

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
САЯНО-ШУШЕНСКИЙ ФИЛИАЛ

Кафедра гидроэнергетики, гидроэлектростанций, электроэнергетических  
систем и электрических сетей

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_  
подпись      инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

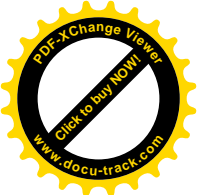
**КОМПЛЕКСНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ И МОДЕРНИЗАЦИЯ  
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 6-10 КВ С ПРИМЕНЕНИЕМ  
ЭЛЕГАЗОВЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ НАГРУЗКИ ENSTO AUGUSTE  
В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ФИЛИАЛА  
ПАО "МРСК СЕВЕРНОГО КАВКАЗА" - "КАББАЛКЭНЕРГО"**

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

13.04.02.06 Гидроэлектростанции

Руководитель	_____	_____	<u>Р.М. Настуев</u>
	подпись, дата	должность	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>А.А. Анахаев</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент	_____	_____	<u>Г.Б. Сидикбков</u>
	подпись, дата	должность	инициалы, фамилия
Нормоконтролёр	_____	_____	<u>А.А. Чабанова</u>
	подпись, дата	должность	инициалы, фамилия

Саяногорск 2021



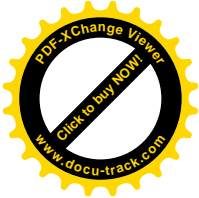
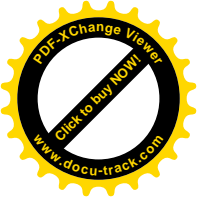
## АННОТАЦИЯ

В магистерской работе рассмотрены различные подходы к секционированию воздушных распределительных сетей среднего напряжения с целью повышения надежности электроснабжения потребителей. Приведены оценки технической эффективности автоматического секционирования линий электропередачи 10(6) кВ с применением аппаратов – вакуумных реклоузеров с использованием в качестве основного показателя надежности электроснабжения – значения недоотпуска электрической энергии потребителям и элегазового выключателя нагрузки.

Цель магистерской диссертации заключается в установке элегазовых выключателей нагрузки Ensto Auguste в Черекских районных электрических сетях филиала ПАО "МРСК Северного Кавказа" - "КабБалкэнерго"

Задачи, поставленные для решения в данной работе: Основная задача установки элегазовых выключателей нагрузки обеспечить максимальный уровень надежности электроснабжения потребителей фидера, а также оптимизировать процесс локализации и поиска поврежденного участка. В соответствии с данной задачей, в качестве критерия оптимизации выбора мест установки ЭВН в сети, выбирается критерий минимизации суммарного недоотпуска электрической энергии.

**Ключевые слова:** гидростанция, выключатели нагрузки, воздушные линии, распределительные сети, вакуумные реклаузеры.



## АВТОРЕФЕРАТ

**Тема магистерской диссертации:** Комплексная автоматизация и модернизация распределительных сетей 6-10 кВ с применением элегазовых выключателей нагрузки ENSTO AUGUSTE в электрических сетях филиала ПАО "МРСК Северного Кавказа" - "Каббалкэнерго"

**Объектом исследования** Черекские районные электрические сети филиала ПАО "МРСК Северного Кавказа" - "КабБалкэнерго"

**Предметом исследования** Автоматическое секционирование воздушных линий 6-10 кВ.

**Актуальность работы.** На сегодня около 40% линий выработали нормативный ресурс и более 80% нуждаются в техническом перевооружении. По данным различных источников длительность отключений потребителей составляет порядка 70ч. В год на один фидер, что на 2 порядка выше, чем в технически развитых западных странах. Среднее число повреждений, вызывающих отключения ВЛ напряжением 35 кВ, составляет около 25 на 100 км линии в год.

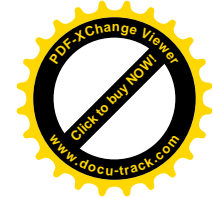
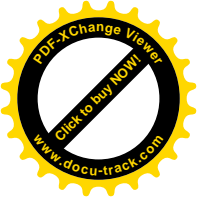
Автоматическое секционирование линии уменьшает объем аварийных отключений потребителей при повреждениях, ускоряет процесс отыскания повреждений, позволяет быстрее готовить рабочие места при ремонтных работах, повышает культуру эксплуатации ВЛ.

**Целями** настоящей работы являются:

Основная задача установки элегазовых выключателей нагрузки обеспечить максимальный уровень надежности электроснабжения потребителей фидера, а также оптимизировать процесс локализации и поиска поврежденного участка. В соответствии с данной задачей, в качестве критерия оптимизации выбора мест установки ЭВН в сети, выбирается критерий минимизации суммарного недоотпуска электрической энергии.

**Дальнейшее развитие работы:** Работа может послужить основой к применению элегазовых выключателей нагрузки ENSTO AUGUSTE в распределительных сетях 6-10 кВ

**Практическое применение:** Результаты работы практической реализации является возможность концепции автоматического секционирования линии в виде децентрализованной системы секционирования с применением автоматических пунктов секционирования – элегазовых выключателей нагрузки.



## ABSTRACT

**The topic of the master's thesis:** Complex automation and modernization of 6-10 kV distribution networks with the use of ENSTO AUGUSTE gas-fired load switches in the electric networks of the branch of PJSC IDGC of the North Caucasus-Kabbalkenergo The

**Object of the study** is the Chereksky district electric networks of the branch of PJSC IDGC of the North Caucasus - KabBalkenergo

**The subject of the study** is Automatic partitioning of 6-10 kV overhead lines.

**Relevance of the work.** Today, about 40% of the lines have developed a standard resource and more than 80% need technical re-equipment. According to various sources, the duration of consumer outages is about 70 hours. Per year per feeder, which is 2 orders of magnitude higher than in technically developed Western countries. The average number of damages that cause disconnections of 35 kV overhead lines is about 25 per 100 km of line per year.

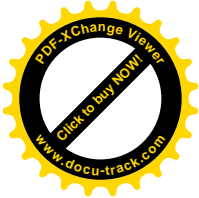
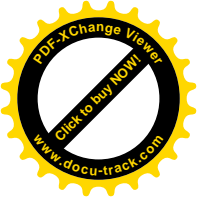
Automatic partitioning of the line reduces the volume of emergency disconnections of consumers in case of damage, accelerates the process of finding damage, allows you to quickly prepare jobs during repair work, increases the culture of operation of overhead lines.

The objectives of this work are:

**The main task** of installing gas-insulated load switches is to ensure the maximum level of reliability of the power supply to the feeder consumers, as well as to optimize the process of localization and search for the damaged area. In accordance with this task, as a criterion for optimizing the choice of EVN installation locations in the network, the criterion for minimizing the total under-discharge of electrical energy is selected.

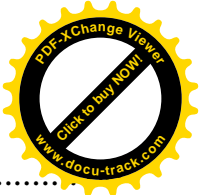
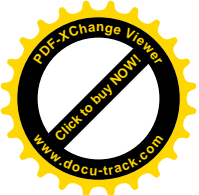
**Further development of the work:** The work can serve as a basis for the use of ENSTO AUGUSTE gas-operated load switches in 6-10 kV distribution networks

**Practical application:** Results of the practical implementation is the possibility of the concept of automatic partitioning of the line in the form of a decentralized partitioning system with the use of automatic partitioning points – gas-operated load switches.

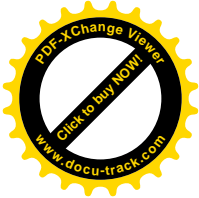
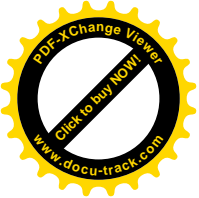


## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 Автоматическое секционирование распределительных сетей 6-10 кВ.....	9
1.1 Схемы секционирования линий .....	9
1.2 Сдерживающие факторы на пути реализации концепции автоматического секционирования.....	14
1.3 Сложившиеся подходы к секционированию линий.....	15
1.4 Децентрализованная система секционирования воздушных распределительных сетей среднего напряжения.....	17
1.5 Алгоритмы децентрализованной системы секционирования .....	19
1.6 Оценка эффективности секционирования с применением выключателей нагрузки.....	21
1.7 Составные элементы.....	22
1.8 Выключатели нагрузки и их типы.....	24
1.9 Вакуумные выключатели нагрузки.....	26
1.10 Элегазовые выключатели нагрузки.....	26
1.11 Конструктивные элементы и характеристики элегазового выключателя нагрузки Auguste финской фирмы Ensto .....	27
1.12 Подключение к SCADA .....	30
1.13 Система измерения токов.....	31
1.14 Токовая защита от межфазных КЗ и однофазных замыканий на землю. 31	
1.15 Локализация аварий и восстановление.....	31
1.16 Функции автоматического секционирования в бестоковую паузу .....	35
1.17 Безопасность.....	36
1.18 Общие рекомендации .....	36
1.19 Аварийные ситуации .....	37
1.20 Техническое обслуживание .....	37
1.21 Монтаж.....	37
1.22 Принцип работы системы защиты ЭВН Auguste.....	38
1.23 Линии с двухсторонним питанием.....	39
1.24 Примеры использования современных (элегазовых) выключателей нагрузки.....	41
1.25 Приводы выключателей нагрузки.....	45
1.26 Оценка эффективности секционирования с применением реклоузеров..	45
1.27 Количество отключений линий. ....	47
1.28 Время поиска и локализации повреждения.....	48
1.29 Отключенная нагрузка.....	50
1.30 Анализ результатов расчёта.....	55
2 Проект по комплексной автоматизации и модернизации распределительных сетей с применением элегазовых выключателей нагрузки Ensto Auguste в Черекских районных электрических сетях филиала ПАО "МРСК Северного Кавказа" - "КабБалкэнерго" .....	57
2.1 Цели и задачи проекта. ....	57



2.2 Исходные данные.....	
2.3 Выбор мест установки выключателей нагрузки.....	61
2.4 Методика технико-экономического обоснования.....	62
2.5 Базовый вариант.....	62
2.6 Вариант с элегазовыми выключателями нагрузки.....	63
2.7 Сравнительный анализ.....	64
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	<b>65</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b> .....	<b>66</b>



## ВВЕДЕНИЕ

В условиях перехода на рыночные отношения коренным образом меняются представления об отношениях между субъектами рынка электрической энергии. Конечные потребители все чаще обращают внимание на энергоснабжающих организаций на уровни надежности электроснабжения. Это делает задачу повышения надежности электроснабжения весьма актуальной.

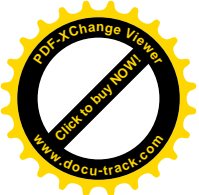
Традиционно наиболее слабым звеном в этой системе электроснабжения являются воздушные распределительные сети 10(6) кВ один из этапов на пути электрической энергии потребителю. Протяженность воздушных линий 10(6) кВ России составляет это почти 45% общей протяженности линий р суб7, с электропередачи 0,4-110 кВ. Около 70% всех нарушений электроснабжения происходит именно в сетях данного класса напряжения.

Исторически более 80% воздушных линий электропередачи 10(6) кВ сетевых компаний России построены по радиальному принципу древовидной конфигурации. Сечения проводов ступенчато уменьшаются от головных участков к концу линии, имеют большое число резервных связей, выполненных на линейных разъединителях. Защитные аппараты (маломасляные выключатели с электромеханическими терминалами релейное защиты и автоматики) устанавливаются в центрах питания (подстанциях 110/35/10(6) кВ). Средняя протяженность линий по магистрали составляет 16 км, протяженность ответвлений – 5-6 км. Имеет место значительная неоднородность плотности нагрузки.

На сегодня около 40% линий выработали нормативный ресурс и более 80% нуждаются в техническом перевооружении. По данным различных источников длительность отключений потребителей составляет порядка 70ч. В год на один фидер, что на 2 порядка выше, чем в технически развитых западных странах. Среднее число повреждений, вызывающих отключения ВЛ напряжением 35 кВ, составляет около 25 на 100 км линии в год.

В магистерской работе рассмотрены различные подходы к секционированию воздушных распределительных сетей среднего напряжения с целью повышения надежности электроснабжения потребителей. Приведены оценки технической эффективности автоматического секционирования линий электропередачи 10(6) кВ с применением аппаратов – вакуумных реклоузеров с использованием в качестве основного показателя надежности электроснабжения – значения недоотпуска электрической энергии потребителям и элегазового выключателя нагрузки.

Секционирование электрической сети заключается в делении ЛЭП с помощью коммутационных аппаратов на несколько участков. Секционирование бывает неавтоматическое и автоматическое. К неавтоматическому секционированию относится деление сети с помощью разъединителей и выключателей нагрузки, не имеющих устройств для автоматического отключения. Разъединители устанавливаются вдоль линии на



определенных расстояниях друг от друга и служат для ее секционирования в процессе поиска повреждения методом пробных включений.

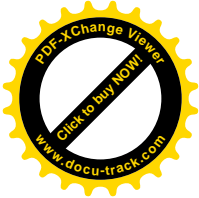
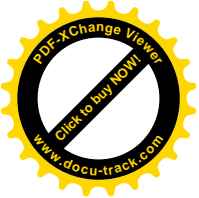
Автоматическое секционирование выполняется коммутационными аппаратами, оборудованными приводами и устройствами автоматики, а в ряде случаев и релейной защитой, действующими на изменение положения аппаратов под напряжением или в бестоковую паузу.

Аппараты, предназначенные для автоматического срабатывания, делят ЛЭП на части. При возникновении повреждения на участке между местом установки и нормальным разрезом такие аппараты обеспечивают отключение не всей ЛЭП, а лишь поврежденного участка, сохраняя питание потребителей на начальном участке.

В начале 80-х годов в отечественной литературе применительно к воздушным распределительным сетям в качестве наиболее эффективного способа повышения надежности электроснабжения было предложено автоматическое секционирование линии коммутационными аппаратами (плавкие предохранители; выключатели, оборудованные релейной защитой; автоматические отделители), под которым подразумевалось разделение линии электропередачи на несколько участков с тем, чтобы сократить количество отключаемой нагрузки при возникновении повреждения на линии.

Автоматическое секционирование линии уменьшает объем аварийных отключений потребителей при повреждениях, ускоряет процесс отыскания повреждений, позволяет быстрее готовить рабочие места при ремонтных работах, повышает культуру эксплуатации ВЛ.





## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Новые условия в экономике и электроэнергетике наряду с неудовлетворительным состоянием воздушных распределительных сетей среднего напряжения выводят на качественно новый уровень задачи повышения надёжности электроснабжения потребителей.

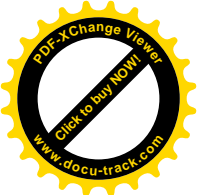
2. Автоматическое секционирование воздушных линий является важнейшим направлением повышения надёжности электроснабжения потребителей среднего напряжения в России и за ее пределами.

3. Препятствием на пути практической реализации концепции автоматического секционирования в отечественных распределительных сетях стала неготовность первичного оборудования - коммутационных аппаратов, релейной защиты и автоматики. Как следствие, в настоящее время в большинстве случаев для управления аварийными режимами работы сети используются несовершенные принципы ручного местного и дистанционного секционирования линий.

4. Анализ зарубежного опыта выявил возможность практической реализации концепции автоматического секционирования линии в виде децентрализованной системы секционирования с применением автоматических пунктов секционирования – элегазовых выключателей нагрузки.

5. Основным эффектом от применения децентрализованной системы секционирования является автоматическое селективное отключение и локализация повреждённого участка и автоматическое восстановление питания неповреждённых потребителей и, как следствие, значительное сокращение времени восстановления электроснабжения, снижение недоотпуска электрической энергии потребителям, повышение надёжности электроснабжения и уменьшение жалоб от потребителей.

6. Сравнительный анализ эффективности различных вариантов автоматического секционирования линий на базе элегазовых выключателей нагрузки выявил количественные показатели основного эффекта. В зависимости от варианта секционирования по сравнению с базовым вариантом (ручное, местное секционирование) недоотпуск электрической энергии, как основной показатель надёжности, снижается на 70-87%. Результаты расчётов показывают, что комбинируя места установки ЭВН в сети можно добиваться разной степени надёжности электроснабжения потребителей. Это позволяет применять концепцию автоматического секционирования с применением ЭВН адресно, в отношении наиболее ответственных потребителей. Таким образом, децентрализованная система секционирования воздушных распределительных сетей позволяет существенно влиять на надёжность как всего фидера в целом, так и его отдельных частей.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Воротницкий В.Э., Воротницкий В.В. Надежность распределительных электрических сетей 6(10) кВ – Автоматизация с применением реклоузеров // Новости электротехники. - №5. - 2002.

2. Максимов Б.К., Воротницкий В.В. Оценка эффективности автоматического секционирования воздушных распределительных сетей 6-10 кВ с применением реклоузеров с целью повышения надежности электроснабжения потребителей. - Электротехника №10. - 2005.

3. Библиографическое описание: Хасанзянов Б. Ф. О реклоузерах // Молодой ученый. — 2014. — №7.

4. Яшура А. И. Система технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования. Справочник. — М.: ЭНАС, 2008.

5. Киреева, Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий / Э.А. Киреева. - М.: КноРус, 2013. - 368 с.

6. Электрические системы. Электрические сети. : Учеб. для электроэнерг. спец. вузов/ ред. В. А. Веников. -2-е изд., перераб. и доп.. -М.: Высш. шк., 1998. - 512 с.

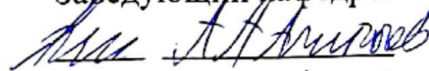
7. Назарычев, А.Н. Справочник инженера по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электрических станций и сетей. Централизованное и автономное электроснабжение объектов, цехов, промыслов, предприятий и промышленных комплексов / А.Н. Назарычев. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2006. - 928 с.

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
САЯНО-ШУШЕНСКИЙ ФИЛИАЛ

Кафедра гидроэнергетики, гидроэлектростанций, электроэнергетических  
систем и электрических сетей

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой


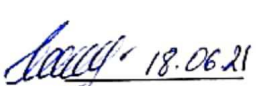
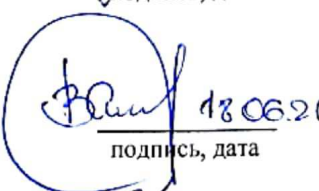
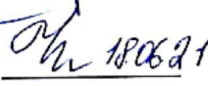
  
подпись    инициалы, фамилия  
« 18 »    июня 2021 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ  
С ВРАЩАЮЩИХСЯ ЧАСТЕЙ ГИДРОАГРЕГАТА

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

13.04.02.06 Гидроэлектростанции

Руководитель	 18.06.21 подпись, дата	ст. преподаватель кафедры ГГЭЭС СШФ СФУ должность	<u>А.А. Ключац</u> инициалы, фамилия
Выпускник	 18.06.21 подпись, дата		<u>В.Ю. Астапов</u> инициалы, фамилия
Рецензент	 18.06.21 подпись, дата	зам. начальника ЦЭТО СШФ АО «Гидроремонт-ВКК» должность	<u>В.С. Симавин</u> инициалы, фамилия
Нормоконтролер	 18.06.21 подпись, дата		<u>А.А. Чабанова</u> инициалы, фамилия

Саяногорск; Черемушки 2021