



**Некоммерческое партнерство  
«НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ  
Единой энергетической  
системы»**

109044 г. Москва, Воронцовский пер., дом 2  
Тел. (495) 912-1078, 912-5799, факс (495) 632-7285  
E-mail: [dtv@nts-ees.ru](mailto:dtv@nts-ees.ru), <http://www.nts-ees.ru/>  
ИНН 7717150757

**УТВЕРЖДАЮ**

Председатель Научно-технической  
коллегии НП «НТС ЕЭС», д.т.н.,  
профессор

Н.Д. Роголев

«28» 02 2023 г.

**ПРОТОКОЛ**

совместного заседания секции «Электротехническое оборудование»  
НП «НТС ЕЭС» и НТС АО «НТЦ ФСК ЕЭС» по теме:

**Обеспечение качества электроэнергии в энергосистемах, примыкающих  
к Транссибу и БАМу. Опыт разработки и внедрения компенсирующих  
устройств.**

от 10 февраля 2023 г.

г. Москва

**Присутствовали члены НТС и секции очно в 220-й переговорной и по  
ВКС:**

**ПАНФИЛОВ**

Дмитрий Иванович

– Начальник Департамента НТС и научно-технической информации - Научный руководитель АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;

**ДЕМЕНТЬЕВ**

Юрий Александрович

– Главный научный сотрудник Управления организации научно-технического совета Департамента НТС и научно-технической информации, **Председатель** НТС АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;

**ХРЕННИКОВ**

Александр Юрьевич

– **Председатель** секции «Электротехническое оборудование» НП НТС ЕЭС, ученый секретарь НТС Управления организации научно-технического совета Департамента НТС и научно-технической информации АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;

- ВОРОТНИЦКИЙ**  
Валерий Эдурдович – Главный научный сотрудник Управления организации научно-технического совета Департамента НТС и научно-технической информации АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;
- МОРЖИН**  
Юрий Иванович – Главный научный сотрудник Управления организации научно-технического совета Департамента НТС и научно-технической информации АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;
- СМЕКАЛОВ**  
Владимир Валентинович – Научный сотрудник Управления подстанций Центра электротехнического оборудования АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;
- СОРОКИН**  
Дмитрий Владимирович – Заместитель научного руководителя Управления организации научно-технического совета Департамента НТС и научно-технической информации АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;
- КУЛИКОВ**  
Александр Леонидович – Заместитель научного руководителя Управления организации научно-технического совета Департамента НТС и научно-технической информации АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;
- НОВИКОВ**  
Николай Леонтьевич – Заместитель научного руководителя Управления организации научно-технического совета Департамента НТС и научно-технической информации АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;
- ПОПОВ**  
Сергей Григорьевич – Начальник управления функциональных и сертифицированных испытаний вторичного оборудования энергообъектов Департамента автоматизированных систем АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;
- СОКУР**  
Павел Вячеславович – Ведущий эксперт Отдела преобразовательной техники Управления качеством электроэнергии АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;
- РЯБЧЕНКО**  
Владимир Николаевич – Главный технолог Управления перспективного развития электрических сетей АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;

- ТОКАРСКИЙ**  
Андрей Юрьевич
- Ведущий эксперт Управления перспективного развития электрических сетей АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;
- ЛЮБАРСКИЙ**  
Юрий Яковлевич
- Учёный секретарь секции «Электротехническое оборудование» НП НТС ЕЭС, главный научный сотрудник Управления организации научно-технического совета Департамента НТС и научно-технической информации АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;
- ТИМАШОВА**  
Лариса Владимировна
- Главный научный сотрудник Управления организации научно-технического совета Департамента НТС и научно-технической информации АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;
- ЛЬВОВ**  
Юрий Николаевич
- Ведущий научный сотрудник Управления организации научно-технического совета Департамента НТС и научно-технической информации АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;
- МАКОКЛЮЕВ**  
Борис Иванович
- Главный научный сотрудник Управления организации научно-технического совета Департамента НТС и научно-технической информации АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;
- РАБИНОВИЧ**  
Марк Аркадьевич
- Главный научный сотрудник Управления организации научно-технического совета Департамента НТС и научно-технической информации АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;
- АНТОНОВ**  
Анатолий Викторович
- Начальник Управления качества электроэнергии АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;
- ДРОБЫШЕВСКИЙ**  
Александр  
Александрович
- Главный эксперт отдела трансформаторного и реакторного оборудования АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;
- АБАКШИН**  
Павел Сергеевич
- Главный специалист отдела разработки ПО Центра цифровых технологий Дирекции интеллектуальных Систем управления и технологий АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;

- ЛАЧУГИН**  
Владимир Федорович
- Главный эксперт Отдела разработки преобразовательной техники Управления качества электроэнергии Департамента инновационного оборудования и энергоэффективности АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;
- РУДНЕВ**  
Николай Сергеевич
- Начальник Управления по проверке качества и разработке оборудования ВЛ и ПС Департамента аттестации оборудования АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;
- БРАГУТА**  
Максим Валерьевич
- Начальник Департамента автоматизированных систем АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;
- ПЕШКОВ**  
Максим Валерьевич
- Заместитель начальника Управления качества электроэнергии АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;
- НАЗАРОВ**  
Илья Александрович
- Начальник отдела подстанций Управления электротехнического оборудования АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;
- КАЛИНКИНА**  
Маргарита Анатольевна
- Заместитель начальника управления – начальник отдела реализации НИОКР Управления энергоэффективных технологий и снижения потерь АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;
- ЗВЯГИНЦЕВ**  
Александр Васильевич
- Главный эксперт Управления по проверке качества и разработке оборудования ВЛ и ПС Департамента аттестации оборудования АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;
- МАТИНЯН**  
Александр Маратович
- Начальник Отдела разработки преобразовательной техники Управления качества электроэнергии АО «НТЦ ФСК ЕЭС».
- Присутствовали:**
- ШАМОНОВ**  
Роман Геннадьевич
- Заместитель начальника Департамента оперативно-технологического управления ПАО «ФСК ЕЭС»;
- ТУРКИНА**  
Ольга Викторовна
- Заместитель генерального директора по инновационной деятельности АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;

- ЧУПРИКОВ**  
Виктор Сергеевич - Заместитель генерального директора  
ООО «Усть-Каменогорский конденсатор»;
- БУЛЫКИН**  
Павел Юрьевич - Заместитель начальника УОЭП АО «НТЦ  
ФСК ЕЭС»;
- ТУЗЛУКОВА**  
Екатерина Валерьевна - Главный эксперт АО «НТЦ ЕЭС»;
- МИЛАУШКИН**  
Алексей Юрьевич - Начальник Отдела развития энергетических  
систем АО «НТЦ ЕЭС»;
- СЫРОВАТСКИЙ**  
Николай Александрович - Начальник Управление опытно-  
экспериментального производства АО «НТЦ  
ФСК ЕЭС»;
- ПАРИНОВ**  
Илья Андреевич - Начальник Управления энергоэффективных  
технологий и снижения потерь АО «НТЦ  
ФСК ЕЭС»;
- СМОЛОВИК**  
Сергей Владимирович - Заместитель заведующего отделом  
проектирования и развития систем АО «НТЦ  
ЕЭС».

Заседание вёл Председатель НТС АО «НТЦ ФСК ЕЭС», главный научный сотрудник АО «НТЦ ФСК ЕЭС» Юрий Александрович Дементьев.

**Слушали:**

Доклад заместителя генерального директора ООО «Усть-Каменогорский конденсатор» по развитию, к.т.н. Чуприкова В.С. на тему: «**Обеспечение качества электроэнергии в энергосистемах, примыкающих к Транссибу и БАМу. Опыт разработки и внедрения компенсирующих устройств**».

Представлены вопросы анализа причин неудовлетворительного качества электроэнергии в электрических сетях, примыкающих к Транссибу и БАМу, предложения по его нормализации путем применения многофункциональных устройств компенсации реактивной мощности.

**1. Оценка существующего 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 одноцепного на участке Чара-Хани-Тында, который служит для электроснабжения потребителей вдоль БАМа. Кроме железных дорог

крупными потребителями в этом регионе являются объекты нефтегазотранспортных 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 трём 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 Сибири и Востока. Таким образом, схема электроснабжения потребителей является радиальной. 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 8 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 (СТАТКОМ).

В ходе эксплуатации ВПТ было выявлено, что существенным фактором, влияющим на надежность ее работы, являются значительные превышения показателей качества электроэнергии (ПКЭ) нормативных значений, что связано, 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 достигают 19% при предельной норме 10%. Значения суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения  $K_U$  достигают 20% при предельной норме 3%. В 2015 г. произошло увеличение грузоперевозок и единичной мощности электровозов прилегающей железной дороги, что еще более усугубило ситуацию с ПКЭ. Были зафиксированы длительные режимы работы сети с превышением гармонических искажений в одной из фаз. Кроме того, наблюдаются достаточно частые провалы напряжения, связанные с работой железной дороги и грозовой активностью в весенне-летний период.

Тяжелая ситуация с качеством напряжения сложилась на подстанции 220 кВ Сковородино МЭС Востока, от которой отходит несколько линий к тяговым подстанциям Транссиба. По данным ПАО «ФСК ЕЭС» от 2015 г. качество электроэнергии на шинах 110 кВ по показателям  $K_{2U}$  и  $K_U$  не соответствовало требованиям ГОСТ в течение всего периода измерений.

Значения  $K_{2U}$  за сутки с вероятностью 95% достигали 4,5–5% при кратковременных повышениях до 9-10 %. Значения  $K_U$  за сутки с вероятностью 95% могут достигать 6,0-6,5% при кратковременных повышениях до 13,3-15,4 %...». Электрическое оборудование запитанных от этой сети предприятий региона подвергается воздействию искажений напряжения, что приводит к его отключениям и повреждениям. На НПС-21 нефтепровода ВСТО с 2011 по 2015 год было зафиксировано 40 аварийных остановок (в основном из-за несимметрии напряжений).

На руднике «Александровский» в Могочинском районе Забайкальского края за период с 2014 по 2017 год 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 5 раз превышает допустимые по ГОСТ значения, привело к тому, что содержание только 5-й гармоники в токе БСК 35 кВ, установленных на ПС «Удоканский ГМК», составило 57% от тока промышленной частоты, а их полный ток превысил 1,3 от номинального значения.

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» максимальное измеренное значение коэффициента искажения синусоидальности напряжения 21 % при норме 3 %.

**2. Причины значительных искажений формы, и наличия несимметрии питающего напряжения. Необходимость нормализации параметров качества электроэнергии для ликвидации негативного влияния искажений напряжения на работу энергопринимающих устройств промпредприятий.**

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 (ТПС) 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. В стадии реализации находится проект «Восточный полигон», его задачи — комплексная модернизация БАМа и Транссиба, которая существенно увеличит пропускную способность железнодорожной сети.

В настоящее время в зонах с неудовлетворительным КЭ имеют место 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 МВА 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), то есть отношение минимального значения МКЗ к потребляемой мощности нагрузки менее регламентированного. В западной Европе стараются обеспечить это соотношение на уровне не менее 10, в южной Австралии – не менее 3. Система электроснабжения Удоканского комбината имеет ОКЗ всего 1,82 (максимальная мощность присоединения ГМК «Удокан» к сетям ПАО «ФСК ЕЭС» составляет 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 т.ч. 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 8 нормированных ГОСТ 32144-2013 его показателей повсеместно выдерживается только один – отклонение частоты сети.

В этих условиях каждый новый потребитель электроэнергии в регионе вынужден сам решать вопрос нормализации ПКЭ, испорченных железнодорожной нагрузкой, путем установки устройств компенсации реактивной мощности на своих локальных подстанциях. Это решает проблему 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 неискажающим потребителем УКРМ.



Для повышения надежности работы электрооборудования различных предприятий вдоль Транссиба и БАМа, необходимо принять меры по улучшению ПКЭ в магистральных и распределительных сетях ОЭС Сибири и Востока путем обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) тяговой нагрузки с питающей сетью. Именно процесс преобразования несимметричного несинусоидального тока нагрузки с существенной долей реактивной составляющей в симметричный синусоидальный активный ток и является обеспечением такой ЭМС. Такое преобразование осуществляют многофункциональные устройства компенсации.

### **3. Наиболее распространенные виды многофункциональных УКРМ, их отличительные особенности.**

Для компенсации не только потребляемой реактивной мощности, но также 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, появившееся в конце 90-х годов в связи с развитием мощных IGBT-приборов, - СТАТКОМ, представляющий собой автономный инвертор напряжения, подключаемый к сети через фазные линейные реакторы. Система управления СТАТКОМа 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 СТАТКОМах реактивная мощность генерируется активными элементами путем формирования тока соответствующей фазы.

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

Таким образом, можно констатировать тот факт, 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 ГОСТ, но, к сожалению, пока остаются неустраиваемыми.

#### **4. Параметры выпускаемых СТК и СТАТКОМ. Сфера их применения по классам напряжения и мощностям.**

Первые СТК в мире появились в конце 70-х годов прошлого века и предназначались для компенсации негативного влияния на сеть самой «вредной» из существующих электрических нагрузок – дуговых сталеплавильных печей (ДСП). За прошедшие годы предельная мощность СТК выросла с 80-120 Мвар до 320 Мвар в единице. Постоянное совершенствование технологий и конструкции силового оборудования СТК и разработка новых более совершенных алгоритмов его управления сделали СТК самым распространенным средством компенсации как для промпредприятий, так и для сетевых подстанций, где они применяются для регулирования напряжения. Первые два отечественных СТК разработки ВЭИ (напряжение 35 кВ, мощность 160 Мвар) были изготовлены в 1985 году 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. Также они работают и на подстанциях промпредприятий с мощной переменной нагрузкой, и на сетевых подстанциях ПАО «ФСК ЕЭС».

В связи с тем, что вопрос нормализации ПКЭ на опорной ПС 220 кВ Сковородино длительное время не решалась, ПАО «Транснефть» приняло решение об установке двух СТК мощностью  $\pm 10$  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%. За счет достигнутого повышения качества электроэнергии аварийные отключения электродвигателей магистральных насосов практически прекратились.

Статические компенсаторы типа СТАТКОМ, появившиеся в конце 90-х годов, 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 4 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 роста их использования явилось применение схем многоуровневых инверторов напряжения по технологии ММС, 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 на 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 нужно проводить 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.

## **5. Выводы и рекомендации по нормализации КЭ путем применения многофункциональных устройств компенсации реактивной мощности.**

5.1. Отсутствие на тяговых подстанциях переменного тока ОАО «РЖД» в энергосистемах с низкой мощностью короткого замыкания, примыкающих в 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.

5.2. 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 пока невостребованными из-за отсутствия экономических стимулов к их применению.

5.3. Решение задачи повышения качества напряжения в системах электроснабжения неискажающего потребителя, испорченного удаленной тяговой нагрузкой, 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.

5.4. 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 между мощностью 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 (МКЗ/Снагрузки), 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.

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

В обсуждении доклада приняли участие: Дементьев Ю.А., Панфилов Д.И., Чуприков В.С., Шамонов Р.Г., Тузлукова Е.В., Туркина О.В., Матинян А.М., Антонов А.В, Булыкин П.Ю., Новиков Н.Л., Хренников А.Ю., Любарский Д.Р., Милаушкин А.Ю.

#### **ОТМЕТИЛИ:**

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». ПАО «Россети». Сроки 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 Сквородино), 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 годы» (СиПР) для обеспечения электроснабжения Восточного полигона в энергосистемах Забайкальского края, Амурской области и Республики Саха (Якутия) в 2024 – 2025 годах предусматривается расширение Нерюнгринской ГРЭС на два блока мощностью 225 МВт каждый, сооружение ВЛ 500 кВ Агорта – Сквородино, 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.  
Также в соответствии со «Схемой и программой развития ЕЭС России на 2023 – 2028 годы» в 2023 году предусматривается установка на ТПС 220 кВ Ерофей Павлович ИРМ 220 кВ -80 Мвар +40 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 годах, 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 обеспечению 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 года 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 тяжёлых поездов, кратно увеличить 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 году 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 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 НТД и 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 несоответствующего стандарту качества ГОСТ 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 взаимного 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 к суммарной мощности 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.

**Совместное заседание решило:**

1. Принять к сведению информацию, изложенную в докладе.



2. Одобрить результаты ОКР, выполненных АО «Нидек АСИ ВЭИ», ООО «Усть-Каменогорский конденсатор» и АО «НТЦ ФСК ЕЭС», направленные на создание и развитие быстродействующих пофазно-регулируемых устройств компенсации реактивной мощности на основе преобразовательной техники.

3. Рекомендовать ООО «Усть-Каменогорский конденсатор» и АО «НТЦ 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, активных фильтро-симметрирующих устройств, 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»;

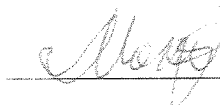
- при проведении работ по выбору мест установки и мощности быстродействующих пофазно-регулируемых устройств компенсации реактивной устройств и нормализации качества электроэнергии (СТК, СТАТКОМов, активных фильтров и других аналогичных устройств) на подстанциях электрических сетей, указанные работы выполнять совместно проектными институтами и разработчиками этих устройств для выбора оптимальных алгоритмов их работы (ТТ к системе управления) и расчета их необходимой мощности, количества и точек подключения;

- проведение НИР на тему: «Разработка методических указаний по оценке качества электроэнергии 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;

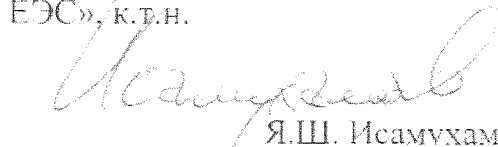
- организовать в соответствии с НПА работу по внесению изменений в действующие документы перспективного развития электроэнергетики.

Первый заместитель Председателя  
Научно-технической коллегии  
НП «НТС ЕЭС», д.т.н., профессор



В.В. Молодюк

Ученый секретарь Научно-  
технической коллегии НП «НТС  
ЕЭС», к.т.н.



Я.Ш. Исамухамедов

Председатель НТС АО «НТЦ ФСК  
ЕЭС»



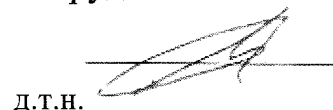
Ю.А. Дементьев

Председатель секции  
«Электротехническое  
оборудование» НП «НТС ЕЭС»,  
д.т.н.



А.Ю. Хренников

Ученый секретарь секции  
«Электротехническое  
оборудование» НП «НТС ЕЭС»,



д.т.н.

Ю.Я. Любарский