

Кыргызстан: Оптимизация интеграции переменной возобновляемой энергии (ВРЭ)

Изменение контракта: Техническая оценка для восстановления и строительства
воздушные линии и подстанции в КР

Задача А: Техническая оценка модернизации подстанции 220 кВ «Кристалл» и
связанной с ней линии 220 кВ «Кристалл-Юлдуз» .

Подготовлено для:

Группа Всемирного банка



Окончательный вариант

Представлено:

MRC ARGE, ENERJİ MÜH. KONTROLÜ VE TEST HİZMETLERİ (MRC TÜRKİYE)

Фатих Султан Мах. 2720 Сокак. №:4/А Офис светской жизни №:19

Этимесгут, Анкара, Турция

www.mrc-tr.com linkedin.com/company/mrc-turkey

Т: +90 312 385 9354

Электронная почта:

info@mrc-tr.com W: www.mrc-tr.com

15 мая 2024 г.

Содержание

1. Краткое изложение	7
2. Контекст и цели проекта.....	9
3. Подстанция 220кВ/110кВ Кристалл	10
3.1. Общая информация и структурные условия	11
3.2. Топология распределительного устройства	14
3.3. Автотрансформаторы.....	14
3.4. Приборы измерительные (трансформаторы тока СТ и трансформаторы напряжения VT)	15
3.5. Выключатели (рубильники и разъединители)	16
3.6. Вспомогательная мощность станции	18
3.7 Система аккумуляторных батарей постоянного тока.....	19
3.8. Схема защиты и управления подстанции «Кристалл»	21
3.9. Процесс и метод установки новой системы защиты	24
3.10. Оценочная стоимость новой системы защиты.....	24
4. ВЛ 220 кВ Кристалл-Юлдуз.....	26
4.1. Маршрут линии и топографическая оценка	27
4.2. Линейный проводник	34
4.3 Типы башен.....	37
4.4. Типы изоляторов	39
4.5. Аксессуары	40
4.6. Техника общения.....	41
4.7. Разбивка затрат.....	42
4.8. Производительность неисправности	44
4.9. Рыночные и логистические условия для строительства новой линии	45
5. Система управления и связи линии 220 кВ Торобаева-Лочин.	47
5.1. Процесс и метод установки новой системы защиты и управления	49
5.2. Оценочная стоимость новой системы защиты и контроля	50
6. Резюме и результаты.	50
6.1. Реабилитация линии Кристалл-Юлдуз:	54
6.2. Реконструкция подстанции «Кристалл» :	55
6.3. Модернизация системы управления и связи линии 220 кВ Торобаева-Лочин:	55

Список фигур

Рисунок 1: Спутниковый вид подстанции «Кристалл» 10

Рисунок 2: Региональная сеть ПС «Кристалл» 11

Рисунок 3: Подъездная дорога к подстанции «Кристалл» 11

Рисунок 4: Часть здания управления и защиты с некоторыми дефектами..... 12

Рисунок 5: Трещины изоляторов в натяжных проводах на подстанции «Кристалл» 12

Рисунок 6: Растительность под распределительным устройством и несоосность полюсов. 13

Рисунок 7: Растительность под распределительным устройством, неровная поверхность земли во всем распределительном устройстве. 13

Рисунок 8: СЛД подстанции Кристалл. 14

Рисунок 9: Автотрансформаторы подстанции «Кристалл» 15

Рисунок 10: ТТ фидера Датка 15

Рисунок 11: Замененные новые ТТ 16

Рисунок 12: Старые ТТ автотрансформатора. 16

Рисунок 13: Автоматические выключатели в Кристалле в хорошем состоянии и относительно новые. 17

Рисунок 14: Старый выключатель на фидере автотрансформатора, маслonaполненный, имеются утечки масла. 17

Рисунок 15: Разъединители в SS Кристалл в плохом состоянии. 18

Рисунок 16: Схема электроснабжения собственных нужд станции «Кристалл» с двумя присоединениями к третичным автотрансформаторам и один фидер среднего напряжения от местной сети среднего напряжения. 19

Рисунок 17: Аккумуляторная батарея Кристалл СС 20

Рисунок 18: Аккумуляторные батареи Kristall SS, модель VL 2-550 с жидким электролитом (свинцово-кислотный, разбавленная серная кислота). .. 20

Рисунок 19: Система зарядного устройства аккумулятора с избыточным оборудованием. 20

Рисунок 20: Панель управления аналогового типа старой версии Кристалла. 21

Рисунок 21: панели управления цифрового типа линии Датка 1-2 и линии Крупсай в Кристалле. 22

Рисунок 22: Оборудование системы токовой защиты линии 220 кВ Юлдуз на ПС Кристалл 23

Рисунок 23: Цифровые релейные шкафы защиты линий «Датка» на ПС «Кристалл» 24

Рисунок 24: Маршрут Л-Кристалл-Юлдуз между ПС «Кристалл» и «Юлдуз» 26

Рисунок 25: Линия Л-Кристалл-Юлдуз на карте CAPS 27

Рисунок 26: Трасса ВЛ 220 кВ Л-Кр-Ю 27

Рисунок 27: Линии на маршруте L-Kr-Yu на OpenInfrastructureMap 28

Рисунок 28: Подробный SLD L-Kr-Yu 29

Рисунок 29: 3-я и 2-я опоры ЛЭП 220 кВ Л-Кр-Ю 30

Рисунок 30: Высотный профиль линии L-Kr-Yu 31

Рисунок 31: Классификация климата Кеппен-Гейгера в Кыргызстане 1991-2020 гг. 32

Рисунок 32: Спутниковый вид области, где расположен 1-й сегмент L-Kr-Yu между 1985 и 2024 годами 32

Рисунок 33: Спутниковый вид области, где расположен 2-й сегмент L-Kr-Yu между 2002 и 2024 годами 33

Рисунок 34: Технические данные проводника AC-400 35

Рисунок 35: Поперечное сечение стандартного проводника AC-400/51 35

Рисунок 36: Поперечное сечение стандартного заземляющего провода C-70. 35

Рисунок 37: сравнение допустимой токовой нагрузки одиночного и расщепленного проводника. 36

Рисунок 38: Спутниковый вид типов вышек на маршруте линии 37



Рисунок 39: Примеры мест вдоль маршрута, где используется башня типа С 37

Рисунок 40: Точка соединения кристаллов L-Kr-Yu 38

Рисунок 41: Пример применения защиты от птиц на 110-кВ вышке в Финляндии. 39

Рисунок 42: Башня линии Кристалл-Датка с птичьими щитами возле ПС Кристалл 41

Рисунок 43: Некоторые этапы процесса возведения башни 45

Рисунок 44: Карта железнодорожной сети Кыргызстана 46

Рисунок 45: Региональная сеть вокруг Торобаева 47

Рисунок 46: Электромеханические и цифровые (Датка 1-2) реле на подстанции Лочин. 48

Рисунок 47: Линия Лочина (слева направо) дифференциальная и дистанционная защита. 48

Рисунок 48: Панели управления подстанций Торобаева, (управление фидером Датка новое) 49

Список таблиц

Таблица 1: Распределение сметной стоимости новой системы защиты для Л-Кр-Ю 220 кВ 25

Таблица 2: Ориентировочная стоимость реконструкции подстанции «Кристалл» 25

Таблица 3: Паспортная табличка ВЛ Л-Кристалл-Юлдуз 26

Таблица 4: Распределение общей стоимости проекта 220 кВ Л-Кр-Ю 43

Таблица 5: Записи о разломах на участке L-Кристалл-Юлдуз в 2023 году 44



Список сокращений

°C:	Градус Цельсия
\$/USD:	доллар США
АИС:	Распределительное устройство с воздушной изоляцией
Энергетическая система:	Энергетическая система Центральной Азии
СНГ:	Содружество Независимых Государств
КТ:	Трансформатор тока
ДГА	Анализ растворенного газа
ОВОС	Оценка воздействия на окружающую среду
Система управления:	Система управления энергопотреблением
ЕПП:	Электростанции
ЕСДД:	Эквивалентная плотность солевых отложений
ФОТС:	Волоконно-оптическая система передачи данных
ГИС:	Распределительное устройство с газовой изоляцией
ГОСТ:	Государственные стандарты (ГОСТ на русском языке)
ГВ:	1 миллиард ватт
ГВтч:	1 миллиард ватт-часов
ВЧ:	Высокая частота
ГЭС:	Гидроэлектростанция
ВВ:	Высокое напряжение
ИКТ:	Информационные и коммуникационные технологии
МЭК:	Международная электротехническая комиссия
ИИЭР:	Институт инженеров электротехники и электроники
IPS/UPS:	Интегрированная система электропитания/Единая система электропитания
МИККМ:	Механизм внутренней проверки качества
ЭТО:	Информационные технологии
км:	Километры
КПЭ:	Ключевой показатель эффективности
кВ:	1 тысяча вольт
кВА:	1 тысяча вольт-ампер
кВтч:	1 тысяча ватт-часов
ЛИЛО:	Линейный вход-линейный выход
МО:	Министерство энергетики
МВА:	1 миллион вольт-ампер
МВАр:	1 миллион Вольт-Ампер-реактивный
МВ:	1 миллион ватт
МВтч:	1 миллион ватт-часов
НДП:	План развития сети
НЕСК:	Национальная электрическая система Кыргызстана
НСДД:	Плотность нерастворимых отложений
НТС:	Чистая пропускная способность
ОХЛ:	Воздушная линия электропередач
ОЛТЦ:	Переключатель ответвлений под нагрузкой
Операционные расходы:	Эксплуатационные расходы
OPGW:	Оптический заземляющий провод
ПЛК:	Линия электропередач

КК:	Контроль качества
КМ:	Менеджер по качеству
РЕЗ:	Системы возобновляемой энергии
Ряд:	Право проезда
SCADA: диспетчерское управление и сбор данных	
СЛД:	Однолинейная диаграмма
Итак:	Объем работ
СПП:	Солнечная электростанция
СПС:	Степень загрязнения участка
SS:	Подстанция
ТР:	Трансформатор
ТСО:	Оператор системы передачи
ТВт-ч:	1 триллион ватт-часов
UPS:	Источник бесперебойного питания
ВРЭ:	Переменная возобновляемая энергия
ВТ:	Трансформатор напряжения
ВБ:	Всемирный Банк
ВПП:	Ветряная электростанция



Заметки о финальном обновлении проекта версии:

Обновления	Версия/дата выпуска
Комментарии и отзывы изменены в отчете следующим образом: Незначительное дополнение к резюме Обновление в части: 4.2 Линейный провод. Обновление в части: 4.7 Разбивка затрат. Обновление в части: 6: Резюме и результаты (Модернизация 220 кВ Кристалл-Линия Йолдуз) Обновление в части: 6.2 Реконструкция подстанции Кристалл: Обновление в части: 6.3: Модернизация системы управления и связи линии 220 кВ Торобаева-Лочин	Окончательный вариант проекта: 15 мая 2024

1. Краткое изложение

В следующем отчете по исследованию проводится техническая оценка с использованием камерального исследования и посещения объекта для выбранных инвестиционных проектов кыргызской сети с целью определения приоритетности выбранных проектов с точки зрения их влияния и важности проектов для пропускной способности между двумя странами (Кыргызская Республика - Узбекистан).

Эта часть задания (обозначенная как Задача А) фокусируется на следующих трех проектах. • Реконструкция линии Кристалл-Юлдуз

- Реконструкция подстанции «Кристалл»
- Модернизация системы управления и связи линии 220 кВ Торобаево-Лочин

Эти элементы проекта рассматриваются и оцениваются для текущей и будущей работы сети, включая расширение генерации в стране и другие инвестиции в сеть NESK (киргизский TSO). Мощность передачи электроэнергии, проблемы надежности, физическое состояние и подход к реализации являются основными входными данными для достижения приоритета среди этих проектов.

1. Учитывая высокий уровень нагрузки и плохое физическое состояние, линия Кристалл-Юлдуз имеет особую важность и рекомендуется к реконструкции в первоочередном порядке.
Оценочная стоимость строительства новой линии от Кристалла до Юлдуз составляет около 12,2 млн долларов США без учета экспроприации. Линию предлагается обновить с помощью 2АС 300 расщепленного провода. Перепроводка и использование существующих опор не рекомендуются из-за плохого состояния опор и повышения требований к выносливости опор, как поясняется в следующих частях отчета.
 2. Подстанция «Кристалл», работающая на критическом стыке межсетевых соединений между Кыргызстаном и Узбекистаном, имеет второй по приоритету приоритет для реконструкции на своей территории. Реконструкция рекомендуется не только электромеханических частей, но и всей подстанции из-за структурных недостатков подстанции. Из-за ограничений по земельным участкам реконструкция может быть выполнена в частичном объеме с обходом некоторых линий друг на друга.
Оценочная стоимость составляет около 13 миллионов долларов США с предположением, что замененные выключатели и трансформаторы тока будут повторно использоваться после строительства новой подстанции.
- Линия Торбеава-Лочин эксплуатируется более 40 лет с электромеханическими и аналоговыми системами. Исследования сети для текущих и будущих условий показывают, что важность этой линии невелика из-за низкого уровня передачи электроэнергии. Более того, здание управления и защиты находится в плохом состоянии, и частичная замена панелей не рекомендуется. Таким образом, «Модернизация системы управления и связи линии 220 кВ Торобаева-Лочин» может быть отложена как последний вариант для реализации. Рекомендуется восстановить всю инфраструктуру управления и защиты вместо частичной реабилитации. Стоимость модернизации двухцепной системы управления и защиты линии Лочин оценивается в 276 тыс. долларов США. В случае одобрения реконструкции всех систем управления и защиты общая стоимость оценивается в ~2,15 млн. долларов США (1,84 млн. долларов США на здание и 307 тыс. долларов США на схему управления и защиты).

2. Контекст и цели проекта

Основная цель этого проекта - предоставить технические оценки для подстанции и линий, которые в настоящее время используются вместе с выбранными будущими проектами, определенными Национальной электрической системой Кыргызстана (НЭСК). Он также направлен на поддержку Министерства энергетики (МЭ) и НЭСК в наращивании их потенциала путем организации запланированного технического тура в институты/правительственные организации, связанные с электроэнергетическими системами выбранных стран, с акцентом на их опыт работы с переменной возобновляемой энергией (VRE). Этот проект, который является модификацией более раннего проекта "Кыргызстан: Оптимизация интеграции переменной возобновляемой энергии (VRE)", разделен на три задачи:

- (а) Техническая оценка для модернизации подстанции 220 кВ Кристалл и связанной с ней линии 220 кВ Кристалл-Юлдуз: разрабатываемые более 35 лет, воздушная линия 220 кВ Кристалл-Юлдуз и подстанция 220 кВ Кристалл являются важными связующими звеньями между электроэнергетическими системами Кыргызстана и Узбекистана. Из-за длительного срока эксплуатации и высокого уровня нагрузки вероятность отказа увеличивается. Хотя подстанция прошла частичный ремонт, несовместимые технологии и оборудование продолжают вызывать проблемы, делая удаленный сбор данных и управление проблематичными. Комплексная оценка, которая фокусируется на системах управления, защиты и связи, выявит ограничения и предложит предложения по модернизации подстанции и линии. Также в рамках этой задачи планируется обновить систему управления и связи соединительной воздушной линии (ВЛ) 220 кВ Лочин-Торобаева.
- (б) Технические оценки для выбранных видов деятельности предлагаемой инвестиционной программы: Проекты линий электропередачи и подстанций были определены предыдущими исследованиями по интеграции и планированию VRE. Они состоят из реконструкций и новых сооружений. Подключение новых малых гидроэлектростанций (МГЭС), ветровых электростанций (ВЭС) и солнечных электростанций (СЭС), новых линий электропередачи 500, 220 и 110 кВ, строительство новой подстанции 500 кВ и модернизация существующих подстанций — вот лишь некоторые из проектов, для которых задание влечет за собой тщательные исследования в рамках этой задачи. Технические требования, рекомендуемые обновления, разбивка затрат и предполагаемые графики реализации будут определены с помощью оценок. Обновленные сметы затрат и инвестиционные предложения будут основаны на результатах, а доступность финансирования определит порядок приоритетов.
- (с) Поддержка учебной поездки выбранными государственными служащими из МЭ/НЭСК: Консультант собирается помочь МЭ и НЭСК спланировать и провести учебную поездку в две или три страны, которые успешно интегрировали крупномасштабные VRE. Эта помощь будет включать рекомендации для стран, краткую подготовку, разработку повестки дня, координацию с принимающими агентствами, предложения тем для обсуждения и сопровождение делегаций.

В отчете представлены подробные исследования, проведенные как на рабочем месте, так и на объекте для Задачи (а) проекта, с упором на оценку подстанции (ПС) 220 кВ Кристалл, соединительных воздушных линий 220 кВ Кристалл-Юлдуз и Торобаева-Лочин.

3. Подстанция 220кВ/110кВ «Кристалл»

Подстанция «Кристалл» расположена в Джалал-Абадской области, примерно в 300 метрах от реки Нарын. Она соединяет Шамалдысайскую ГЭС и Ташкумырскую ГЭС с основной электросетью с помощью двойных цепей длиной 1 км и 18,3 км соответственно. Поскольку Андижанская и Наманганская области Узбекистана находятся всего в 20 км, она служит соединительным терминалом для приграничных линий между Кыргызстаном и Узбекистаном. В прошлые годы в максимальный день некоторые соединительные воздушные линии были зарегистрированы как сильно загруженные. Она находится в эксплуатации более ~35 лет. С тех пор некоторые компоненты заменяются в процессе модернизации, например, некоторые устройства релейной защиты, в то время как некоторые компоненты, такие как панели защиты, устарели и требуют обновления. Общий вид области обзора подстанции и схема электрификации показаны ниже.

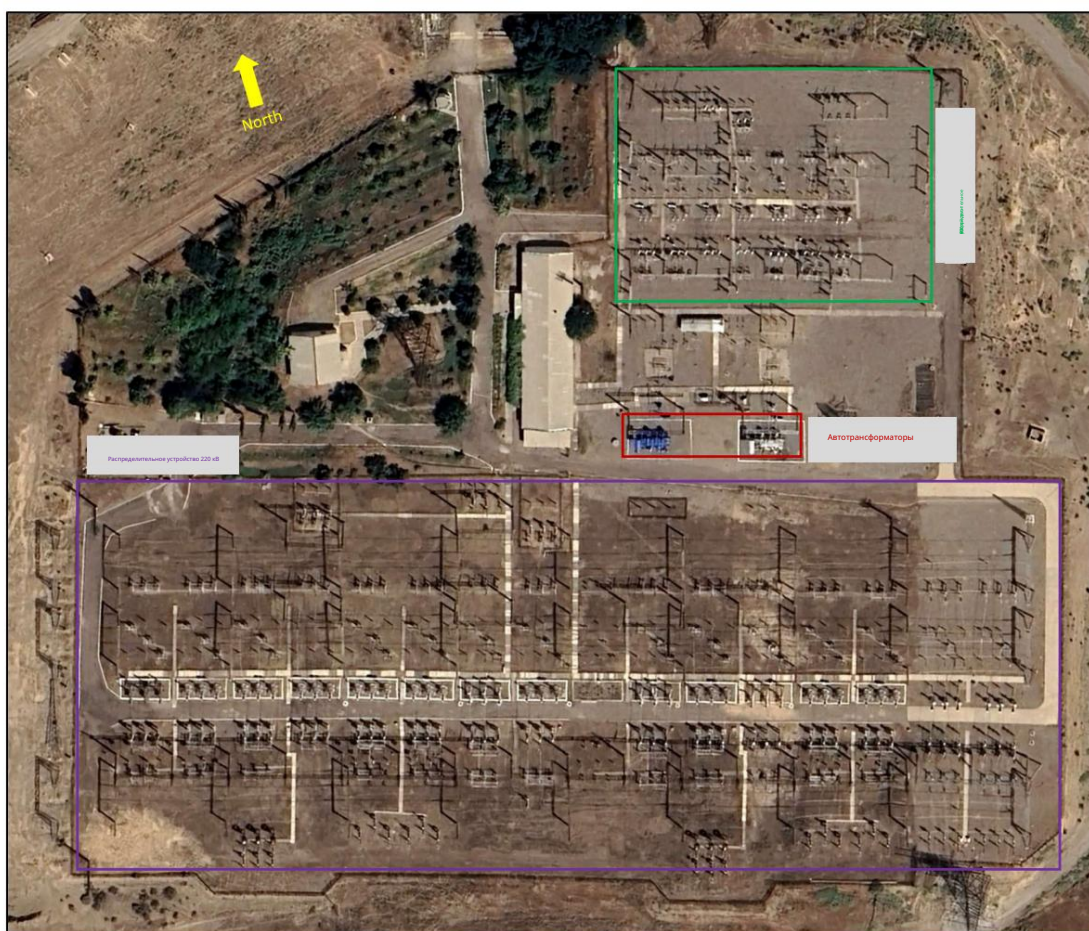


Рисунок 1: Спутниковый вид подстанции «Кристалл».

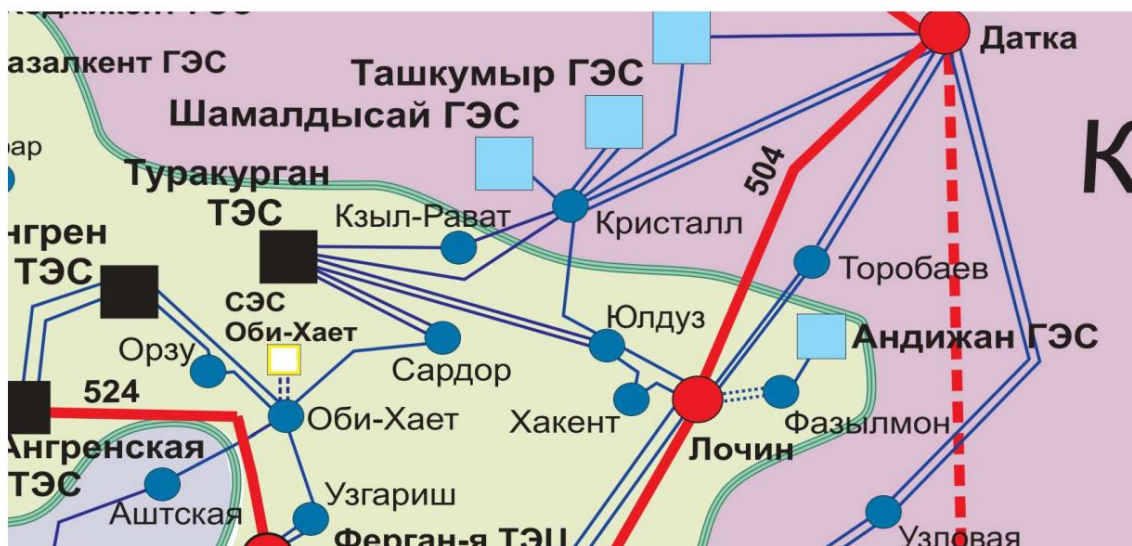


Рисунок 2: Региональная сеть подстанции «Кристалл»

3.1 Общая информация и структурные условия

Подъездная дорога к подстанции «Кристалл» представляет собой ответвление длиной ~1600 м от главной дороги. Подъездная дорога представляет собой грунтовую дорогу с некоторым уклоном и крутым поворотом. Если подстанция будет реконструирована с использованием автотрансформатора большей мощности, могут потребоваться некоторые улучшения подъездной дороги для проезда низкорамного большегрузного автомобиля с тяжелыми автотрансформаторами.



Рисунок 3: Подъездная дорога к подстанции «Кристалл».

Подстанция не имеет подключения к водопроводу, используется накопительный бак с емкостью 2 часа. Операторы сообщили, что запросили подключение к воде, но поблизости нет водопровода. Некоторые электромеханические компоненты заменены новыми. Однако главное распределительное устройство спроектировано с бетонными столбами. Современные распределительные устройства предпочтительно устанавливать на стальных решетчатых столбах. Некоторые из бетонных столбов имеют смещение по вертикальной оси, что показывает сейсмическую уязвимость основных опор. Здание имеет некоторые трещины, и дополнительное укрепление было реализовано в прошлом. Также есть некоторые трещины изолятора на натяжном проводе порталов. Грунтового гравия недостаточно, на земле есть растительность, которая может поставить под угрозу надежность распределительного устройства в случае пожара или отложения пыли. Вся земля подстанции не имеет плоскостной целостности. На подстанции существует разная высота земли. Бетонные столбы, здание и натяжные изоляторы показаны следующим образом.



Рисунок 4: Часть здания управления и защиты с некоторыми дефектами.



Рисунок 5: Трещины в изоляторах натяжных проводов на подстанции «Кристалл».



Рисунок 6: Растительность под распределительным устройством и несоосность полюсов.



Рисунок 7: Растительность под распределительным устройством, неровная поверхность земли на всей территории распределительного устройства.

3.2 Топология распределительного устройства

Подстанция «Кристалл» спроектирована и построена с воздушной изоляцией и двойной системой шин и обходной схемой шин. Подстанция «Кристалл» с воздушной изоляцией распределительного устройства (ВРУ) имеет двойную систему шин с обходной схемой как для 220 кВ, так и для 110 кВ. Двойная система шин с обходной схемой фидера обеспечивает одно резервирование в случае наличия любого неисправного фидера. Этот тип топологии обеспечивает работу двух отдельных шин с переключением шиносоединительного устройства. Однолинейная схема подстанции «Кристалл» показана ниже.

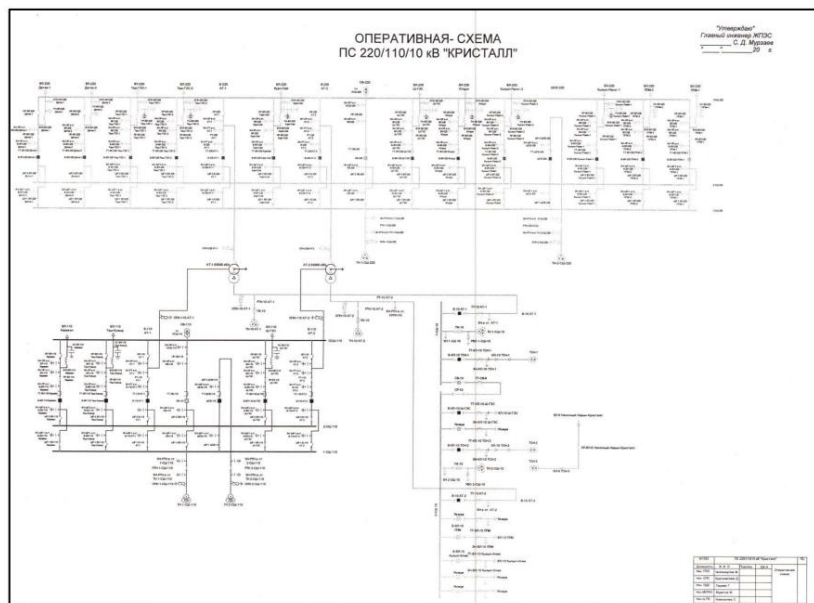


Рисунок 8: СЛД подстанции «Кристалл» .

3.3. Автотрансформаторы

На подстанции установлены 2х63МВА автотрансформатора 220/110кВ, выпущенные в 1992 году.

Автотрансформаторы имеют переключатели ответвлений без нагрузки, но они используются нечасто из-за старения механической конструкции переключателя ответвлений. Современные переключатели ответвлений работают с переключением ответвлений под нагрузкой, что обеспечивает гибкое регулирование напряжения для сети нисходящего слоя. С реконструкцией подстанции могут быть реализованы автотрансформаторы большей мощности (~125 МВА) с переключателями ответвлений под нагрузкой. Одним из важных недостатков автотрансформаторов является отсутствие противопожарных экранов или каких-либо активных систем предотвращения пожаров. На распределительном устройстве имеются только пожарные трубы ручного использования. Проект реконструкции должен включать проверенные системы противопожарной защиты/профилактики и брандмауэры. Автотрансформаторы подстанции «Кристалл» показаны следующим образом.



Рисунок 9: Автотрансформаторы подстанции «Кристалл» .

3.4. Приборы (трансформаторы тока СТ и трансформаторы напряжения VT)

Контрольно-измерительные приборы на подстанции в основном выполняются через трансформаторы тока и напряжения. Емкостные трансформаторы напряжения также обеспечивают связь для схемы настройки несущей линии электропередачи. Трансформаторы тока всех линейных фидеров заменяются трансформаторами тока нового типа. Но ТТ автотрансформаторов и все ТН (кроме фидера Датка) старого типа. При реконструкции подстанции замененное оборудование демонтируется, бережно хранится и может быть использовано на новой подстанции. Старые ТТ и ТН заменяются при строительстве подстанции.



Рисунок 10: ТТ фидера Датка



Рисунок 11: Заменены новые ТТ



Рисунок 12: Старые трансформаторы тока автотрансформатора.

3.5. Выключатели (рубильники и разъединители)

Автоматические выключатели на подстанциях заменены на новые типы SF6, за исключением двух автотрансформаторных фидеров. Эти два старых выключателя — маслонаполненные с замыкающими резисторами. На корпусе выключателя имеются некоторые признаки утечки масла, состояние плохое. В отличие от выключателей, разъединители старые, а механизмы работают некорректно. Металлические части подверглись коррозии, а приводные механизмы находятся в плохом состоянии. Замененные автоматические выключатели находятся в хорошем состоянии и должны использоваться после реконструкции. Однако разъединители необходимо заменить во время реконструкции подстанции.



Рисунок 13: Автоматические выключатели в «Кристале» в хорошем состоянии и относительно новые.



Рисунок 14: Старый выключатель на фидере автотрансформатора, маслонаполненный, имеются утечки масла.



Рисунок 15: Разъединители в СС «Кристалл» в плохом состоянии.

3.6. Вспомогательная мощность станции

Подстанция Кристалл имеет три различных источника вспомогательного питания станции. Два из них питаются через третичную обмотку автотрансформатора и одну дополнительную линию среднего напряжения от местной сети. С точки зрения резервирования и доступности, трех источников достаточно для нормальной работы. Однако в аварийных ситуациях, таких как региональное отключение электроэнергии, ни автотрансформаторы, ни местный фидер среднего напряжения не могут питать станцию, если в регионе нет станции восстановления черного пуска. Другими словами, подстанция Кристалл не имеет возможности черного пуска. Будучи важной соединительной подстанцией между Киргизией и Узбекистаном, Кристалл настоятельно рекомендуется проектировать с черным пуском. В мировой практике такие важные подстанции, как правило, имеют два независимых источника питания и один дизель-генератор для вспомогательного питания станции. Аналогичная конструкция рекомендуется для реконструкции ПС Кристалл с двумя вспомогательными источниками от нового автотрансформатора и дизель-генератором резервного питания для черного пуска

восстановление.

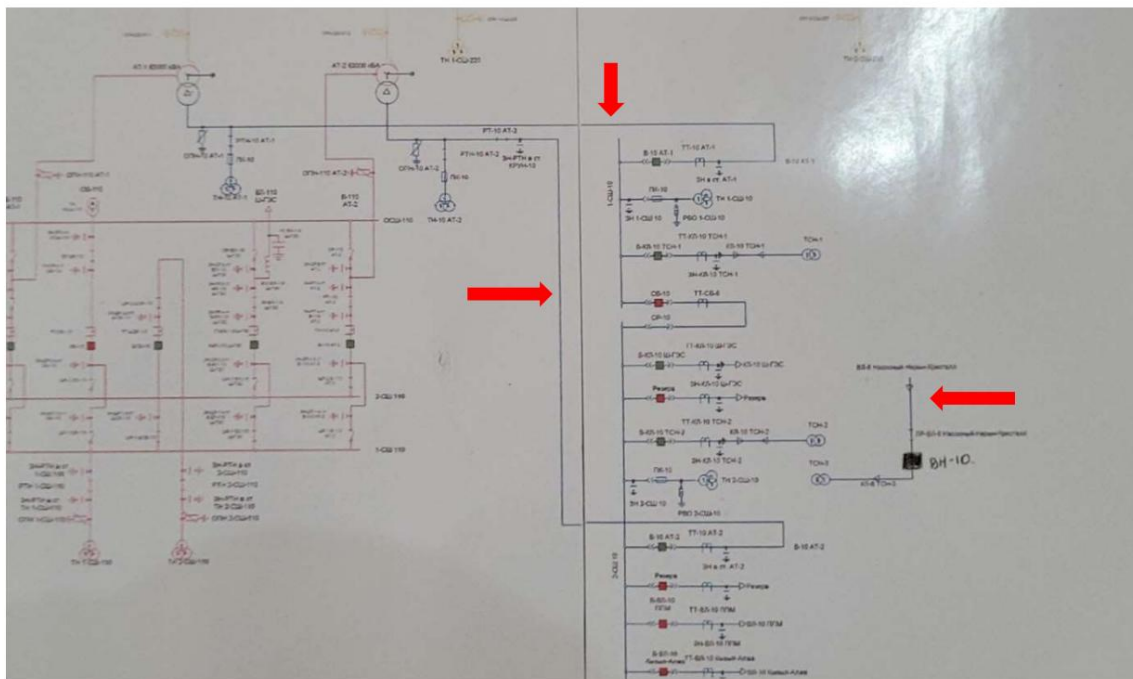


Рисунок 16: Схема электроснабжения собственных нужд станции «Кристалл» с двумя присоединениями к третичному автотрансформатору и одним фидером среднего напряжения от местной сети среднего напряжения.

3.7 Система аккумуляторных батарей постоянного тока

Системы аккумуляторных батарей постоянного тока на подстанции являются жизненно важным источником питания для систем управления и защиты. Все реле, телекоммуникационное оборудование и системы управления питаются от источника постоянного тока подстанции. Аккумуляторные батареи обеспечивают регулируемое и плавное напряжение, избегая колебаний сетевого питания. В случае возникновения какой-либо неисправности сети поблизости, вспомогательное питание станции может иметь переходное падение напряжения, и это может привести к неправильной работе оборудования постоянного тока. Однако аккумуляторные батареи на подстанции не подвержены влиянию переходных напряжений и обеспечивают стабильное напряжение для систем постоянного тока. Общая практика проектирования для сетевых подстанций рекомендует использовать два независимых источника аккумуляторных батарей для питания постоянного тока. На подстанции Кристалл работает только один аккумуляторный блок. Сами аккумуляторные батареи находятся в хорошем состоянии, но аккумуляторная комната старая, нет дымового извещателя или вентиляции. Рекомендуется, чтобы новая конструкция Кристалла включала два независимых аккумуляторных блока с полным резервированием.



Рисунок 17: Аккумуляторная батарея Кристалл СС



Рисунок 18: Аккумуляторные батареи Krystal SS, модель VL 2-550 с жидким электролитом (свинцово-кислотный, разбавленная серная кислота).



Рисунок 19: Система зарядного устройства аккумулятора с резервным оборудованием.

3.8 Схема защиты и управления подстанции «Кристалл»

Подстанция Кристалл работает в сети более 35 лет. Между тем, некоторое оборудование, такое как выключатели и трансформаторы тока, заменено на новое. Однако основная структура системы управления и защиты устарела с устаревшей технологией. Два фидера линии Датка 1-2 были установлены в 2010 году с использованием новейшей технологии цифровых панелей управления и защиты/реле. Панели управления для Датка 1-2 и Курпсай являются новыми цифровыми. Остальные фидеры управляются панелями старой версии с аналоговыми системами. Только линия Датка 1 имеет схему телезащиты по оптоволокну в Кристалле, остальные линии используют носитель линии электропередачи для телезащиты.

Линии защищены основной и резервной защитой. Дифференциальная защита служит основной, требующей телекоммуникации. Дистанционная защита работает как резервная и не требует связи. Поскольку схема защиты линии электропередачи в Киргизии основана на дифференциальной защите, надежная связь необходима между подстанциями с оптоволоконным каналом. К сожалению, линия Юлдуз не имеет оптоволоконного канала, а телезащита обеспечивается через PLC (носитель линии электропередачи). Еще одной проблемой для защиты управления является здание, в котором расположены реле. Нет свободного места для добавления реле. В случае частичной замены существующие электромеханические панели должны быть демонтированы, и та же область может быть оборудована новым типом реле. Этот вариант требует вывода соответствующего фидера из эксплуатации на 1-2 месяца. Что касается линии Юлдуз, диспетчерская служба НЭСК подтвердила, что линия Юлдуз может быть выведена из эксплуатации на определенное время, если необходимо заменить релейные панели. Из-за конструктивного состояния всего здания не рекомендуется выполнять частичную замену.



Рисунок 20: Панель управления аналогового типа старой версии Кристалла.



Рисунок 21: щиты управления цифрового типа линии «Датка 1-2» и линии «Крупсай» на «Кристалле».

В системе защиты линии Юлдуз на ПС «Кристалл» используются устаревшие электромеханические реле, которые видны на рисунке 22.



Рисунок 22: Оборудование системы токовой защиты линии 220 кВ Юлдуз на ПС Кристалл

Помимо систем защиты со старыми электромеханическими реле большинства линий, подключенных к ПС «Кристалл», на аппаратной защиты и управления ПС, изображенной на рисунке 23, установлены цифровые реле, установленные фирмой NR Electric (Китай) для новых линий «Датка».

Надежность использования этих реле сомнительна из-за присущих традиционным электромеханическим релейным системам ограничений и недостатков по сравнению с современными цифровыми аналогами.

Некоторые из этих недостатков включают в себя:

- Надежность и стабильность ранних электромеханических реле с подвижными частями неопределенны, поскольку они сильно зависят от условий окружающей среды. Аналоговые сигналы могут искажаться из-за таких факторов, как колебания температуры, усталость металла от многократного использования и износ, вызванный старением оборудования. Эти реле также подвержены повышенной уязвимости к грязи, влаге, вибрациям, ударам и окислению из-за дугового разряда между контактами.
- Непрактично интегрировать в современные системы автоматизации из-за проблем с соответствием современным протоколам связи и интерфейсам, а также относительно более медленного времени отклика по сравнению с современными высокоскоростными системами автоматизации.
- Электромеханические реле влекут за собой значительно большие расходы на простои по сравнению с цифровыми реле.

- Электромеханические реле имеют ограниченную функциональность по сравнению с их современными цифровыми аналогами, им не хватает таких функций, как регистрация, логика, обмен данными и возможности анализа.



Рисунок 23: Цифровые релейные шкафы защиты линий «Датка» на ПС «Кристалл»

3.9 Процесс и метод установки новой системы защиты

Если будет принято решение о прокладке оптоволоконного кабеля на существующей линии или на новой линии между подстанциями «Кристалл» и «Юлдуз», система ВЧ-связи продолжит работу в качестве резервной системы защиты, предотвращая отказы по общей причине, в то время как OPGW будет выполнять функции основной системы телезащиты.

Если будет принято решение модернизировать электромеханические реле на новые цифровые, в настоящее время в блоке управления здания нет свободного места для размещения дополнительных стоек. Поэтому процесс замены должен осуществляться постепенно или в короткие сроки, при этом новые релейные панели должны быть размещены в том же месте, что и старые. Возможно, потребуется временно вывести из эксплуатации как основную, так и резервную защиту одновременно. Исходя из прошлого опыта NESK с аналогичными процедурами для системы защиты новых линий Datka, обычно установка нового реле занимает два месяца или меньше. В течение этого периода существующая линия будет отключена. Учитывая график диспетчеризации и эксплуатации линии в соответствии с предыдущим опытом персонала NESK, можно найти подходящий временной интервал для проведения этой процедуры, не вызывая никаких сбоев в работе системы из-за отсутствия линии Кристалл-Юлдуз. Полное отключение линии может не потребоваться, если NESK сможет управлять процессом обновления обеих систем защиты последовательно. В таком случае основная и резервная системы защиты могут обновляться последовательно, гарантируя, что по крайней мере одна система защиты останется работоспособной на протяжении всего процесса для обеспечения безопасности линии Кристалл-Юлдуз.

3.10. Оценочная стоимость новой системы защиты

Таблица 1 представляет прогнозируемые распределения затрат по подкатегориям/пунктам, включая предполагаемые суммы для определенных пунктов. Важно подчеркнуть, что как количество, так и стоимость этих пунктов являются предметом

к потенциальным изменениям, вызванным такими факторами, как рыночные условия и развитие технологий, характерных для проекта.

Таблица 1: Распределение предполагаемой стоимости новой системы защиты для 220 кВ Л-Кр-Ю

Категория	Подкатегория	Элемент	Количество	Единица	себестоимость единицы Доллары США (материальные и установка, за исключением НДС)	общая стоимость
Защита и Автоматизация	Защита и Устройства управления	Релейная панель для линии (обе конечные подстанции)	2	набор	30,000	60,000
		Панель управления для Линия, только подстанция Кристалл	1	набор	30,000	30,000
		панели связи (обе конечные подстанции)	2	-	20,000	40,000
	Ввод в эксплуатацию	-	10	человеко-день	800	8000
Общая стоимость, долл. США						138,000

Таблица 2: Ориентировочная стоимость реконструкции подстанции «Кристалл»

Элемент	Цена за единицу, x1000,	\$ Сумма	Всего x1000, \$
Автотрансформаторы 220кВ/110кВ 125MVA	2000	2	4000
Распределительное устройство 220 кВ (без учета выключателей и трансформаторов тока), 16 ячеек	3,200	1	3,200
Распределительное устройство 110 кВ (без учета выключателей и трансформаторов тока), 7 ячеек	840	1	840
Системы управления и защиты для 23 отсеков	1,840	1	1,840
Здание защиты управления на 26 отсеков	800	1	800
Система противопожарной защиты	400	1	400
Реабилитация подъездных путей	150	1	150
Монтаж водопровода	60	1	60
Мобилизация и восстановление земель	300	1	300
Другие электромонтажные и общестроительные работы	1500	1	1500
Общий			13 090 долларов США

4. ВЛ 220 кВ Кристалл-Юлдуз

Линия электропередачи напряжением 220 кВ между подстанциями «Кристалл» в Кыргызстане и «Юлдуз» в Узбекистане действует с 1986 года. Общая протяженность линии между двумя подстанциями составляет 64,5 километра (км), и в дальнейшем в отчете она будет именоваться как «Л-Кр-Ю» .



Рисунок 24: Маршрут Л-Кристалл-Юлдуз между ПС Кристалл и Юлдуз

Таблица 3: Паспортная табличка ВЛ Л-Кристалл-Юлдуз

Наименование линии, от подстанции до подстанции	Л-Кр-Ю (Л-Кр-Ю), от Кристалла до Юлдуза
Типы башен, столбовые, трубчатые, решетчатые, с растяжками	- Мачты из стальной сетки с оттяжками - Бетонные столбы - Самонесущие стальные кружевные башни
Владелец/Оператор линии	Кыргызская Республика (17,9 км) и Республика Узбекистан (46,6 км) 1986 г.
Дата ввода в эксплуатацию	
Уровень напряжения	220 кВ
# цепи, # пучка, тип проводника (ACSR-AAAC, AAC)	1 цепь AC-400 (ACSR)
Маршрут линии (.kmz) и расстояние (м/км)	См. рисунок 24, 64,5 км.
Тип Материал изолятора	- Стекло - Фарфор
#заземляющих столбов и проводников	1 наземная линия (частично)

Исторически Кыргызстан был чистым экспортером электроэнергии. Несмотря на то, что профиль страны недавно изменился, особенно летом, она по-прежнему экспортирует излишки электроэнергии, вырабатываемой гидроисточниками, в Узбекистан по установленной чистой пропускной способности (ЧП) в 1500 МВт.

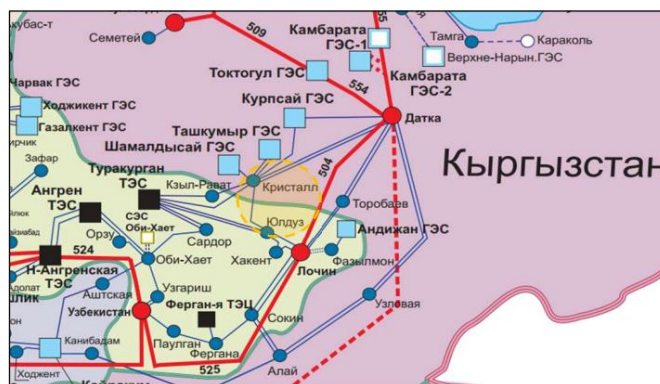


Рисунок 25: Линия L-Кристалл-Юлдуз на карте CAPS

Подстанция «Кристалл», расположенная в Джалал-Абадской области, находится примерно в 300 метрах от реки Нарын, между ними проходит железная дорога, которая доходит до подстанции «Юлдуз». Она является важной точкой соединения трансграничных линий электропередач между Кыргызстаном и Узбекистаном. В период пиковой выработки гидроэлектроэнергии летом подстанция обеспечивает экспорт электроэнергии в Узбекистан. Было зафиксировано, что Л-Кристалл-Юлдуз испытала нагрузку в размере 85% в максимальный день в 2021 году, т. е. 1 июня. В тот же день некоторые из других ВЛ 220 кВ, подключенных к подстанции «Кристалл», также испытали большие нагрузки. Особенно в вечерние часы пик МГЭС на реке Нарын удовлетворяют спрос, а в связи с увеличением экспорта в Узбекистан линия работает с большой нагрузкой.

Помимо длительного срока службы оборудования подстанции, частые большие нагрузки на линию увеличивают вероятность выхода из строя. Поскольку она приближается к концу срока эксплуатации в соответствии со стандартом МЭК-608261, эта линия должна быть обновлена в ближайшие годы.

4.1. Маршрут линии и топографическая оценка

17,9 км L-Kr-Yu, показанный на рисунке 26, полностью идет вдоль грубого полузасушливого холма от начала SS Кристалл до развязки на 14-м км. Оставшаяся часть линии продолжается до пересечения с рекой Нарын и входа на территорию Узбекистана, где профиль высот постепенно понижается и начинает выравниваться, проходя параллельно территориям, используемым для проживания людей и ведения сельского хозяйства.



Рисунок 26: Трасса ВЛ 220 кВ Л-Кр-Ю

1 Критерии проектирования воздушных линий электропередачи МЭК, 2017 г.

Однолинейная схема (SLD) линий в одной географической области представлена на рисунке 27. Л-Кр-Ю и две другие соединительные линии, которые связывают Кыргызстан и Узбекистан, следуют по тому же маршруту на протяжении семи километров. С седьмого по пятнадцатый километр Л-Кр-Ю и одна из других линий продолжают по параллельным путям. Затем линия начинает следовать своему собственному маршруту на 15-м км от ПС Кристалл.

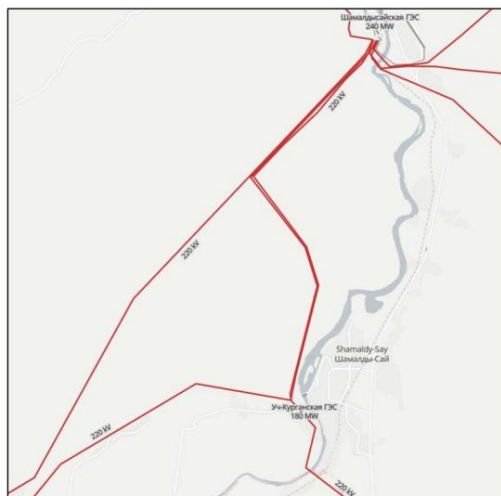


Рисунок 27: Линии на маршруте L-Kr-Yu на OpenInfrastructureMap2

SLD на рисунке 28 ниже дает некоторую подробную информацию о Л-Кр-Ю. Первые две опоры, выходящие из ПС Кристалл, несут как линию 220 кВ Кристалл-Кызылрават, так и линию Л-Кристалл-Юлдуз. Маршруты этих двух линий разделяются между второй и третьей опорами, как показано на фотографиях на рисунке 29.

2 <https://openinframap.org/#10.83/41.2458/72.1502>



Рисунок 28: Подробный SLD L-Kr-Yu

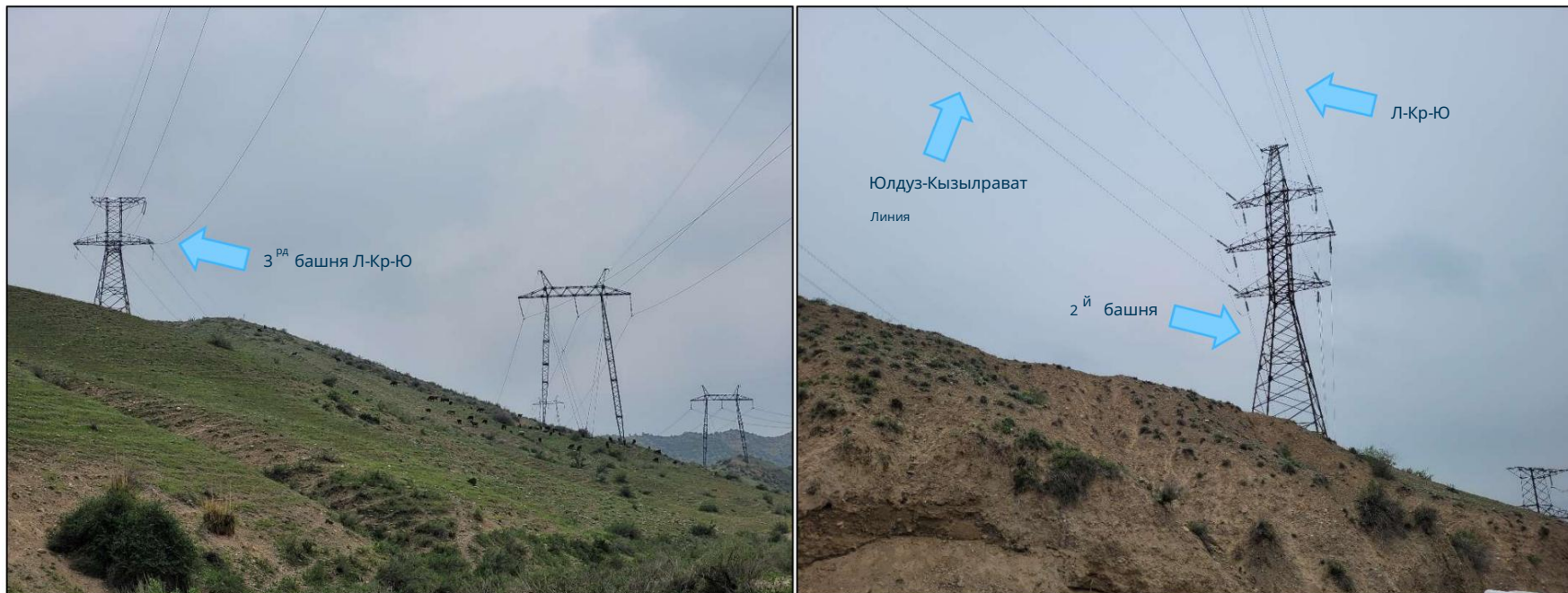


Рисунок 29: 3-я и 2-я опоры ЛЭП 220 кВ Л-Кр-Ю

Международный стандарт IEC-60826 классифицирует пересекаемые ВЛ участки на основе температуры и высоты для расчета ветровых нагрузок на компоненты и оборудование линии. Аналогично, высоты до 1000 м обычно классифицируются как стандартные условия окружающей среды для расчета электрических проектных параметров линий электропередачи, таких как пропускная способность по току, критерии изоляции и т. д. Этот участок линии относится к категории <1000 м согласно указанному стандарту, с наибольшей высотой на маршруте, измеренной на 914 м, как показано на рисунке 30.



Рисунок 30: Высотный профиль линии L-Kr-Yu

Согласно международным стандартам, существуют общие рекомендации, которым необходимо следовать при выборе маршрута линии. Ниже приведены некоторые из ключевых аспектов, которые следует учитывать:

Климатические условия и качество воздуха: Точное определение климатических условий местности имеет решающее значение для принятия лучших проектных решений, особенно при оценке воздействия климатических нагрузок от гололеда и ветра на маршрут линии. В противном случае на воздушной линии могут произойти нежелательные инциденты, включая галоупирование, отключения электроэнергии, даже опоры линий электропередач могут обрушиться при некоторых экстремальных погодных условиях и т. д.

Вертикальное движение воздуха формируется под влиянием местной и региональной географии, что приводит к обледенению и образованию облаков. С наветренной стороны прибрежные горы вызывают облака и осадки, выталкивая влажный воздух вверх.

На больших высотах, когда долины поднимают влажный воздух и усиливают ветры, происходит сильное обледенение. Линия L-Kr-Yu испытывает бесснежную погоду, поскольку находится в холмистой местности, а не в высокогорных горах, что ставит ее в категорию «средиземноморского влажного континентального климата с жарким летом» согласно классификации климата Кеппен-Гейгера. Наблюдаемые средние значения, минимальная и максимальная температура воздуха у поверхности составляют 5,79 °C, -0,04 °C и 11,63 °C соответственно в Джалал-Абадской области.

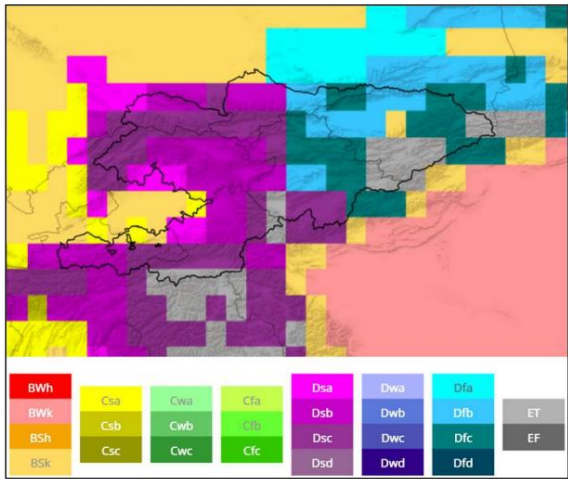


Рисунок 31: Классификация климата Кеппен-Гейгера в Кыргызстане 1991-2020 гг. 3

Геотехнические условия: Трасса Л-Кр-Ю может быть разделена на два основных топографических участка.

Каждый из этих двух отдельных разделов имеет свои собственные характеристики и спецификации:

- 1. Участок от подстанции Кристалл до места, где земля выравнивается и линия снова подходит к реке Нарын. Этот участок выглядит относительно стабильным с течением времени и обеспечивает прочный фундамент для опор.



Рисунок 32: Спутниковый вид области, где расположен 1-й сегмент L-Kr-Yu между 1985 и 2024 годами.

- 2. Второй участок, простирающийся до переправы через реку, проходит через районы с населенными пунктами. поселения и сельскохозяйственная деятельность.



Рисунок 33: Спутниковый вид области, где расположен 2-й сегмент L-Kr-Yu между 2002 и 2024 годами.

Тип башни и конструкции фундамента во многом зависят от геотехнических особенностей местности. Например, речные переходы и другие места с высоким риском схода лавин считаются особыми обстоятельствами для координации прочности в соответствии со стандартом IEC-60826. Таким образом, необходимо принять дополнительные меры предосторожности в отношении башни на первом месте пересечения границы L-Kr-Yu через реку.

Полоса отвода (ROW):

Вблизи второго сегмента L-Kr-Yu за последние два десятилетия наблюдалось минимальное развитие новых районов, в основном вдали от маршрута линии. Однако, если потребуется новый маршрут или параллельный маршрут с башнями, обозначение полосы отвода для линии должно быть соответствующим образом скорректировано. Существующее жилье в этом районе состоит из малоэтажных зданий, что упрощает процесс выполнения требований по расчистке. С другой стороны, любые посягательства на эту расчистку представляют угрозу безопасности как для линий электропередачи, так и для близлежащих жителей. Крайне важно оперативно устранять такие нарушения, обеспечивая соблюдение необходимых мер расчистки и безопасности для поддержания безопасной эксплуатации линий электропередачи и минимизации рисков для сообщества. За исключением второго сегмента L-Kr-Yu, земля вдоль маршрута, по-видимому, принадлежит государству, что сводит к минимуму проблемы с RoW.

Кроме того, на маршруте линии не выявлено никаких охранных зон или археологических зон, которые могли бы представлять опасность для полосы отвода.

Пути миграции птиц: Когда

птицы строят гнезда на вершинах больших опор линий электропередачи или непреднамеренно соприкасаются с воздушными линиями электропередачи, они могут непреднамеренно спровоцировать короткие замыкания на этих линиях.

Другая проблема — это загрязнение искровым разрядом, явление поверхностного разряда, вызванное влагой и грязью вдоль поверхности изолятора. Сообщается, что вдоль линии есть много гнезд аистов.

Изоляторы могут быть загрязнены птичьим пометом, что может вызвать дугу. Настоятельно рекомендуется установить защитные ограждения от птиц/отпугивающие шипы/шипы для новой линии (модернизированной линии), чтобы отвести птиц от насеста, особенно с учетом того, что невозможно изменить маршрут башни, а загрязнение птицами уже влияет на гирлянды изоляторов.

Поскольку гнездовья птиц уже имеются на обширной территории, а активность птиц обычна, особенно на определенном участке маршрута, вместо поиска нового маршрута разумным представляется использование существующего.

Планирование реконструкции в соответствии с маршрутом

линии: новая построенная линия может либо проходить очень близко к текущей линии, либо полностью ее заменять, используя ту же траекторию. При реконструкции линии можно использовать различные подходы. Первоочередная рекомендация заключается в том, чтобы NESK и NEGU сотрудничали на протяжении всего процесса, обеспечивая эффективное управление и общее понимание. Вот некоторые основные моменты и потенциальные подходы к учитывать:

- Если это приемлемо и осуществимо, то одним из возможных вариантов действий является реконструкция всей линии от Кристалла до Юлдуз. В таком случае обе стороны должны договориться о типе линии и графике строительства.
- График реконструкции линии требует тщательного рассмотрения. Важно определить любые критические временные ограничения или сезоны, в течение которых линия должна быть работоспособна, а также любые периоды, когда рабочая сила может быть ограничена из-за национальных праздников или экстремальных погодных условий. Эти переменные должны быть тщательно оценены в процессе планирования, интегрированы в оценки рисков и альтернативные планы действий в чрезвычайных ситуациях.
- Процесс тендера на линию может быть реализован поэтапно или в виде полного пакета, в зависимости от окончательного выбора проекта. Ключевым фактором при принятии этого решения является, прежде всего, сохранение существующего маршрута, что потребует демонтажа и реконструкции вышек вдоль этого маршрута, или выбор альтернативного маршрута для новой линии.

о В сценарии, когда старый маршрут остается неизменным, а текущие сетевые активы подлежат демонтажу, может быть более целесообразным управлять процессом тендера поэтапно. Соображения относительно сезонных ограничений как на использование линии, так и на строительные работы могут повлиять на планировщиков, контролирующих процесс.

о Во втором сценарии будет создан совершенно новый параллельный сетевой маршрут, в то время как существующие сетевые активы будут сохранены в качестве резервного маршрута. В этой ситуации следует провести первоначальную оценку осуществимости сохранения старого маршрута, взвесив требования к обслуживанию с потенциальным аварийным использованием резервной линии. Важно гарантировать, что эксплуатационные расходы (ОРЕХ) на линию не перевешивают ожидаемые выгоды, если только это не считается критически важным для балансировки, торговли или других технических ограничений. Учитывая независимость линии от предыдущего маршрута, не представляется очевидным недостатком выставление на тендер всей линии как единой части в этом сценарии.

о Третий подход между этими двумя вариантами предполагает проектирование нового маршрута таким образом, чтобы для определенных участков использовался предыдущий маршрут, а другие участки были перенаправлены. 1-й сегмент L-Kr-Yu, состоящий из земель, принадлежащих государству, обеспечивает большую простоту определения нового параллельного маршрута. Однако в районах с такими ландшафтами, как сельскохозяйственные поля или населенные пункты, как во 2-м сегменте L-Kr-Yu, существующий маршрут может оказаться наиболее оптимальным или даже единственно возможным решением. В таких случаях разные части линии могут потребовать разных решений. В таком случае параллельные старые линии могли бы служить резервными для чрезвычайных ситуаций, возникающих из-за сезонных изменений в диспетчеризации.

4.2 Линейный проводник

Фазные провода существующей линии — AC-400, что соответствует ACSR (алюминиевый проводник).

Тип стали армированной в ГОСТах Содружества Независимых Государств

Кыргызстан: Оптимизация интеграции переменной возобновляемой энергии (VRE)

Изменение контракта №: 7207429. 2 февраля 2024 г. Задача A:

Техническая оценка модернизации подстанции 220 кВ Кристалл и связанной с ней линии 220 кВ Кристалл-Юлдуз 34 | Стр 8

(CIS) с характеристиками, указанными на рисунке 34. Типичная токовая нагрузка проводника составляет 825 ампер согласно данным, предоставленным NESK.

GOST/ГОСТ-839-80 Grade AC

Code	Areas	No. of Wires		Wire Diameter		Diameter		DC Resistance	Rated Strength	Mass per Unit Length		
				Al	Steel	Core	Conductor			Al	Steel	Total
		Al/St	Al	Steel	mm	mm	mm			kg/km	kg/km	kg/km
400/51,9	400/51,9	54	7	3,07	3,07	9,21	27,64	0,072	123037	-	-	1509,7
(400/18)	381/18,8	42	7	3,4	1,85	5,6	26	0,076	85600	1052	147	1199
(400/22)	394/22	76	7	2,57	2	6	26,6	0,073	95115	1089	172	1261
(400/51)	394/51,1	54	7	3,05	3,05	9,2	27,5	0,073	120481	1090	400	1490
(400/64)	390/63,5	26	7	4,37	3,4	10,2	27,7	0,074	129183	1074	498	1572
(400/93)	406/93,2	30	19	4,15	2,5	12,5	29,1	0,071	173715	1119	732	1851
450/31,1	450/31,1	45	7	3,57	2,38	7,14	28,55	0,065	107467	-	-	1484,6
450/58,3	450/58,3	54	7	3,26	3,26	9,77	29,32	0,064	138417	-	-	1698,4

Рисунок 34: Технические данные AC-400 Conductor4

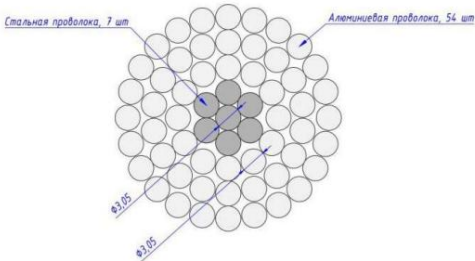


Рисунок 35: Поперечное сечение стандартного проводника AC-400/51

Согласно IEC-60826, типичный срок эксплуатации линии электропередачи составляет от 30 до 80 лет. Принято считать, что срок полезной (экономической) службы линий электропередачи составляет в среднем 35-40 лет. L-Kr-Yu, которая была построена в 1986 году, связывает две страны уже 38 лет, поэтому ее можно считать потенциально находящейся в стадии выхода из эксплуатации и требующей реконструкции.

Молниезащита воздушных линий обычно обеспечивается заземляющими тросами, подвешенными на самом высоком уровне опоры. Между некоторыми опорами на трассе линии имеется заземляющий трос, тип которого кодируется стандартами ГОСТ С-70. В основном это 70-миллиметровый оцинкованный стальной трос, используемый на высоковольтных линиях электропередач, который выдерживает ток короткого замыкания 48 кА, см. рисунок 36. Однако на этой линии Кристалл-Юлдуз нет OPGW (оптического заземляющего троса)

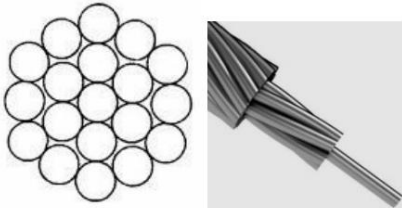


Рисунок 36: Поперечное сечение стандартного заземляющего провода C-70.

Оптические заземляющие провода (OPGW) являются широко принятой и подтвержденной технологией. Эти линии многоцелевые, предлагая как путь для заземления электрических скачков, так и возможность связи,

⁴ [EMTA-Каталог-Продуктов.pdf \(emtakablo.com\)](#)

автоматизация, защита и сбор данных посредством включения оптоволоконных кабелей. Настоятельно рекомендуется использовать эту технологию в качестве нового заземляющего провода. Она может быть получена с различным количеством оптоволоконных кабелей и толщиной алюминиевого слоя с различной устойчивостью к короткому замыканию.

На основе предыдущих исследований, в зависимости от сезона, прогнозируется увеличение нагрузки на линию на 20–45% в течение следующих 20 лет. L-Kristall-Yulduz регулярно испытывает относительно большую нагрузку в часы пик. Поэтому рекомендуется модернизировать линию с большим сечением или сгруппировать проводники.

1. В передающей сети Узбекистана есть линии 220 кВ, оснащенные проводами AC-500. Хотя в сети Кыргызстана этот размер проводника для воздушных линий 220 кВ еще не использовался, сотрудничество с узбекскими властями может позволить модернизировать всю Л-Линия Кристалл-Юлдуз до AC-500.
2. Альтернативным вариантом является использование двух связанных проводников. Поперечное сечение связанных проводников может быть выбрано как 2AC-300, что обеспечивает общую пропускную способность тока 1380 ампер, что превышает пропускную способность AC-500 в 945 ампер. Многие воздушные линии, такие как Датка-Торобаева, уже используют эту двухсвязную конфигурацию AC-300. Для этого второго варианта, опять же, рекомендуется скоординироваться с узбекскими властями, чтобы гарантировать, что вся линия будет обновлена до того же типа проводника.

Любое из этих обновлений улучшит способность линии справляться с более высокими лимитами передачи между странами, а также предотвратит перегрузку в предстоящие годы. Приоритет использования двух связанных проводников вместо модернизации до большего сечения предпочтительнее с точки зрения более высокой токовой нагрузки/размера блока, лучшего скин-эффекта, улучшенных тепловых характеристик, меньшего градиента поверхностного электрического поля и меньших шумовых/помеховых характеристик. Типичное сравнение тока одного проводника с эквивалентным размером связанного проводника приведено в CIGRE TB5 следующим образом.

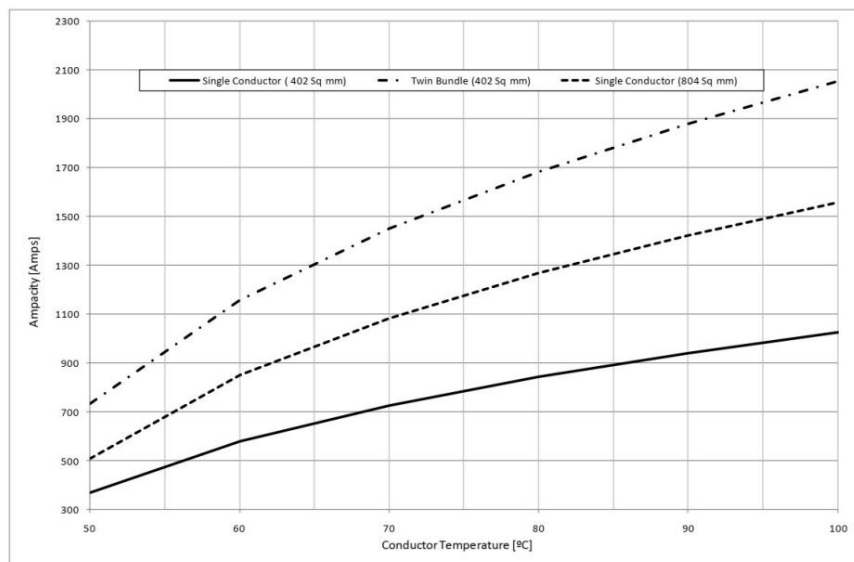


Рисунок 37: сравнение допустимой токовой нагрузки одиночного и расщепленного проводника.

4.3 Типы башен

Было подтверждено, что вдоль основания линии имеется несколько типов опор/сооружений линий электропередачи. Как уже упоминалось, на участке Таш-Комыр, подпадающем под юрисдикцию Республики Кыргызстан, имеется 63 опоры. Эти опоры простираются от подстанции Кристалл до точки пересечения реки, где ответственность за линию Л-Кристалл-Юлдуз переходит к узбекским властям. В основном, вдоль пути были выявлены три типа опор, как показано на рисунке 38:

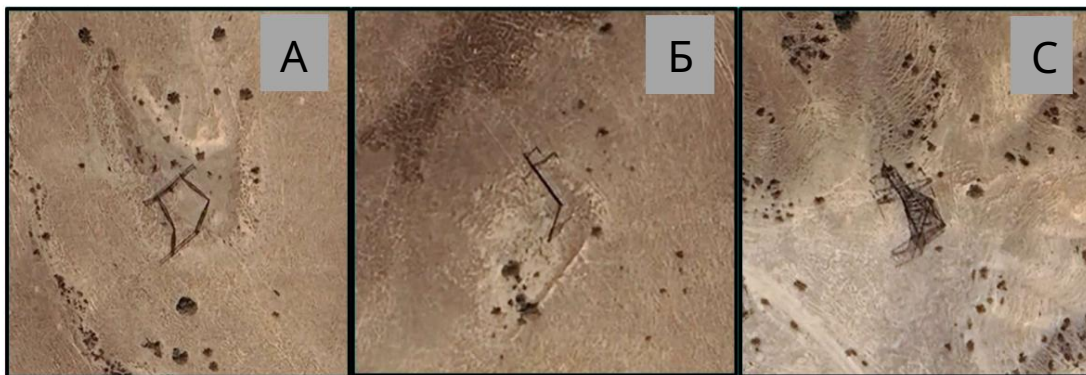


Рисунок 38: Спутниковый вид типов вышек на маршруте линии

А: Стальные решетчатые мачты с растяжками являются практичным и экономичным решением для воздушной передачи электроэнергии в районах с ограниченным пространством или бюджетными ограничениями. Их упрощенная конструкция, состоящая из двух вертикальных столбов, соединенных горизонтальной траверсой, обеспечивает легкую установку и универсальные варианты конфигурации. Эти башни обеспечивают надежную поддержку линий электропередачи, минимизируя при этом требования к земле и затраты на строительство, что делает их популярным выбором для различных проектов по передаче электроэнергии.

На маршруте Л-Кр-Ю эта конструкция башни в настоящее время сконфигурирована для использования в одноцепной конфигурации, хотя при необходимости ее можно адаптировать и для двухцепной конфигурации.

В: Бетонные столбы не всегда являются первым выбором в системах передачи, так как для вышек обычно используется сталь из-за ее удачного соотношения цена/качество. Тем не менее, они имеют несколько преимуществ, таких как более низкие затраты на обслуживание после установки и более узкая центральная мачта. Это также дает возможность как для одноцепной, так и для двухцепной конфигурации.

С: Самонесущие стальные решетчатые опоры линий электропередачи поддерживаются четырьмя опорами с отдельными фундаментами. Они предлагают такие преимущества, как возможность поворотов и углов, а также подходят для участков с неровным рельефом. Вдоль маршрута линии эти опоры в основном используются как опоры натяжения, особенно в районах, где угол маршрута меняется, как на рисунке 39.



Рисунок 39: Примеры мест вдоль маршрута, где используется башня типа С

Распределение типов опор (типы А, В, С, определенные в этом подразделе) почти одинаково вдоль киргизского участка всей линии. Часть от подстанции Кристалл до точки, где земля становится ровной, а линия снова приближается к реке Нарын, по-видимому, не подвержена долгосрочным топологическим изменениям и подходит для надежного фундамента опор. Таким образом, стальные мачты с растяжками и бетонные опоры все еще могут быть выгодны на этом участке маршрута. Между тем, самонесущие стальные решетчатые опоры передачи обычно используются для остальной части маршрута, который по-прежнему кажется подходящим для второго сегмента. Согласно общепринятой практике, анкерные стальные решетчатые опоры служат в качестве тупиковой опоры, конфигурация также принята для линии L-Кристалл-Юлдуз, как на рисунке 40.



Рисунок 40: Кристаллическая точка соединения L-Kr-Yu

Гнездование птиц распространено в районе между опорами с номерами 19-62, что увеличивает вероятность отключений стримеров, вызванных загрязнением от птичьего помета на гирляндах изоляторов, особенно от аистов. Настоятельно рекомендуется использовать защитные ограждения от птиц, особенно в этой области маршрута линии. Это оборудование было испытано и доказало свою эффективность в снижении искрений, вызванных птичьим пометом в различных географических точках в течение нескольких лет. Как указано в Руководстве IEEE по сокращению отключений, связанных с птицами⁶, отключения стримеров, вызванные крупными птицами, являются давней и распространенной проблемой для опор линий электропередачи, которую можно эффективно предотвратить, установив защитные ограждения от птиц. На рисунке 41 показан пример на линии Датка около подстанции Кристалл, где защитные ограждения от птиц установлены на линии изоляторов.

⁶ <https://ieeexplore.ieee.org/document/5724322>



Рисунок 41: Пример применения защиты от птиц на вышке напряжением 110 кВ в Финляндии⁷.

Компания NESK сообщила, что установила на линии Кристалл-Юлдуз несколько оградительных устройств для защиты от птиц и получила хороший опыт эксплуатации линии.

4.4 Типы изоляторов

Качество воздуха может влиять на выбор конструкции изолятора, особенно из-за близлежащих источников загрязнения, таких как цементные заводы. IEEE-1863-2019 ссылается на степень загрязнения участка (SPS), изложенную в IEC/TS 60815-1, которая классифицирует уровни загрязнения от очень легкого до очень тяжелого. Гирлянды изоляторов для линий электропередачи должны выдерживать постоянное рабочее напряжение, коммутацию и грозовые перенапряжения с учетом SPS и условий окружающей среды. Количество и тип изоляторов определяются на основе таких факторов, как эквивалентная плотность отложений солей (ESDD)/плотность нерастворимых отложений (NSDD) и локальные уровни загрязнения. Агенты, которые могут вызывать значительное загрязнение воздуха, не обнаружены в окрестностях маршрута L-Kr-Yu.

Похоже, что почти все изоляторы на трассе — типа I. На анкерных опорах вблизи участка второго сегмента пути линии, пересекающего реку, между анкерными опорами с номерами 58-62 установлены фарфоровые натяжные изоляторы.

⁷ П. Таклая, П. Хювёнен, Дж. В. Клюсс, Дж. Ниитсоо и И. Палу, «Предотвращение отключений стримеров для отпугивания птиц с помощью альтернативных конфигураций вышек», в IEEE Transactions on Power Delivery, т. 29, № 5, стр. 2402-2409, октябрь 2014 г., doi: 10.1109/TPWRD.2014.2303084.

В ходе осмотра объекта было обнаружено отсутствие некоторых участков стеклянных изоляторов по трассе Л-Кр-Ю.

4.5. Аксессуары

- **Коронирующее кольцо:** Установка коронирующих колец на проводниках предотвращает коронирующий разряд, явление, которое, как известно, вызывает деградацию материала, мешает работе радиочастот и тратит энергию. Эта мера предосторожности особенно важна в высоковольтных системах, где существует большая вероятность коронирующего разряда. Коронирующие кольца также уменьшают негативное воздействие электрического напряжения на близлежащие компоненты, повышая эффективность работы и требуя меньшего обслуживания, что способствует надежности системы. На воздушной линии Л-Кр-Ю во время посещения объекта не было обнаружено коронирующих колец.

- **Дуговые рога** являются важной профилактической мерой против разрушительных последствий электрической дуги. Они стратегически размещаются на проводниках воздушных линий. Они поддерживают длительный срок службы и надежную работу инфраструктуры воздушных линий, перенаправляя и рассеивая огромное тепло и давление дуговых инцидентов.

На линии Кристалл-Юлдуз использование дуговых рогов не зафиксировано.

Виброгаситель: Стратегически размещенные вдоль проводов воздушной линии, виброгасители необходимы для снижения воздействия механических вибраций. Усталость проводника, чрезмерный износ и даже разрушение конструкции могут возникнуть в результате этих колебаний. Эти устройства снижают вероятность повреждения проводника и простоя из-за проблем, вызванных вибрацией, что необходимо для обеспечения надежной и безопасной работы. Они также использовались на линии Л-Кр-Ю.

- **Маркеры воздушных проводов:** стратегически размещенные вдоль проводов, маркеры воздушных проводов улучшают видимость для низколетящих самолетов и рейсов, тем самым способствуя безопасности полетов. Эти знаки помогают идентифицировать путь провода, снижая вероятность столкновений. Уровень высоты вдоль маршрута Л-Кр-Ю составляет менее 1000 м, что значительно ниже обычной высоты полета, и маршрут не находится близко к какому-либо аэропорту, поэтому маркер воздушных проводов не требуется.

- **Отклонители/ограждения для птиц:** Производя визуальные знаки, которые отпугивают птиц от опасных зон, отклонители для птиц, которые устанавливаются на линиях электропередач, предотвращают столкновения птиц. Уменьшая вероятность отключений и повреждения оборудования, они защищают людей и птиц. Учитывая значительную популяцию птиц в районе Л-Кр-Ю, разумно рассмотреть возможность установки отводных устройств или защиты от птиц. Во время посещения объекта было установлено, что некоторые части линии оборудованы защитными устройствами от птиц, и эксплуатационные характеристики улучшились. На линиях Кристалл-Датка были замечены защитные устройства от птиц, изображенные на рисунке 42.

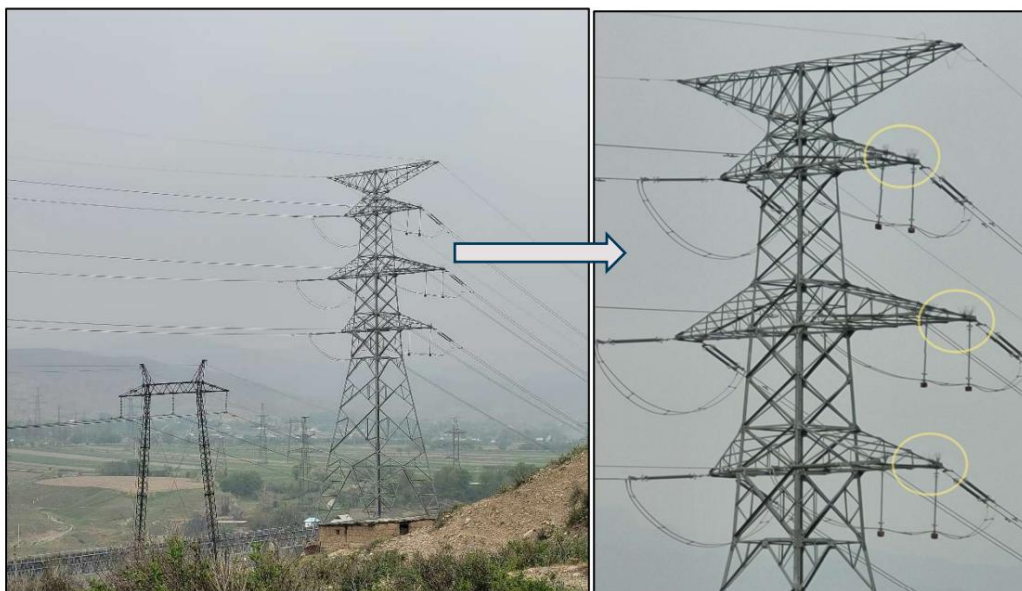


Рисунок 42: Башня линии Кристалл-Датка с птичьими щитами возле ПС Кристалл

- Распорка: Компоненты распорки являются неотъемлемыми элементами, используемыми в линиях электропередачи для регулирования и поддержания расстояния между проводниками. Их основная функция заключается в обеспечении достаточного разделения между проводниками, тем самым улучшая электрическую изоляцию и безопасность за счет снижения риска нежелательных неисправностей или коротких замыканий. Поскольку L-Kr-Yu линия состоит из одного пучка проводов, в настоящее время нет необходимости в использовании этого оборудования. Однако, если будет принято решение о модернизации линии до двухжильного типа 2AC-300, использование этого оборудования станет необходимым.



4.6 Техника общения

В настоящее время для передачи данных используются арендованные ВЧ-каналы, проходящие по всему каскаду гидроэлектростанций. Однако их эффективность снижается из-за их низкой надежности, нерегулируемых графиков технического обслуживания и других факторов, таких как:

- Связь на линии напрямую зависит от местного поставщика телекоммуникационных услуг, поскольку он может выполнять работы по техническому обслуживанию без необходимости получения каких-либо разрешений, тем самым влияя на работу линии.
- Сообщается, что текущая скорость передачи данных по арендованным высокочастотным каналам составляет недостаточно для удовлетворения требований SCADA/EMS.

Телезащита линии L-Kr-Yu обеспечивается PLC (силовой кабель). Эта система старая, и резервной связи не существует. Поскольку линии имеют дифференциальную защиту на основе электромеханических реле, необходима надежная связь на основе оптического заземляющего провода в качестве основной связи, а PLC можно использовать в качестве резервной связи. Строительство OPGW на существующей линии может быть сопряжено с некоторыми трудностями из-за ограничений статической конструкции башни. Другим вариантом может быть строительство новой линии с включенным OPGW.

4.7. Разбивка затрат

Разбивка затрат по основным и подкатегориям проекта представлена в Таблице 4. В таблице показана смета расходов для вариантов с проводником AC 500 и 2AC 300 (двойной пучок проводников). Данные о стоимости нормализованы до 100% для варианта с проводником 2AC 300 (предпочтительный). Предпочтительный вариант с проводником 2AC 300 имеет смету расходов 12,2 млн долл. США. Другой вариант (не предпочтительный) с проводником AC 500 имеет смету расходов 103 млн долл. США, что на 14% меньше по сравнению с предпочтительным 2AC 300. Несмотря на то, что 2AC300 немного дороже, себестоимость единицы продукции составляет 8 880 долл. США/Ампер, а AC 500 — 10 893 долл. США/Ампер. Другими словами, общая стоимость обоих активов отличается на 14% выше для 2AC 300. Однако проводник 2AC 300 может переносить единичный ток в амперах на 18% дешевле, чем проводник AC 500. Более того, эквивалентное сопротивление обоих вариантов имеет разные значения, ~65 мОм/км для AC 500 и 53 мОм/км для проводника 2AC 300, что обеспечивает на ~19% меньшие потери по сравнению с AC 500 при той же нагрузке.

Расходы на материалы и строительные и гражданские работы, как ожидается, начнутся на этапе подготовки к строительству. После выполнения последней задачи в последний месяц проекта, которая включает в себя подачу энергии и ввод в эксплуатацию, проект будет завершен.

Таблица 4 представляет прогнозируемое распределение затрат для различных подкатегорий/элементов, включая предполагаемые процентные суммы. Важно подчеркнуть, что как количество, так и стоимость этих элементов могут быть изменены из-за таких факторов, как рыночные условия, развитие логистики и принятие решений о маршруте, специфичных для проекта.



Таблица 4: Распределение общей стоимости проекта 220 кВ Л-Кр-Ю

Категория	Суб-Категория	Элемент	Подкатегория / Элемент %			
			Проводник переменного тока 500, %	Категория %, переменный ток 500	Проводник с двойным пучком (2АС 300), %	Категория %, 2АС 300
Проект	-	Тендерный процесс	1	9	1	10
		Инженерное дело	3		4	
		Воздействие на окружающую среду Оценка	3		3	
		Разрешения RoW (Без учета экспроприации)	2		2	
Материал	Дирижер	Главный дирижер	12	49	15	57
		OPGW	2		2	
	Башня	Корпус башни	27		29	
	Аксессуары	Изоляторы	8		11	
		Кольцо Короны				
		Гаситель вибрации				
		Охрана птиц				
		Распорка				
Строительство и гражданские работы	Логистика	Труд	5	27	6	32
		Аренда машин	5		5	
	Башня	Фундамент	6		7	
	Линия	Дирижерская струна	11		14	
Ввод в эксплуатацию	-	Испытания на месте и энергетическое обеспечение	1	1	1	1
Общий %			86	86	100	100
Общая ожидаемая стоимость (долл. США) всего проекта 64,5 км (190 тыс. долл. США/км для 2АС 300, 163,4 тыс. долл. США для АС 500)			10.294.200		12.255.000	

4.8. Производительность по ошибкам

В 2023 году зафиксировано два аварийных отключения линии 220 кВ Кристалл-Юлдуз, как указано в следующей таблице.

Таблица 5: Записи о разломах на участке L-Кристалл-Юлдуз в 2023 году

#	Дата	Время	Неисправность
7	17/01/2023	23:49	На пс Кристалл аварийно отключилась В-ВЛ-220 Юлдуз от ДФЗ, ЗНЗ 1ст, АПВ не успешно, УПФ "В" ИМФ 40 км. 18.01.23г в 00-08 РПВ не успешно. На ВЛ-220 Кристалл-Юлдуз на оп. №122 (территории Узбекистана) Обнаружен обрыв провода верхней фазы. ВЛ-220 Кристалл-Юлдуз выведен в ремонт. (На подстанции Кристалл ВЛ 220 Юлдуз аварийно отключена от ДФЗ, ЗНЗ 1-й, АПВ не сработало, УПФ «В» МВФ 40 км. 18.01.23 г. в 00-08 РПВ не сработало. На ВЛ 220 Кристалл-Юлдуз на оп. № 122 (территория Узбекистана) обнаружен обрыв верхнего фазного провода. ВЛ 220 Кристалл-Юлдуз выведена в ремонт.)
22	10/04/2023	19:45	Аварийно отключилась ВЛ-220 кВ Кристалл-Юлдуз. На пс Кристалл от ДФЗ, ЗНЗ-1-й, АПВ неуспешное, УПФ "В", ИМФ- 53,3 км (узб.уч). На пс Юлдуз от ДФЗ, ЗНЗ, АПВ неуспешное, УПФ «В» . В 19-55 на пс Кристалл РПВ неуспешно, кроме ТУ рез. защита, ЗНЗ-3ст, ИМФ-53,5 км (узб. уч.). В районе дождь. расчетное МП (КДЦ) - 73 км от пс Кристалл (узб.уч.) 11.04.23 в 05-20 Произведен осмотр ВЛ-220 Кристалл-Юлдуз Узб. ВВС, на опоре № 161 (8 км от пс Юлдуз), обнаружен обрыв проводов верхней фазы, провод лежит на земле. ВЛ-220 кВ Кристалл-Юлдуз выведена в ремонт по узб. заявке. (Отключена ВЛ 220 кВ Кристалл-Юлдуз. На станции Кристалл от ДФЗ, ЗНЗ-1ст, АПВ неуспешный, УПФ «В», ИМФ - 53,3 км (Узб. территория). На ПС Юлдуз от ДФЗ, ЗНЗ, АПВ неуспешный, УПФ «Б» . В 19-55 на станции РПВ Кристалл неуспешный, отключение от ТУ рез. защиты, ЗНЗ-3ст, ИМФ-53,5 км (Узб. территория). В районе идет дождь. расчетная МП (ЦДК) - 73 км от ПС Кристалл (Узб. территория) 11.04.23 в 05-20 Осмотр ВЛ 220 Кристалл-Юлдуз Узб. сила ветра, на опоре № 161 (8 км от ст. Юлдуз) обнаружен обрыв верхнего фазного провода, провод лежит на (земля. ВЛ 220 кВ Кристалл-Юлдуз выведена в ремонт согласно узбекской заявке.)

Хотя два сбоя в год могут показаться незначительными на первый взгляд, это действительно представляет собой значительную частоту сбоев, учитывая индекс сбоев линий электропередачи. Этот индекс сбоев является одним из ключевых показателей эффективности (KPI) для операторов систем передачи (TSO), и усилия обычно направлены на его снижение с течением времени. Данные о частоте сбоев в шинах и линиях можно получить с помощью индекса сбоев. Для шин он показывает годовое количество сбоев, в то время как для линий он показывает годовое количество сбоев на сто километров. Считается, что сбои распределены равномерно. Погодные и географические факторы являются основными детерминантами индекса сбоев, особенно для воздушных линий. Кроме того, на индекс сбоев может также влиять наличие дополнительных подключенных линий⁸ . Индекс сбоев L-Kristall-Yulduz рассчитывается как 3,1. Эта частота

⁸ ИНАН, Э. и Албояджи, Бора и Бак, КЛ. (2010). Исследование турецкой системы электропередачи при провалах напряжения.

особенно высокий для соединительной воздушной линии электропередачи, работающей на высоких уровнях напряжения. Типичные значения для индекса неисправности могут быть меньше или около 1 случая/год*100 км в соответствии с мировой практикой.⁹

Значительная часть неисправностей линий электропередачи происходит из-за климатических явлений и стихийных бедствий, таких как гроза, молния, сильный ветер, сильный дождь, сильный снег, сильное обледенение, сильный туман, землетрясение, пожар. Из 12 аварийных отключений в 2023 году, касающихся ВЛ, связанных с ПС «Кристалл», 5 были связаны с суровыми погодными условиями, что указывает на то, что значительная часть неисправностей связана с погодными условиями, в основном сильным ветром или грозами.

4.9. Рыночные и логистические условия для строительства новой линии

В разбивке затрат, представленной в таблице 4, материалы, необходимые для строительства новой линии электропередачи, делятся на три подкатегории: провод, конструкция опоры и аксессуары.

На сложности, сроки и расходы, связанные с доставкой этих материалов, влияют различные факторы, в том числе:

- Возможность закупки материалов у отечественного производителя.
- Доступность места доставки с помощью обычных транспортных средств, таких как наземный, морской, воздушный или железнодорожный транспорт.

Эти факторы играют важную роль в определении сложности, продолжительности и общих расходов, связанных с транспортировкой необходимых материалов для проекта. Кроме того, колебания погодных условий и логистические соображения могут дополнительно повлиять на процесс доставки.

Корпус башни и опорные материалы анкеров, которые планируется использовать во всех опорах ЛЭП вдоль маршрута, как ожидается, будут изготовлены из стали, оцинкованной горячим способом, как это делается в настоящее время. Эти элементы обычно транспортируются на строительную площадку отдельными частями, а монтаж башни производится вблизи конечного местоположения башен, как показано на рисунке 43.



Рисунок 43: Некоторые этапы процесса возведения башни

Необходимо оценить наличие в Кыргызстане отрасли горячего цинкования. Если есть необходимость закупать эти материалы на международных рынках в соседних странах

⁹ https://www.entsoe.eu/Documents/SOC%20documents/Nordic/2023/2022_Nordic_and_Baltic_Grid_Disturbance_Statistics_FOR_PUBLISHING.pdf

¹⁰ <https://www.teias.gov.tr/faaliyet-raporlari>

страны, выбор наиболее эффективного способа доставки становится важным. Хотя в последнее время предпринимались попытки построить межгосударственную железнодорожную сеть с соседними странами, нынешняя железнодорожная сеть Кыргызстана состоит просто из северной линии, соединяющей Луговую с Бакычки, соединяющей Кыргызстан с Россией через Казахстан, и южной линии, состоящей из четырех секций, соединяющих Кыргызстан с Узбекистаном и Россией в четырех разных точках.

Хотя в последнее время предпринимались попытки построить межгосударственную железнодорожную сеть совместно с соседними странами, нынешняя железнодорожная сеть Кыргызстана состоит из:

северной линии, соединяющей Луговую с Бакычки, соединяющей Кыргызстан с Россией через Казахстан и

Южные линии, состоящие из четырех участков, соединяющие Кыргызстан с Узбекистаном (и Россией) в четырех разных точках, см. Рисунок 44.

Как уже упоминалось, южные линии железной дороги проходят также вблизи подстанций «Юлдуз» и «Кристалл».

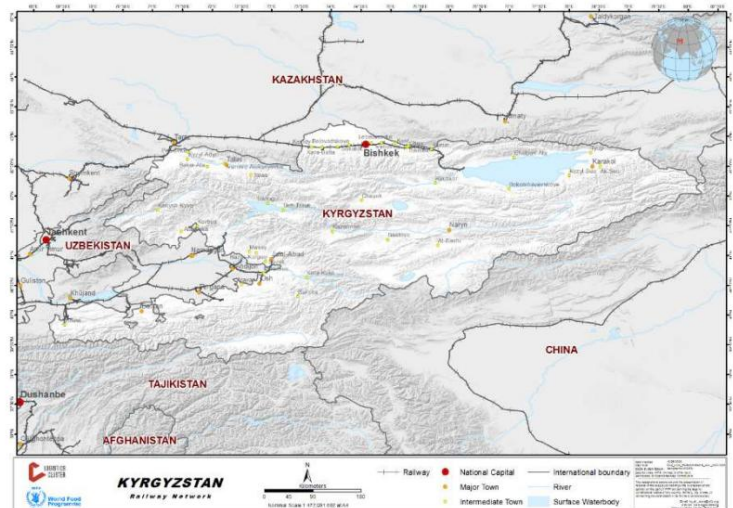


Рисунок 44: Карта железнодорожной сети Кыргызстана¹¹

Использование наземного транспорта представляет собой альтернативный метод транспортировки всех материалов в непосредственной близости от места строительства. Опоры линий электропередач будут доставлены по частям, принадлежности будут уже разобраны, а линии будут отправлены намотанными на шкив. Это позволяет перевозить компоненты в меньших количествах, учитывая ограничения по весу как наземного транспорта, так и железнодорожных/грузовых вариантов. Кроме того, при планировании поставок можно учитывать как этап строительства линии, так и ограничения пропускной способности методов транспортировки.

¹¹ <https://dlca.logcluster.org/24-kyrgyzstan-railway-assessment>

5. Система управления и связи ПС 220 кВ Торобаева–

Линия Лочина.

Линия 220 кВ Торобаева-Лочин эксплуатируется более 40 лет и играет важнейшую роль в объединении энергосистемы Кыргызстана и Узбекистана. Двухцепная линия имеет сечение переменного тока 240 мм² для каждой цепи с мощностью ~220 МВт/цепь. В сетевом анализе, выполненном на предыдущем этапе проекта, нагрузка линии составляет менее 50% даже при условии N-1. Большая часть мощности, подаваемой на шину Торобаева, потребляется на подстанции Фозильмон, которая имеет зимнюю нагрузку более 200 МВт.

Это позволяет избежать перегрузки линии Торобаева-Лочин. Региональная сеть вокруг Торобаева представлена следующим образом.

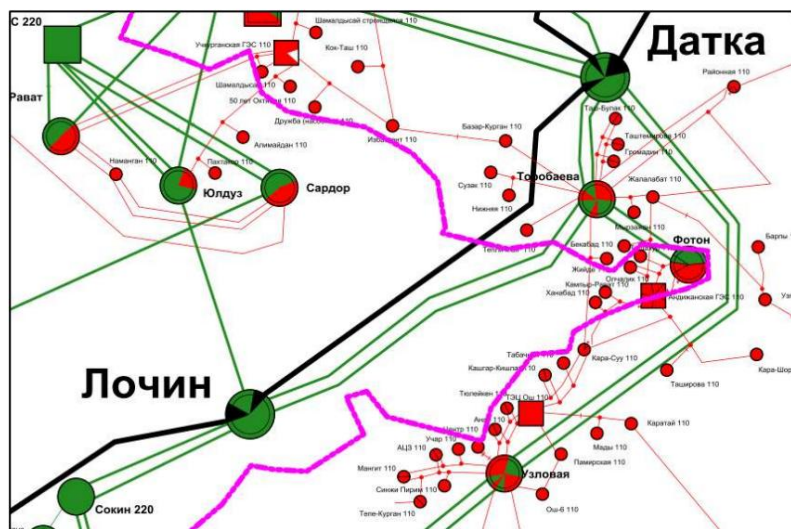


Рисунок 45: Региональная сеть вокруг Торобаева

Подобно подстанции Кристалл, подстанция Торобаева также имеет в основном старые типы электромеханических реле и панелей управления. Линии Датка имеют новые типы реле и панели управления, причем Датка 1 имеет только оптоволоконную связь. Датка 2 имеет только связь PLC.

Линия Лочин протяженностью около ~120 км имеет только ~25% линии с заземляющим проводом для части с более высокой вероятностью удара молнии. В комнате управления или защиты нет запасного места для установки дополнительной панели. На линии Лочин нет оптоволоконной линии. Релейные и контрольные панели показаны ниже.



Рисунок 46: Электромеханические и цифровые (Датка 1-2) реле на подстанции Лочин.



Рисунок 47: Линия Лочина (слева направо) дифференциальная и дистанционная защита.

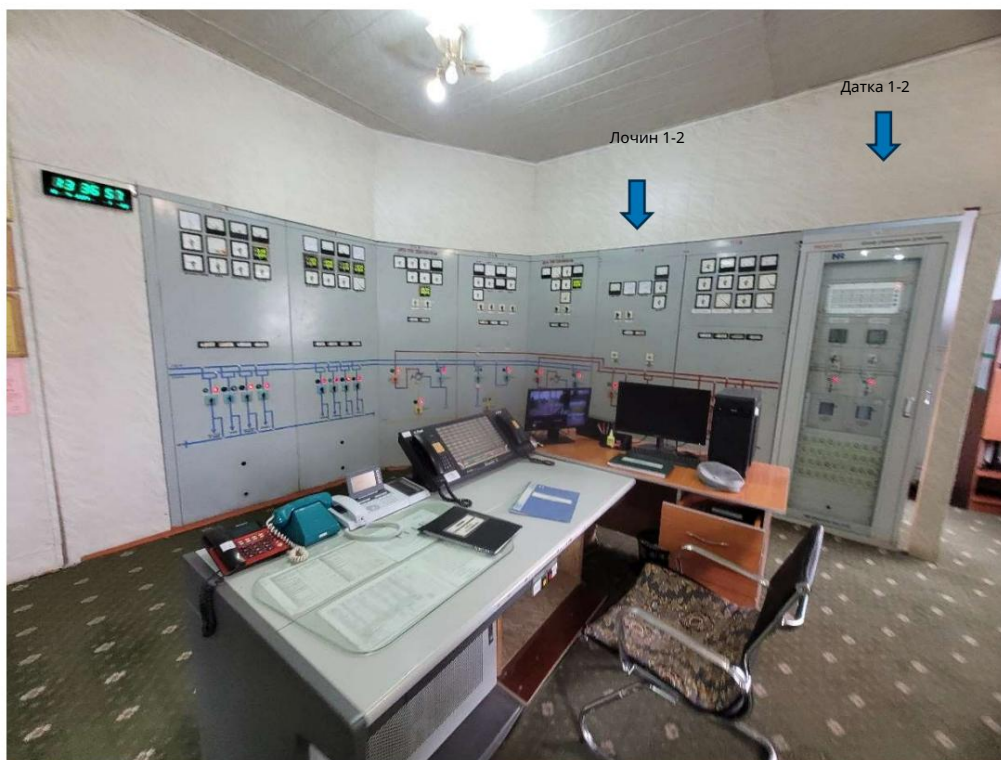


Рисунок 48: Панели управления подстанций Торобаева, (управление фидером Датка новое)

5.1 Процесс и метод установки новой системы защиты и управления

Аналогично подстанции Кристалл, схемы защиты линии Lochin могут быть заменены новыми современными цифровыми системами только в том случае, если существующая площадь панелей используется из-за ограниченного пространства в здании. Это требует отключения каждой линии по одной примерно на ~1-2 месяца. Поскольку поток линии не слишком высок даже в случае N-1, отключение линии может быть запланировано в соответствующий сезон.

Для панелей управления линий также действует ограничение пространства, и существующие панели должны использоваться для замены систем управления. Две линии используют одну и ту же панель, и для замены требуется отключение обеих линий на период 1-2 месяца. Может быть все еще целесообразно отключить обе линии для графика замены, поскольку линия не имеет слишком высокой нагрузки как зимой, так и летом в пиковые часы.

5.2. Оценочная стоимость новой системы защиты и контроля

В следующей таблице представлена смета работ по замене системы управления и защиты линии «Лочин» на подстанции «Торобаева».

Категория	Подкатегория	Элемент	Количество	Единица	стоимость единицы USD (материалы и монтаж, без учета НДС)	общая стоимость
Защита и Автоматизация	Защита и Устройства управления	Релейная панель для линии (обе конечные подстанции)	4	набор	30,000	120,000
		Панель управления для Линия, только подстанция Торобаева	2	набор	30,000	60,000
		панели связи (обе конечные подстанции)	4	-	20,000	80,000
	Ввод в эксплуатацию	-	20	человеко-день	800	16,000
Общая стоимость, долл. США						276,000

6. Резюме и результаты.

В этом отчете, включающем в себя кабинетное исследование и посещение объекта, дается техническая оценка, подход к реализации и приоритетность проектов, включая:

- Модернизация ПС 220 кВ «Кристалл»
- Модернизация линии 220 кВ Кристалл-Йолдуз
- Модернизация системы управления и связи линии 220 кВ Торобаево-Лочин

Вышеуказанные проекты рассматриваются в аспекте приграничной торговли между Кыргызстаном и Узбекистаном. Был выполнен сетевой анализ, и линейные нагрузки рассчитаны до 2040 года с различными сценариями диспетчеризации генерации-потребления. Расчеты выполнены с нормальными и аварийными состояниями. После сетевого анализа организовано посещение объекта на подстанции Кристалл и Лочин для наблюдения за общим состоянием указанного сетевого актива, проверки доступности земли для реконструкции и обсуждения с людьми из NESK перегрузки этих активов. Наконец, после посещения объекта организована встреча с ВБ, и должностным лицам ВБ представлено краткое резюме о состоянии предлагаемых активов. Также согласовано, что оценочное исследование будет сосредоточено на определении приоритетов, этапах фаз и оценке затрат.

Что касается вышеизложенных выводов и обзоров, упомянутых выше, # три пункта проекта суммируются с точки зрения воздействия на трансграничную торговлю, риска/надежности, применимости и срочности следующим образом. Также упоминается предполагаемая стоимость реализации проекта.

Модернизация линии 220 кВ Кристалл-Йолдуз:

Линия Кристалл-Йолдуз находится в эксплуатации более 35 лет и служит для приграничной торговли между Киргизией и Узбекистаном. Линия имеет максимальную мощность около ~300 МВт. При анализе сети было отмечено, что линия сильно загружена к горизонту планирования. Более того, есть некоторые зимние рабочие периоды, когда уже превышает 250 МВт потока мощности на этой линии. Таким образом, воздействие линии Кристалл-Юлдуз на импортно-экспортную способность Киргизии слишком высока. Сама линия имеет более высокий индекс неисправности (~3/100км*год), что может поставить под угрозу надежность передачи электроэнергии между двумя сетями. Старение линии также добавляет больше риска надежности линии.

Что касается длительного срока эксплуатации (>~40 лет) предлагаемой обновленной линии, рекомендуется заменить линию Кристалл-Юлдуз на более мощную с двухжильными проводами; AC 2x300 ACSR. Эта линия может выдерживать более ~1200 А, что обеспечивает мощность около 450 МВт. Учитывая срок эксплуатации существующей линии (башен и проводов), нецелесообразно натягивать новый провод на старые башни, и, следовательно, рекомендуется обновить всю линию. Существующие башни имеют проектные параметры, которые основаны на данных старого типа (на момент проектирования). Окружающие условия, влияющие на прочность башни, такие как ветровые силы и коррозионные условия, устарели и, вероятно, изменятся в течение следующих 40 лет. Эта концепция связана с влиянием изменения климата на наружные конструкции. В дополнение к проектным параметрам башни замена проводника на провод большего размера добавит больше статических и динамических сил к корпусу башни, что выходит за пределы первоначального проектного предела. Как упоминалось в предыдущих частях, текущая линия не имеет непрерывного пути заземляющего провода, а новая схема требует пути OPGW для надежной связи. Добавление OPGW к существующим башням также создает дополнительную нагрузку на конструкции башни. Если среднее количество грозовых дней в регионе увеличилось за последние 40 лет и, как ожидается, увеличится в течение следующих 40 лет (что является обычным случаем при изменении климата), координация изоляции линии также является проблемой для увеличения размеров траверс башни.

Одним из вариантов может быть замена существующего проводника на высокотемпературные малопровисающие проводники (HTLS), которые могут иметь тот же вес, что и существующий проводник. Однако эти типы проводников имеют преимущества при работе при более высокой температуре и большей токовой нагрузке. В отличие от обычной температуры проводника (~80 °C), проводники HTLS могут работать при ~200 градусах и могут переносить большие токи. При более высоких температурах сопротивление проводника становится большим, и потери могут быть больше для той же токовой нагрузки. Основной проблемой для башни является прочность конструкции. Чтобы сохранить существующие статические силы на башне и в случае, если проводник HTLS того же веса будет натянут на существующую башню, он может переносить большую мощность по сравнению с требуемой для будущего роста нагрузки, но с большими потерями из-за более высокой рабочей температуры. Поскольку ожидается, что использование линии Кристалл-Юлдуз будет высоким, потери на линии длиной 65 км могут быть высокими. На практике стоимость и тепловые потери проводников HTLS обычно выше, чем у обычных проводников¹². Главное преимущество заключается в том, что проводники HTLS могут повысить резервы безопасности и пропускную способность, не влияя на согласованную полосу отвода, в идеале с небольшими модификациями вышек (в основном зажимов проводников и их креплений или усиления световых вышек) и иногда с меньшим количеством вышек. В нашем случае с вышкой даже незначительная модификация с добавлением OPGW может оказаться невыполнимой из-за прочности вышек. Что касается вышек, рекомендуется построить новую линию с проводником 2AC 300 вместо перепроводки или использования существующих вышек.

¹² <https://www.entsoe.eu/Technopedia/techsheets/high-temperature-low-sag-conductors-htls>

Новая линия должна иметь цельный заземляющий провод с оптоволоконном (OPGW). Строительство линии может быть частично параллельно существующей линии и частично вместо старых вышек, если приобретение земли недоступно. В случае использования любой существующей области вышки поток линии должен быть прерван во время работ на месте. Таким образом, строительство линии должно быть запланировано поэтапно с соблюдением условий приграничной торговли.

Физическое повреждение проводника линии (падение проводника) показывает более высокую степень срочности.

для замены линии. Это указывает на то, что проводники линии и арматура/аксессуары изношены, и невозможно предотвратить и обнаружить такое рискованное событие. Поскольку проводник и вся линия имеют идентичную структуру, весьма вероятно, что в последующие годы могут произойти аварийные события с физическим повреждением.

Общая предполагаемая стоимость строительства новой линии с 2AC 300 составляет около 12,2 млн. долл. США (190 тыс. долл. США/км) без учета изъятия земли и налога на добавленную стоимость. Статьи расходов приведены следующим образом:

Категория	Подкатегория	Элемент	Подкатегория / Элемент %	Категория %
Проект	-	Тендерный процесс	1	10
		Инженерное дело	4	
		Воздействие на окружающую среду Оценка	3	
		Разрешения RoW (Исключая Экспроприация)	2	
Материал	Дирижер	2*AC-300/39	15	57
		OPGW	2	
	Башня	Корпус башни	29	
	Аксессуары	Изоляторы	11	
		Кольцо Короны		
		Гаситель вибрации		
		Охрана птиц		
		Распорка		
Строительство и гражданское строительство Работы	Логистика	Труд	6	32
		Аренда машин	5	
	Башня	Фундамент	7	
	Линия	Дирижерская струна	14	
Ввод в эксплуатацию	-	Тесты на месте и Энергизация	1	1
Общий %			100	100
Общая ожидаемая стоимость (долл. США) всего проекта 64,5 км (190 тыс. долл. США/км)				12,255,000

Модернизация ПС 220 кВ «Кристалл» :

Подстанция Кристалл введена в эксплуатацию примерно в 1987 году и играет важную роль в соединении Кыргызстан-Узбекистан в юго-западной части страны. На Кристалле имеются три соединительные линии на 220 кВ, входящие от Туракурганской ТЭС, подстанций Кизилрават и Юлдуз Узбекистана.

Более того, прямое подключение Курпсайской и Ташкумирской электростанций и прямое подключение к подстанции 500/220 кВ Датка обуславливают важность подстанции Кристалл на связи Кыргызстан-Узбекистан. Имея слишком много связей, упомянутых выше, подстанция Кристалл имеет самый высокий уровень воздействия на

Импортно-экспортная мощность обеих сетей. Однако, учитывая надежность/резервирование подстанции относительно линейного фидера и защиты, все внутренние системы имеют резервную мощность, такую как сборные шины (двойная сборная шина), выключатель (имеется обходной выключатель), мощность (два автотрансформатора с умеренной нагрузкой), реле защиты и вспомогательное питание. Другими словами, хотя подстанция оказывает наибольшее влияние на работу пограничной линии, вероятность отказа для всей подстанции меньше, и результирующий риск, возникающий из-за подстанции, меньше, чем тот, который возникает из-за линии Юлдуз.

Выключатели и трансформаторы тока заменяются новыми, и их следует повторно использовать на новой подстанции. Другие детали/компоненты следует заменить новыми во время строительства. Подстанцию рекомендуется проектировать со стальными решетчатыми порталами вместо бетонных столбов. Поскольку полностью свободной земли около Кристалла нет, реконструкцию следует проводить поэтапно. Необходимо временно отменить некоторые линии и использовать зону питания этих линий для выполнения реконструкции.

Отмена может быть реализована как шунтирующее соединение любых двух входящих линий с двумя исходящими линиями, что обеспечит 4 свободных отсека для строительства начальной стадии распределительного устройства. После завершения частичного строительства оставшиеся линии должны быть шунтированы друг с другом, а часть распределительного устройства должна быть обновлена.

Поскольку подстанция имеет избыточную мощность для всех основных частей, она не классифицируется как срочная среди проектов, упомянутых в этом исследовании. Но стоит отметить, что структурное состояние подстанции не в хорошем состоянии. В 1992 году землетрясение в регионе повредило подстанцию, и было реализовано некоторое усиление конструкции. В случае сейсмической активности с более высокой магнитудой здания или опорные бетоны могут частично или полностью разрушиться. Учитывая период землетрясений с длительными годами, подстанцию «Кристалл» рекомендуется реконструировать после строительства новой линии Юлдуз.

Общая оценочная стоимость типовой подстанции с аналогичными характеристиками (схема шин, количество фидеров, мощность трансформатора), как у «Кристалл», составляет около ~13 млн. долл. Разбивка затрат для подстанции «Кристалл» представлена в следующей таблице.

Элемент	Цена за единицу, x1000, \$	Сумма	Всего x1000, \$
Автотрансформаторы 220кВ/110кВ 125MVA	2000	2	4000
Распределительное устройство 220 кВ (без учета выключателей и трансформаторов тока), 16 ячеек	3,200	1	3,200
Распределительное устройство 110 кВ (без учета выключателей и трансформаторов тока), 7 ячеек	840	1	840
Системы управления и защиты для 23 отсеков	1,840	1	1,840
Здание защиты управления на 26 отсеков	800	1	800
Система противопожарной защиты	400	1	400
Реконструкция подъездных путей	150	1	150
Монтаж водопровода	60	1	60
Мобилизация и восстановление земель	300	1	300
Другие электромонтажные и общестроительные работы	1500	1	1500
Общий			13 090 долларов США

Модернизация системы управления и связи линии 220 кВ Торабаева-Лочин

Линия Торабаева-Лочин находится в эксплуатации более 40 лет. Линия имеет проводник переменного тока 240 с мощностью ~220 МВт для каждой цепи. Для этой линии нет оптической связи, а телезащита обеспечивается через носитель залога мощности (PLC). Анализ сети к 2040 году показывает, что эта линия загружена ниже 50% для различных сценариев диспетчеризации и сети, даже при аварийном сценарии N-1.

Подобно другим линиям, она имеет защиту с основными и резервными системами. В то время как основная защита с дифференциальным типом полагается на связь в реальном времени, дистанционная защита работает локально и не нуждается в телезащите.

Что касается низкого уровня нагрузки для существующих и будущих сценариев, функция управления и связи этой линии имеет низкое влияние на пропускную способность между двумя сетями. Поскольку линия имеет рабочий цикл более 40 лет и защищена электромеханическими реле, эксплуатация линии может вызвать беспокойство по поводу надежности. Как и в случае с подстанцией Кристалл, в здании нет резервной площади для дополнительных панелей управления и защиты.

Учитывая низкую значимость и влияние линии на пропускную способность между двумя странами, консультант рекомендует отложить реабилитацию инфраструктуры управления и защиты до графика после завершения двух вышеуказанных проектов. Более того, частичная реабилитация не рекомендуется для управления и защиты, вся подстанция или инфраструктура управления и защиты могут быть обновлены позже.

В заключение следует подытожить приоритетность инвестиций, этапы установки и предполагаемую стоимость:

6.1. Реабилитация линии Кристалл-Юлдуз:

Реконструкция этой линии имеет первостепенное значение из-за высокого уровня нагрузки и проблем с надежностью, возникающих из-за неисправностей проводника. Новую линию рекомендуется проектировать с более высокой пропускной способностью типа двухжильного проводника переменного тока 300 (AC 2x300). Параллельный маршрут существующей линии может быть осуществим с точки зрения топографических условий. Однако часть текущей линии проходит вблизи населенных пунктов, и приобретение земли может быть невозможным для новой линии. В таком случае маршрут существующей линии может быть использован путем демонтажа старой вышки. Демонтаж и строительство новой линии должны быть запланированы с диспетчерским центром обеих коммунальных служб. Стоит отметить, что оптический заземляющий провод (OPGW) необходим независимо от плотности молний на маршруте. Линия OPGW обеспечивает надежную линию связи, принадлежащую NESK, и обеспечивает дополнительный путь замыкания на землю для несимметричных замыканий, что обеспечивает шаговое и касательное напряжение в окрестностях линии. Оценочная стоимость всего строительства линии составляет ~ 12,2 млн. долларов США.

6.2 Реконструкция подстанции «Кристалл» :

Подстанция «Кристалл» является частью межсистемной связи между двумя коммунальными службами и прослужила более 35 лет. Хотя выключатели и трансформаторы тока заменены на новые, бетонные конструкции, бетонные столбы, разъединители, трансформаторы напряжения, некоторые масляные выключатели, схемы управления и защиты, а также вспомогательные системы (водоснабжение, противопожарная защита, питание постоянным током) устарели и находятся в неудовлетворительном состоянии. Основная конструкция бетонных корпусов имеет дефекты и несоосность на распределительном устройстве. Бетонные опорные столбы имеют трещины и коррозию. Проектирование конструкции подстанции (строительные и стальные части) предполагается подготовленным с учетом условий в прошлом. После того, как будет запланирована замена первичного электрохимического компонента, такого как выключатель, разъединитель, ТТ/ТН и другого оборудования, на рынке будет доступно современное оборудование. В связи с тем, что сеть все еще растет (добавление новых электростанций и передающих активов), токи нагрузки и токи короткого замыкания также неуклонно растут. Одним из основных критериев проектирования, рассматриваемых для конструкции распределительного устройства, являются статические силы, возникающие в условиях окружающей среды тока нагрузки, и динамические силы, возникающие в результате событий короткого замыкания в сети. По мере увеличения тока нагрузки или короткого замыкания электрохимические силы, действующие на опорные конструкции, также увеличиваются. Увеличенные токи короткого замыкания или разряда молнии создают шаговое и касательное напряжение, которое может превысить предел безопасности из-за старого заземляющего коврика под подстанцией. Замена электрического компонента, такого как выключатель, разъединитель или ТТ/ТН, обеспечит выдерживаемую способность нового оборудования. Однако гражданские конструкции, поддерживающие основное оборудование, все равно останутся там с недостаточной способностью противостоять условиям окружающей среды и электрохимическим силам. Не только сосредоточенные компоненты (выключатель, разъединитель, ТТ/ТН), но и распределенные элементы, такие как шинный провод, натяжные и подвесные струны, анкерные конструкции и изоляторы, подвергаются таким механическим силам. Также известно, что Ошский регион имеет самый высокий уровень сейсмического риска в Кыргызстане¹³. С учетом вышеизложенных условий эксплуатация подстанции с восстановленными электрохимическими компонентами, которые накладываются на старые и изношенные гражданские конструкции, не обеспечит полной надежности и безопасности работы подстанции.

Что касается общего состояния основных бетонных инфраструктур (столбы, строительные и опорные конструкции), частичная замена или реконструкция основного оборудования не рекомендуется. Подстанция должна быть полностью реконструирована в качестве второго приоритета среди оцениваемых проектов. Из-за ограничения свободной земли проектирование и строительство будут осуществляться поэтапно путем временного отключения и шунтирования смежных линий. Временные соединения должны быть запланированы в соответствии с потоками линий и физической ориентацией линий вокруг подстанции. Оценочная стоимость подстанции «Кристалл» без учета обновленного оборудования (выключатели и трансформаторы тока) составляет около ~ 13 миллионов долларов США.

6.3. Модернизация системы управления и связи ПС 220 кВ Торобаева-

Линия Лочина:

Хотя эта линия имеет возраст более 40 лет и работает с электрохимическими/аналоговыми системами управления и защиты, поток мощности на этой двухцепной линии очень низок даже для аварийного случая N-1. Этот уровень нагрузки делает саму линию менее важной, и восстановление управления и защиты имеет последний приоритет для обновления.

Что касается бетонной/строительной инфраструктуры подстанции, рекомендуется обновить всю инфраструктуру управления/защиты в рамках надлежащего графика без какой-либо срочности. Подобно зданию Кристалла, здание управления и защиты подстанции Торобаева находится в нехорошем состоянии. Кажется, что в нем есть некоторые трещины и разделения на соединительной части боковых стен и верхних частей. Имеются некоторые недостатки герметизации на уровне земли для релейных панелей. Что касается постоянного изменения климатических условий, способность здания выдерживать внешние условия (ветер, дождь, отложения пыли/загрязнения) могла снизиться за 40 лет и может оказаться недостаточной на следующие годы. Реле являются чувствительным внутренним оборудованием и должны устанавливаться и эксплуатироваться в чистом и хорошо защищенном помещении. Внутри старого здания нелегко или практически отслеживать и предотвращать любые утечки жидкости, повышение влажности, отложения пыли или другие возможные нарушения

¹³ [Измерение сейсмического риска в Стратегии снижения сейсмического риска в Киргизской Республике, ВБ](#)

что может привести к отказу системы управления и защиты. Из-за нахождения в зоне сейсмической активности Ошская область пережила 5 землетрясений за последние два столетия¹⁴. Старение здания в последующие годы увеличит сейсмический риск для помещений управления и защиты. Еще один момент, который можно упомянуть здесь, это риск пожара внутри здания. Активная противопожарная защита отсутствует, а материал, используемый на полу, не является огнестойким.

Поскольку потребность в этом пункте (восстановление схемы управления и защиты линии Лочин) имеет последний приоритет, он может эксплуатироваться в течение нескольких лет, в то время как здание полностью завершит свой технический срок службы, и полное обновление здания со всей новой схемой управления и защиты будет осуществимо. В противном случае будет двойная работа для схемы управления и защиты, и через несколько лет здание будет реконструировано из-за старения. Кроме того, восстановление всего здания со всеми релейными/контрольными компонентами обеспечит меньшую удельную стоимость для системы управления и защиты по сравнению с заменой отдельных реле.

Если будет решено отремонтировать только управление/защиту двухцепной линии, предполагаемая стоимость составит 276 тыс. долл. США. Напротив, если будет обновлена вся схема управления и защиты, предполагаемая стоимость составит около ~2,15 млн. долл. США (1,84 млн. долл. США на строительство и 307 тыс. долл. США на схему управления и защиты)

¹⁴ <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202447403010>