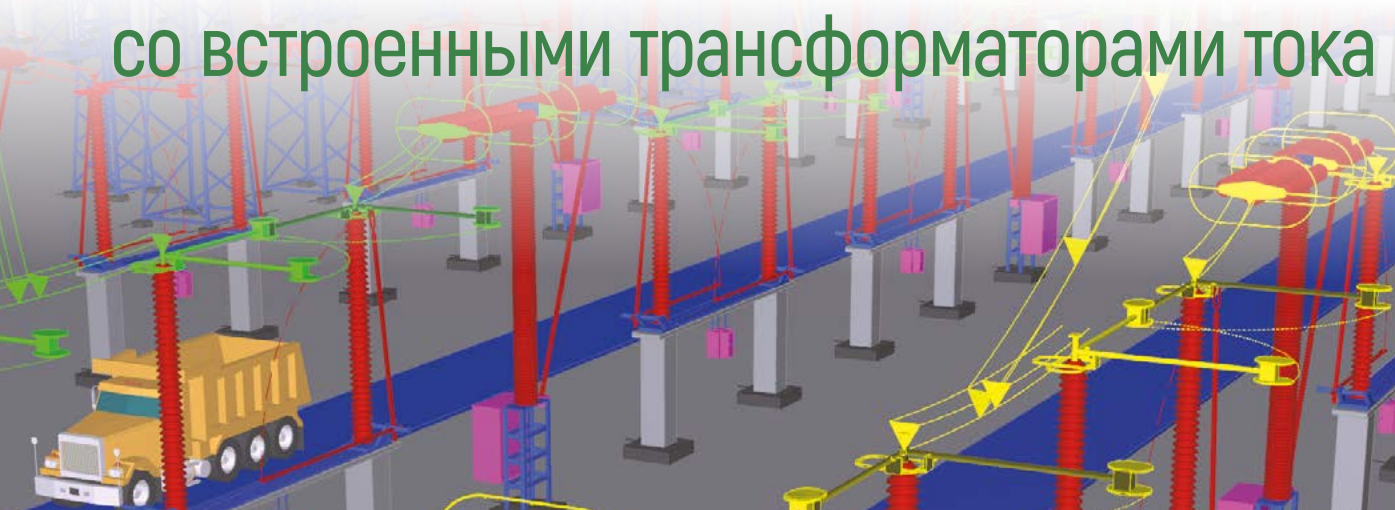


Применение технологий информационного моделирования для оптимизации типовых схемно-компоновочных решений за счёт использования колонковых выключателей со встроенными трансформаторами тока



Современный уровень развития технологий «Цифровая подстанция» и «Цифровое проектирование», применяемых в электроэнергетике, обеспечивает возможность моделирования новых конструктивных решений с целью оптимизации схемно-компоновочных решений, включая уменьшение строительной площадки и количества единиц устанавливаемого оборудования. В статье приведено описание методики и результатов моделирования замены классических измерительных трансформаторов на электронные оптические, в том числе замены отдельностоящих выключателей и трансформаторов тока на колонковые элегазовые выключатели со встроенными трансформаторами тока при строительстве ОРУ на примере типовой схемы «трансформаторы – шины с присоединением линий через два выключателя» (№ 500-15) с расположением выключателей в один ряд.

А.А. Орлов, Е.А. Талинина,
АО «НТЦ ФСК ЕЭС»
З.Е. Пугаченко, И.Г. Паршуков
ПАО «ФСК ЕЭС»

В настоящее время для оперативных переключений в присоединениях, по которым протекает ток нагрузки или ток короткого замыкания (КЗ), в открытых распределительных устройствах (ОРУ) напряжением 110-500 кВ для коммутации присоединений применяются элегазовые выключатели бакового и колонкового исполнения. Для организации работы релейной защиты, учёта электрической энергии и измерений последовательно с выключателем устанавливается трансформатор тока (ТТ), а в некоторых схемах для этих целей требуется установка дополнительного ТТ.

Конструкция бакового выключателя позволяет установить в его высоковольтных вводах встроенные ТТ, в то время как для колонкового выключателя необходим отдельностоящий ТТ, расположенный на некотором расстоянии от него. Следует отметить, что в ОРУ напряжением 330 и 500 кВ баковые элегазовые выключатели применяются крайне редко.



Рисунок 1. Полюс выключателя со встроенным ТТЭО

Чтобы повысить проектные показатели компоновочных решений ОРУ номинальных классов напряжения 330 и 500 кВ, отечественные изготовители высоковольтного оборудования разработали колонковый выключатель со встроенным электронным оптическим трансформатором тока (ТТЭО), который устанавливается на один из двух высоковольтных контактных выводов, а измерительное оптическое волокно опускается в изоляторе непосредственно к заземлённому основанию опорного изолятора выключателя, как это представлено на рисунке 1 [1].

Потенциальные эффекты применения цифровых измерительных трансформаторов в компоновочных решениях ОРУ

Применение электронных оптических измерительных трансформаторов позволяет отказаться от маслонаполненных и/или элегазовых измерительных трансформаторов, что повышает пожарную и экологическую безопасность за счёт исключения горючих материалов и потенциально опасного элегаза. Использование оптического волокна для измерения и передачи значений тока и напряжения дает возможность унифицировать разрабатываемые решения в части сбора и обработки сигналов по стандарту МЭК 61850, повысить точность измерений и исключить влияние на результаты измерений паразитных электромагнитных полей.

При наличии в компоновке электромагнитных трансформаторов напряжения (ТН), их замена на электронные оптические ТН (ТНЭО), позволяет исключить из компоновки разъединители

в цепи шинных ТН [2], а расположение ТТЭО непосредственно на контактных выводах колонкового выключателя не требует наличия отдельностоящих ТТ. Следует отметить, что отсутствие электрических аппаратов также исключает необходимость устройства фундаментных и опорных конструкций под них. При этом, появляется возможность оптимизации площади ОРУ, исключается вероятность КЗ в зоне между выключателем и ТТ и, как следствие, нивелируется опасность нарушения устойчивости вращающихся машин из-за ликвидации этого вида КЗ действием устройств резервирования отказа выключателя.

Дополнительно следует отметить, что эффект отказа от установки отдельностоящего ТТ снижается при поперечном расположении технологического проезда по отношению к продольной оси ячеек ОРУ. Это связано с тем, что согласно типовым компоновкам ОРУ для организации технологического проезда ошиновка должна быть поднята с использованием шинных опор или отдельностоящих ТТ. Отсутствие последних влечёт за собой необходимость приобретения и установки шинных опор.

Применение технологии цифрового проектирования для оптимизации схемно-компоновочных решений

Эффект от использования колонковых выключателей со встроенными ТТЭО оценивается на компоновочном решении ОРУ 500 кВ, выполненном по схеме «трансформаторы – шины с присоединением линий через два выключателя» (№ 500-15), с расположением выключателей в один ряд [3]. Для этого сравни-

вались цифровые инженерные модели (ЦИМ) схемы электрической принципиальной (СЭП) и компоновочные решения для выбранной типовой схемы ОРУ до и после оптимизации.

При разработке ЦИМ СЭП и компоновки ОРУ использовались программные продукты группы «Цифровое проектирование» (САПР ЦП) [4–5], созданные специально для нужд ПАО «ФСК ЕЭС» [6] и обеспечивающие функционал САПР для разработки:

→ ЦИМ СЭП, в соответствии с требованиями СТО 56947007–29.240.10.249–2017 «Правила оформления принципиальных электрических схем подстанций»,

с дальнейшей передачей информационных атрибутов в проектируемое компоновочное решение [7];

→ ЦИМ компоновки ОРУ с использованием электронных каталогов типовых схемно-компоновочных решений ПАО «ФСК ЕЭС» и эскизных моделей оборудования, содержащих необходимые объёмы геометрической и атрибутивной информации, соответствующие профильным требованиям [8].

САПР ЦП позволяет при создании моделей оперировать такими понятиями объектов, как «условно-графическое отображение», «строительные конструкции», «оборудование», «ошиновка» и пр., вместо понятий примити-

вов — «отрезок», «дуга», «полилиния» и пр. В состав САПР ЦП входит библиотека трёхмерных моделей узлов оборудования, строительных конструкций, устройств релейной защиты и технических решений повторного применения. Основными преимуществами используемого подхода является возможность неограниченного наполнения объектов-моделей различной атрибутивной и графической информацией для дальнейшей программной обработки, включающей проверку на корректность сборки и проведение специализированных расчётов, а также автоматизированную подготовку отчётных документов.

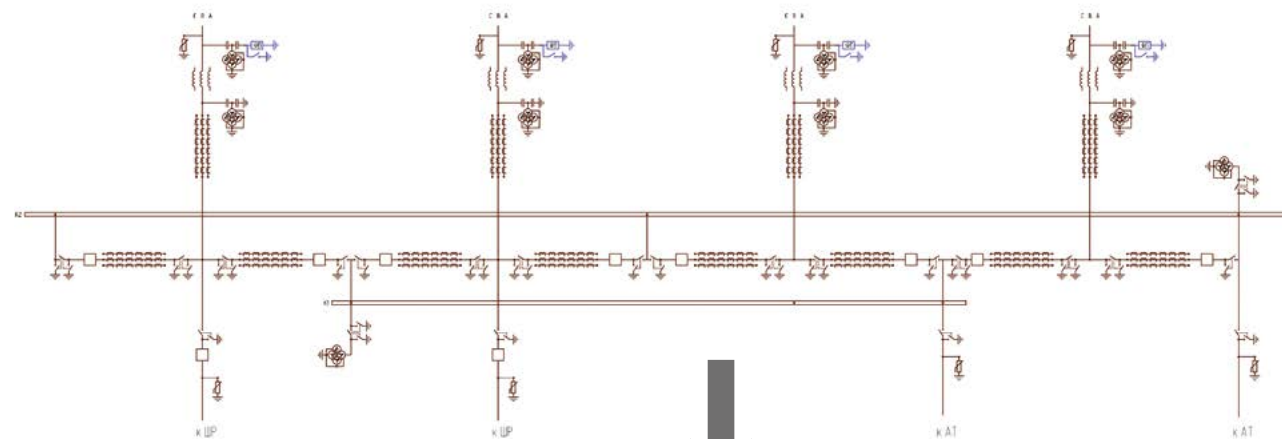


Рисунок 2. СЭП по схеме №500-15 на традиционных измерительных трансформаторах

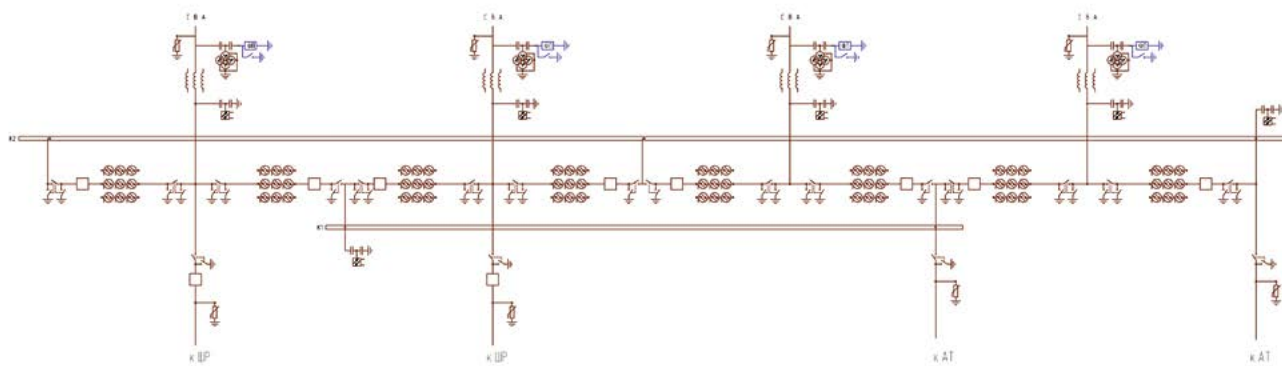


Рисунок 3. СЭП по схеме №500-15 на электронно-оптических измерительных трансформаторах

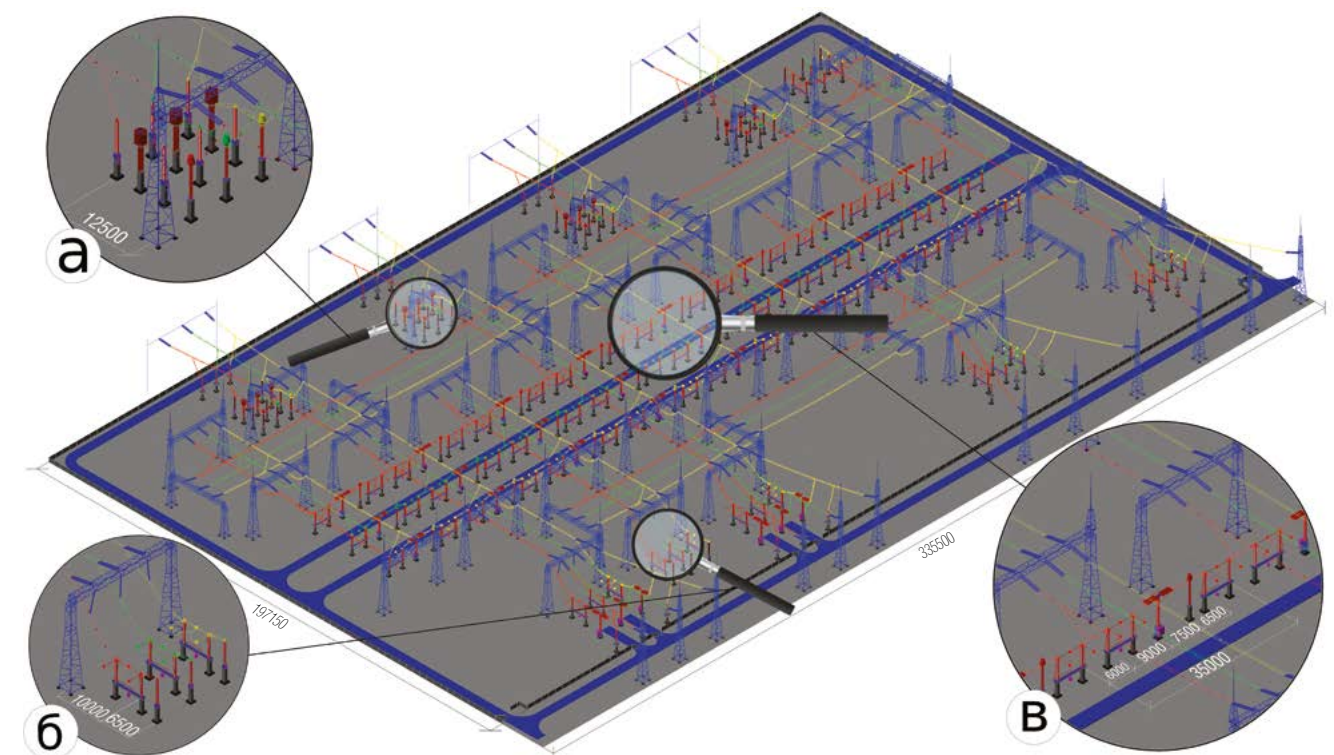


Рисунок 4. Компоновка схемы № 500-15 на традиционных измерительных трансформаторах а — блок захода ЛЭП; б — блок ТН системы шин; в — блок ячейки выключателя (фаза С)

Основные этапы моделирования ОРУ:

1) Разработка типовых ЦИМ СЭП и компоновки, разработка ЦИМ колонкового выключателя 500 кВ с встроенным ТТЭО.

2) Оптимизация ЦИМ:

2.1. первый этап:

- замена колонковых выключателей на колонковые выключатели с встроенными ТТЭО и исключение из компоновки отдельностоящих ТТ;
- исключение ТТ в заходах линий электропередачи (ЛЭП);
- замена измерительных ТН (кроме ТН, участвующих в организации высокочастотных каналов связи) на ТНЭО.

2.2. второй этап:

- уплотнение расположения оборудования и соответствующих конструкций

с учётом исключённого оборудования.

3) Сравнение характеристик ЦИМ до и после модернизации.

Разработка типовой ЦИМ

ЦИМ СЭП базируется на стандартных параметризуемых библиотечных условно-графических отображениях оборудования. В тоже время ЦИМ компоновки основана на библиотечных эскизных трёхмерных моделях оборудования и конструкций. Обе ЦИМ представлены на рисунках 2 и 4 соответственно.

Замена и исключение оборудования в ЦИМ

Первым шагом оптимизации схемы является преобразование СЭП с учётом замены колонковых выключателей на колонковые вы-

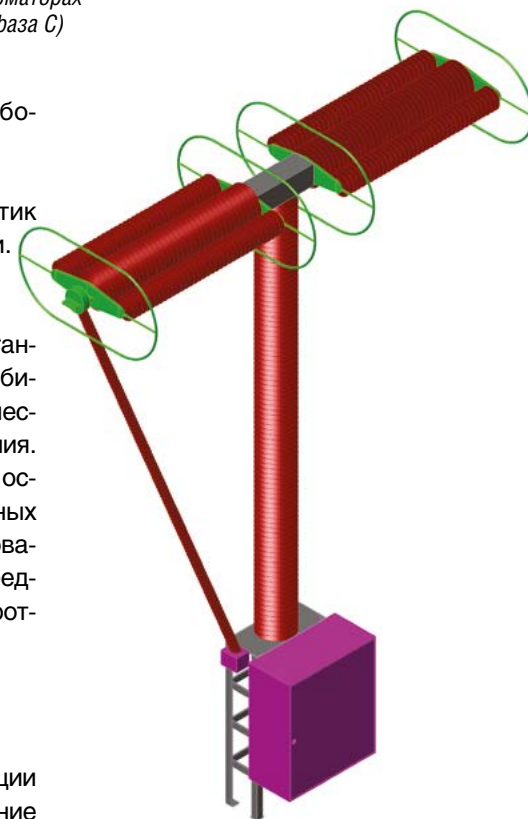


Рисунок 5. Модель полюса колонкового выключателя 500 кВ со встроенным ТТЭО

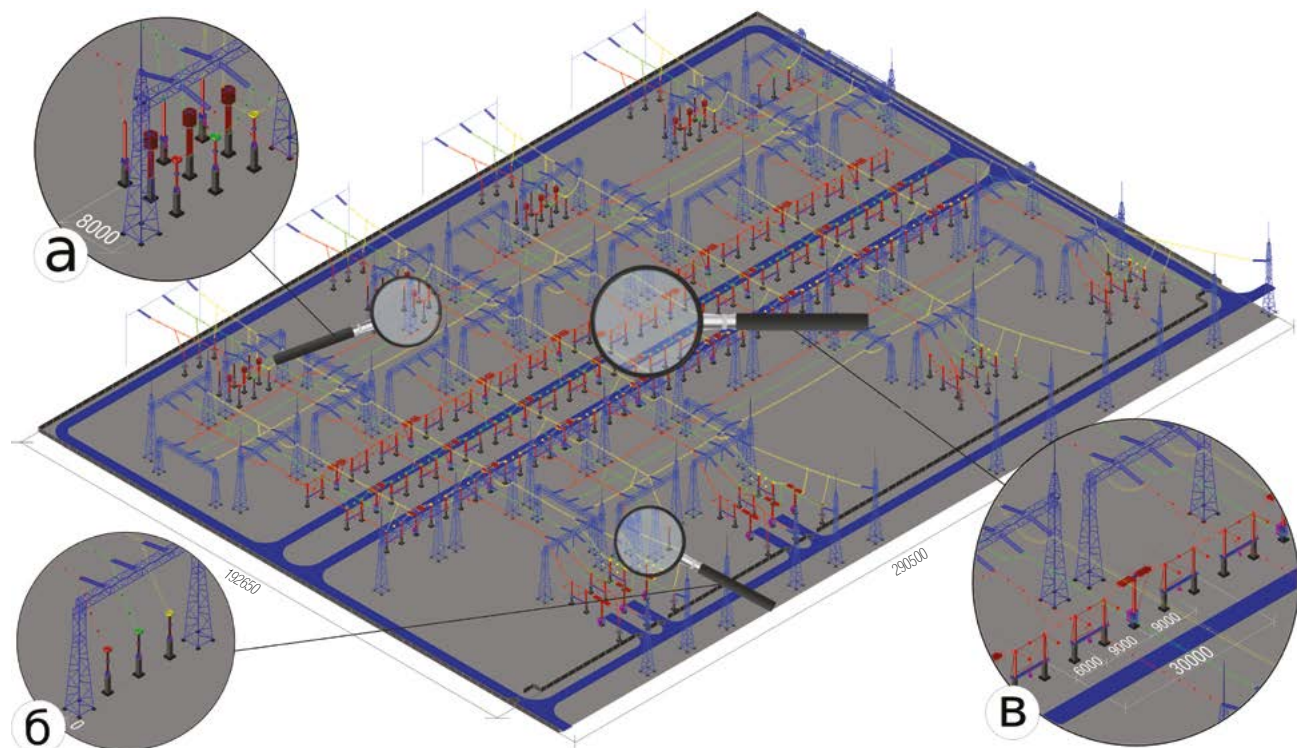


Рисунок 6. Компоновка схемы №500-15 на электронно-оптических измерительных трансформаторах а — блок захода ЛЭП; б — блок ТН системы шин; в — блок ячейки выключателя (фаза С)

ключатели со встроенными ТТЭО с исключением отдельстоящих ТТ. Дополнительно принято решение о целесообразности замены ТН на ТНЭО и исключения разъединителей в цепи шинных ТН.

В соответствии с [2], счётчики активной/реактивной электроэнергии устанавливаются на всех отходящих ЛЭП и присоединяются к ТТ, установленному в линии. С учётом функциональной возможности цифровых счетчиков учёта электроэнергии, обработки двух SV-потокос измеряемых токов присоединения без снижения точности коммерческого учёта электроэнергии, далее рассмотрено схемно-техническое решение с исключением ТТ в линиях [9].

Результаты оптимизации ЦИМ СЭП представлены на рисунке 3.

На основе оптимизированной ЦИМ СЭП проводится замена оборудования в ЦИМ компоновки. Для

оптимизации ЦИМ компоновки библиотека эскизных электронных моделей оборудования дополнена трёхмерной цифровой моделью колонкового выключателя 500 кВ со встроенным ТТЭО, сформированной из базовых единиц оборудования и представленной на рисунке 5.

Уплотнение ЦИМ компоновки

В результате объединения и замены оборудования целесообразно проведение второго этапа оптимизации компоновочного решения — уплотнения, направленного на уменьшение площади ОРУ. Итоговая компоновка представлена на рисунке 6.

Результаты

Параметры оценки эффективности оптимизации компоновочного решения осуществляется по:

- занимаемой площади ОРУ;

- количеству поставляемого и монтируемого оборудования.

В свою очередь, изменение площади ОРУ определяется протяжённостью продольной и поперечной стороны ограждения его площадки.

Чтобы оценить изменения продольной протяжённости ограждения достаточно сравнить расстояние между осями двух смежных порталов до и после модернизации (блок в рисунков 3 и 6). Видно, что расстояние между осями ячеек сократилось с 35 до 30 м, с учётом 9 ячеек и расстояний между осью крайнего портала и внешним ограждением, равных 10,25 м протяжённость ОРУ в продольном направлении сократилась с 335,5 до 290,5 м или на 13,4 %.

Для оценки изменения протяжённости площадки ОРУ в поперечном направлении достаточно

Таблица 1. Ведомость оборудования и материалов

№	ОБОРУДОВАНИЕ	ЕДИНИЦА ОБОРУДОВАНИЯ	Количество, шт.:		Разница, шт.
			до	после	
1.1	Выключатель элегазовый колонковый	3-х фазный комплект	10	0	0
1.2	Выключатель элегазовый колонковый со встроенным оптическим трансформатором		0	10	
2	Разъединитель горизонтально-поворотный		22	20	
3	Трансформатор тока	1-фазный комплект	36	0	36
4.1	Трансформатор напряжения ёмкостный		24	12	0
4.2	Трансформатор напряжения индуктивный		6	0	
4.3	Трансформатор напряжения оптический		0	18	
5	Ограничитель перенапряжений нелинейный	шт.	24	24	0
6	Высокочастотный заградитель		12	12	0
7	Шинная опора для установки высокочастотного заградителя		12	12	0
8	Шинная опора для ошиновки 3хАС-500/64		2	2	0
9	Портал шинный		10	10	0
10	Портал ячейковый		30	30	0
11	Пролёты верхних связей с ошиновкой 3хАС 500/64		87	87	0
12	Гирлянда изоляторов натяжная		174	174	0
13	Гирлянда изоляторов поддерживающая		10	10	0

провести анализ размеров ячейки с отходящей воздушной линией, например ячейки № 4. Из блока а рисунков 4 и 6 видно, что расстояние между аппаратами сократилось с 12,5 до 8 м, до оптимизации в продольное расстояние составляло 197,15 м, после — 192,65 м (уменьшение на 2,3 %).

Для оценки разницы монтируемого оборудования до и после оптимизации компоновочного решения, в таблице 1 представлена ведомость монтируемого оборудования и материалов.

Результатами оптимизации является исключение ТТ — 36 фаз, разъединителей — 6 полюсов (2 трехфазных комплекта).

Максимальная длина шинных пролётов (блок в рисунков 4 и 6) сокращается с 35 × 2=70 до 30 × 2=60 м, при этом максимальная длина ячейковых пролётов

составляет 57 м. Таким образом, данная компоновка подходит для более тяжёлых гололёдных и ветровых нагрузок без увеличения затрат на капитальное строительство.

Заключение

Применение САПР группы «Цифровое проектирование», разработанных электронных каталогов в задачах оптимизации компоновок ОРУ (информационного моделирования) является эффективным инструментом, обеспечивающим значительное сокращение времени на разработку и проверку технических решений, а также наглядность цифровой модели для всестороннего анализа с целью выявления технико-экономических эффектов.

Основными результатами проведенного исследования являются

уменьшение количества устанавливаемого оборудования и площади ОРУ на 15,4 %, что крайне актуально в случаях строительства/модернизации подстанции на территории с высокой кадастровой стоимостью. Сокращение максимальной длины пролёта позволяет использовать компоновку с более тяжёлыми климатическими условиями.

Описанные результаты, полученные при моделировании технических решений с применением инновационных разработок, в частности колонкового выключателя со встроенным ТТЭО, показывают потенциал и необходимость проведения комплексных работ по пересмотру, оптимизации классических решений, применяемых при проектировании объектов электросетевого хозяйства с учётом передовых инновационных разработок, на базе САПР.

ЛИТЕРАТУРА

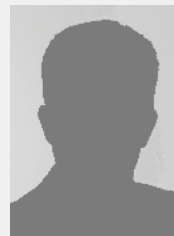
1. Александров А., Ротблют А. Высоковольтный выключатель со встроенным оптическим трансформатором тока [Электронный ресурс]: <http://digitalsubstation.com/blog/2019/04/02/vysokovoltnyj-vyklyuchatel-so-vstroennym-opticheskim-transformatorom-toka/>.
2. СТО 56947007–29.240.10.248–2017 «Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35–750 кВ (НТП ПС)».
3. Инновационные схемно-компоновочные решения открытых распределительных устройств подстанций Единой национальной энергетической системы. ОРУ 500 кВ. Типовые проектные решения. 0032-НИОКР.500. Санкт-Петербург. 2013, вторая редакция ЗАО «Роспроект».
4. Корпоративные технические решения ПАО «ФСК ЕЭС» по шкафам РЗА, АСУ ТП и УПАСК [Электронный ресурс]: <http://cis-ees.ru/TPR>.
5. Электронный каталог схемно-компоновочных решений ПС 220–750 кВ ПАО «ФСК ЕЭС» [Электронный ресурс]: <http://cis-ees.ru/SKR>.
6. Программа инновационного развития ПАО «ФСК ЕЭС» [Электронный ресурс]: https://www.fsk-ees.ru/innovation/innovative_development/innovative_development_program/
7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018610248 «Электронный каталог типовой проектной документации на РЗА и АСУ ТП (ЭК РЗА и АСУ ТП)» [Электронный ресурс]: <http://cis-ees.ru/TPR/FileStorage/Files/Download/ac0277f9-a408-4109-8334-44c63362b608>.
8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017611370 «Электронный каталог схемно-компоновочных решений (ЭК СКР)» [Электронный ресурс]: <http://cis-ees.ru/SKR/FileStorage/Files/Download/2eb86288-de59-406b-b33a-1a0ac4706e7a>.
9. Счётчики электрической энергии цифровые многофункциональные ARIS EM-4X: руководство по эксплуатации. — Екатеринбург: ПБКМ.411739.002 РЭ., 2019.

Автор



Орлов Алексей Александрович родился 10 сентября 1990 г. В 2013 г. окончил НИУ «Московский энергетический институт» по специальности «Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии». Получил диплом магистра «с отличием». Является автором 5 опубликованных научных статей. В настоящее время работает начальником группы информационного моделирования сооружений АО «НТЦ ФСК ЕЭС»

Автор



Пугаченко Захар Евгеньевич в настоящее время работает главным экспертом Департамента подстанций ПАО «ФСК ЕЭС». Активный участник выставок и международных конференций, автор научных статей, занимается разработкой и внедрением современных разработок в области электроэнергетики.

Автор



Паршуков Илья Григорьевич родился 13 августа 1987 г. В 2011 г. закончил НИУ «Московский энергетический институт» по специальности «Электроэнергетические системы и сети». Работает главным экспертом отдела внедрения технологий Департамента инновационного развития ПАО «ФСК ЕЭС».

Автор



Талинина Елена Анатольевна родилась 10 октября 1980 г. В 2004 г. окончила Нижегородский государственный технический университет по специальности «Электроэнергетические системы и сети». Работает главным экспертом группы информационного моделирования сооружений АО «НТЦ ФСК ЕЭС». До 2018 г. занималась разработкой проектной документации в части электротехнических решений и сопровождением строительства электросетевых объектов, среди которых ПС 750 кВ «Грибово», ПС 500 кВ «Ногинск», ПС 500 кВ «Невинномысск», ПС 330 кВ «Лужская», ПС 220 кВ «Центральная», ИЦ «Сколково».



УМНЫЙ ЖУРНАЛ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

ЦЕЛЕВАЯ АУДИТОРИЯ

СЕТЕВЫЕ КОМПАНИИ РОССЕТИ ЛИЧНО В РУКИ ФСК ЕЭС
 ПРОИЗВОДИТЕЛИ ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР ИНЖЕНЕРЫ РУКОВОДИТЕЛИ
СПЕЦИАЛИСТЫ МИНЭНЕРГО МЕНЕДЖЕРЫ НИИ РАН
 ЭНЕРГОХОЛДИНГИ МРСК ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ ВУЗЫ
 СТУДЕНТЫ ПМЭС ЦЕЛЕВАЯ РАССЫЛКА МОЛОДЫЕ СПЕЦИАЛИСТЫ
 ГЛАВНЫЕ ИНЖЕНЕРЫ МЭС ПРОЕКТИРОВЩИКИ
 ПОСТАВЩИКИ ОБОРУДОВАНИЯ