

СОВМЕСТНОЕ ЗАСЕДАНИЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОВЕТА «НТЦ РОССЕТИ ФСК ЕЭС» И СЕКЦИИ «ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ» НП «НТС ЕЭС»

Гарантированное соблюдение норм качества электроэнергии, передаваемой от генерации до потребителя — актуальная системная задача электроэнергетики, решением которой занимаются энергоснабжающие организации, Министерство энергетики Российской Федерации, научное и инженерно-техническое сообщество. Реализация крупных инвестиционных и инфраструктурных проектов Сибири и Дальнего Востока требует новых мощностей генерации и повышения качества работы действующего электросетевого комплекса.



Доклад к.т.н. В.С. Чуприкова на совместном заседании НТС «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» и секции «Электротехническое оборудование» НП «НТС ЕЭС»

Рис. 1

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ, ПРИМЫКАЮЩИХ К ТРАНССИБУ И БАМУ

Одним из важнейших направлений, на котором сосредоточены усилия энергетиков, является качественное электроснабжение потребителей в примыкающих к Транссибу и БАМу энергосистемах. Вопросам его обеспечения было посвящено совместное заседание Научно-технического совета «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» и секции «Электротехническое оборудование» НП «НТС ЕЭС», прошедшее 10 февраля 2023 г. на площадке «Россети Научно-технический центр» (АО «Федеральный испытательный центр»).

В совместном техническом совещании приняли участие более 30 экспертов, кандидатов и докторов технических наук, исследователей, специалистов-практиков, специализирующихся на проблемных вопросах обеспечения гарантированного качества электроэнергии, из ПАО «Россети», «НТЦ Россети ФСК ЕЭС», АО «НТЦ ЕЭС», ООО «Усть-Каменогорский конденсатор».

Заседание вел председатель НТС «НТЦ Россети ФСК ЕЭС», главный научный сотрудник «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» Юрий Александрович Дементьев.

С докладом «Обеспечение качества электроэнергии в энергосистемах, примыкающих к Транссибу и БАМу. Опыт разработки и внедрения компенсирующих устройств» выступил к.т.н., заместитель генерального директора ООО «Усть-Каменогорский конденсатор» Виктор Чуприков. Доклад выполнен по материалам статьи, подготовленной для публикации в журнале «Энергетик», 2023, № 2.

В докладе были представлены результаты анализа причин неудовлетворительного качества электроэнергии, представлены предложения по его нормализации и повышению путем применения многофункциональных

устройств компенсации реактивной мощности.

ОЦЕНКА ТЕКУЩЕГО УРОВНЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ, ПРИМЫКАЮЩИХ К ТРАНССИБУ И БАМУ

Электрическая связь между энергосистемами Забайкальского края и Амурской области осуществляется по трем транзитам 220 кВ: двухцепному на участке Холбон — Могоча — Сковородино, который предназначен в основном для электроснабжения электрифицированных железных дорог Транссиба, и одноцепному на участке Чара — Хани — Тында, который служит для электроснабжения потребителей вдоль БАМа. Кроме железных дорог, крупными потребителями в этом регионе являются объекты нефте- и газотранспортных систем и горнорудных предприятий.

Участок 220 кВ Холбон — Могоча — Сковородино протяженностью более 750 км получает электроэнергию от Харанорской ГРЭС и Читинской ТЭЦ-1 на западе и Нерюнгринской ГРЭС и электрических станций Амурской энергосистемы на востоке при отсутствии промежуточных генерирующих источников достаточной мощности. В состав участка входят три опорных (присоединена к трем и более питающим ВЛ) подстанции (ПС 220 кВ «Зилово», ПС 220 кВ «Могоча», ПС 220 кВ «Ерофей Павлович») и 17 промежуточных (транзитных) тяговых подстанций (ТПС) 220 кВ, соединенных между собой и с опорными подстанциями ВЛ 220 кВ.

В связи с невозможностью в текущих схемно-режимных условиях обеспечить параллельную работу ОЭС Сибири и Востока при нормальной схеме сети на ПС 220 кВ «Чара» и ПС 220 кВ «Могоча» выполнено размыкание связей ОЭС. Таким образом, схема электроснабжения потребителей действует как радиальная. В схемах, возникающих при выводе в ремонт какой-либо ВЛ 220 кВ, аварийное

отключение любой из оставшихся в работе ВЛ приводит к перерыву электроснабжения от одной до 12 подстанций на участке Холбон — Могоча и от одной до восьми подстанций на участке Могоча — Сковородино. Для повышения надежности электроснабжения тяговых подстанций путем организации взаимного резервирования активной мощности между ОЭС Сибири и ОЭС Востока в 2014 г. на ПС 220 кВ «Могоча» МЭС Сибири был введен в эксплуатацию преобразовательный комплекс в виде вставки постоянного тока (ВПТ) на основе технологии преобразователей напряжения (СТАКОМ).

В ходе эксплуатации ВПТ выявлено, что существенным фактором, влияющим на надежность ее работы, являются значительные превышения нормативных значений показателей качества электроэнергии (ПКЭ). Связано это в основном с электрифицированной тяговой нагрузкой железной дороги. В точке подключения ВПТ коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} достигает 17% при предельной норме 4%, а отклонения напряжения — 19% при предельной норме 10%. Суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения K_U достигает 20% при предельной норме 3%. В 2015 г. произошло увеличение грузоперевозок и единичной мощности электровазов прилегающей железной дороги, что еще больше усугубило ситуацию с ПКЭ. Были зафиксированы длительные режимы работы сети с превышением гармонических искажений в одной из фаз. Кроме того, наблюдались частые провалы напряжения, связанные с работами железной дороги и грозовой активностью в весенне-летний период.

Сложная ситуация с качеством напряжения сложилась на подстанции 220 кВ «Сковородино» МЭС Востока, от которой отходит несколько линий к тяговым подстанциям Транссиба. По данным «Россети ФСК ЕЭС»

от 2015 г., качество электроэнергии на шинах 110 кВ по показателям K_{2U} и K_U не соответствовало требованиям ГОСТа в течение всего периода измерений. Значения K_{2U} за сутки с вероятностью 95% достигали 4,5–5% при кратковременных повышениях до 9–10% и 6,0–6,5% при кратковременных повышениях до 13,3–15,4%. Электрическое оборудование запитанных от этой сети предприятий региона подвергалось воздействию искажений напряжения, что приводило к его отключениям и повреждениям. На НПС-21 нефтепровода ВСТО с 2011 по 2015 г. зафиксировано 40 аварийных остановок (чаще из-за несимметрии напряжений).

На руднике «Александровский» в Могочинском районе Забайкальского края за период с 2014 по 2017 г. произошло 1137 остановок золотоизвлекательной фабрики по причине некачественной электроэнергии. Затраты на восстановление вышедшего из строя оборудования составили 40 млн руб., объем недополученной выручки превысил 250 млн руб.

Наличие широкого спектра высших гармоник в питающей сети на ПС 220 кВ «Чара» МЭС Сибири, уровень которых более чем в пять раз превышает допустимые ГОСТом значения, привело к тому, что содержание только 5-й гармоники в токе батарей статических конденсаторов 35 кВ, установленных на ПС «Удоканский ГМК», составило 57% от тока промышленной частоты, а их полный ток превысил в 1,3 раза номинальное значение.

Компания ООО «Мангазея Золото» для нормализации параметров качества электроэнергии на ПС «Наседкино», расположенной в 50 км от ПС «Могоча», объявила конкурс на установку СТАТКОМа. Согласно опросному листу от ПАО «МРСК Сибири», максимально измеренный коэффициент искажения синусоидальности напряжения составил 21% при норме 3%.

ПРИЧИНЫ ЗНАЧИТЕЛЬНЫХ ИСКАЖЕНИЙ ФОРМЫ И НАЛИЧИЯ НЕСИММЕТРИИ ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ. НЕОБХОДИМОСТЬ НОРМАЛИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ ИСКАЖЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ НА РАБОТУ ЭНЕРГОПРИНИМАЮЩИХ УСТРОЙСТВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Существенную долю нагрузки магистральных сетей Сибири и Дальнего Востока, питающих Транссиб и БАМ, составляет электрифицированная тяга ОАО «РЖД». Доля суммарной установленной мощности трансформаторов тяговых подстанций в Амурской энергосистеме составляет 38,2% от суммарной мощности трансформаторов 220 кВ на всех подстанциях энергосистемы. Это обуславливает существенное негативное влияние мощной однофазной тяговой нагрузки на качество электроэнергии в примыкающей сети и является причиной высокого уровня несимметрии и несинусоидальности напряжения.

Вторым негативным фактором, усугубляющим влияние тяговой нагрузки на качество напряжения, является большая протяженность линий электропередачи и их удаленность от источников электроэнергии, что определяет низкую мощность короткого замыкания (МКЗ) в электрической сети и соответственно высокую чувствительность напряжения к токам искажений от нелинейных, несимметричных и резкопеременных потребителей. Мощность искажающей нагрузки ТПС Транссиба в ближайшей перспективе будет только увеличиваться, поскольку в стадии реализации находится новый проект «Восточный полигон» комплексной модернизации БАМа и Транссиба, которая существенно увеличит пропускную способность железнодорожной сети.

В настоящее время в зонах с неудовлетворительным качеством электроэнергии (КЭ) наблюдаются соответственно крайне низкие значения МКЗ.

В частности, МКЗ на шинах опорной 220 кВ ПС «Зилово» составляет 762 МВА, на шинах 220 кВ ПС «Удоканский ГМК» — от 319 до 266 МВА в зависимости от режима. В мировой практике имеется опыт ограничения технологического подключения мощных потребителей, если в точке подключения отношение короткого замыкания (ОКЗ), т.е. отношение минимального значения МКЗ к потребляемой мощности нагрузки, менее регламентированного. В Западной Европе стремятся обеспечить уровень этого соотношения не менее 10, в южной Австралии — не менее 3. ОКЗ системы электроснабжения Удоканского комбината составляет всего 1,82 (максимальная мощность присоединения ГМК «Удокан» к сетям ПАО «ФСК ЕЭС» 146 МВт).

Наличие избыточных потоков реактивной мощности в электрической сети приводит к большим отклонениям напряжения, провалам и колебаниям напряжения, перенапряжениям. Именно перетоки «неактивных» составляющих мощности (реактивной и мощности искажений) являются главным фактором, искажающим напряжение в сети, а устройства ее компенсации (УКРМ) предназначены в том числе для улучшения качества электроэнергии, включая фильтрацию высших гармоник тока нагрузки. Тем не менее, несмотря на доступность к применению самых эффективных быстродействующих УКРМ типа СТК и СТАТКОМ, качество электроэнергии в ЕНЭС, особенно на востоке России, остается на низком уровне, а из восьми нормированных ГОСТом 32144–2013 показателей повсеместно выдерживается только один — отклонение частоты сети.

В этих условиях каждый новый потребитель электроэнергии в регионе вынужден сам решать вопрос нормализации ПКЭ, сниженных железнодорожной нагрузкой, путем установки устройств компенсации реактивной мощности на своих локальных под-

станциях. Это решает проблему защиты от выхода из строя технологического электротехнического оборудования, но практически не влияет на качество электроэнергии в питающей высоковольтной сети и не облегчает работу других потребителей. Рост пропускной способности железнодорожной сети способен поставить под сомнение эффективность установленных неисключающим потребителем УКРМ.

Для повышения надежности работы электрооборудования различных предприятий вдоль Транссиба и БАМа необходимо принять меры по повышению ПКЭ в магистральных и распределительных сетях ОЭС Сибири и Востока путем обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) тяговой нагрузки с питающей сетью. Для этого требуется преобразовать несимметричный несинусоидальный ток нагрузки с существенной долей реактивной составляющей в симметричный синусоидальный активный ток. Такое преобразование осуществляют многофункциональные устройства компенсации.

НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫЕ ВИДЫ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УКРМ, ИХ ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Для компенсации не только потребляемой реактивной мощности, но и других факторов вредного влияния нагрузки на параметры качества питающего напряжения, включая несимметрию и высшие гармоники токов, существует два широко распространенных в мире вида быстродействующих пофазно регулируемых многофункциональных полупроводниковых устройств: статический тиристорный компенсатор (СТК) и статический синхронный компенсатор (СТАТКОМ). Они обычно включаются между нагрузкой и питающей сетью и являются своего рода «очистными системами» для энергетической среды, предотвращая негативное влияние нагрузки на качество электроэнергии в питающей сети и снижая активные потери

в линиях электропередачи и оборудовании подстанций.

СТК путем быстродействующей пофазной компенсации реактивной мощности несимметричной резкопеременной нагрузки и пассивной фильтрации ее токов высших гармоник косвенным образом превращает искаженные токи фаз нагрузки в практически симметричные активные токи сетевых трансформаторов. При этом СТК может выполнять и балансирование нагрузки по активной мощности за счет регулирования своей реактивной мощности (принцип Штейнметца), что широко используется в СТК для дуговых сталеплавильных печей.

Более совершенное УКРМ, которое появилось в конце 1990-х гг. в связи с развитием мощных IGBT-приборов, — СТАТКОМ, автономный инвертор напряжения, подключаемый к сети через фазные линейные реакторы. Система управления СТАТКОМ построена таким образом, чтобы путем регулирования мгновенного значения своего выходного напряжения независимо в каждой фазе формировать требуемое значение тока, т.е. по физическому принципу СТАТКОМ — это пофазно регулируемый источник тока (мощности). При этом его система управления в зависимости от решаемой задачи может быть реализована как по принципу векторного управления, так и по принципу контроля мгновенного значения сетевого тока для реализации функции активной фильтрации.

Если источниками реактивной мощности в СТК являются пассивные элементы: конденсаторы и реакторы, то в СТАТКОМ реактивная мощность генерируется активными элементами путем формирования тока соответствующей фазы.

Фактически рассматриваемые устройства компенсации превращают любую электрическую нагрузку в чисто активную и позволяют обеспечить симметричное напряжение по фазам.

Таким образом, можно констатировать, что существующие быстродействующие устройства компенсации реактивной мощности типа СТК и СТАТКОМ могут обеспечить электромагнитную совместимость любой промышленной нагрузки с питающей сетью и гарантировать нормативные ПКЭ в точке передачи электрической энергии согласно ГОСТ 32144–2013.

СТК и СТАТКОМ при их установке на тяговые подстанции электрифицированных железных дорог могут привести ПКЭ в примыкающих сетях к требованиям ГОСТа, но пока они мало востребованы.

ПАРАМЕТРЫ ВЫПУСКАЕМЫХ СТК И СТАТКОМ. СФЕРА ИХ ПРИМЕНЕНИЯ ПО КЛАССАМ НАПРЯЖЕНИЯ И МОЩНОСТЯМ

Первые СТК в мире появились в конце 1970-х гг. и предназначались для компенсации негативного влияния на сеть самой «вредной» из существующих электрических нагрузок — дуговых сталеплавильных печей (ДСП). За прошедшие годы предельная мощность выпускаемых промышленностью СТК выросла с 80–120 до 320 Мвар. Постоянное совершенствование технологий и конструкции силового оборудования СТК и разработка новых более совершенных алгоритмов его управления сделали СТК самым распространенным средством компенсации как для промышленных предприятий, так и для сетевых подстанций, где их применяют для регулирования напряжения. Первые два отечественных СТК разработки ВЭИ (напряжение 35 кВ, мощность 160 Мвар) были изготовлены в 1985 г. и работают до сих пор. Только на металлургических предприятиях РФ и СНГ установлено 28 СТК напряжением 10 и 35 кВ производства ВЭИ — АО «Ансальдо-ВЭИ» — АО «Нидек АСИ ВЭИ» суммарной мощностью 2995 Мвар. Они работают и на подстанциях предприятий с мощной переменной нагрузкой, и на сетевых подстанциях «НТЦ Россети ФСК ЕЭС».

В связи с тем, что вопрос нормализации ПКЭ на опорной ПС 220 кВ «Сковородино» длительное время не решался, ПАО «Транснефть» приняло решение об установке двух СТК мощностью ± 10 Мвар на две секции шин 10 кВ подключенной к ПС 220 кВ «Сковородино» подстанции 110/10 кВ НПС-21 «Сковородино», питающей электроприводы магистральных насосов. СТК 10 кВ в 2017 г. введены в промышленную эксплуатацию. Их работа обеспечила стабилизацию напряжения на двух секциях шин 10 кВ, снижение коэффициента несимметрии по обратной последовательности до 0,5%, снижение коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения до 1,5%. Благодаря достигнутому повышению качества электроэнергии аварийные отключения электродвигателей магистральных насосов практически прекратились.

Статические компенсаторы типа СТАТКОМ, появившиеся в конце 1990-х гг., являются более совершенным и еще более многофункциональным, чем СТК, средством обеспечения ЭМС нагрузки с сетью. Помимо регулирования реактивной мощности, они могут одновременно осуществлять передачу активной мощности между фазами для балансирования несимметричных или однофазных нагрузок за счет высокого быстродействия и возможности работать во всех четырех квадрантах. На начальном периоде внедрения из-за высокой удельной стоимости, достигавшей 100–150 евро/квар, применение СТАТКОМ ограничивалось устройствами низкого напряжения, реализованными на базе однофазных инверторов, и отдельными проектами установок высокого напряжения с применением повышающих трансформаторов. Но с ростом объемов производства и снижения цены полупроводников сфера применения СТАТКОМ постоянно росла. Важным фактором этого роста стало применение схем многоуровневых инверторов

напряжения по технологии MMC, что дало возможность реализовывать устройства высокого напряжения без применения понижающих трансформаторов, а также использовать функцию активной фильтрации токов высших гармоник нагрузки. В настоящее время АО «Нидек АСИ ВЭИ» осуществляет производство в России бестрансформаторных СТАТКОМ на напряжение 6–13,8 кВ мощностью от 2,5 до 30 МВА.

По совокупности технико-экономических показателей сегодня зона применения СТАТКОМ — это все устройства класса 6 и 10 кВ для нагрузок любого типа (СТК на эти напряжения в несколько раз больше по занимаемой площади). Есть примеры применения СТАТКОМ и на напряжение 35 кВ для ДСП мощностью до 70 Мвар. Для каждого конкретного случая требуется сравнение экономических показателей вариантов УКРМ с учетом стоимости потерь и обслуживания, которые для СТАТКОМ выше, чем для СТК. УКРМ мощностью 100 Мвар и выше — это зона применения СТК, в этом диапазоне они намного дешевле СТАТКОМ.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО НОРМАЛИЗАЦИИ КЭ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

– Отсутствие на тяговых подстанциях переменного тока ОАО «РЖД» в энергосистемах с низкой мощностью короткого замыкания, примыкающих к Транссибу и БАМу, регулируемых устройств компенсации реактивной мощности приводит к отсутствию электромагнитной совместимости тяговой нагрузки с питающей сетью и существованию отдельных районов с аномально плохим качеством электроэнергии, негативно влияющим на остальных потребителей.

– Выпускаемые в РФ быстродействующие пофазно регулируемые полупроводниковые устройства компенсации типа СТК и СТАТКОМ позволяют обеспечить электромагнитную совместимость с питающей сетью переменной железнодорожной нагрузки и нормализовать показатели качества электроэнергии в точке передачи электрической энергии тяговым подстанциям согласно ГОСТ 32144–2013, но остаются невостребованными из-за отсутствия экономических стимулов к их применению.

– Решение задачи повышения качества напряжения, испорченного удаленной тяговой нагрузкой, в системах электроснабжения неискажающего потребителя возможно путем установки устройств типа СТК и СТАТКОМ непосредственно на шины нагрузки потребителя. Такая нормализация параметров качества питающего напряжения для локальной нагрузки практически не влияет на качество электроэнергии в примыкающей высоковольтной сети.

– Наиболее эффективным решением проблемы низкого качества электроэнергии в магистральных сетях, примыкающих к Транссибу и БАМу, является установка на тяговых подстанциях ОАО «РЖД» трехфазных компенсирующих устройств с пофазным управлением типа СТК и СТАТКОМ. Необходимость установки УКРМ касается не всех тяговых подстанций, а только тех, в которых ОКЗ — соотношение мощности КЗ в точке присоединения к суммарной мощности тяговой нагрузки — меньше критического значения, определение которого возможно эмпирическим способом. В связи с этим весьма актуальным представляется проведение НИР на тему: «Оценка влияния тяговой нагрузки на КЭ

в питающей сети и определение критических значений ОКЗ ($MK3/S_{нагрузки}$), при которых возникает необходимость в установке на ТПС устройств нормализации КЭ». В свое время аналогичная работа была выполнена под эгидой Международного конгресса по электротермии для оценки влияния на сторонних потребителей ДСП.

– Высокое качество электроэнергии в ЕНЭС может быть обеспечено только при условии стимулирования на государственном уровне применения современных средств компенсации реактивной мощности, что требует принятия соответствующих законов, формирующих тарифную политику Российской Федерации в этой области.

В обсуждении доклада приняли участие:

– Ю.А. Деметьев, главный научный сотрудник Управления организации научно-технического совета Департамента НТС и научно-технической информации, председатель НТС «НТЦ Россети ФСК ЕЭС»;

– Д.И. Панфилов, д.т.н., начальник Департамента НТС и научно-технической информации — научный руководитель «НТЦ Россети ФСК ЕЭС»;

– Р.Г. Шамонов, к.т.н., заместитель начальника Департамента оперативно-технологического управления «Россети ФСК ЕЭС»;

– О.В. Туркина, к.т.н., заместитель генерального директора по инновационной деятельности «НТЦ Россети ФСК ЕЭС»;

– Е.В. Тузлукова, главный эксперт отдела развития энергетических систем «НТЦ Россети ФСК ЕЭС»;

– другие члены Научно-технического совета «НТЦ Россети ФСК ЕЭС».

Участниками обсуждения было отмечено следующее.

1. В настоящее время ведется разработка ГОСТ Р «Электромагнитная совместимость. Нормы гармонических составляющих и составляющих обратной последовательности тока в сетях общего назначения среднего и высокого напряжения». Срок разработки 2023–2024 гг.

2. Сверхнормативные значения ПКЭ (K_{2U} и K_U до 20%) свидетельствуют об отсутствии электромагнитной совместимости электрифицированной тяговой нагрузки ОАО «РЖД» с питающей сетью и о неразвитости электрической сети. В настоящее время на БАМе восточнее Таксимо тяга не электрифицирована, электроснабжение станционной инфраструктуры, сигнализации и блокировки осуществляется от региональных электросетей. При этом искажения напряжения, возникшие на ТПС Транссиба (ПС 220 кВ «Сковородино»), распространяются с потоками реактивной мощности в электрической сети на многие сотни километров по радиальной сети 220 кВ до точки размыкания связи ОЭС на ПС 220 кВ «Чара».

3. В соответствии со Схемой и программой развития ЕЭС России на 2023–2028 гг. (СиГПР) для обеспечения электроснабжения Восточного полигона в энергосистемах Забайкальского края, Амурской области и Республики Саха (Якутия) в 2024–2025 гг. предусматривается расширение Нерюнгринской ГРЭС на два блока мощностью 225 МВт каждый, сооружение ВЛ 500 кВ Агорта — Сковородино,

ВЛ 220 кВ Зилово — Холбон, ВЛ 220 кВ Зилово — Могоча, в 2028 г. — сооружение ВЛ 220 кВ Даурия — Могоча, что приведет и к повышению МКЗ на шинах 220 кВ ТПС и соответственно к некоторому улучшению ПКЭ. Помимо этого, в соответствии со Схемой и программой развития ЕЭС России на 2023–2028 годы в 2023 г. предусматривается установка на ТПС 220 кВ «Ерофей Павлович» ИРМ 220 кВ 120 Мвар.

4. Согласно рекомендациям работы «Разработка мероприятий, направленных на повышение надежности электроснабжения объектов ОАО «РЖД» (устранение несимметрии напряжений и снижение гармонических искажений в сети 220 кВ) участка 220 кВ Петровск-Забайкальская — Сковородино», выполненной АО «Институт «Энергосетьпроект» по заказу ОАО «РЖД» в 2018–2019 гг., для нормализации ПКЭ на участке Петровск-Забайкальская — Сковородино требуется установка симметрирующих устройств на шины 220 кВ ТПС суммарной мощностью 360 Мвар и фильтрокомпенсирующих устройств на шины 27 кВ ТПС суммарной мощностью 300–500 Мвар в зависимости от типа устройств.

5. В соответствии с постановлением Правительства РФ от 30.12.2022 № 2556 разработка Схем и программ развития электроэнергетических систем России направлена прежде всего на обеспечение потребностей в электрической энергии и мощности в перспективный период и обеспечение параметров электроэнергетического режима работы ЕЭС России, отдельных ее частей в области допустимых значений. Локальные мероприятия по обеспе-

чению параметров качества электрической энергии лежат вне области внимания СиПР.

6. В состав работ по разработке схем внешнего электроснабжения (СВЭ) (приказ Минэнерго России от 28.12.2020 № 1195) включено стандартное требование определить технические решения по установке необходимых средств компенсации реактивной мощности для обеспечения допустимых уровней напряжения и качества электрической энергии. Как правило, заявитель не заявляет наличие энергопринимающих устройств, влияющих на ПКЭ и от него зависящих, поэтому глубоких проработок ПКЭ в СВЭ не выполняется и отслеживается только величина отклонения напряжения в основных характерных режимах. Выбор СКРМ осуществляется по результатам расчета установившихся симметричных режимов и статической устойчивости. Для более глубокой проработки вопросов обеспечения качества электроэнергии целесообразно выполнение отдельной внестадийной работы.
7. Вставка постоянного тока на основе технологии преобразователей напряжения Забайкальского преобразовательного комплекса на ПС 220 кВ «Могоча» общей установленной мощностью 480 МВА функционирует с 2014 г. в режиме статического синхронного компенсатора (СТАТКОМ). В силу того что СТАТКОМ в принципе обеспечивает увеличение МКЗ энергосистемы в стационарных режимах, были значительно улучшены ПКЭ, в том числе по несимметрии и гармоническим искажениям напряжения. Это повысило надежность электроснабжения тяговых подстанций Забайкальского участка транссибирской железной дороги

и ПКЭ, что позволило осуществить пропуск тяжелых поездов, кратное увеличение пропускную способность участка, отключить модульные электростанции, обеспечивающие подпитку сети устройств автоблокировки, при этом значительно снизилось количество сбоев в работе устройств локомотивной сигнализации, уровни напряжений стабилизировались в пределах допустимых значений.

8. В 2021 г. на ПС 220 кВ «Жирекен» МЭС Сибири был введен в эксплуатацию разработанный и изготовленный АО «НТЦ ФСК ЕЭС» высоковольтный активный фильтр на основе преобразователя напряжения серии МПУ для компенсации несимметрии и несинусоидальности токов и напряжений в электрических сетях 10–220 кВ. УКРМ эффективно снижает коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности на 2,4–2,6%, компенсирует токи гармоник и обратной последовательности. Мощность пилотного МПУ (10 МВА) недостаточна для решения масштабных проблем с КЭ на участке сети, прилегающем к ПС 220 кВ «Жирекен», не говоря уже о Транссибирской железной дороге в целом, но является примером возможного решения проблемы.
9. Неискажающие потребители электроэнергии в регионе вынуждены сами решать вопрос нормализации ПКЭ путем установки устройств компенсации реактивной мощности на своих локальных подстанциях. Это решает проблему защиты от выхода из строя технологического электротехнического оборудования, но практически не влияет на качество электроэнергии в питающей высоковольтной сети и не облегчает работу других потребителей.

10. Целесообразна разработка нормативно-технических документов и нормативно-правовых актов (НПА) по ограничению эмиссии токов высших гармоник и токов обратной последовательности, исполнение которых можно было бы предусматривать в договорах о передаче электроэнергии.
11. В целях создания доказательной базы рассмотрения в судебных органах претензий потребителей электроэнергии о возмещении убытков, понесенных из-за ее несоответствия нормам качества согласно ГОСТу 32144–2013, необходимо проведение разъяснительной работы, в том числе с использованием отраслевых СМИ, о необходимости опубликования потребителями объемов понесенного ущерба от некачественного электроснабжения.
12. ПАО «Россети» включает в задания на проектирование объектов нового строительства, технического перевооружения и реконструкции электросетевых объектов применение пофазно регулируемых УКРМ. Требуется совершенствование методики определения удельных стоимостей таких устройств для разных номинальных мощностей.
13. При установке на смежных подстанциях напряжением 110 кВ и выше высоковольтных активных фильтров для исключения их взаимного влияния необходимо предусматривать применение систем управления с обратной связью по суммарному току искажающей нагрузки и активного фильтра в каналах регулирования токов высших гармоник. Применение системы управления с обратной связью по напряжению высших гармоник допустимо только после проведения исследований вза-

имного влияния высоковольтных активных фильтров друг на друга, подтверждающих отсутствие потери устойчивости регуляторов высших гармоник.

14. В мировой практике имеет место регламентация ОКЗ (соотношение между мощностью КЗ в точке присоединения и суммарной мощностью присоединяемого объекта — тяговой нагрузки, металлургического производства, возобновляемого источника электроэнергии) с целью сохранения отказоустойчивости энергосистемы и КЭ. Критическое значение ОКЗ определялось для разных условий эмпирическим способом. В частности, таким способом Международным конгрессом по электротермии в свое время было определено критическое ОКЗ для технологического присоединения дуговых сталеплавильных печей.

По итогам заседания были приняты следующие решения.

1. Принять к сведению информацию, изложенную в докладе.
2. Одобрить результаты ОКР, выполненных АО «Нидек АСИ ВЭИ», ООО «Усть-Каменогорский конденсатор» и «НТЦ Россети ФСК ЕЭС», направленных на создание и развитие быстродействующих пофазно регулируемых устройств компенсации реактивной мощности на основе преобразовательной техники.
3. Рекомендовать ООО «Усть-Каменогорский конденсатор» и «НТЦ Россети ФСК ЕЭС»:
 - проведение разъяснительной работы с партнерами по поставкам УКРМ о необходимости опубликования потребителями объемов понесенного ущерба от некачественного электроснабжения в связи с нарушением ГОСТ

32144–2013 в целях создания доказательной базы рассмотрения судебных обращений;

- подготовить для ПАО «Россети» предложения по совершенствованию методики определения удельных стоимостей пофазно регулируемых УКРМ (СТК, СТАТКОМ, активные фильтры симметрирующие устройства, УШРТ) для разных номинальных мощностей;
- продолжить исследования и разработки по совершенствованию конструкции пофазно регулируемых УКРМ и технологий их изготовления и применения для перераспределения потоков реактивной мощности в электрической сети, повышения их технико-экономической эффективности.
- 4. Рекомендовать ПАО «Россети»:
 - сформировать план работ по созданию НПА, направленных на стимулирование искажающих потребителей в применении компенсирующих устройств, обеспечивающих требования по предельным уровням эмиссии токов высших гармоник в электрические сети общего назначения;
 - продолжить работы по тематике МПУ, в частности НИОКР по теме «Разработка и изготовление унифицированного модульного преобразовательного устройства (МПУ) единичной мощностью 30–50 Мвар для обеспечения качества электроэнергии»;
 - при проведении работ по выбору мест установки и мощности быстродействующих пофазно регулируемых устройств компенсации реактивной устройств и нормализации качества электроэнергии (СТК, СТАТКОМ, активные

фильтры и другие аналогичные устройства) на подстанциях электрических сетей, указанные работы выполнять совместно проектными институтами и разработчиками этих устройств для выбора оптимальных алгоритмов их работы (технических требований к системе управления) и расчета их необходимой мощности, количества и точек подключения;

- проведение НИР на тему «Разработка методических указаний по оценке качества электроэнергетики при проектировании схем внешнего электроснабжения потребителей, имеющих мощные нелинейные, несимметричные и резкопеременные нагрузки»;
- проведение отдельной внестадийной работы по глубокой проработке вопросов обеспечения качества электроэнергии в районах с неудовлетворительными ПКЭ;
- организовать в соответствии с НПА работу по внесению изменений в действующие документы перспективного развития электроэнергетики.

Конструктивные предложения путей решения проблем обеспечения допустимых показателей качества электрической энергии в электрических сетях, примыкающих к Транссибу и БАМу, отраженные в материалах и рекомендациях совместного заседания научно-технического совета «НТЦ Россети ФСК ЕЭС» и секции «Электротехническое оборудование» НП «НТС ЕЭС», имеют важный прикладной характер. Имеющийся у участников мероприятия научно-технический задел позволяет продолжить работу отрасли по этому направлению в режиме максимального учета текущей макроэкономической ситуации.