

# ВКЛАД ВЭИ В ТЕХНИКУ СТАТИЧЕСКИХ ТИРИСТОРНЫХ КОМПЕНСАТОРОВ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

ШУЛЬГА Р.Н., к.т.н., ВЭИ-филиал ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академика Е.И. Забабахина»

ЧУПРИКОВ В.С., к.т.н., ООО «Усть-Каменогорский конденсатор»

*Посвящается памяти главного конструктора СТК И.П. Таратуы*

Предыстория появления техники статических тиристорных компенсаторов (СТК) охватывает промежуток 50–60-х годов прошлого века, связанный с бурным развитием статических преобразователей на основе игнитронов и экситронов. Одним из ведущих подразделений ВЭИ, которое занималось разработкой таких преобразователей, было отделение высоковольтных ртутных вентилях (ОВРВ), выпустившее несколько поколений ртутных вентилях (ВР). На основе одноанодных вентилях типа ВР-9 на напряжение 130 кВ, ток 900 А разработки Бутаева Ф.И., Климова Н.С. и др., изготовленных на Тольяттинском электротехническом заводе (ТЭЗ), были скомплектованы преобразовательные мосты первой советской передачи постоянного тока (ППТ) Волгоград-Донбасс. В 1970 г. были разработаны более совершенные вентилях ВР-10, а затем ВРСМ-10 на напряжение 140 кВ, ток 1000–1200 А разработки Перцева А.А., Удриса Я.Я., Оленина А.В. и др. А на Таллинском электротехническом заводе (ТЭЗ) было освоено производство электроприводов для нужд ж/д транспорта на основе запаянных ртутных вентилях-игнитронов типа ИВС и ИВП 500/5 разработки Суэтина Т.А. и Таратуы И.П. С 1968 г., на основе игнитронов ИВУ 500/5 разработки Иванова В.А. и Таратуы И.П., начали производить регулируемые электроприводы для нужд металлургических заводов СССР и зарубежных стран. Так были заложены основы развития отечественной техники СТК

**Ключевые слова:** статический тиристорный компенсатор, ртутный вентиль, мощный испытательный стенд, компенсация реактивной мощности

Разработанные в ВЭИ на рубеже 60–70-х годов серии тиристорных управляемых вентилях ВКУ на напряжение 600 В, ток до 150 А вытеснили ртутные вентилях и позволили в 1969 г. начать производство на ТЭЗ тиристоров серии ТД на напряжение до 1700 В, ток до 250 А. А уже в 1970 г. производство разработанных в ВЭИ таблеточных тиристоров Т-500 на напряжение 2 кВ, ток 500 А (Ев-

сеев Ю.А., Локтаев Ю.М. и др.) было освоено на заводе «Электровыпрямитель» в г. Саранск.

Указанные разработки позволили специалистам ВЭИ приступить к созданию отечественных высоковольтных СТК, по своим техническим характеристикам не уступающим аналогичным устройствам производства ASEA (в будущем ABB) – мировому лидеру в этой отрасли.

## РАЗВИТИЕ ТЕХНИКИ СТК, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ И МОЩНОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА МИС НА ЭТАПЕ 70–90-Х ГОДОВ ХХ ВЕКА

Недостатки развития больших сетей переменного тока в части устойчивости, управляемости и роста токов КЗ в 80-е годы вызвали необходимость освоения техники постоянного тока и ускоренного развития высоковольтной преобразовательной техники. Успеш-



Рис. 1. Мощный испытательный стенд в г. Тольятти на напряжение 500-1150 кВ

ное завершение проекта ППТ Волгоград-Донбасс и разработка новых проектов: вставки постоянного тока СССР-Финляндия в г. Выборг и самой мощной в мире ППТ 1500 кВ Экибастуз-Центр, а также ЛЭП Экибастуз-Урал с напряжением 1150 кВ, утвердили лидерство нашей страны в мировой энергетике к концу 80-х годов.

Широкое энергетическое строительство потребовало создания уникального и единственного в мире мощного испытательного стенда (МИС) в г. Тольятти. МИС, фото которого представлено на рис. 1, располагал территория в 19,6 га с ОРУ 500 кВ. Питание стенда осуществлялось от ЛЭП 500 кВ Волжская ГЭС–Бугульма (ныне Жигулевская ГЭС).

С учетом непосредственной близости мощных источников, прежде всего Волжской ГЭС, а также развитой сетевой инфраструктуры, оказалось возможным обеспечить на данном стенде мощность короткого замыкания 12÷18 ГВА, достаточную для проведения электродинамических испытаний трансформаторов мощностью до 666 МВА, реакторов и другого оборудования на напряжения до 500 кВ и выше, а также испытания СТК на напряжении 10 и 35 кВ [5–7].

Главная схема электрических соединений стенда изображена на рис. 2. Стенд присоединен к ВЛ 500 кВ с помощью выключателей Q1...Q4 по схеме четырехугольника. Выключатели Q5...Q10 служат для подключения

фильтро-компенсирующих устройств ФКУ1, ФКУ2 и двух трансформаторных групп ТГ1, ТГ2.

Стенд для испытания оборудования постоянного тока состоял из двух преобразовательных мостов М1, М2, выполненных по трехфазной мостовой схеме Ларионова, которые обеспечивают следующие испытательные воздействия: номинальный ток – 2100 А, ток 15-минутной перегрузки – 2800 А, выпрямленное напряжение моста – 375 кВ, максимальное рабочее напряжение верхнего полюса и фазы моста относительно земли – 1200 кВ.

Значимость МИС определялась возможностью отладки высоковольтного оборудования в условиях эксплуатации на реальном объекте, а также проведения долговременных ресурсных испытаний оборудования для подтверждения его надежности. Стендов с подобными характеристиками не существовало в мире ни тогда, ни теперь! Разработка и проектирование МИС осуществлялась силами ВЭИ под руководством Кулакова В.П. и Викулина А.Г. В проведении испытаний активно участвовали сотрудники отделения высоковольтной преобразовательной техники (ОВПТ) и отделения высокого напряжения (ОВН) под руководством Таратуты И.П. и Остапенко Е. И. На МИС сложился полноценный коллектив исполнителей: Севрюгов А.В., и Червяков В.А., под руководством директоров Краснова А.И., а затем Долгополова А.Г.

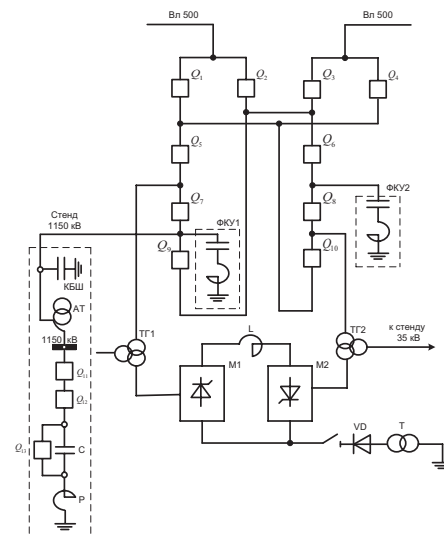


Рис. 2. Главная схема электрических соединений МИС

На этом стенде проводились ресурсные испытания тиристорных блоков для ППТ Экибастуз-Центр, разработанных в ОВПТ ВЭИ, подтвердившие их высокую надежность.

### ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ В МИРЕ И СССР В ЧАСТИ СРЕДСТВ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

В мировой электроэнергетике с начала 80-х годов 20 века началось внедрение устройств FACTS (гибкие линии электропередач переменного тока), выполненных на базе использования достижений силовой электроники. Эти устройства должны были ликвидировать недостатки сетей переменного тока в части устойчивости, управляемости, ограничения токов КЗ и др. Наряду с применением ВПТ и ППТ значительная роль в решении перечисленных задач отводилась устройствам регулируемой быстродействующей компенсации реактивной мощности типа СТК, а с 2000 годов и СТАТКОМам. Широко применяемая в мире схема вентильного СТК в составе тиристорно-реакторной группы (ТРГ) и фильтро-компенсирующих цепей (ФКЦ) была запатентована в стране и за рубежом сотрудниками ВЭИ Худяковым В.В. и Чвановым В.А.

Для выбора схемотехники СТК и алгоритмов его управления потребовалось создание средств моделирования, а также координация разработ-





Рис. 3. Шунтирующий реактор для ВЛ 1150 кВ на испытаниях

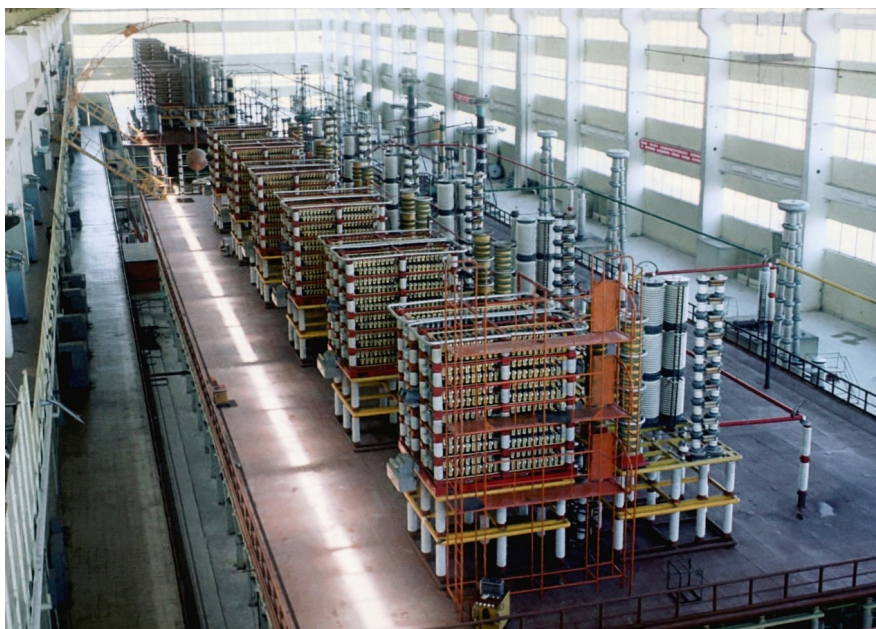


Рис. 4. Стенд испытаний тиристорных блоков напряжением 375 кВ

ки комплексов электрооборудования (КЭО). Штабом создания новых проектов стало специально образованное в ВЭИ отделение разработки комплексов электрооборудования (ОРКРО) с ведущими сотрудниками: Соколов Н.Н., Кулаков В.П., Викулин А.Г. В ОРКРО вошла также лаборатория режимов и защиты от перенапряжений (ЛРЗП), которую создал Стукачев А.В. Им был сформирован молодежный коллектив, яркими представителями которого явились Худяков В.В., Лытаев Р.А., Баракаев Х.Ф., Лазарев Н.С. и др., которые разработали уникальную физическую модель постоянного тока (далее физическая модель), ставшую впоследствии основным инструментом исследований для формирования ТТ и ТЗ на подсистемы и элементы КЭО всех ППТ, ВПТ, СТК и др. объектов.

Недостатком физмоделей, в том числе и для моделирования ЛЭП, являлось низкое значение добротности составляющих ее компонентов, искажавшее результаты исследований.

Это потребовало создания математических моделей (вначале аналоговых, а затем и цифровых), лишенных этого недостатка. Ряд программных комплексов для исследования режимов ППТ, ВПТ, СТК разработали Шульга Р.Н., Болдырев Е.А., Лазарев Н.С. и др. Наличие в ОРКРО сотрудников разного профиля: исследователей, конструкторов и проектировщиков,

привлеченных из Гидропроекта, Энергосетьпроекта и др., а также опыт сотрудников других отделений, позволили ВЭИ стать отечественным лидером в принятии технических решений проектируемых энергообъектов.

### СТК ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИИ

Статические тиристорные компенсаторы реактивной мощности (СТК) начали широко применяться в мире в середине 70-х годов прошлого столетия с целью снижения вредного влияния на питающую сеть мощных дуговых сталеплавильных печей (ДСП), которые стали использовать на металлургических заводах вместо традиционных мартеновских печей. Техническая возможность изготовления мощных СТК была обусловлена созданием сильноточных высоковольтных таблеточных тиристорov. Ведущие компании-производители СТК в это время: ASEA (Швеция) – после 1988 г. ABB, Siemens (Германия), Alstom (Франция), General Electric и Westinghouse (США), Nissan и Fuji Electric (Япония).

Несмотря на имеющееся авторство схемы вентильного компенсатора реактивной мощности (патент В.В.Худякова и В.А.Чванова) в СССР СТК не производились. Для преодоления этого отставания в 1980 г. в ОВПТ ВЭИ был создан сектор СТК под руководством М.В.Ольшванга, в котором была начата работа изучению и обоб-

щению мирового опыта СТК-строения и создания собственной методологии выбора параметров СТК для ДСП. После укрепления сектора СТК В.С. Чуприковым работа была форсирована и уже в середине 1982 г. был выпущен технический проект по СТК на напряжение 35 и 110 кВ.

Весной 1982 г. ВЭИ получил задание от Госплана СССР: в кратчайшие сроки выдать проектным институтам конструкторскую документацию на установку двух СТК напряжением 35 кВ для строящихся в СССР передельных металлургических заводов: Молдавского (ММЗ) в г. Рыбница и Дальневосточного (ДВМЗ) в г. Комсомольск-на-Амуре, и обеспечить поставку всего комплекса оборудования в 1984 году. Важность поставленной задачи заключалась в том, что без СТК эти заводы не могли быть сданы в промышленную эксплуатацию, так как вызываемые работой ДСП колебания напряжения в питающей сети (т.н. фликер) больше чем в 2 раза превышали допустимые нормы.

Разработка этих СТК происходила под непосредственным руководством главного конструктора СТК, начальника ОВПТ ВЭИ И.П. Таратуты, а все организационные вопросы курировали первый заместитель директора ВЭИ И.М.Бортник и зам. министра МЭТП Ю.А.Никитин. В качестве предприятий-изготовителей оборудова-

ния ВПО «Союзтрансформатор» значило: СВПО «Трансформатор» по ВТВ и системе охлаждения, МПО «Электрозавод» по компенсирующим и фильтровым реакторам и демпфирующим резисторам, ПО «Конденсатор» (ВНИИСК и УККЗ) по конденсаторным батареям. Разработку СУРЗА поручили сектору В.А. Кузьменко НИЦ «Комплекс» ВЭИ.

В процессе создания первых отечественных СТК М.В. Ольшвангом и В.С. Чуприковым были разработаны методики и программы расчета основных параметров СТК и отдельных видов его оборудования, которые успешно используются до настоящего времени [8–12]. После многочисленных совещаний с представителями заказчика (Минчермета), ВНИИЭТО, ТПЭП и МЭТП 22 ноября 1982 года было согласовано и утверждено ТЗ на разработку СТК для ММЗ и ДВМЗ напряжением 35 кВ мощностью 160 Мвар, а к концу года технические требования на все виды оборудования были переданы заводам-изготовителям.

Следует отметить, что при разработке электронной части СТК, осуществленной непосредственно в ВЭИ, были использованы самые современные на то время технологии:

- тиристорные вентили на базе таблеточных тиристоров Т273-1250 30 класса;
- система светового управления и контроля состояния тиристоров с использованием специальных полупроводниковых лазеров ЛПИ-101;
- жидкостное охлаждение тепловыделяющих компонентов ВТВ (тиристоров, резисторов и дросселей насыщения) с помощью деионизованной воды;
- мажорированная полностью цифровая система автоматического управления, реализованная на базе микроЭВМ В7;
- резервирование ключевых компонентов и узлов.

Среди разработчиков этого наиболее наукоемкого оборудования СТК особенно отличились следующие сотрудники ВЭИ: Р.А. Лытаев, С.В. Крайнов, О.П. Нечаев, В.Ф. Баракаев, А.И. Федотов, А.А. Маслов, А.Д. Коваль – по силовой части ВТВ, А.И. Январев, В.С. Горшков, Е.Ф. Данькин, Ю.Н. Дуров – по световой системе

управления и контроля тиристоров, Л.И. Ройзен, Л.М. Вертоградская, Д.Г. Рачицкий – по системе жидкостного охлаждения, А.И. Ступель, В.В. Кузьменко, В.П. Агафонов, И.С. Кубарева – по СУРЗА.

Что же касается традиционного электрооборудования, то здесь технологическое отставание СССР от Запада было налицо. Реакторы для СТК, как компенсирующие, так и фильтровые, МПО «Электрозавод» разработал с железными сердечниками и масляным охлаждением, размещенными в тяжелых и громоздких баках (других они делать просто не умели!), в то время как компании Trench (Канада), Spezielectra (Австрия) и Nokia (Финляндия) выпускали подобные реакторы в сухом исполнении с воздушным сердечником. Для комплектации конденсаторных батарей всех фильтрокомпенсирующих цепей (ФКЦ) использовались самые мощные на то время отечественные конденсаторы типа КСШК-6,3-100 УЗ мощностью 100 квар в единице, с внешними предохранителями, заполненные экологически вредным диэлектриком трихлордефинил (ТХД). А компании ABB (Швеция) и Nokia производили конденсаторы мощностью 200-300 квар в единице с встроенными секционными предохранителями и экологически безопасным диэлектриком типа Jarilec. Касательно коммутационной аппаратуры – если на ММЗ/ДВМЗ были запроектированы воздушные выключатели типа ВВУ-35А и ВВЭ-35-20 и разъединители с ручным приводом, то Западе уже широко использовались КРУ-35 кВ с вакуумными выключателями.

Забегая вперед отметим, что после сравнения характеристик отечественного оборудования СТК для ММЗ и ДВМЗ с аналогичным оборудованием СТК производства компании ABB, поставленным в то же время на Белорусский металлургический завод (БМЗ), построенный «под ключ» австрийской компанией Voest Alpine, МЭТП в 1986 г. запустило отраслевую н/т программу по разработке комплекса оборудования СТК (реакторов, конденсаторов и выключателей) второго поколения, не уступающего западным аналогам. Основанием для формирования этой программы явился отчет по результатам командировки на БМЗ

в мае 1985 г. бригады сотрудников ВЭИ (В.С. Чуприков, В.А. Кузьменко и В.П. Иванов), в котором было проведено сравнение каждого вида отечественного и зарубежного электрооборудования СТК.

Параллельно процессу разработки и изготовления оборудования проводилось рабочее проектирование двух установок СТК. По ММЗ проектным институтом был назначен ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект» (ТПЭП), а по ДВМЗ – «Сибгипромез» (г. Новокузнецк). Особенностью проектирования было решение об установке всего оборудования обоих СТК в отдельных специально построенных зданиях. Причинами этого явились: соседство площадки будущего ММЗ с рядом стоящим цементным заводом и суровый климат для ДВМЗ. Так как работы по проектированию были начаты еще до получения окончательных габаритно-установочных чертежей оборудования СТК, помещения под него были выбраны с приличным запасом, в результате чего размер двухэтажных зданий составил в плане 72×36 м!

Основную работу с проектантами взял на себя В.С. Чуприков. Хотелось бы отметить ведущих специалистов ТПЭПа, принявших непосредственное участие в разработке рабочего проекта СТК для ММЗ: А.П. Цаллагов, А.Г. Смирнов, Я.Ю. Солодухо, Либерзон, Корогодский, Подшибихина, Чугункин, Менчик и др. Тщательная проработка принятых для первых отечественных СТК конструктивных и технологических решений, структуры панелей автоматики и релейных защит стали хорошей основой для всех последующих проектов СТК в СССР и, после 1991 г., в Российской Федерации.

В начале 1985 г. в ВЭИ на обучение прибыли группы молодых инженеров ММЗ и ДВМЗ, которым предстояло в будущем осуществлять эксплуатацию первых СТК. А уже в июне в Рыбницу для выполнения шеф-монтажных и пуско-наладочных работ выехала бригада специалистов пяти секторов ВЭИ (всего около 25 человек) под руководством В.С. Чуприкова.

В СССР строительству первого передельного металлургического завода придавалось большое значение. На ММЗ работал т.н. «Штаб стройки», в котором практически ежедневно проходили совещания





Рис. 5. Фото ВТВ 35 кВ первого и второго поколений

под руководством зам. министра строительства СССР и министра строительства Молдавской ССР, на которых контролировалось выполнение плана строительства и монтажа оборудования. СТК был одним из ключевых объектов строящегося завода, так как опыта сооружения подобных установок в СССР еще не было. А фактически всеми работами на комплексе СТК руководили 2 человека – начальник СТК И.А. Пиндак от ММЗ и руководитель бригады ВЭИ В.С. Чуприков. Ежедневно приходилось решать массу организационных и технических проблем, связанных с недоработками проекта, задержками выполнения отделочных и монтажных работ, а также необходимостью оперативного восстановления работоспособности электронного оборудования СТК, которое больше года хранилось на открытой площадке в несоответствующих ТУ условиях.

Во время проведения монтажных работ комплекс СТК посещали директор ВЭИ В.П. Фотин, его первый заместитель И.М. Бортник, начальник ОВПТ И.П. Таратута и нач. отдела ВТВ Р.А. Лытаев, а также представители заводов-изготовителей.

В результате совместных усилий специалистов ВЭИ, монтажников и сотрудников завода к концу лета основной объем строй-монтажных работ был закончен, в сентябре на СТК было подано высокое напряжение и пошел первый регулируемый ток в ТРГ. После почти 3 месяцев пуско-наладочных

работ и приемо-сдаточных испытаний в конце 1985 года первый советский СТК – самый мощный в мире на то время (для металлургии), был принят в промышленную эксплуатацию [9].

После этого бригада специалистов ВЭИ, уже под руководством М.В. Ольшванга, отправилась в Комсомольск-на-Амуре на ДВМЗ и летом 1986 года был принят в эксплуатацию и второй отечественный СТК.

А в конце 80-х годов на закате советской власти в СССР были реализованы еще два проекта СТК-35 кВ: на Волжском трубном заводе мощностью 160 Мвар и на второй очереди БМЗ мощностью 130 Мвар. Комплектную поставку обоих СТК осуществляла ВТО «Энергомашэкспорт», а конкретные виды оборудования были закуплены у СВПО «Трансформатор» (тиристорные вентили и системы водяного охлаждения) и Nokia (компенсирующие и фильтровые реакторы, конденсаторные батареи и системы управления). В промышленную эксплуатацию эти СТК были сданы в 1990 г.

Для этих СТК в ОВПТ ВЭИ были разработаны тиристорные вентили второго поколения. Переход на приборы Т273-1250 42 класса позволил уменьшить число последовательно соединенных тириستоров в фазе с 40 до 28 и существенно улучшить массогабаритные показатели ВТВ. На рис.5 приведены фото ВТВ на напряжение 35 кВ и ток 1600 А первого (ММЗ) и второго (БМЗ) поколений.

Следует отметить, что в оборудовании первых советских СТК использовались исключительно отечественные компоненты и материалы с гражданской приемкой (т.е. не самого высокого качества). Тем не менее, заложенные в оборудование технологические запасы и резервирование ключевых компонентов обеспечили их высочайшую надежность, что позволило эксплуатировать все 4 СТК до настоящего времени, т.е. в течение 30-35 лет.

### СТК ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Кроме металлургии СТК также широко применялись и в электроэнергетике, особенно в странах с протяженными линиями передачи – в первую очередь это США, Канада, Австралия, Швеция, Индия, Бразилия, Мексика, ЮАР и т.д. Главная задача этих СТК – путем регулирования реактивной мощности обеспечить стабилизацию напряжения на шинах подстанции в месте установки и повысить статическую и динамическую устойчивость электропередачи.

В СССР, несмотря на большую длину магистральных системообразующих линий электропередач напряжением 330, 500 и 750 кВ, подобные СТК отсутствовали. Устойчивость энергосистем обеспечивалась, в первую очередь, структурой их построения: наличием резервных (недогруженных) цепей, параллельных линий напряжением 220 и 110 кВ и принятой еще с 20-х годов прошлого столетия системой противоаварийной автоматики. Это позволяло при аварийных отключениях отдельных линий осуществлять быстрое перераспределение потоков мощности и избегать лавинообразных отключений потребителей.

Актуальность применения СТК в энергетике в СССР проявилась в процессе проектирования пилотной электропередачи напряжением 1150 кВ «Экибастуз-Урал». По расчетам института «Энергосетьпроект» по условиям устойчивости пропускная способность передачи без СТК была ограничена величиной 2500 МВт. В случае же установки на подстанциях Кустанай, Кокчетав и Челябинск вместо части некоммутируемых шунтирующих реакторов быстродействующих СТК мощностью 1200 Мвар, она увеличивалась до 5600 МВт.

Естественно, что создание такого СТК поручили ВЭИ, а системный инжиниринг проекта – сектору СТК ОВПТ (М.В. Ольшванг и В.С. Чуприков) под руководством главного конструктора СТК И.П. Таратуты. Немало копий было сломано в процессе разработки технического задания на разработку ОКР «Статический тиристорный компенсатор для электропередачи 1150 кВ типа СТК-1170-/390-1200». В конце концов 10.08.1984 г. оно было утверждено техническими управлениями Минэнерго и МЭТП.

Сложность данной разработки заключалась в том, что:

- компенсаторов такой мощности в мире не еще существовало;
- в требования к СТК, помимо стандартных, были заложены такие функции, которые не выполнял (да и сейчас не выполняет!) ни один СТК в мире, а именно:

- снижение внутренних перенапряжений на линии электропередачи,
- симметрирование напряжения по фазам линии в неполнофазных режимах работы,
- обеспечение условий быстрого гашения дуги сопровождающего тока и ограничение перенапряжения на линии в цикле ОАПВ;

■ обычно СТК для энергетики выполняются на класс напряжения 10...35 кВ и подключаются через понижающий трансформатор к шинам подстанции либо к третичным обмоткам подстанционных автотрансформаторов. Однако в нашем случае, для выполнения первой и третьей функции, СТК должен быть подключен НЕПОСРЕДСТВЕННО к линии передачи 1150 кВ через специальный понижающий трансформатор, а для минимизации объема оборудования СТК был выбран его класс напряжения 110 кВ;

■ для выполнения всех трех функций СТК должен был иметь пофазное управление;

■ система управления СТК должна была включать в себя ряд нестандартных алгоритмов регулирования реактивной мощности, подлежащих разработке и скоординированных между собой на приоритетной основе.

Тем не менее, задачи были поставлены и их нужно было решать. Специалисты ОВПТ в сотрудничестве с СВПО «Трансформатор» разработали

ВТВ на напряжение 110 кВ. Специальная система быстрого заряда накопителей ячеек управления, разработанная С.В. Крайновым, позволяла обеспечить включение тиристоров в течение 1–2 мс после появления волны нарастающего напряжения, без которой специальные функции СТК не могли быть реализованы. Сотрудники АСУ ВЭИ создавали полностью цифровую многозадачную систему управления. ВИТ разработал проект уникального трехобмоточного трансформатора 1200/121/121 кВ мощностью 1200 МВА с возможностью непосредственного подключения к линии 1150 кВ.

А сотрудники сектора СТК пытались решить системные вопросы функционирования этого СТК, привлекая для этой цели ведущих специалистов ВЭИ: Г.С. Белкина, А.К. Лоханина, С.И. Лурье, Л.В. Лейтеса, В.В. Левченко, Н.М. Чернышова, А.Я. Ярошенко. В.С. Чуприков создал макет быстродействующего регулятора напряжения СТК с фазо-импульсным преобразователем, позволяющим обеспечить непрерывность тока ТРГ при существенных искажениях напряжения на линии. Ряд опытов, проведенных на физической модели Н.С.Лазарева, показал, что эффективность СТК в режиме снижения перенапряжений при включении холостой линии не хуже, чем у шунтирующих реакторов [10, 11].

Самой тяжелой для реализации оказалась задача обеспечения условий быстрого гашения дуги при КЗ на линии. Несколько лет расчетов на ЭВМ, проведенных сотрудником сектора СТК Г.Мальцевым, показали, что выбранные «Энергосетьпроект» мощности ТРГ и ФКЦ недостаточны для полноценной реализации этой неординарной функции.

Тем не менее, к 1988 году все оборудование этого уникального СТК было разработано и готово к изготовлению. К сожалению, развал СССР не позволил реализовать этот проект и обеспечить работу построенной электропередачи с номинальными параметрами.

Параллельно вышеупомянутому проекту сектор СТК разработал СТК для подстанции 220 кВ «Красноленская» РЭУ «Тюменьэнерго» мощностью 150 Мвар. Рабочий проект установки СТК был выполнен УО

«Энергосетьпроект» в 1989 г., но и этот СТК также не был реализован. В СССР уже полным ходом шла перестройка, и до СТК никому не было никакого дела!

## ПОСТСОВЕТСКИЙ ПЕРИОД

После распада СССР в отечественном СТК-строении наступила пауза длительностью 15 лет, которая была преодолена в начале XXI века, когда в России появилась потребность в мощных высоковольтных СТК, обусловленная строительством новых предприятий черной металлургии с ДСП. А позже и сетевые компании начали применять СТК на подстанциях магистральных линий электропередачи.

Но их производство возобновилось уже в новых организационных условиях и с применением новых технологий, хотя и с использованием базовых принципов, программных средств и опыта внедрения первых советских СТК. Технологическим преемником ОВПТ ВЭИ стала компания АО «Ансальдо-ВЭИ» (с 2013 года – АО «Нидек АСИ ВЭИ»), которой не только удалось сохранить основные знания в области технологий управления и контроля мощных высоковольтных тиристорных вентилей СТК, но и развить их с применением современной элементной базы и цифровых принципов управления СТК. Данные шаги позволили АО «Нидек АСИ ВЭИ» стать признанным лидером в области СТК-строения в России и странах СНГ, и единственной российской компанией-производителем СТК для металлургических заводов с мощными дугowymi сталеплавильными печами. С 2006 г. компания поставила на промышленные предприятия и сетевые подстанции России более 40 СТК общей мощностью около 3000 МВА. В настоящее время идет выполнение ряда заказов высоковольтных СТК, включая уникальный СТК мощностью 320 Мвар напряжением 35 кВ, аналогов которому не существует в России и странах ближнего зарубежья, для строящегося металлургического завода «Эколант», оснащенного «зеленой» технологией производства стали, а также разработка новых проектов применения СТК. Необходимо отметить, что производство СТК АО «Нидек АСИ ВЭИ» локализовано в РФ практически на 100 %, что обеспечивает российских потребителей бесперебойными постав-





Рис. 6. ООО «НЛМК-Калуга», СТК 35 кВ 180 Мвар для ДСП 150 МВА и АПК 16 МВА



Рис. 7. ООО «АЭМЗ», г. Абинск, СТК 35 кВ 180 Мвар для ДСП 130 МВА и АПК 24 МВА

ками продукции в условиях действия западных санкций.

## ВЫВОДЫ

1. Изложена предыстория разработки СТК на основе ртутных вентилях вплоть до 70-х годов прошлого века в ВЭИ.

2. Выполнен анализ развития техники СТК, преобразователей и мощного испытательного стенда МИС на этапе 70–90-х годов прошлого века в ВЭИ.

3. Показаны тенденции мирового развития электроэнергетики в части средств компенсации реактивной мощности и комплексы электрооборудования в ВЭИ.

4. Анализируются СТК для металлургии и электроэнергетики, разработанные в ВЭИ до 90-х годов прошлого века, техническое, организационное и кадровое обеспечение разработки, производства и ввода в эксплуатацию.

5. Рассмотрено состояние производства СТК в настоящее время.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Флагман отечественной электротехники: 90 лет ФГУП ВЭИ /Всероссийский электротехнический институт

им. В.И. Ленина; [авт.-сост. Л.В. Травин. – М.: Три квадрата, 2011. – 344 С.

2. Ивакин В.Н., Сысоева В.Г., Худяков В.В. Электропередачи и вставки постоянного тока и статические тиристорные компенсаторы /Под ред. В.В. Худякова. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 336 С.

3. Шульга Р.Н., Хренников А.Ю. Обеспечение надежной работы электрооборудования с учетом предыдущих и перспективных разработок ВЭИ. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2021-96 С.: ил. [Библиотечка электротехника, прил. к журналу «Энергетик». Вып 10 (274)].

4. Шульга Р.Н., Хренников А.Ю. Обеспечение надежной работы электрооборудования и инновационные разработки ВЭИ. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2022. – 98 С. [Библиотечка электротехника, прил. к журналу «Энергетик». Вып 10 (286)].

5. Шульга Р.Н., Хренников А.Ю. История создания МИС для реализации ППТ. Международная конференция РНК по истории и философии науки и техники РАН, 2022, С. 423–425.

6. Шульга Р.Н., Овчаров И.В. Вклад ВЭИ в технику постоянного тока высокого напряжения. Международная

конференция РНК по истории и философии науки и техники РАН, 2022, С.425–428.

7. Шульга Р.Н., Смирнова Т.С. Вклад ВЭИ в технику постоянного тока высокого напряжения. «Энергоэксперт» № 3, 2021, С. 68–75.

8. Ольшванг М.В., Таратута И.П., Чуприков В.С. Особенности разработки статического тиристорного компенсатора для передельных металлургических заводов. // Тезисы докладов н/т конференции «Повышение качества электрической энергии в промышленных электрических системах». М., МДНТП, 1982 г.

9. Нечаев О.П., Таратута И.П., Чуприков В.С. Электрические воздействия на оборудование статического тиристорного компенсатора на Молдавском металлургическом заводе. // «Электротехника» № 8, 1989 г.

10. Чуприков В.С. Применение статических тиристорных компенсаторов для ограничения коммутационных перенапряжений на линиях переменного тока. // Тезисы докладов Всесоюзной н/т конференции «Создание комплексов электротехнического оборудования высоковольтной, преобразовательной, силовоточной и полупроводниковой техники», ч. I. М., 1989 г.

11. Чуприков В.С. Управление статическим тиристорным компенсатором для линий электропередачи. // «Электричество», № 4, 1990 г.

12. Чуприков В.С. Комплекс программ для расчета параметров статических тиристорных компенсаторов реактивной мощности. // Сборник научных трудов ГУП «Всероссийский электротехнический институт имени В.И. Ленина» «Системы управления и силовая электроника». М., 2001 г.

13. Кузьменко В.А., Таратута И.П., Чуприков В.С. Статические тиристорные компенсаторы реактивной мощности (опыт разработки и внедрения). // «Электро», № 5, 2003 г.

14. Чуприков В.С. Компенсация реактивной мощности – ключ к повышению передаточной способности электрических сетей. // «Энергоэксперт», № 4, 2008 г.

15. Чуприков В.С. Концепции применения статических тиристорных компенсаторов в электрических сетях сверхвысокого напряжения // «Энергоэксперт», № 5, 2014 г.