита. Следует вспомнить, какова точность измерений. В связи с этим работник вынужден в значительной мере руководствоваться собственным опытом.

В результате изучения существующей практики организации ремонтных работ и действующих нормативных документов выявлены типовые недостатки в организации работ по техническому обслуживанию и ремонту на электросетевых объектах:

- проекты производства работ недостаточно точны;
- безопасность производства работ в большой степени зависит от субъективных факторов (знание компоновки открытого распределительного устройства (ОРУ), опыт работы в данной электроустановке и квалификации работника).

Наименьшим из недостатков существующей методики разработки ППР являются высокие затраты. В зависимости от сложности работ трудозатраты на разработку одного ППР могут составлять от 3 до 5 и более рабочих дней. Большая часть из которого уходит на составление планов и чертежей. Кроме этого в обязательном порядке потребуется выезд на объект для проведения натуральных измерений.

Для оценки возможности повышения эффективности подготовки ремонтных работ, на ОРУ-110 кВ ПС 220 кВ Абакан Районная филиала ПАО «ФСК ЕЭС» — Хакасское ПМЭС был успешно выполнен пилотный проект по созданию интерактивной 3D-модели.

Сначала по результатам лазерного сканирования была создана точная и детальная 3D-модель подстанции. Затем на основе полученной 3D-модели создано интерактивное приложение на основе 3D движка Unity3D. Оператор может работать с этим интерактивным приложением на любом компьютере без специальной подготовки.

### ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ

Разработаны три варианта (сценария) использования приложения: ознакомление с объектом, планирование эксплуатации и ремонтных работ, организация обучения и тренировок оперативного персонала.

Для ознакомления с объектом, оператор может «перемещаться» по территории ОРУ, получая на экране вид, который может увидеть специалист при реальном осмотре электроустановки, но в отличие от реального осмотра модель позволяет приближать и удалять вид, меняя сектор осмотра. Кроме этого имеется возможность наблюдать ОРУ в режиме «полета», получая изображение вида сверху на различной высоте, выделяя ярусы.

Предусмотрена и возможность перемещения техники и персонала по территории ОРУ. Модель сопоставляет положение в пространстве техники и персонала с положением зон безопасности. Когда объект пересекает зону допустимой электробезопасности,

выдается предупреждение в виде мигания экрана, всплывающего текста и/или звуковых сигналов. Кроме этого имеется окно с атрибутивной информацией об элементах сцены, появляющееся при нажатии кнопки мыши.

Второй вариант использования — это планирование ремонтных работ. Для этой цели используются следующие возможности модели:

- моделирование реальных ремонтных режимов электроустановки изменением положения разъединителей и заземляющих ножей;
- отображение допустимых расстояний при приближении к незаземленным токоведущим частям электроустановки;
- определение зоны безопасного проведения работ и перемещения техники;
- определение достоверных (с точностью 5 см) расстояний между любыми объектами;
- определение и отслеживание кратчайшего расстояния между транспортным средством, механизмом и токоведущими частями при перемещении по виртуальному ОРУ;
- формирование двухмерных чертежей с использованием ортогональной проекции.

Третий вариант применения — организация обучения и тренировок оперативного персонала. Приложение позволяет формировать динамические сцены развития возможных аварийных ситуаций в соответствии с заданным сценарием и в зависимости от действий персонала. Например, имеется возможность оценить действия оперативного персонала при возгорании маслонаполненного оборудования, начиная от определения текущей ситуации до завершения тушения возгорания подразделением МЧС.

### СОЗДАНИЕ 3D-МОДЕЛИ

Работы по лазерному сканированию подстанции проводились с использованием лазерного сканера Leica P20, позволяющего определять местоположение в пространстве сотен тысяч точек в секунду с точностью в несколько миллиметров.



Рис. 1. Лазерное сканирование электрической подстанции

Было отсканировано 2 га объекта с использованием сканера Leica P20 с 37 позиций в июне 2014 года (рисунок 1). Расстояние между точками в облаке точек составило несколько миллиметров, что обеспечило избыточное количество точек. Поэтому облако точек было прорежено, прежде чем импортировать его в программное обеспечение Leica Cyclone для дальнейшей обработки.

Массив полученной информации — трехмерная точечная модель, или облако точек — был преобразован в геометрические 3D-модели.

После создания геометрической 3D-модели на основе облака точек, модель была текстурирована. Для того чтобы оптимизировать интерактивную визуализацию в реальном времени, число полигонов было уменьшено путем слияния или упрощения 3D-мешей, что в итоге дало набор данных размером 300 Мб. Такой небольшой размер модели обеспечивает быструю и плавную визуализацию даже на низкопроизводительных компьютерах. Упрощение не повлияло на требуемую точность: глобальная точность составила 2 см, локальная точность — лучше, чем 1 см.

Моделирование было выполнено в Blender 3D. Это бесплатное программное обеспечение с открытым исходным кодом, которое позволяет создавать 3D-модели и взаимодействовать с 3D-моделя-

ми, а также создавать интерактивные приложения и т.п. Код, который развивается с середины 90-х, свободно доступен с 2002 года. Blender 3D имеет более 500 тысяч пользователей во всем мире и продолжает постоянно развиваться. Среди бесплатно доступных средств моделирования — это, возможно, одно из лучших для создания сложных 3D-моделей и подготовки сцен для 3D-движков.

3D-модели рабочих и транспортных средств были созданы для целей анимации, и пользователь может перемещать их по территории (рисунок 2). 3D-модель объекта была дополнена зонами электробезопасности в соответствии с действующими стандартами и нормативами. Размер этих зон зависит не только от напряже-

ния проводника (чем больше напряжение, тем больше размер), но и от типа объекта, который перемещается по сцене. Зоны безопасности для рабочих меньше, чем для транспортных средств и машин. Разные типы зон электробезопасности были смоделированы и визуализированы в сцене как полупрозрачные трубки вокруг проводников (рисунки 2 и 3). Опасные зоны для машин окрашены в голубой цвет, а для рабочих — в красный цвет.

Сценарное окружение было создано с помощью движка Unity 3D. Этот движок развивается с 2005 года и применяется в основном для разработки компьютерных игр. Продвинутая версия (Pro), которая использовалась в проекте, потребовала приобретения лицен-



Рис. 2. Опасные зоны смоделированы как полупрозрачные трубки, отдельно для персонала и техники

зии разработчиком. Но базовая функциональность — в свободном доступе, и созданное пользовательское приложение может запускаться бесплатно на любом компьютере, самостоятельно или в браузере.

Создание данного приложения с простым графическим интерфейсом пользователя заняло около 30 рабочих дней, включая разработку интерфейса с нуля и выполнение многих итеративных доработок и улучшений по пожеланиям заказчика.

Приложение разрабатывалось для установки на компьютерах с характеристиками не ниже: Windows 7 и выше, 32-битная (для низкополигональных и/или небольших 3D-моделей объемом менее 2 Гб), 64-битная (для 3D-моделей объемом более 2 Гб), процессор Intel Core i5, оперативная память 4 Гб, видеоадаптер встроенный Intel HD Graphics 5500 или аналогичный, жесткий диск 500 Гб. Приложение не требует никакой поддержки со стороны дорогостоящих САПР-приложений. Интерфейс простой и интуитивный, и любой инженер в состоянии работать с моделью после ознакомления с инструкцией. Это важные преимущества игрового программного обеспечения. Модель может быть визуализирована как в моно, так и в стерео режиме; стерео режим значительно увеличивает степень погружения и предназначается в основном для тренировочных задач и игрового обучения.



Рис. 3. Секция шин ОРУ и выключатель выведены в ремонт (опасные зоны изображаются вдоль всех незаземленных частей электроустановки)

### РЕЗУЛЬТАТ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИ

Использование программного комплекса позволило:

- сократить расходы на подготовку ремонтных работ;
- выявить особо сложные, в части организации ремонтных работ, участки электроустановки;
- оптимизировать последовательность производства этапов работ, перемещения техники и механизмов;
- создать совершенно новый метод обучения и тестирования оперативного персонала.

Специалисты предприятия рассматривают планирование эксплуатации и ремонтных работ как наиболее многообещающее при-

менение приложения. Приложение имеет значительный, пока не полностью оцененный, потенциал развития. Планируется дополнить приложение базами данных техники (габариты, радиус разворота, грузоподъемность, грузовые характеристики и т.д.). В перспективе возможна и интеграция в систему АСУ ТП, создание системы мониторинга объекта и местоположения персонала и техники в реальном времени. **Р**



г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 37, оф. 4.4.  
[www.tetravision.ru](http://www.tetravision.ru)  
[info@tetravision.ru](mailto:info@tetravision.ru)  
 +7 (906) 250-00-51

**Смоленцев М.В.**, заместитель главного инженера по эксплуатации основного оборудования МЭС Сибири — филиала ПАО «ФСК ЕЭС»

Представленная статья показывает новый взгляд на организацию ремонтных работ в электроустановках, выявляет проблемы, которым раньше не уделялось внимание. Коллектив авторов не только показывает суть проблемы, но и предлагает пути решения. Немаловажно, что для выработки решений используются современные, инновационные технологии. Технологии, позволяющие реализовать имеющийся потенциал персонала и информационного оборудования, но не требующие приобретения программного обеспечения и компьютерной техники.

ПС 220 кВ Абакан Районная — не первая подстанция, подвергшаяся лазерному ска-

нированию, но на этой подстанции материалы сканирования впервые применены для использования при эксплуатации подстанции. Стоит отметить возможность создания 3D-симулятора для обучения и тестирования персонала. Это крайне важная и перспективная разработка.

Считаю, что материал окажется интересен для работников подразделений, занятых подготовкой ремонтных работ и их непосредственным проведением. Не останется он без внимания и у работников, организующих оперативное управление подстанциями, и специалистов, осуществляющих надзор за соблюдением требований охраны труда.

