

УЛУЧШЕНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Попова Инга Эдуардовна, старший преподаватель, Кыргызский технический университет им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова, 66, e-mail: inga-kiv@mail.ru; orcid.org 0000-0002-8280-196

Аннотация. Система электроснабжения (СЭС) промышленных предприятий, городов и сельского хозяйства – это второй по значимости энергетический объект после электроэнергетической системы. Уровень автоматизации СЭС по сравнению с электроэнергетическими сетями устарел, поэтому многие распределительные сети СЭС управляются вручную, а значит уровень их надежности низок. СЭС обладает разветвленной сетью, длина линий измеряется тысячами километров, поэтому к ним предъявляются высокие требования надежности. Это можно достичь использованием новых автоматических технических устройств. В последнее время для автоматизации распределительных сетей широкое применение получили реклоузеры различных типов и интеллектуального включения. В перспективе для СЭС будут использованы технические средства, основанные на широком применении цифровизации.

Ключевые слова: система электроснабжения (СЭС), реклоузер, интеллектуальные автоматические повторные включения, надежность, перерыв СЭС, недоотпуск, коммутационно-защитная аппаратура, линия электропередач, длительность перерыва, оптимизация, отказ, цифровизация, безотказность, повреждение распределительных сетей, распределительные устройства, защита от замыканий на землю (ОЗЗ).

IMPROVEMENT OF POWER SUPPLY SYSTEMS AT THE EXPENSE OF APPLICATIONS OF NEW TECHNICAL DEVICES

Popova Inga Eduardovna, Senior Lecturer, Kyrgyz Technical University. I. Razzakov, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, Ch. Aitmatov Ave., 66, e-mail: inga-kiv@mail.ru; orcid.org 0000-0002-8280-196

Abstract. The power supply system (SES) of industrial enterprises, cities and agriculture is the second most important energy facility after the electric power system. The level of SES automation in comparison with electric power networks is outdated, therefore, many SES distribution networks are manually controlled, which means their level of reliability is low. SES has an extensive network, the length of the lines is measured in thousands of kilometers, therefore high reliability requirements are imposed on them. This can be achieved by using new automatic technical devices. Recently, reclosers of various types and intelligent switching have been widely used for the automation of distribution networks. In the future, the SPP will use technical means based on the widespread use of digitalization.

Keywords: power supply system (SES), recloser, intelligent automatic reclosing, reliability, break of SES, undersupply, switching-protective equipment, power line, break duration, optimization, failure, digitalization, reliability, damage to distribution networks, switchgear, ground fault protection (OZZ).

Введение

Структура электрических сетей во всем мире, в том числе СЭС Кыргызстана, претерпевает значительные изменения, вызванные повышенными требованиями к качеству ЭЭ, надежности СЭС, внедрению энергосберегающих технологий; это влечет за собой необходимость интеграции крупномасштабных возобновляемых источников энергии.

В период активной цифровизации сетей, ключевым элементом системы, отвечающим всем современным требованиям автоматизации, защиты и связи является шкаф управления соответствующего типа.

Современные новые технические средства обладают самым совершенным функционалом, упрощают управляемость, улучшают наблюдение за сетью, позволяя потребителям эксплуатировать сети максимально надежно и безопасно.

Электрические сети напряжением 6-20 кВ являются разветвленными, с большим количеством установленной коммутационно-защитной аппаратуры (КЗА), понижающих трансформаторов. Распределение ЭЭ, в основном, осуществляется по смешанной (радиально-магистральной) схеме сети до 1000 В, которая обладает еще большей разветвленностью. При управлении этими сетями обеспечение селективности КЗА усложняется, часто происходят неселективное отключение, которое снижает надежности СЭС. Для передачи электроэнергии в сетях ЭС применяется сочетание кабельно-воздушных линий (КВЛ). Поэтому, применение в них новых, современных, надежно работающих устройств, очевидно.

Здесь, уместно дать краткие сведения о СЭС Кыргызстана [7]. В настоящее время, в энергосистеме действуют 16 электростанций, в т. ч. 14 ГЭС и 2 ТЭЦ, установленная мощность которых составляет 3264 МВт, из них соответственно:

Наименование	уст. мощность, МВт; протяженность, км; к-во, шт.
ГЭС	2630 МВт
Высоковольтные линии электропередач 11-500 кВ	6642 км
Высоковольтные линии электропередач 35 кВ	4642 км
Распределительные сети 0.4-6-10 кВ	50700 км
Подстанции напряжением 110-500 кВ	190 шт.
Подстанции напряжением 6-10/0.4 кВ	23684 шт.

Эти данные свидетельствуют об огромном сложном энергохозяйстве и без применения современных технических средств и цифровизации сетей 0.4-6-10 кВ не обойтись.

В настоящей работе рассматриваются два новых технических средства для повышения надежности СЭС – реклоузеры и интеллектуальные автоматические повторные выключатели (АПВ), поскольку их применение не полностью раскрыты в имеющейся информации.

1. Реклоузеры на 6-10 кВ [2]

Реклоузер предназначен для применения в воздушных и воздушно-кабельных распределительных сетях напряжением 6-10 кВ в качестве: секционирования сети с односторонним питанием, секционирования сети с двухступенчатым питанием; сетевого резервирования защитного аппарата на ответвлении радиально-магистральной сети. Может применяться как отдельно стоящий аппарат для защиты отходящих линий или совместно с такими же аппаратами как средство комплексной автоматизации. Реклоузер способен решать следующие задачи: автоматически отключать поврежденные участки сети; автоматическое восстановление питания на участках неповрежденной сети; осуществлять автоматический сбор информации о режиме работы сети; нахождение поврежденного участка сети; оперативные переключения в местной и дистанционной реконфигурациях сетей; АПВ линий и интеграцию в системы телемеханики. На рис. 1 приведена принципиальная электрическая схема включения реклоузера [2].

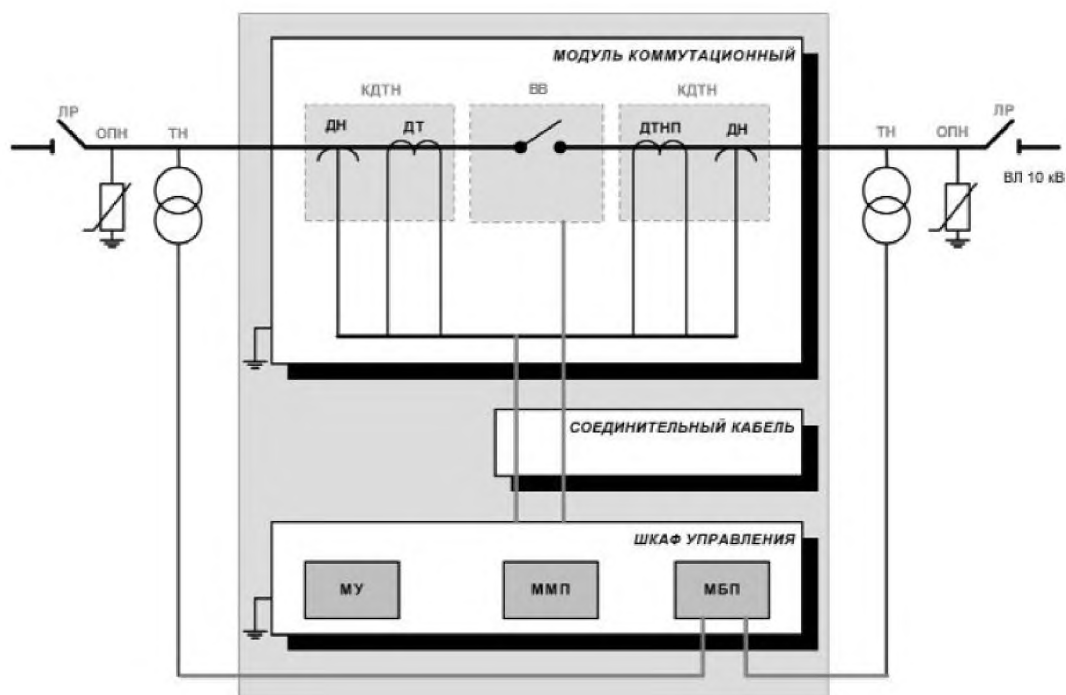


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема включения реклоузера РВА/TEL в линию электропередачи: ДН- датчик напряжения; ДТНП – датчик тока нулевой последовательности; КДТН – комбинированный датчик тока и напряжения; ВВ – вакуумный выключатель; МУ – модуль управления; ММП – модуль микропроцессора; МБП – модуль бесперебойного питания; ОПН – ограничитель перенапряжения; ТН – трансформатор напряжения; ЛР – линейный разъединитель; ВЛ – воздушная линия.

1.1. Типы реклоузеров

1.1.1. Реклоузер серии РВА/TEL

Аппарат серии РВА/TEL выпускается РК «Таврида электрик». Вакуумный реклоузер – новое поколение коммутационного оборудования, объединяющий в себе: микропроцессор релейной защиты и автоматики; коммутационный модуль со встроенным вакуумным выключателем и системой измерения токов и напряжений.

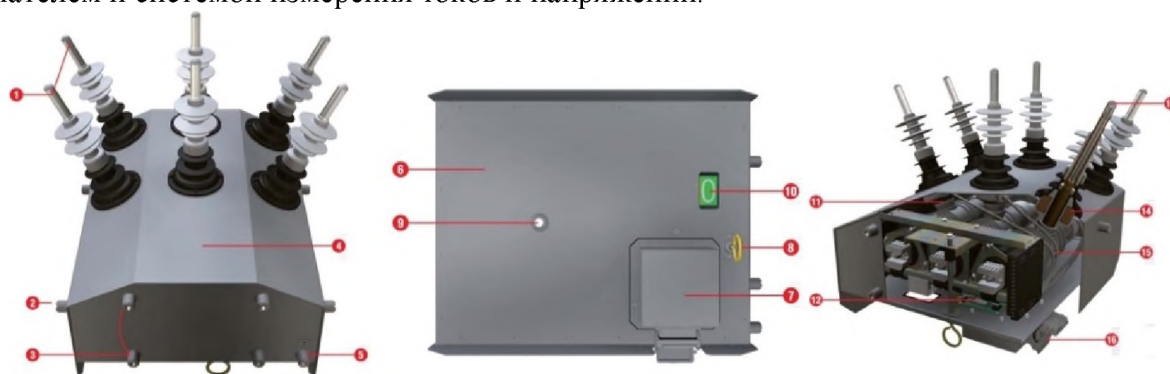


Рис.2. Конструкция коммутационного модуля: 1- высоковольтные вводы; 2 - отверстие для присоединения монтажных рым; 3 - отверстие для присоединения монтажных кронштейнов; 4 – верхний кожух; 5- отверстие для болта заземления; 6 - нижняя крышка; 7 - защитная крышка разъемов вторичных цепей; 8 - кольцо ручного отключения; 9 - дренажный фильтр; 10 - указатель положения главных контактов; 11 - выключатель вакуумный ВВ/TEL; 12 – микропереключатели; 13 - токоведущая жила; 14 - комбинированный датчик тока и напряжения; 15 - цепи изменения; 16 - штепсельный разъем.

Реклоузеры отличаются высоким качеством и включают ряд уникальных технических решений: малое время включения-отключения; быстродействие АПВ (трехкратное); высокие ресурсы (механический и коммутационный); гибкая отстройка предохранителей; журналы аварийных событий; интеграция в систему телемеханики; устойчивость к электромагнитным воздействиям; удобство монтажа, обслуживания и простота эксплуатации; самодиагностика. В состав реклоузера входят коммутационный модуль, шкаф управления, соединительный кабель.

Применение реклоузеров позволяет улучшить качество ЭЭ, это заключается в следующем: повышается надежность электроснабжения потребителей; сокращается число аварийных отключений линий; снижается недоотпуск ЭЭ; повышается время и уровень эксплуатации электрических сетей; максимально сокращаются затраты на обслуживание и ремонт сетей; применяются современные технологии автоматизации и управления распределителями.

1.1.2. Реклоузер серии OSM [10]

Этот тип реклоузера, разработанный в Австралии, производится в России. Обладает таким качеством, как надежность работы в климатических условиях низких температур северных районов страны. Не нуждается в техническом обслуживании благодаря изоляции из твердого диэлектрика и разработанной технологии гашения дуги в вакууме. Коммутационный блок позволяет контролировать выброс газов в случае внутреннего КЗ. Важный элемент безопасности этого реклоузера заключается в том, что продукты горения дуги выбрасываются вверх, долетая до земли уже не представляют опасности для людей и имущества. Заслуженно получил репутацию лучшего в своем классе распределительного устройства. Шкаф управления серии RS является ключевым элементом системы, которая отвечает современным требованиям автоматизации, защиты и связи.

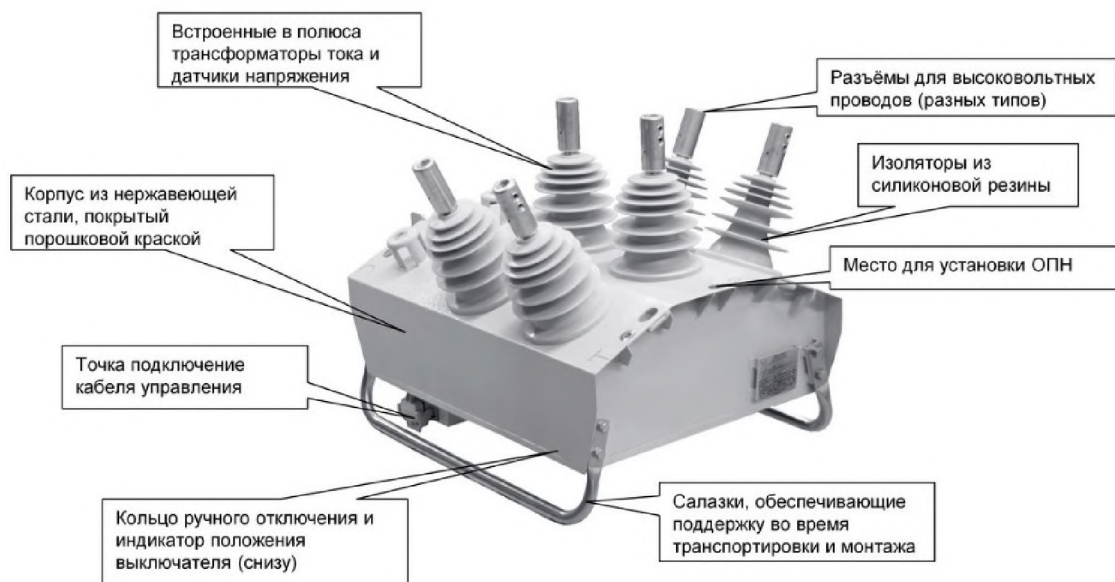


Рис.3. Конструкция OSM

Основными характеристиками реклоузера OSM являются: диапазон рабочих температур от -60°C до $+55^{\circ}\text{C}$; порог чувствительности ОЗЗ от 200 мА; многоступенчатая максимальная токовая защита; защита от обрыва фазы по току обратной последовательности; блокировка включения при наличии напряжения на стороне нагрузки; интеллектуальный алгоритм АВР; АЧР с возможностью программирования; защита от повышения частоты; функция свободного программирования SGA на базе IEC61499; функциональная совместимость с технологией Smart Grid (целенаправленная политика крупных игроков энергорынка, направленная на повышение эффективности использования ресурсов).

1.1.3. Рекомендации по применения реклоузеров

Выше перечисленные реклоузеры этих типов и их характеристики позволяют применять их в СЭС локальной автоматизации, замещать несколько видов релейной защиты и автоматики, а также способствовать применению новейшей технологии Smart Grid в автоматизации СЭС.

Рассмотрим несколько примеров [8] (рис. 4, 5).

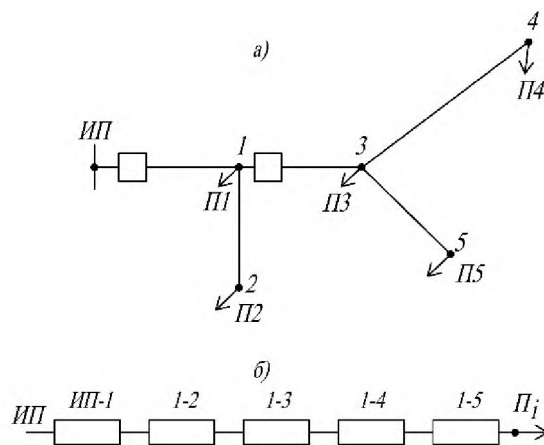


Рис. 4. Схема участка условной сети (а) и схема замещения для расчёта показателей надежности (б)

В узлах 1, 2, 3, 4, 5 отсутствуют коммутационно-защитные аппараты. Защита, осуществляемая РЗ выключается. При повреждении участка сети, происходит его отключение выключателем, поэтому потребители П1...П5 обесточиваются, происходит перерыв в питании СЭС.

Для восстановления электроснабжения, к источнику питания (ИП) выезжает оперативная выездная бригада (ОВБ).

Поэтому среднее время восстановления СЭС составляет:

$$\tau = \tau_0 + \tau_{п.м.} + \tau_p, \text{ ч} \quad (1)$$

где τ_0 – время от момента отказа до пробного включения линии; $\tau_{п.м.}$ – время поиска места повреждения; τ_p – время ремонта и включения линии в работу.

В общем случае:

$$\tau_{п.м.} = 0.5 l \vartheta_x^{-1}, \text{ ч} \quad (2)$$

где l – длина поврежденного участка, км; ϑ_x – скорость передвижения по трассе линии с целью обнаружения места повреждения.

Следовательно, ожидаемый недоотпуск электроэнергии i -му потребителю составит:

$$W_i = P_{ср i} \cdot \tau_э, \text{ кВт.ч} \quad (3)$$

где $\tau_э$ – эквивалентная продолжительность перерыва, ч.

Используя данные, приведенные в [8] для рис. 1 и результаты расчета получим:

$$P_{ср2} = 54.8 \text{ кВт}; \quad P_{ср3} = 32 \text{ кВт}; \quad P_{ср4} = 18.3 \text{ кВт}; \quad P_{ср5} = 73.1 \text{ кВт};$$

$$\tau_p = 5; \quad \tau_0 = 1; \quad \tau_{п.м.} = 3; \quad \tau = 5 + 1 + 3 = 9; \quad \tau_э = 39,2 \text{ ч/год};$$

$$W_{н.д.i} = 39.2 \sum P_{ср} = 39.2(54.8 + 32.0 + 18.3 + 73.1) = 9670 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год.}$$

При установке реклоузера вместо выключателя, то время поиска повреждения уменьшается, время затрачивается только на ремонт, т.е. $\tau_0 \approx 0$, поскольку реклоузер сразу указывает на поврежденный участок. Эквивалентное время $\tau_э = 5$ ч, и недоотпуск электроэнергии составит:

$$W_{н.д.i} = 5 \cdot 246.7 = 1233,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год, т.е.}$$

$$1233.5:9670=88,25\% \text{ меньше.}$$

Кроме того, реклоузер осуществляет защиту линий от всех видов повреждений: 1-; 2-; 3-х фазных КЗ, осуществляет повторное включение линии. РЗ схемы выключателем не гарантирует защиту от однофазного КЗ.

Рассмотрим еще один пример [8]. На рис.5 приведена схема с автоматическим секционным отделителем (АСО).

В электрических сетях 6, 10 кВ сельскохозяйственного назначения в качестве автоматических аппаратов используются секционные выключатели (СВ) и автоматические секционные отделители (АСО). При коротком замыкании на линии СВ происходит автоматическое срабатывание СВ, обесточиваются участки линий, находящиеся за этим аппаратом, а участки до СВ, продолжают получать питание. Принцип работы отделителей АСО: при КЗ на линии за отделителем происходит отключение СВ или линейного выключателя на ИП. Отделитель срабатывает в бестоковую паузу, поврежденная часть линии отключится. СВ или линейный выключатель срабатывает повторно, восстанавливая питание потребителей, которые находятся до места установки АСО.

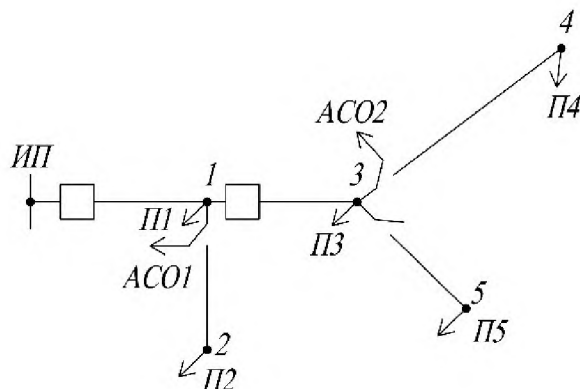


Рис. 5. Схема с АСО

Анализируя результаты приведенных примеров [8], можно сделать вывод, что с АСО недоотпуск энергии составляет 3358 кВт·ч/год, т.е., по сравнению с резервной сетью, сокращается на 46%.

Если в узле 3 установить реклоузер, то недоотпуск ЭЭ сократится до 1710 кВт·ч/год - $\approx 50\%$. Другой вариант – можно установить реклоузер в начале линии и в узле 3, тогда, надёжность работы сети увеличится значительно больше.

Вторым видом улучшения режима работы СЭС является интеллектуальное автоматическое повторное включение (ИАПВ) [9]. Это устройство применяется преимущественно в кабельно-воздушных линиях СЭС городов и сельского хозяйства. Смешанное выполнение линий электропередач (ЛЭП), часть воздушных линий (ВЛ), часть

кабельных воздушных линий (КВЛ) экономически оправдано, особенно в СЭС городов.

Как известно, АПВ ЛЭП являются элементом повышения надежности передачи ЭЭ. Однако, на КВЛ применение функции АПВ без контроля повреждения участка линии (АПВ КВЛ), может привести к дополнительному ущербу. Необходимо применять селективность АПВ КВЛ, при которой АПВ определяется поврежденный участок КВЛ и при повреждении кабеля АПВ блокирует его.

Разработано множество способов нахождения поврежденного участка КВЛ, выполнения селективного АПВ КВЛ (дистанционные и дифференциальные) [9,12]. Дифференциальные способы определяют поврежденный участок путем измерения сигналов по концам контролируемых зон; дистанционные – удаленно по одному или двум концам КВЛ, определении расстояния от места измерения до места повреждения. Дистанционные, в свою очередь делятся на активные и пассивные (односторонние и двусторонние: с синхронизацией времени и без синхронизации при большом числе веток ЛЭП). Классификация этих методов приведена на рис. 6.

Логика работы АПВ КВЛ предусматривает возможность использования как алгоритмов определения поврежденного участка, так и алгоритмов, позволяющих определить конкретное место повреждения.

Этот способ применялся студентами при прохождении производственной практики в ЧуПВЭС. Анализировались способы надежности различных КВЛ, результаты анализа показали, что в зависимости от длины КВЛ селективность АПВ сокращает перерыв подачи ЭЭ с 8 до 3 часов.



Рис. 6. Классификация методов селективного АПВ КВЛ

Заключение

1. Применение в СЭС современных технических устройств позволяет оптимизировать режим работы СЭС (повысить надежность, уменьшить перерыв в электроснабжении, сократить недоотпуск ЭЭ)

2. Современные технические устройства позволяют применить систему Smart Grid.

3. Реклоузер – простейшее техническое решение, которое: увеличивает чувствительность защиты от замыканий на землю и обрыва фаз, осуществляет непосредственную токовую защиту, автоматический ввод резервного источника питания, автоматическую частотную разгрузку, обеспечивает синхронизацию источников питания.

4. Интеллектуальное АПВ может быть использовано при конфигурации кабельных высоковольтных линий: КЛ-ВЛ; КЛ-ВЛ-КЛ; ВЛ-КЛ для обеспечения селективности работы РЗ и автоматических устройств.

Список литературы

1. Федров А.А. Основы электроснабжения промышленного предприятия. -М.: Энергия, 1972 г.
2. Конюхова Е.А. Электроснабжение. -М.: Изд. дом МЭИ, 2014 г.

3. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий. -М.: Инжиниринг, 2007 г.
4. ПУЭ - Правила устройства электроустановок. -М.: Изд. ЭНАС, 2017 г.
5. Справочник по энергосбережению и электрооборудованию промышленных предприятий и общественных зданий. /Под общей ред. профессоров МЭИ (ТУ). Изд. Дом МЭИ, 2010 г.
6. Электротехнический справочник. Производство, передача и распределение электроэнергии. Под общей ред. профессоров МЭИ. Изд. Дом МЭИ, 2014 г. Т. 2,3
7. Рахимов К.Р. Электроэнергетика независимого Кыргызстана. –Бишкек, 2016 г.
8. Зорин В.В. и др. Надежность систем электроснабжения. –Киев: Высшая школа, 1994 г.
9. Шуляков А.Л., Пелевин Л.С., Лоскутов А.А. Повышение надежности кабельно-воздушных линий электропередач путем организации интеллектуального АПВ. //Электроэнергия. Передача и распределение № 3, 2020 г. с. 88-93.
10. NOJA POWER самые современные реклоузеры в мире. //Электроэнергия. Передача и распределение № 1 (58). с. 36-37
11. Будько И.А., Зуль Н.М. Электроснабжение сельского хозяйства. – М.: Агропромиздат, 1990 г.
12. Осмонова Р.Ч. Расчет параметров межабонентских участков распределительной сети/ Р.Ч. Осмонова, Т.Дж. Койбагаров, Т.О. Жаныбаев, Т.Т. Оморов // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. №3 (55). 2020. С. 88-98