

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ РЕШЕНИЙ ПРИ ВНЕДРЕНИИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА В МЕГАПОЛИСАХ

АВТОРЫ:

М.В. Дубинин,
А.В. Кашеев,
к.э.н.,
В.Е. Сытников,
д.т.н.,
Д.В. Сорокин,
к.т.н.,
Е.А. Филиппева,
«НТЦ Россети
ФСК ЕЭС»

А.А. Королев,
ПАО «Россети
Московский
регион»

Рассмотрены различные варианты технических решений, направленных на повышение надежности электроснабжения потребителей ПС 110 кВ «Трикоотажная» (ПАО «Россети Московский регион»). Для каждого технического решения представлены результаты расчета и анализа электрических режимов и токов короткого замыкания в электрической сети. Выполнена оценка расхода электрической энергии на потери в границах реконструкции подстанции в соответствии с методикой определения нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям (утв. Приказом Минэнерго России от 30.12.2008 № 326).

Выполнена оценка технико-экономической целесообразности применения высокотемпературных сверхпроводниковых кабельных линий по сравнению с комплексной реконструкцией ПС 110 кВ «Трикоотажная». Показано, что применение высокотемпературных сверхпроводниковых кабельных линий переменного тока является возможной альтернативой традиционным техническим решениям, применяемым при реконструкции подстанций.

Ключевые слова: высокотемпературная сверхпроводниковая кабельная линия переменного тока (ВТСП КЛ); повышение надежности электроснабжения потребителей; электросетевой комплекс; реконструкция подстанции; электрический режим; токи короткого замыкания; потери электрической энергии; технико-экономическое обоснование.



ВВЕДЕНИЕ

Разработка и ввод в эксплуатацию электроэнергетического оборудования на основе применения эффекта сверхпроводимости — прогрессивное направление развития электроэнергетических систем. Достижение при определенной температуре нулевого или практически нулевого значения сопротивления сверхпроводников открывает широкие возможности для создания энергоэффективного электротехнического оборудования нового поколения с качественно новыми характеристиками, значительно превосходящими характеристики традиционно используемого оборудования.

Как в мировой, так и в отечественной практике наибольшее развитие в настоящее время получили кабельные линии переменного и постоянного тока на основе высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП КЛ), а также высокотемпературные сверхпроводниковые токоограничивающие устройства (ВТСП ТОУ). В соответствии с Положением ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» [1] ВТСП КЛ и ВТСП ТОУ являются перспективными технологиями для применения в электросетевом комплексе. По оценкам европейской сети системных операторов передачи электроэнергии ENTSO-E, технология производства ВТСП КЛ переменного тока имеет высокий уровень «зрелости», достаточный для внедрения опытно-промышленных и промышленных образцов ВТСП КЛ в эксплуатацию в электроэнергетические системы [2].

Примером реализации проекта по применению ВТСП КЛ постоянно-го тока является выполняемый «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» проект по сооружению ВТСП КЛ между ПС 220 кВ «РП-9» и ПС 330 кВ «Центральная» в Санкт-Петербурге [3–6]. По протяженности кабельной линии (2,5 км) проект не имеет аналогов ни в Рос-

сии, ни за рубежом. Реализация этого проекта повысит надежность энергоснабжения потребителей Центрального и Адмиралтейского районов Санкт-Петербурга, а также обеспечит возможность подключения новых потребителей.

Сложности реконструкции и строительства новых кабельных линий в мегаполисах обусловлены прежде всего стесненными условиями прокладки кабельных линий в условиях плотной городской застройки, наличием смежных подземных сетей и коммуникаций, а также наличием существенных ограничений по допустимым строительным работам, особенно в центральных районах мегаполисов. Для таких проектов оптимальным решением являются ВТСП кабельные линии.

Основные преимущества ВТСП кабельных линий:

- компактная конфигурация кабеля, меньшая полоса отвода и простота прокладки;
- улучшение облика города;
- возможность увеличения передаваемой мощности без замены кабеля;
- отсутствие потерь при передаче мощности;
- экологическая чистота — отсутствие тепловых и электромагнитных воздействий на окружающую среду;
- монтаж аналогично традиционным КЛ;
- экономическая эффективность на протяжении жизненного цикла.

Благодаря преимуществам перспективны следующие направления внедрения технологии ВТСП КЛ:

- энергоснабжение мегаполисов;
- системы вывода мощности с крупных объектов генерации;
- подключение энергоемких потребителей;
- кольцевые схемы и энергомосты.

Развитие технологий производства ленточных высокотемпературных сверхпроводников и вспомогательного оборудования привело к тому, что применение сверхпроводникового оборудования в электросетевом комплексе становится экономически целесообразным. Основные технические решения в части сооружения ВТСП КЛ, нашедшие применение в России и в мире, рассмотрены в [4–6].

Технические решения на основе применения сверхпроводникового оборудования — реальная альтернатива применению традиционного оборудования как при развитии, так и при реконструкции объектов электросетевого комплекса. Пример такого технического решения — реконструкция ПС 110 кВ «Трикоотажная» с сооружением ВТСП КЛ переменного тока Трикоотажная — Герцево.

В 2022 г. АО «НТЦ ФСК ЕЭС» по заказу ПАО «Россети Московский регион» провело технико-экономическое сравнение решений по реконструкции с использованием традиционных решений ПС 110 кВ «Трикоотажная» и сооружению ВТСП КЛ переменного тока 110 кВ ПС 220 кВ «Герцево» — ПС 110 кВ «Трикоотажная».

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ ПС 110 кВ «ТРИКОТАЖНАЯ» И ПС 220 кВ «ГЕРЦЕВО»

ПС 110 кВ «Трикоотажная» (ПАО «Россети Московский регион») находится в эксплуатации с 1978 г. В ОРУ 110 кВ подстанции заведено две линии электропередачи: КВЛ 110 кВ Герцево — Павшино с ответвлением на ПС «Трикоотажная», КВЛ 110 кВ Ангело-

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСФОРМАТОРОВ (АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ) ПС 110 КВ «ТРИКОТАЖНАЯ» И ПС 220 КВ «ГЕРЦЕВО»

Таблица 1

Подстанция	Мощность, МВА	Напряжение, кВ	Год изготовления трансформатора (автотрансформатора)
220 кВ «Герцево»	250	230/121/10,5	2006
	250	230/121/10,5	2006
	100	230/20	2006
	100	230/20	2009
110 кВ «Трикоотажная»	25	115/2×10,5	1978
	25	115/11/6,6	1976

во — Герцево II цепь с ответвлением на ПС «Трикоотажная». На подстанции установлено два силовых трансформатора мощностью 25 МВА (табл. 1). На ОРУ 110 кВ установлены два отделителя 110 кВ и два короткозамыкателя 110 кВ. В ЗРУ 10 кВ установлено два вводных выключателя, один секционный масляный выключатель.

Загрузка трансформаторов ПС 110 кВ «Трикоотажная» в зимний максимум в послеаварийном режиме составляет 123,3% (30,8 МВА), нагрузка трансформаторов в летний максимум в послеаварийном режиме — 90,5% (22,6 МВА). На подстанции установлена автоматика ограничения перегрузки оборудования.

Вероятность возникновения токовых перегрузок трансформаторов ПС 110 кВ «Трикоотажная» в зимний максимум в послеаварийном режиме и связанная с этим необходимость ограничения электроснабжения потребителей являются основанием для разработки и реализации решений по повышению надежности электроснабжения потребителей ПС 110 кВ «Трикоотажная».

ПС 220 кВ «Герцево» (АО «Объединенная энергетическая компания») введена в эксплуатацию в 2007 г. На подстанции установлено два автотрансформатора 220/110/10 кВ типа АТДЦТН-250000/220/110 и два понижающих трансформатора 220/20 кВ типа ТДЦН-100000/220 У1 (см. табл. 1). В состав подстанции, помимо КРУЭ 110 кВ и КРУЭ 220 кВ, входят КРУ 10 кВ и КРУ 20 кВ.

По результатам обследования ПС 220 кВ «Герцево» и открытым данным АО «Объединенная энергетическая компания» существующих резервов мощности для присоединения новых потребителей к шинам 20 кВ недостаточно [7]. В связи с этим для дальнейшего рассмотрения выбран вариант ВТСП КЛ 10 кВ.

ВАРИАНТЫ РЕКОНСТРУКЦИИ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

В результате обследования ПС 110 кВ «Трикоотажная» и ПС 220 кВ «Герцево» разработаны варианты реконструкции ПС 110 кВ «Трикоотажная». Ликвидация перегрузок трансформаторов ПС 110 кВ «Трикоотажная» возможна за счет замены транс-

форматоров 2×25 МВА подстанции на трансформаторы большей номинальной мощности — 2×40 МВА. Альтернативным вариантом является обеспечение электроснабжения потребителей ПС 110 кВ «Трикоотажная» от ПС 220 кВ «Герцево» с сооружением ВТСП КЛ Трикоотажная — Герцево. При этом не требуется реконструкция ОРУ 110 кВ ПС «Трикоотажная» и возможен его демонтаж.

Рассмотрены два варианта технических решений:

1. реконструкция ПС 110 кВ «Трикоотажная» с заменой трансформаторов 2×25 МВА на трансформаторы 2×40 МВА, заменой ОРУ 110 кВ на КРУЭ 110 кВ и реконструкцией РУ 10 кВ;
2. демонтаж ОРУ 110 кВ ПС 110 кВ «Трикоотажная» и сооружение ВТСП КЛ 10 кВ Трикоотажная — Герцево, реконструкция РУ 10 кВ.

Наиболее близким по техническим решениям является проект AmraCity. В рамках проекта AmraCity в г. Эссен (Германия) осуществлена замена одной из трех ВЛ 110 кВ между двумя подстанциями на одну ВТСП КЛ переменного тока 10 кВ. В проекте применена проточная система криогенного обеспечения с испарением хладагента. Проект AmraCity не предполагал полную реконструкцию принимающей подстанции с преобразованием ее в распределительный пункт. Резервирование передачи осуществляется по оставшимся двум ВЛ 110 кВ.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ

Расчеты электрических режимов выполнены в программно-техническом комплексе RastrWin на базе расчетной схемы 110–750 кВ энергосистемы города Москвы и Московской области в соответствии с ГОСТ Р 58670–2019 «Единая энергетическая

система и изолированно работающие энергосистемы. Планирование развития энергосистем. Расчеты электроэнергетических режимов и определение технических решений при перспективном развитии энергосистем. Нормы и требования» [8]. Модель актуализирована по данным о перспективном развитии электрической сети на уровень 2026 г. (предполагаемый срок ввода в эксплуатацию ВТСП КЛ). В расчетах использована математическая модель ВТСП КЛ, соответствующая модели традиционной кабельной линии. Параметры модели получены по результатам оценки параметров аналогичных зарубежных проектов и предварительной оценки параметров спроектированной в АО «НТЦ ФСК ЕЭС» сверхпроводниковой кабельной линии между ПС 220 кВ РП-9 и ПС 330 кВ «Центральная» в Санкт-Петербурге [4–6]. Принятая на этапе проектирования кабельной линии допустимая длительная токовая перегрузка ВТСП КЛ составляет 15%. По результатам проектирования и испытаний опытного образца ВТСП КЛ эти параметры будут уточнены.

При выполнении расчетов электрических режимов рассмотрены различные схемно-балансовые условия, а именно электрические режимы зимнего максимума нагрузок, зимнего минимума нагрузок, летнего максимума нагрузок (период экстремально высоких температур), летнего минимума нагрузок. Допустимость параметров электрических режимов определяли при моделировании различных аварийных ситуаций и ремонтных схем. Основными возмущениями являлись отключение трансформаторов Т-1 (Т-2) ПС 110 кВ «Трикоотажная» и отключение ВТСП КЛ 10 кВ. Кроме того, выполнено моделирование отключения АТ-1 (2) ПС 220 кВ «Герцево», а также отключение отходящих от ПС 220 кВ «Герцево» линий электропередачи. Суммарно выполнены расчеты

116 различных схемно-балансовых ситуаций. По результатам расчета электрических режимов при анализе различных вариантов электроснабжения потребителей ПС 110 кВ «Трикоотажная» получены следующие результаты.

При сохранении существующей схемы ПС 110 кВ «Трикоотажная» в случае отключения одного из трансформаторов подстанции нагрузка оставшегося в работе трансформатора составляет в режиме зимнего максимума 131,2%, в режиме летнего максимума 94,1%.

Все рассмотренные варианты реконструкции позволяют обеспечить электроснабжение потребителей ПС 110 кВ «Трикоотажная» без возникновения перегрузки оборудования или выхода уровней напряжения в электрической сети за допустимые диапазоны.

При реализации варианта сооружения ВТСП КЛ 10 кВ Трикоотажная — Герцево максимально возможная токовая нагрузка составляет 92,9% от величины длительно допустимого тока сверхпроводниковой кабельной линии.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

В рамках исследований выполнен расчет трехфазного и однофазного токов короткого замыкания в районе ПС 110 кВ «Трикоотажная» и ПС 220 кВ «Герцево» на 2026 г. для электрической сети 110 кВ и выше, а также токов трехфазного короткого замыкания для шин РУ 10 кВ для различных вариантов рассматриваемых технических решений. При выполнении расчетов учтены разрывы транзитов, соответствующие нормальной схеме электрической сети. При расчете токов короткого замыкания учтены требования раздела 2.4 «Методических указаний по применению в ПАО «Россети Московский регион» основных тех-

нических решений по эксплуатации, реконструкции и новому строительству электросетевых объектов», согласовано которым в электрических сетях 6–20 кВ рекомендуется ограничивать токи короткого замыкания на уровне до 12 кА.

По результатам расчетов вариант применения ВТСП КЛ 10 кВ Трикоотажная — Герцево соответствует минимальным уровням токов короткого замыкания в электрической сети (до 12 кА) и не требует каких-либо дополнительных токоограничивающих средств по сравнению с вариантом реконструкции посредством замены трансформаторов ПС 110 кВ «Трикоотажная».

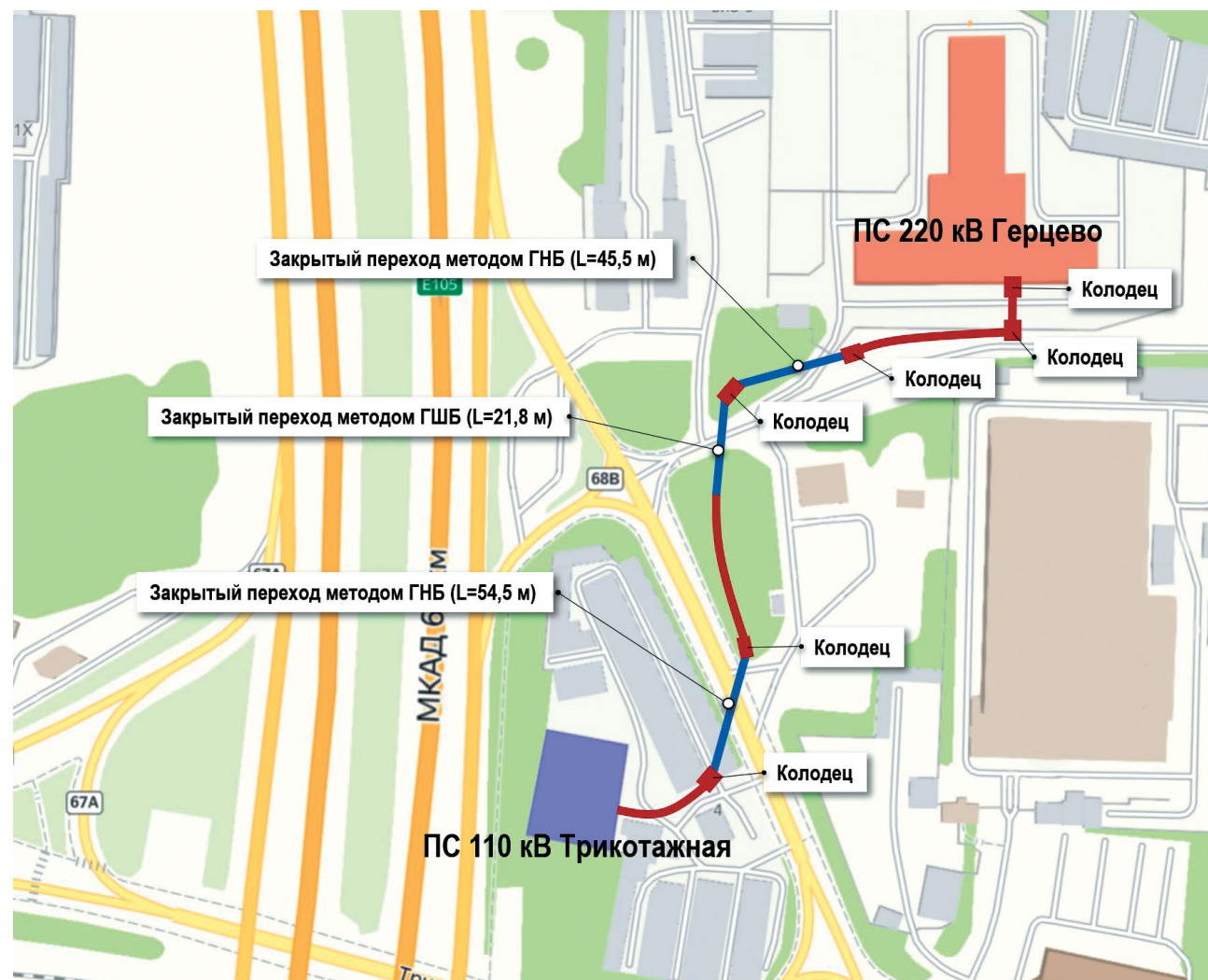
ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ВАРИАНТОВ РЕКОНСТРУКЦИИ

Расчет технических потерь выполнен с учетом требований Инструкции по организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по расчету и обоснованию нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям (утв. приказом Минэнерго России от 30.12.2008 № 326) [9]. Расчеты выполнены при различных вариантах электроснабжения потребителей ПС 110 кВ «Трикоотажная» на 2026 г. на основе результатов расчета электрических режимов энергосистем в программно-техническом комплексе RastrWin.

При определении величины технических потерь учтены нагрузочные потери в трансформаторах (автотрансформаторах) и линиях электропередачи, а также условно-постоянные потери, состоящие из потерь электрической энергии на холостой ход трансформаторов (автотрансформаторов), потерь на корону и потерь от утечки по изоляторам в воздушных участках кабельно-воздушных линий электропередачи, потерь в соединительных проводах и сборных шинах распределительных устройств подстанций, расхода

ТРАССА ВТСП КЛ 10 КВ ПС 110КВ «ТРИКОТАЖНАЯ» — ПС 220 КВ «ГЕРЦЕВО»

Рис. 1



Объяснения: ГНБ — горизонтально-направленное бурение; ГШБ — горизонтально-шнековое бурение.

электроэнергии на собственные нужды подстанции и ВТСП КЛ. При расчете условно-постоянных потерь электроэнергии не учтены потери в системе учета электроэнергии, счетчиках, трансформаторах тока и напряжения, ограничителях напряжения, а также потери в изоляции кабелей. Величина указанных потерь незначительна относительно потерь холостого тока в трансформаторах (автотрансформаторах) и потерь на корону в ВЛ. Мощность

собственных нужд для обеспечения функционирования ВТСП КЛ принята на уровне 200 кВт.

По результатам расчета потерь электрической энергии получено, что наименьшим нагрузочным потерям соответствует вариант сооружения ВТСП КЛ 10 кВ. Реализация этого варианта позволяет снизить величину нагрузочных потерь в рассматриваемых границах реконструкции на 10,2%.

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО СООРУЖЕНИЮ ВТСП КЛ 10 КВ ТРИКОТАЖНАЯ — ГЕРЦЕВО

Для сооружения ВТСП КЛ 10 кВ предложены технические решения по прокладке трассы и методам прокладки кабельной линии. Сверхпроводниковая кабельная линия прокладывается методами горизонтально-направленного и горизонтально-шнекового бурения. На углах поворота кабельной линии выполняется монтаж кабельных колодцев. Предложенная трасса прокладки ВТСП КЛ показана на рис. 1.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВТСП КЛ 10 КВ

Для электроснабжения потребителей ПС 110 кВ «Трикоотажная» предложены две трехфазные кабельные линии напряжением 10 кВ с номинальным током 2300 А. Конструкция линии «три в одном» показана на рис. 2.

ВТСП кабель помещен в криогенный трубопровод из гофрированной стали и состоит из концентрических слоев, содержащих:

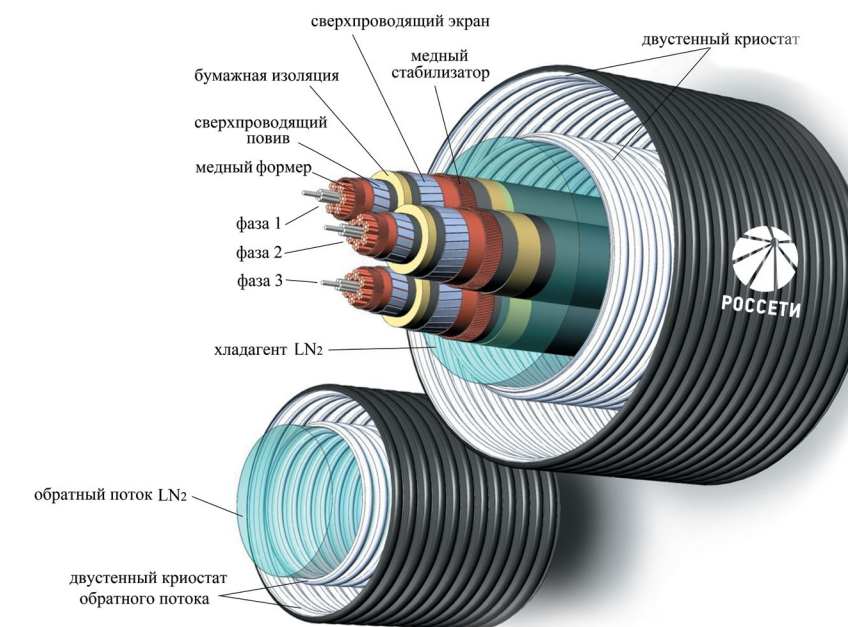
- центральный опорный и стабилизирующий элемент;
- сверхпроводящую центральную жилу, выполняющую роль проводника;
- высоковольтную изоляцию;
- сверхпроводящий экран;
- внешнее стабилизирующее и защитное покрытие;
- внешнюю изоляцию;
- защитную обмотку лентой из нержавеющей стали.

Криостат состоит из двух гофрированных труб с вакуумной тепловой изоляцией между ними и внешним защитным покровом. Данное решение соответствует мировым трендам развития технологий ВТСП КЛ [2, 4, 5, 6, 10–12].

В современных ВТСП КЛ используются системы криообеспечения ВТСП КЛ на основе жидкого азота, технология получения которого уже достаточно хорошо отработана. Для выбранного объекта длина ВТСП кабеля с криогенной системой составляет около 450 м, общая длина прокачки всей линии — 900 м. Система криогенного обеспечения выполняется в блочно-модульном исполнении, ее холодопроизводительность составляет 8 кВт.

КОНСТРУКЦИЯ ВТСП КЛ 10 КВ «ТРИ В ОДНОМ»

Рис. 2



ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВАРИАНТОВ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПС 110 КВ «ТРИКОТАЖНАЯ»

Технико-экономическое сравнение варианта комплексной реконструкции ПС 110 кВ «Трикоотажная» с вариантом сооружения ВТСП КЛ 10 кВ Герцево — Трикоотажная выполнено в соответствии с требованиями СТО 56947007–29.240.01.271–2019 «Методические указания по технико-экономическому обоснованию электросетевых объектов. Эталонны обоснований» [дата введения 24.07.2019] [13].

В соответствии с данными методическими указаниями, альтернативные варианты сравниваются по значению приведенных дисконтированных затрат за расчетный период времени:

$$Z_i = K + I \left[\frac{(1 + \text{Ен.п.})^n - 1}{\text{Ен.п.} \cdot (1 + \text{Ен.п.})^n} \right],$$

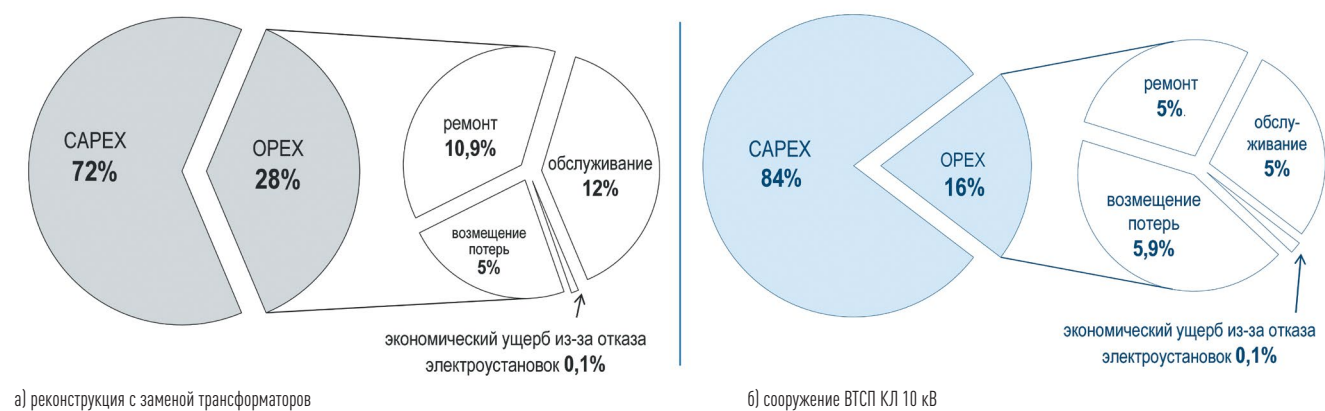
где К — капиталовложения;
И — операционные издержки;

В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ И ВЫСОКОЙ СТОИМОСТИ ЗЕМЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ МЕГАПОЛИСОВ СТАНОВИТСЯ ЗАТРУДНИТЕЛЬНЫМ ПРИМЕНЕНИЕ ТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОДКЛЮЧЕНИЙ К ЭЛЕКТРОСЕТИ

ВНЕДРЕНИЕ ВТСП КЛ ЯВЛЯЕТСЯ РЕАЛЬНОЙ АЛЬТЕРНАТИВОЙ ТРАДИЦИОННЫМ ТЕХНИЧЕСКИМ РЕШЕНИЯМ, ПРИМЕНЯЕМЫМ ПРИ РАЗВИТИИ И РЕКОНСТРУКЦИИ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

СТРУКТУРА ЗАТРАТ ДЛЯ ВАРИАНТОВ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПС 110 КВ «ТРИКОТАЖНАЯ»

Рис. 3



а) реконструкция с заменой трансформаторов ПС 110 кВ «Трикоотажная»

б) сооружение ВТСП КЛ 10 кВ

Ен. п. — норматив приведения одновременных затрат (ставка дисконтирования).

— связанные с экономическими последствиями из-за отказов электроустановок.

электроэнергетики в части объектов электросетевого хозяйства» [14].

При оценке операционных издержек учтены следующие затраты:

- на ремонты и обслуживание;
- на возмещение потерь электроэнергии;

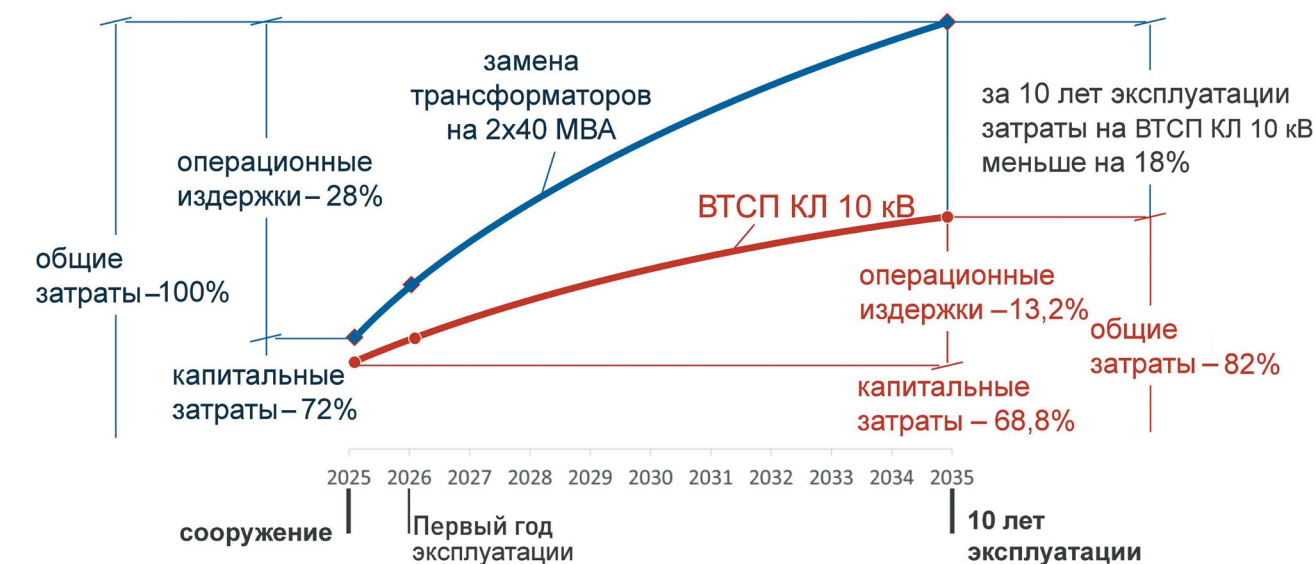
При определении капиталовложений использованы укрупненные нормативы цен согласно Приказу Министерства энергетики РФ от 17.01.2019 № 10 «Об утверждении укрупненных нормативов цены типовых технологических решений капитального строительства объектов

В оценке капиталовложений при сооружении ВТСП КЛ учтены затраты:

- на разработку документации стадий ПД и РД;
- закупку технологического оборудования, материалов и технических жидкостей;

СРАВНЕНИЕ ЗАТРАТ ДЛЯ ВАРИАНТОВ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПС 110 КВ «ТРИКОТАЖНАЯ» ЗА 10 ЛЕТ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Рис. 4



- изготовление и прокладку силовой части ВТСП КЛ 10 кВ;
- строительство/демонтаж зданий и сооружений;
- работы по прокладке линейной части ВТСП КЛ;
- проведение пусконаладочных работ;
- обучение персонала.

При экономической оценке использованы актуальные стоимостные показатели элементов ВТСП КЛ.

Структура затрат для вариантов электроснабжения потребителей ПС 110 кВ «Трикоотажная» представлена на рис. 3.

Операционные затраты на ремонт и обслуживание ВТСП КЛ оптимизированы за счет применения системы криогенного обеспечения в блочно-модульном исполнении с высокой степенью надежности и автоматизации.

Вариант сооружения ВТСП КЛ 10 кВ показывает экономическую эффективность относительно варианта классической реконструкции ПС 110 кВ «Трикоотажная» на протяжении всего жизненного цикла.

Капитальные затраты на классическую реконструкцию и на ВТСП КЛ 10 кВ сопоставимы (72 и 68,8% соответственно). За 10 лет эксплуатации операционные издержки по варианту ВТСП КЛ 10 кВ ниже операционных издержек по традиционному варианту на 14,8% (13,2% против 28%) В итоге общие затраты для варианта ВТСП КЛ 10 кВ ниже на 18% (рис. 4).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье обоснован вариант обеспечения электроснабжения потребителей ПС 110 кВ «Трикоотажная» на основе применения ВТСП КЛ переменного тока.

Электрические сети городов и особенно мегаполисов стремительно достигают предела пропускной способности и требуют усиления. В условиях плотной городской застройки и высокой стоимости земельных участков становится затруднительным применение традиционных методов обеспечения новых технологических подключений к электросети.

Исходя из полученных результатов с учетом уникальных технических характеристик и экономической эффективности ВТСП кабелей, внедрение ВТСП КЛ является реальной альтернативой традиционным техническим решениям, применяемым при развитии и реконструкции объектов электросетевой инфраструктуры.

АО «НТЦ ФСК ЕЭС» накоплен богатый опыт в области разработки и проектирования ВТСП кабельных линий и сформированы необходимые компетенции для обеспечения полного цикла разработки, внедрения и сопровождения в эксплуатации проектов ВТСП КЛ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» [утв. советом директоров ПАО «Россети», протокол от 08.11.2019 № 378].
2. Официальный сайт ENTSO-E <https://www.entsoe.eu/Technopedia/techsheets/high-temperature-superconductor-hts-cables>
3. Сорокин Д.В. Пилотный проект по внедрению элементов интеллектуальной активно-адаптивной сети (SmartGrid) в схему электроснабжения Санкт-Петербурга на основе применения высокотемпературной сверхпроводящей кабельной линии постоянного тока/Материалы Международного электроэнергетического форума UPGrid. Электросетевой комплекс. Инновации. Развитие. 2012.
4. Сытников В.Е., Рябин Т.В., Сорокин Д.В. Применение ВТСП кабельных линий постоянного тока в электроэнергетике//Энергия единой сети. 2015. № 3 (20).
5. Сытников В.Е., Рябин Т.В., Сорокин Д.В. Высокотемпературные сверхпроводящие кабельные линии постоянного тока — шаг к умным электросетям//Энергосбережение. 2016. № 7.
6. Сытников В.Е. Состояние работ по созданию сверхпроводящих кабельных линий в России и мире. Краткий обзор//Энергия единой сети. 2017. № 1 (30).
7. Официальный сайт АО «ОЭК» <https://uneco.ru/raskrytie-informacii/svedeniya-raskryvaemye-ezhekvaralno>
8. ГОСТ Р 58670–2019 «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Планирование развития энергосистем. Расчеты электроэнергетических режимов и определение технических решений при перспективном развитии энергосистем. Нормы и требования».
9. Инструкция по организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по расчету и обоснованию нормативов технологических потерь электроэнергетики при ее передаче по электрическим сетям» [утв. Приказом Минэнерго России от 30.12.2008. № 326].
10. Uglietti D. A review of commercial high temperature superconducting materials for large magnets: From wires and tapes to cables and conductors//Superconductor Science and Technology. 2019. № 32 (5).
11. Schmidt F., Allais A. Superconducting cables for power transmission applications — A review. — Nexans — Superconducting Cable System. J.A. Demko. Cryogenic system for a high-temperature superconducting power transmission cable. Cryogenic Engineering Conference/International Cryogenic Materials Conference CEC/ICMC 1999 Symposium Montreal, Quebec, Canada Palais des Congres.
12. СТО 56947007–29.240.01.271–2019 «Методическое обоснование по технико-экономическому обоснованию электросетевых объектов. Эталоны обоснований» (дата введения 24.07.2019).
13. Приказ Министерства энергетики РФ от 17.01.2019 № 10 «Об утверждении укрупненных нормативов цены типовых технологических решений капитального строительства объектов электроэнергетики в части объектов электросетевого хозяйства».