

**РУТАС**

**Инновации в системах среднего напряжения 3-35 кВ**

Содержание

Проблема..... 3

Динамика основных причин аварийных случаев..... 6

Динамика количества аварийных случаев..... 12

Решение..... 14

Основные эффекты технических решений..... 19

Прогноз аварийности до 2033 года..... 20

Внешний вид устройств..... 21

Техническая информация по устройствам «УДАТ»..... 22

Техническая информация по устройствам «Гаситель-компенсатор»..... 23

Техническая информация по устройствам «РС-гаситель»..... 24

Техническая информация по устройствам «РС-К4»..... 25

Места подключения устройств к системе электроснабжения..... 26

Мероприятия необходимые для внедрения устройств и достижения 100% селективности токовых защит от ОЗЗ..... 27

Референс-лист..... 28

Сравнение с мировыми аналогами..... 30

Диссертационные работы..... 32

Статьи..... 33

Отзывы..... 34

Приложение 1..... 41

Приложение 2..... 42

Приложение 3..... 43

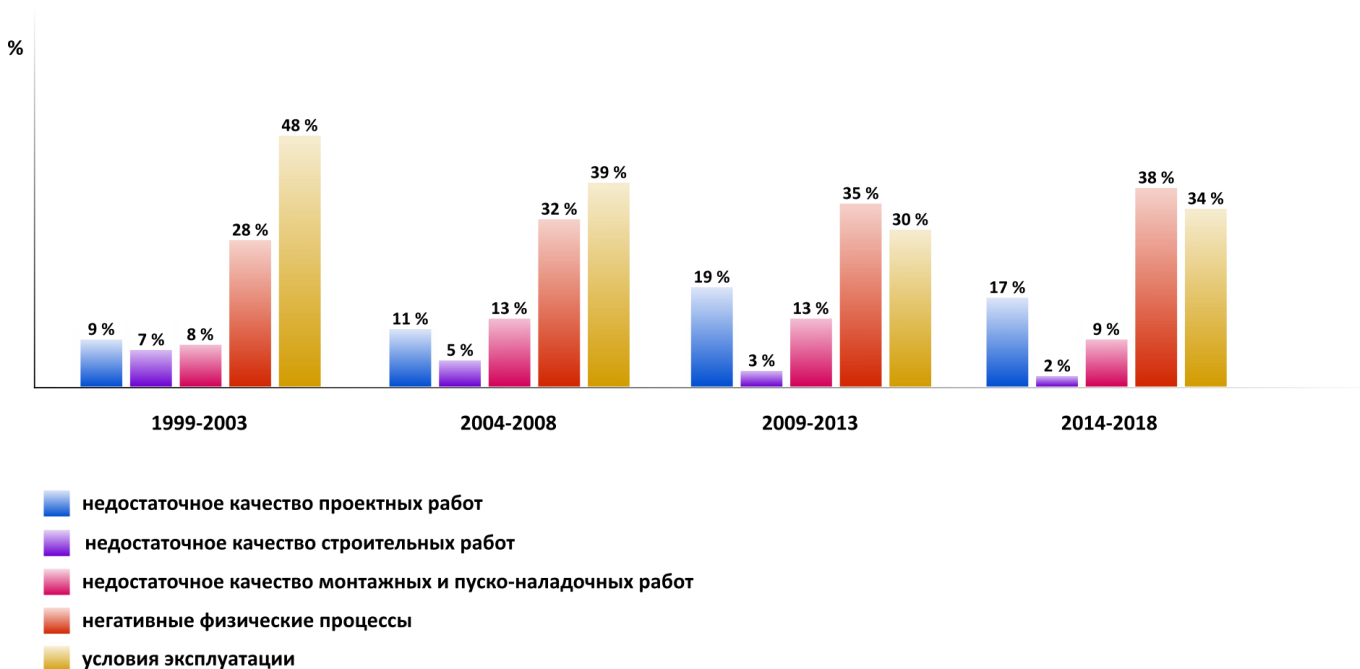
Приложение 4..... 44

**Проблема**

Развитие промышленных предприятий характеризуется ростом энерговооруженности труда (англ. Power availability per worker), повышением единичной мощности технологических машин и комплексов, внедрением современных технологий производства. Всё это требует совершенствования систем электроснабжения – повышения эффективности, надежности и безопасности их эксплуатации.

За 35 лет профессиональной деятельности членов нашей команды собрано и обработано достаточно статистических данных для формирования полноценной картины динамики количества аварийных отключений, причин аварийных отключений и их связей, факторов влияющих на надёжность электроэнергетических систем.

ДИНАМИКА ФАКТОРОВ ВЛИЯЮЩИХ НА НАДЁЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ



Надёжность систем электроснабжения 6-10 кВ промышленных предприятий и городов в основном определяется тремя критериями: пропускной способностью, состоянием изоляции и устойчивостью к аварийным режимам.

Пропускная способность зависит от конструктивных особенностей системы электроснабжения (сечение, длина кабельно-воздушных линий, разветвлённость сетей, мощность силовых трансформаторов, коммутационная аппаратура), характера нагрузки (доля реактивной мощности в общей нагрузке) и качества электрической энергии, в первую очередь наличие высших гармоник тока.

На состояние изоляции в основном влияет технология производства, климатические факторы (окружающая среда), длительность эксплуатации электрооборудования и кабельно-воздушных

линий, периодичность проверки состояния изоляции и негативные физические процессы, протекающие в электрических сетях, такие как внутренние и внешние перенапряжения, токи перегрузки и пусковые токи, наличие высших гармоник тока и напряжения.

На устойчивость системы электроснабжения к аварийным режимам, которые обусловлены возникновением коротких замыканий, однофазных замыканий на землю, обрывом фаз и перегрузкой оказывает влияние работоспособность соответствующих защит, отключающая способность, динамическая и термическая устойчивость коммутационной аппаратуры, термическая устойчивость кабельно-воздушных линий, перегрузочная способность силовых трансформаторов.

Таким образом, вышеуказанные критерии, определяющие надёжность систем электроснабжения 6-10 кВ будут зависеть от следующих факторов:

***Недостаточное качество проектных работ***

Данная проблема связана с недостаточной компетентностью специалистов проектных организаций в вопросах:

- коротких замыканий в сетях среднего класса напряжения 6-35 кВ и низковольтных сетях до 1000 В (устойчивость системы к провалам напряжения в режиме КЗ, термическая устойчивость электрооборудования и кабельных линий, в особенности экранов/брони кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена)
- режимов однофазного замыкания на землю (обусловленных расчетами токов ОЗЗ; дуговых перенапряжений в режиме ОЗЗ; локальных резонансных перенапряжений, обоснованием рационального режима нейтрали сетей 6-10 кВ)
- коммутационных перенапряжений (КП) (обусловленных расчетами максимальных перенапряжений в различных точках сети, обоснованием рациональных мест установки устройств ограничения КП и выбором устройств защиты)
- феррорезонансных явлений в сетях 6-35 кВ
- качества электрической энергии (негативное влияние высших гармоник токов и напряжений, провалов и отклонений напряжений)
- пропускной способности системы электроснабжения и отдельных электрических сетей (рациональная система компенсации реактивной мощности и подавления высших гармоник токов)
- динамики изменения электрических нагрузок (пуск мощных электродвигателей, параллельная работа секций шин, электроснабжение от резервных источников, ремонтные и аварийные схемы электроснабжения)
- электромагнитной обстановки проектируемого объекта и электромагнитной совместимости используемого в проектах электрооборудования, микропроцессорных систем релейной защиты и автоматики
- эффективности молниезащиты технологических и электроэнергетических объектов

***Недостаточное качество монтажных и пуско-наладочных работ***

- недостаточное качество составления инструкций по монтажу и наладке электрооборудования, релейной защиты и автоматики
- недостаточная компетентность специалистов монтажных и пуско-наладочных работ
- формальное отношение к необходимым проверкам и испытаниям электрооборудования, релейной защиты и автоматики

### *Негативные физические процессы*

- частота возникновения КЗ
- частота возникновения ОЗЗ
- внутренние перенапряжения (перенапряжения в режиме ОЗЗ, коммутационные, резонансные, феррорезонансные, грозовые перенапряжения)
- переходные процессы, возникающие в режимах КЗ и ОЗЗ (броски собственных емкостных токов, высокочастотная составляющая тока КЗ и другие)
- термические процессы протекающие в электрооборудовании и кабельно-воздушных линиях (токи перегрузки, токи КЗ, пусковые токи)
- высшие гармоники тока и напряжения
- ионизация воздушной среды во время грозы

### *Условия эксплуатации*

- технология производства
- окружающая среда
- технический уровень обслуживающего персонала
- длительность эксплуатации
- периодичность проверки и плановый ремонт

Исходя из выше изложенного, мы выделили основные факторы, на которые можно эффективно оказывать влияние:

1. Негативные физические процессы
2. Недостаточная компетентность специалистов:
  - проектных организаций
  - монтажных и пуско-наладочных работ
  - обслуживающего персонала

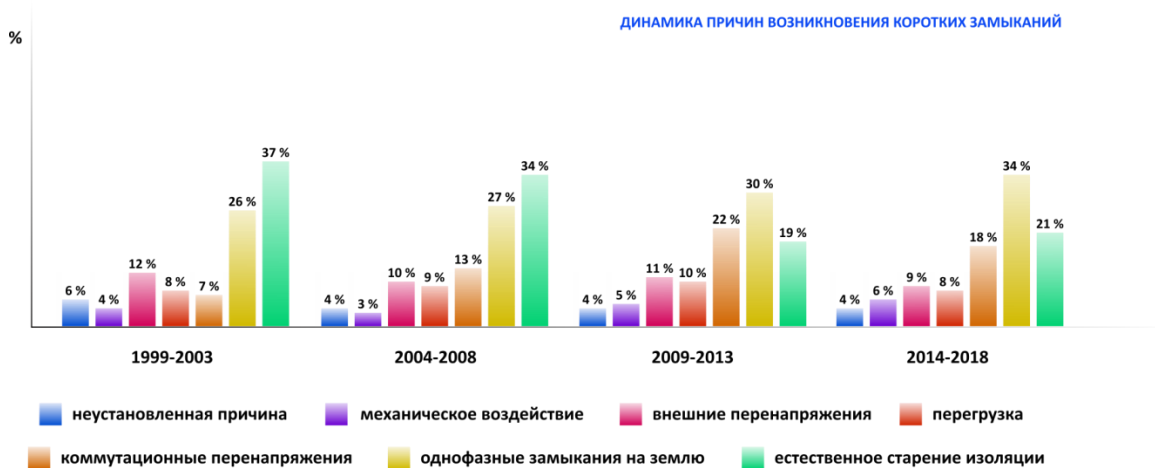
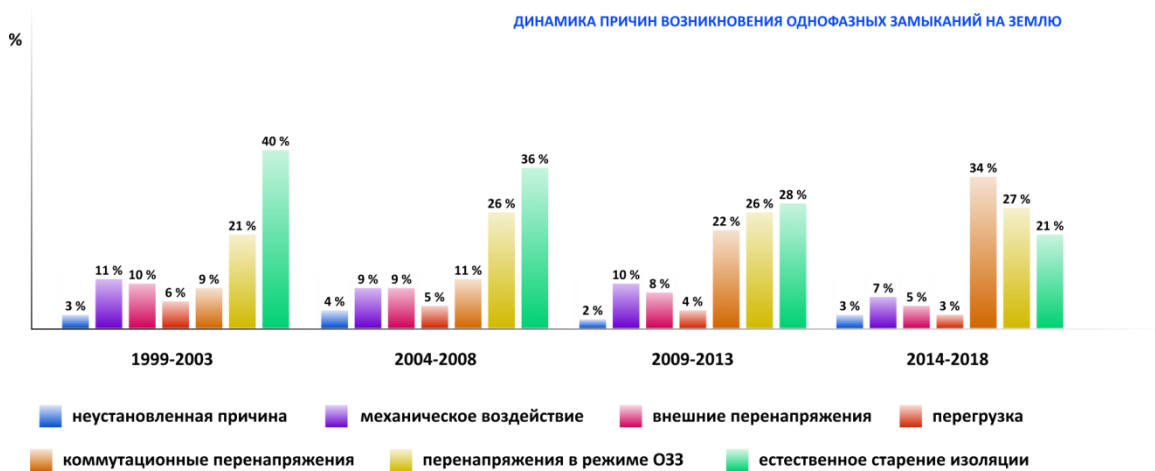
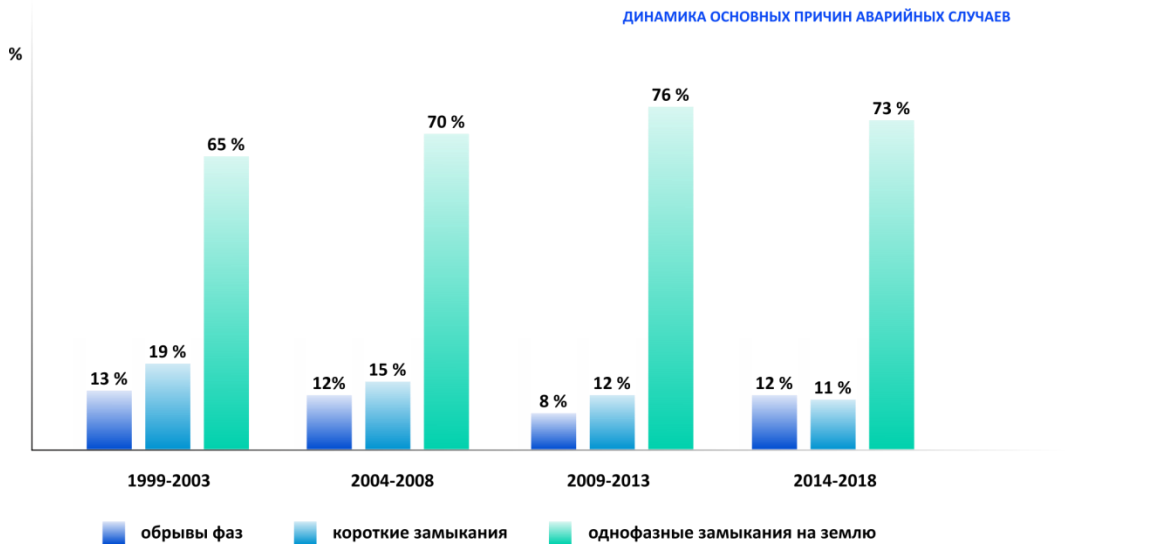
Данные факторы приводят к снижению надежности электроэнергетических систем и как следствие к аварийным отключениям (случаям).

Аварийные отключения линий электроснабжения являются причинами аварийных простоев технологического оборудования и недоотпуска электроэнергии потребителям. Аварийные простои и затраты на восстановление рабочего процесса приводят к большим издержкам и упущенной выгоде для промышленных предприятий и городских электросетевых компаний.

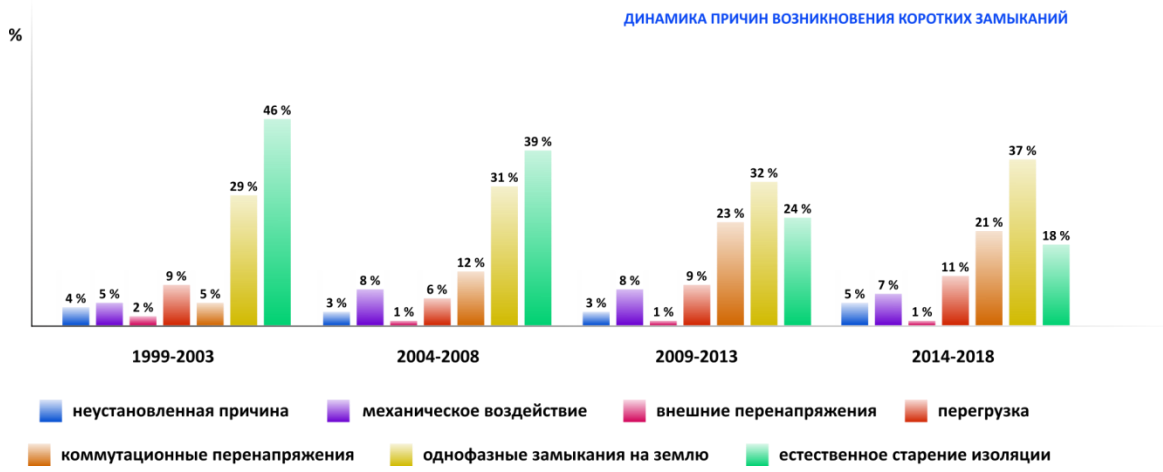
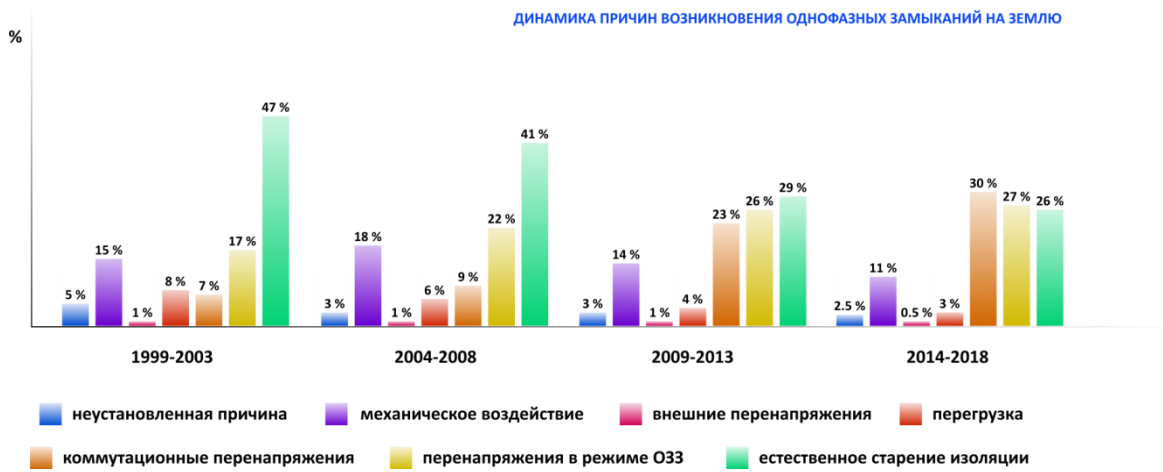
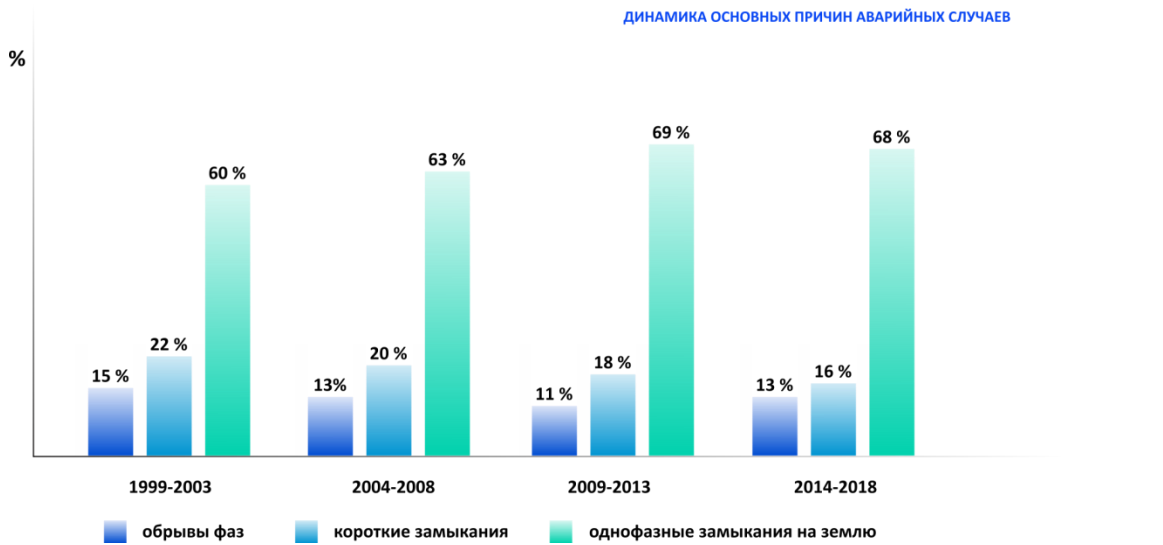
За последние 20 лет прослеживается кратное изменение степени влияния негативных физических процессов на аварийные отключения, возникновение ОЗЗ и КЗ в электроэнергетических системах.

Динамика основных причин аварийных случаев

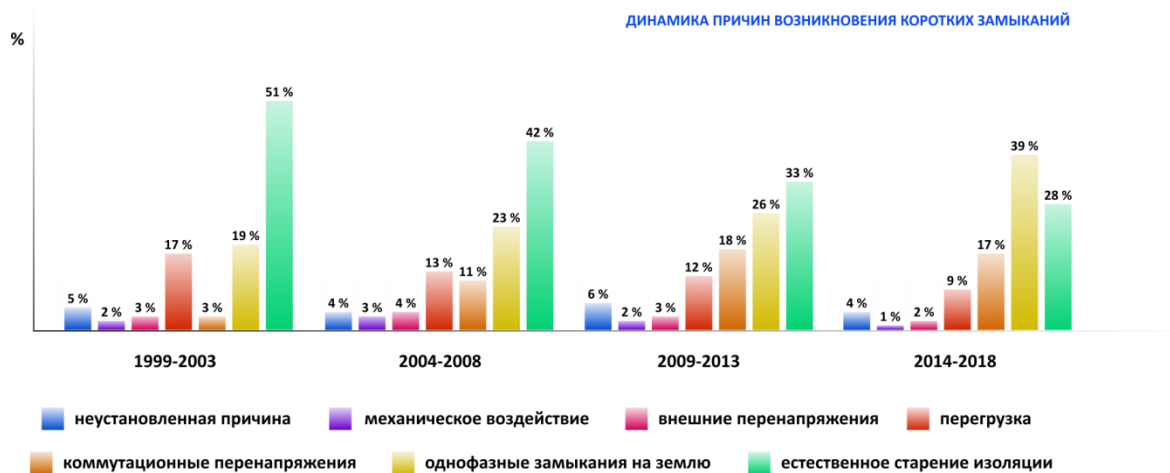
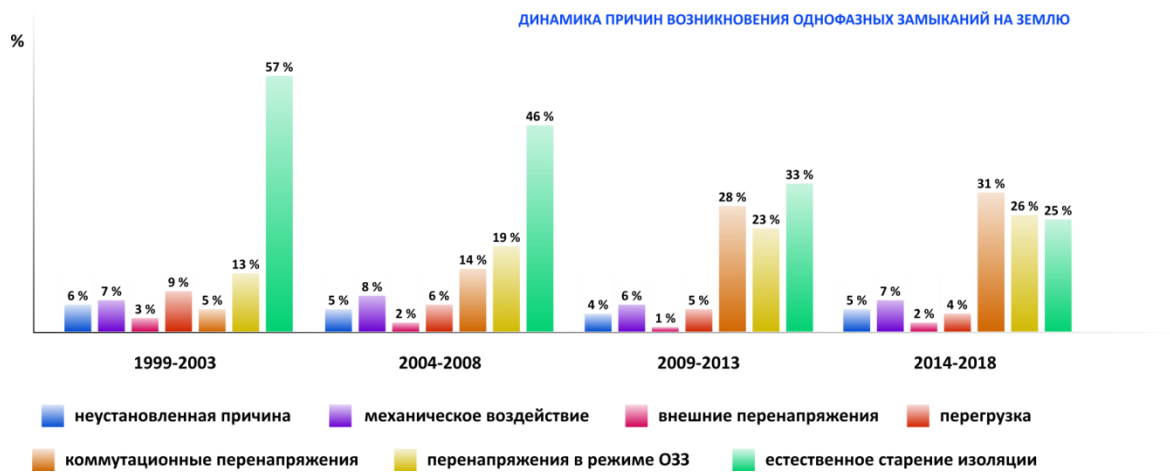
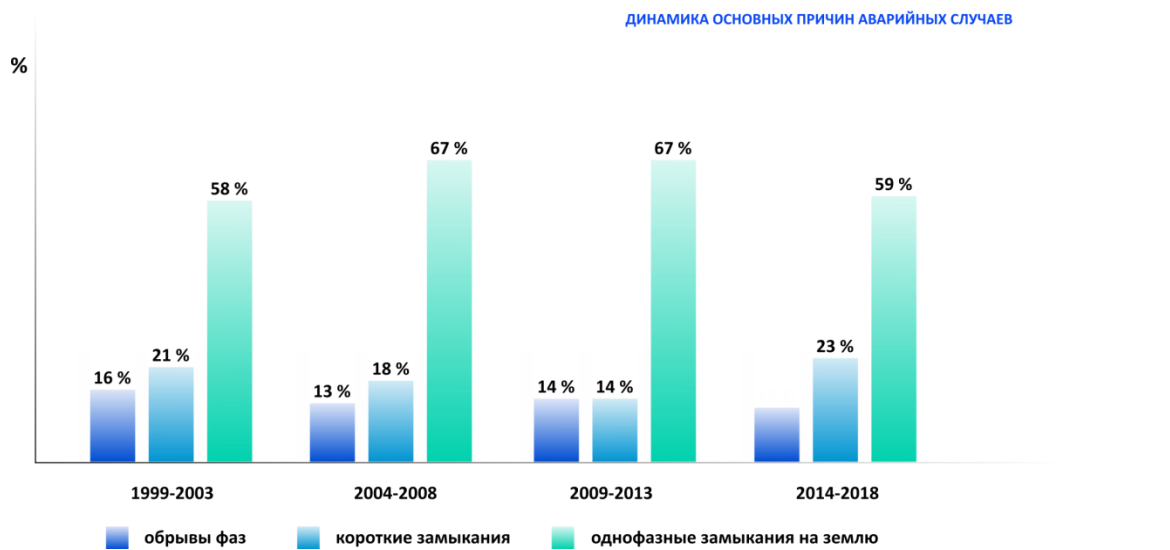
Открытые горные работы



Подземные горные работы

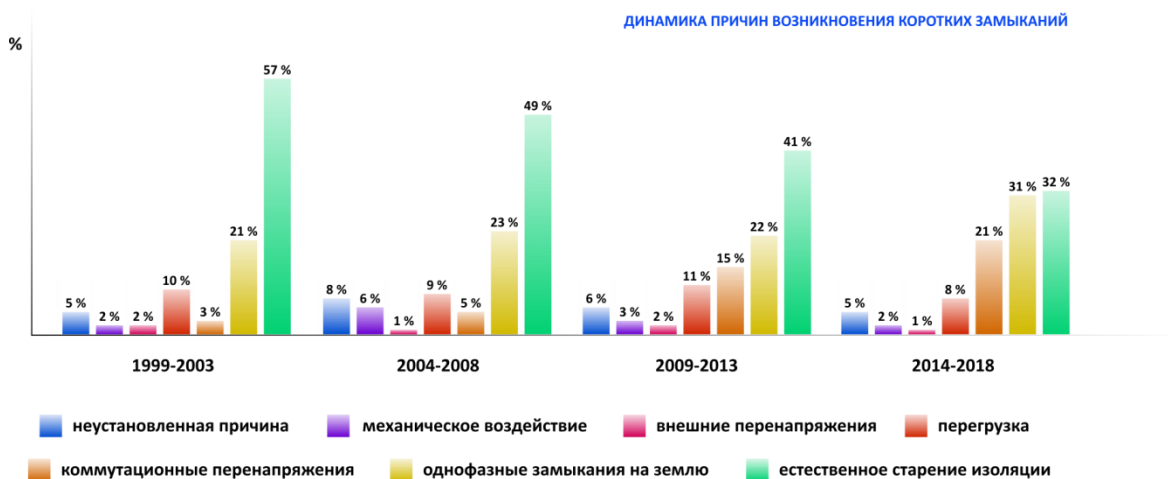
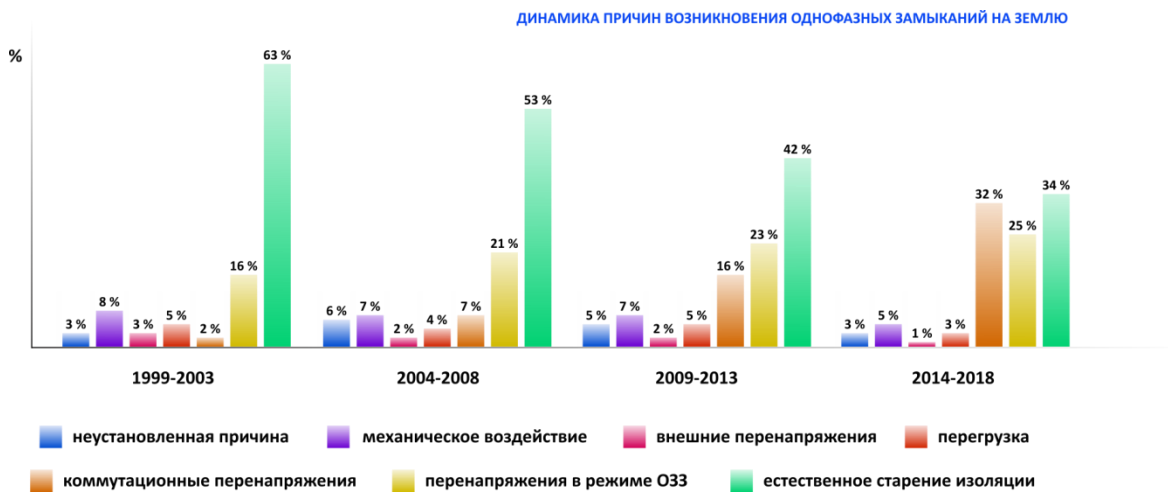
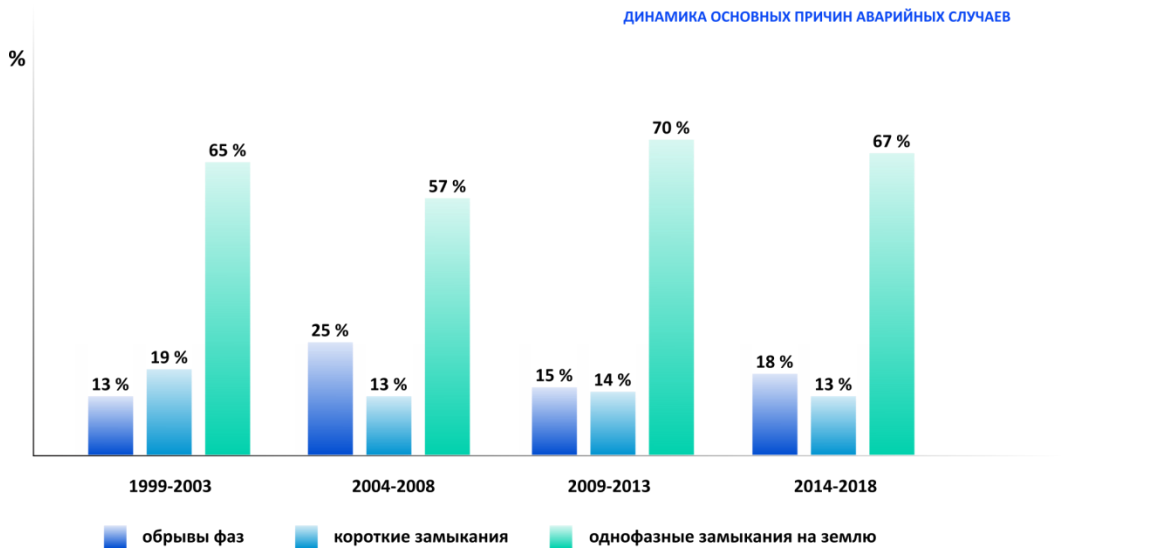


Горно-перерабатывающие предприятия

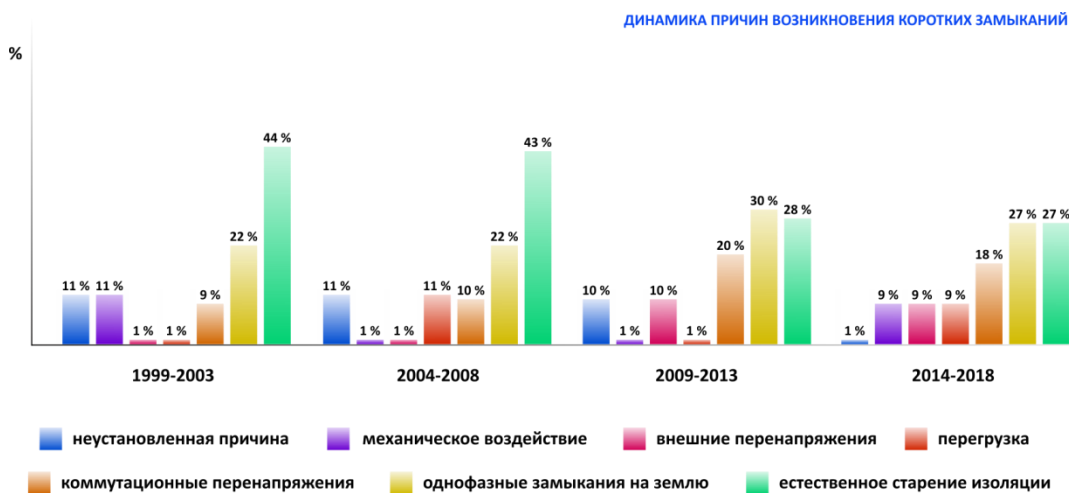
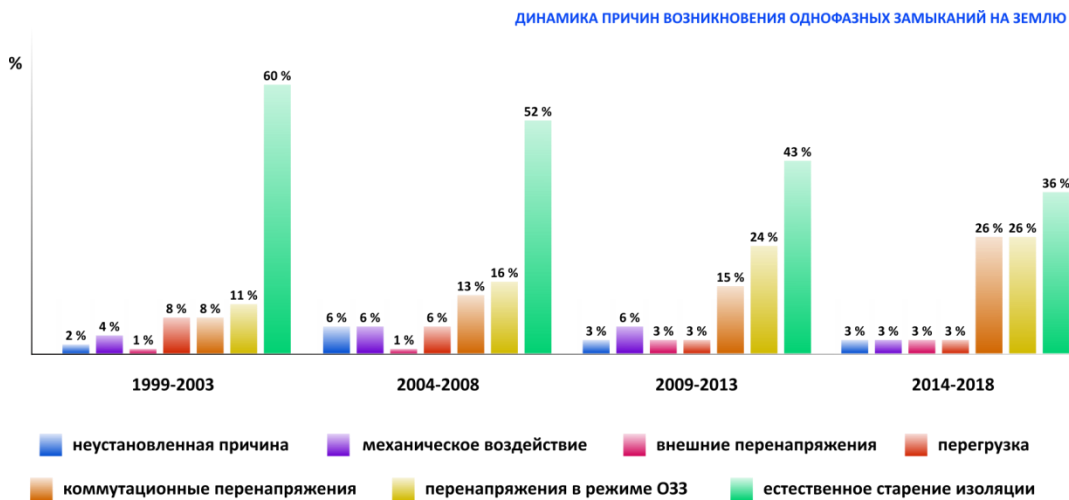
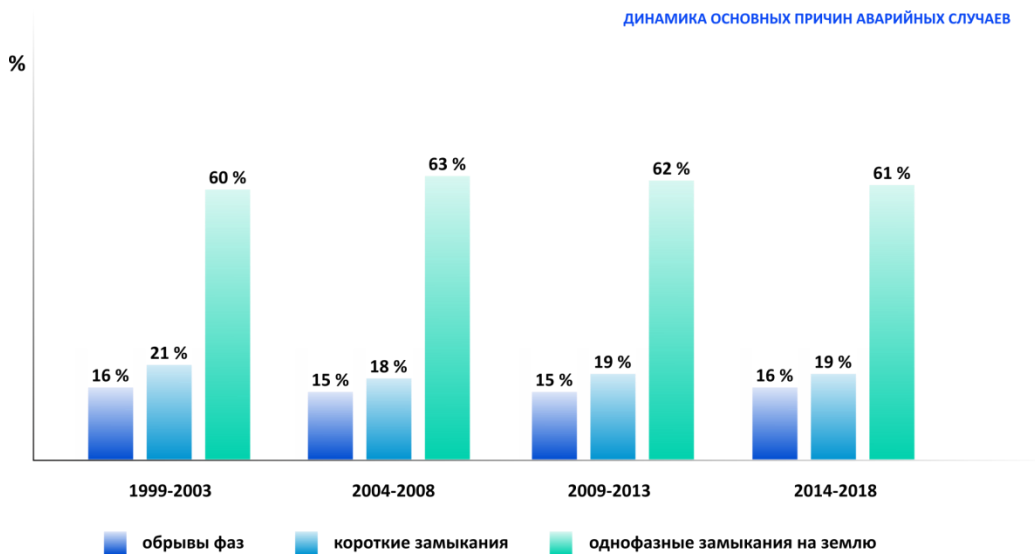




Металлургические предприятия



Нефтегазовые предприятия



Статистика показывает, что основными причинами аварийных отключений в системах электроснабжения 6-10 кВ являются однофазные замыкания на землю (ОЗЗ), короткие замыкания (КЗ) и обрывы фаз. На долю ОЗЗ приходится до 76% всех аварийных отключений, а на крупных карьерах и разрезах наблюдается до 500÷600 ОЗЗ в год. Следовательно, важнейшую роль в формировании электробезопасности и бесперебойности в системах электроснабжения 6-10 кВ промышленных предприятий и городов играют ОЗЗ, как наиболее частый вид повреждений изоляции кабельно-воздушных линий, электрооборудования, трансформаторов и электродвигателей. По статистике на одно аварийное отключение по причине ОЗЗ приходится от 1 до 9 ложных отключений линий электроснабжения из-за неселективной (ложной) работы защит от ОЗЗ. Ложные отключения линий электроснабжения вдобавок приводят к аварийным простоям технологического оборудования и недоотпуску электроэнергии. Часть возникающих ОЗЗ (до 33%) переходит в многоместные повреждения изоляции и междуфазные КЗ, приводящие к более сложным и опасным аварийным состояниям системы электроснабжения.

Пробой изоляции кабельно-воздушных линий, электрооборудования, электродвигателей и трансформаторов является не только источником снижения эффективности системы электроснабжения, но и источником электротравматизма обслуживающего персонала.

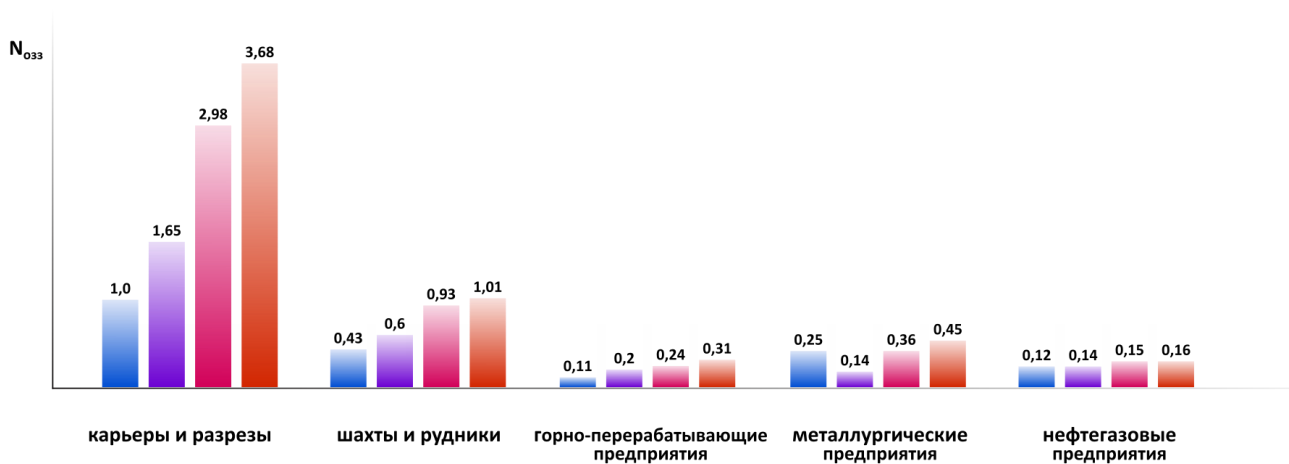
Основной причиной ОЗЗ является пробой изоляции кабельных линий, электродвигателей, силовых трансформаторов и электрооборудования. Пробой изоляции происходит в результате протекания негативных физических процессов, которые приводят к возникновению внутренних перенапряжений в системах электроснабжения 6-10 кВ и влияют на интенсивность старения изоляции. Наиболее частыми видами внутренних перенапряжений в системах электроснабжения 6-10 кВ являются перенапряжения в режиме ОЗЗ (до 85% случаев) и коммутационные перенапряжения (КП) (до 34% случаев). Величина перенапряжений в режиме ОЗЗ и коммутационных перенапряжений может достигать соответственно 4,3 и 7,4 от номинального напряжения сети. Научными исследованиями установлено, что кратность внутренних перенапряжений не должна превышать 2,8 для силовых трансформаторов и кабельных линий и 1,8 для электродвигателей со сроком эксплуатации более пяти лет.

Динамика причин аварийных случаев за последние 20 лет показывает кратный рост степени влияния негативных физических процессов на возникновение ОЗЗ и КЗ. Это приводит к росту количества аварийных случаев.

Динамика количества аварийных случаев

ДИНАМИКА КОЛИЧЕСТВА ОДНОФАЗНЫХ ЗАМКЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ

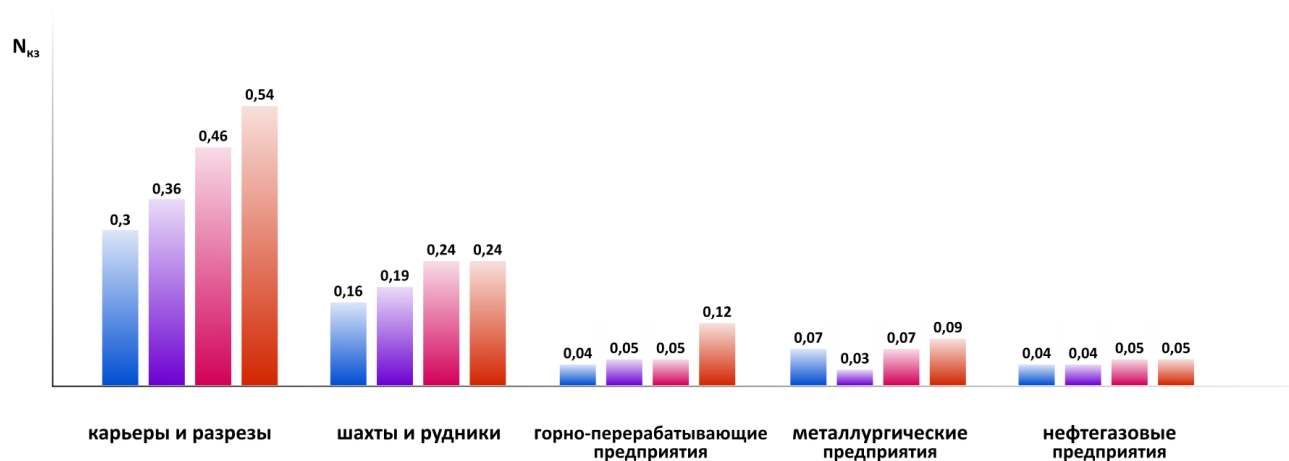
1999-2003 2004-2008 2009-2013 2014-2018



$N_{озз}$  - количество однофазных замыканий на землю приходящихся на 1 километр кабельных линий системы электроснабжения 6-10 кВ

ДИНАМИКА КОЛИЧЕСТВА КОРОТКИХ ЗАМКЫКАНИЙ

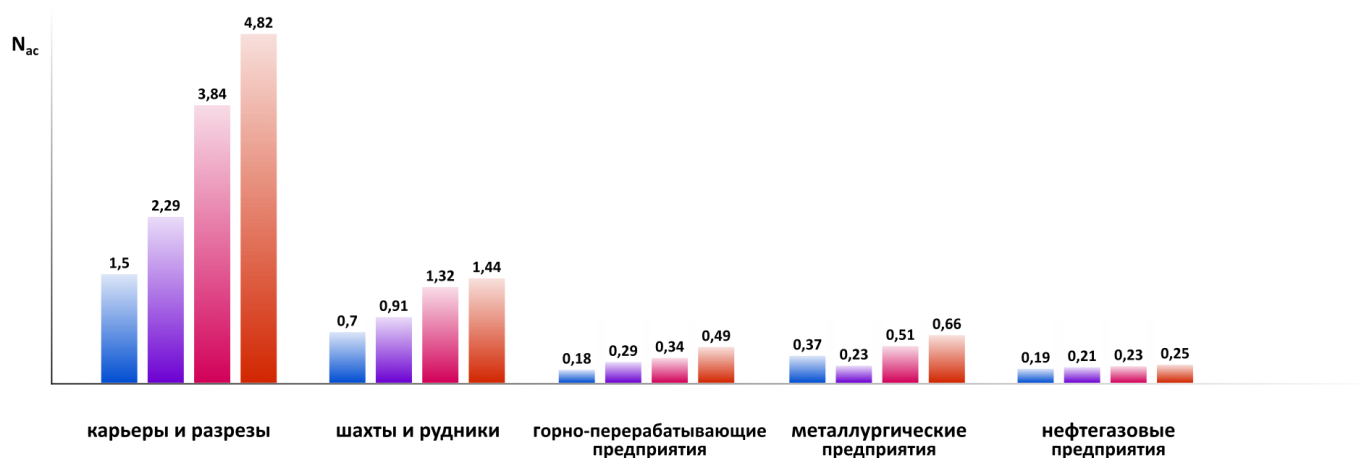
1999-2003 2004-2008 2009-2013 2014-2018



$N_{кз}$  - количество коротких замыканий приходящихся на 1 километр кабельных линий системы электроснабжения 6-10 кВ

ДИНАМИКА КОЛИЧЕСТВА АВАРИЙНЫХ СЛУЧАЕВ

1999-2003 2004-2008 2009-2013 2014-2018



$N_{ac}$  - количество аварийных случаев приходящихся на 1 километр кабельных линий системы электроснабжения 6-10 кВ

Динамика аварийных случаев за последние 20 лет показывает, что с учетом развития защитных технологий, методов контроля и управления происходит рост аварийности в электроэнергетических системах. Рост аварийности указывает на недостаточную эффективность применяемых средств и методов на сегодняшний день.

## Решение

35-летний опыт членов нашей команды в научно-практической и образовательной деятельности позволил разработать уникальные учебные программы, которые позволяют передать накопленный опыт и знания ведущим специалистам проектных организаций, промышленных предприятий, электросетевых и строительно-монтажных компаний в пределах 5-120 академических часов в зависимости от степени погружения. Передача накопленного опыта и знаний происходит в очной форме на базе образовательного центра в сотрудничестве с Сибирским Федеральным Университетом и в дистанционном формате на онлайн платформе.

За 26 лет деятельности нашей команды произведено более чем 420 научных исследований аварийных режимов, электропотребления и эксплуатации электроприемников в системах электроснабжения 3, 6, 10 кВ крупных промышленных предприятий и городов. Научные исследования позволили изучить ранее неизученные негативные физические процессы, выявить основные негативные физические процессы, которые ускоряют процесс старения изоляции и приводят к пробоям изоляции кабельных линий, электрооборудования и электроприемников.

На основании научных исследований были разработаны специальные устройства, внедрение которых позволяет повысить надежность, снизить аварийность и риски выхода из строя электроэнергетической инфраструктуры. На основе разработанных устройств и методик сформирована четырёхкомпонентная технология снижения аварийности и повышения эффективности электроэнергетических систем «RUTAS 4К».

Компоненты технологии:

- К1 Внедрение** специально разработанных устройств добавочного активного тока (резисторов для заземления нейтральной точки сетей 6-10 кВ) позволяет перевести режим нейтрали сетей 6-10 кВ с изолированного на резистивный и с компенсированного на комбинированный. Перевод режима нейтрали сетей позволяет ограничить перенапряжения в режиме ОЗЗ до уровня  $2,0 \div 2,1$  от номинального напряжения сети, сократить количество ОЗЗ на 50%, исключить возникновение феррорезонансных перенапряжений, сократить количество местных пробоев изоляции кабельных линий, электродвигателей и трансформаторов на 73%. Внедрение первого компонента обеспечивает высокую работоспособность и эффективность простых токовых защит от ОЗЗ.
- **Обоснование, расчет, внедрение и настройка** простых токовых защит от ОЗЗ по разработанным методикам нашей команды позволяет полностью исключить ложные (необоснованные) отключения линий электроснабжения, сократить групповые отключения линий электроснабжения на 97%, сократить количество коммутаций линий электроснабжения в аварийных режимах ОЗЗ на 98%, вывести селективность защит от ОЗЗ на уровень 100% даже при нормируемых токах ОЗЗ, в итоге дополнительно сократить количество ОЗЗ на 8%.
- К2 Внедрение** специально разработанных устройств «гаситель-компенсатор» позволяет исключить резонансные явления, которые возникают в точках подключения индуктивной нагрузки (электродвигатели, трансформаторы) в режиме ОЗЗ, дополнительно снизить перенапряжения в режиме ОЗЗ до уровня 1,76-1,78 номинального напряжения сети, дополнительно повысить надежность и сократить количество пробоев изоляции электродвигателей на 22%, в итоге дополнительно сократить количество ОЗЗ на 12%. Гасители-компенсаторы подключаются к зажимам электродвигателей и вводам

трансформаторов, осуществляют фильтрацию высших гармоник тока нагрузки кратных трём, осуществляют частичную компенсацию реактивной мощности.

**К3 Внедрение** специально разработанных устройств для ограничения коммутационных перенапряжений «RC-гаситель» позволяет решить проблему с коммутационными перенапряжениями, снизить их уровень до 1,5-1,68 номинального напряжения сети, сократить количество пробоев изоляции электродвигателей и силовых трансформаторов на 71%, в итоге дополнительно сократить количество ОЗЗ на 18%. RC-гасители подключаются к зажимам электродвигателей и вводам трансформаторов, осуществляют фильтрацию высших гармоник тока нагрузки кроме кратных трём.

**К4 Внедрение** специально разработанных устройств «RC-К4» с целью защиты экранов современных кабелей из сшитого полиэтилена от термического разрушения в режимах КЗ. После внедрения первых трех компонентов технологии количество ОЗЗ, переходящие в двух и трёх фазные короткие замыкания снижается более чем в 4 раза и не превышает 8%. Протекание токов КЗ по однофазным кабелям с изоляцией из сшитого полиэтилена является причиной термического разрушения экранов данных кабелей. Это приводит к необходимости замены километров поврежденных кабелей.

На практике для ограничения перенапряжений в сетях 3-10 кВ используют, в основном, нелинейные ограничители перенапряжений (ОПН) и при необходимости дугогасящие реакторы (ДГР), которые не решают задачу эффективного ограничения перенапряжений по следующим причинам:

1. ОПН не способен ограничивать перенапряжения, возникающие при дуговых однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ). В случае срабатывания ОПН в режиме ОЗЗ, как правило, наступает его термическое разрушение, поэтому уровень ограничения перенапряжений ОПН превышает уровень перенапряжений в режиме ОЗЗ.

2. Ограничение коммутационных перенапряжений с помощью ОПН находится на уровне  $(2,5-3,2)U_n$  и не позволяет эффективно защищать изоляцию электродвигателей и концевых муфт кабелей от коммутационных перенапряжений.

3. ДГР – компенсирует емкостную составляющую тока ОЗЗ. В случае резонансной настройки ДГР с емкостью сети достигается ограничение перенапряжений в режиме ОЗЗ до уровня  $(2,5-2,7)U_n$ . Однако, достигнуть на практике резонансной настройки ДГР с емкостью сети не представляется возможным из-за нелинейного характера индуктивного сопротивления резистора, поэтому, как правило, сети эксплуатируются в режиме перекомпенсации или недокомпенсации, что приводит к росту перенапряжений до уровня  $(2,7-3,2)U_n$ . Это представляет опасность, как для изоляции электродвигателей, так и для изоляции кабелей и трансформаторов.

В странах Европы, Азии, Северной Америки и, в последнее время, в России кроме ДГР используют резистивный (комбинированный) режим нейтрали в сетях 3-10 кВ. Это позволяет снизить перенапряжения в режиме ОЗЗ до уровня  $2,2U_n$  и тем самым использовать ОПН с более глубоким уровнем ограничения перенапряжений, который находится в диапазоне  $(2,4-2,6)U_n$ . Однако, использование ОПН с глубоким уровнем ограничения перенапряжений не решает проблему эффективного ограничения коммутационных перенапряжений для электродвигателей из-за «зоны замиранья» в работе ОПН на частотах превышающих 45-50 кГц, а частота импульсов при

коммутации электродвигателей превышает 50 кГц, поэтому наблюдаются пробои изоляции электродвигателей в коммутационных режимах.

Широкое использование элегазовых и вакуумных выключателей в современных системах электроснабжения 3-10 кВ приводит к тому, что в случае ложного отключения неповрежденной линии в режиме ОЗЗ вакуумным (элегазовым) выключателем, при условии горения дуги между поврежденной фазой сети и землей, на аналогичной фазе неповрежденной линии могут возникать перенапряжения величиной  $(6,5-8,0)U_n$ , что приводит к пробоям изоляции в данной линии и данной фазе. Единственный способ избежать подобного явления – это достижение 100% селективности защит от ОЗЗ. Наиболее надежные защиты от ОЗЗ – это токовые защиты, которые подключаются к трансформаторам тока нулевой последовательности (ТТНП). Особенность данных трансформаторов является значительный разброс параметров (коэффициент трансформации) одной марки трансформаторов, что негативно влияет на селективность защиты. Поэтому, при использовании резисторов для заземления нейтрали сети необходимо иметь регулировку величины добавочного активного тока, для исключения негативного влияния разброса коэффициента трансформации ТТНП на входной сигнал и как следствие на селективность защит от ОЗЗ. Первый компонент 4К технологии обладает подобным свойством.

Наши исследования, выполненные за последние два десятилетия в России и за рубежом в области перенапряжений, возникающих в режиме ОЗЗ, показали, что в точках (в местах) подключения индуктивной нагрузки (электродвигатели, трансформаторы) к сети, в момент горения дуги между поврежденной фазой сети и землей, могут возникать локальные резонансные перенапряжения, которые превышают значение перенапряжений в режиме ОЗЗ в 1,5-2,5 раза. При использовании резистивного или комбинированного режимов нейтрали сети 3-10 кВ перенапряжения в сети и на секциях шин подстанций в режиме ОЗЗ не превышают  $2,2U_n$ , однако, на запитанных электродвигателях и трансформаторах величина перенапряжений может возрасти до  $5,5U_n$ . Это представляет опасность для изоляции электродвигателей и трансформаторов с длительным сроком эксплуатации и вновь введенных в эксплуатацию. Данная проблема успешно решена вторым компонентом 4К технологии – «Гаситель-компенсатор», который существенно увеличивает сосредоточенную междуфазную емкость в точках подключения электродвигателей и трансформаторов к сети и тем самым расстраивает резонансный контур, образованный индуктивностью электродвигателей и емкостью сети между фазами, т.е. ликвидирует условия возникновения резонанса. Кроме этого увеличение междуфазной емкости сети способствует более быстрому сбросу заряда с фазных емкостей в режиме ОЗЗ, что позволяет ограничить перенапряжения при дуговых ОЗЗ до уровня  $1,78U_n$ . Подобная величина перенапряжений не представляет опасность, как для изоляции электродвигателей, так и для изоляции кабелей и трансформаторов.

Современные системы электроснабжения 6-10 кВ широко используют кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена как в трехфазном (максимальное сечение 240 мм<sup>2</sup>), так и в однофазном исполнении (максимальное сечение 800 мм<sup>2</sup>). Необходимость использования кабелей в однофазном исполнении обусловлена передачей по кабельным линиям более мощных электрических токов и более простой технологией их укладки. Как правило, подобные кабели используются как магистральные кабели для связи отдельных распределительных подстанций с главной понизительной подстанцией и являются особо ответственными элементами системы электроснабжения промышленных предприятий и городов. Надежность данных кабелей во многом



зависит от термической устойчивости к токам КЗ, т.к. в режиме КЗ по экранам кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, которые заземлены с обеих сторон, могут протекать токи способные привести к выгоранию экрана и как следствие к термическому разрушению самого кабеля. В настоящее время для решения данной проблемы экран кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена с одной стороны заземляется, а с другой стороны связан с землей через ОПН. Подобная система практически исключает протекание тока в нормальном режиме эксплуатации кабеля. Однако, в режиме КЗ за счет резкого роста потенциала в экране кабеля срабатывает ОПН и по экрану протекают импульсные токи трансформируемые ударным током КЗ, что может быть достаточно для выгорания экрана кабеля. Использование ОПН более высокого класса напряжения может привести к пробоем изоляции кабеля обратным напряжением. Для качественного решения данной проблемы используется четвертый компонент технологии RUTAS 4К – устройство «RC-K4» на базе RC-цепей и ОПН, которые включены параллельно. Данное устройство подключается с одной стороны кабеля, а другая сторона кабеля заземляется.

Защиты от коротких замыканий или замыканий на землю в сетях 6-10 кВ является средством ликвидации аварийного режима в системе электроснабжения и практически не влияет на снижение количества аварийных ситуаций. Технология RUTAS 4К направлена на снижение количества аварийных ситуаций в системе электроснабжения за счет ликвидации условий возникновения опасных внутренних перенапряжений для изоляции электрооборудования и кабельных линий 6-10 кВ, достижения 100% селективной работы защит от однофазных замыканий на землю и исключения термического разрушения кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена. Отметим, что использование резистора в нейтрали сети позволяет обеспечить существенное увеличение тока нулевой последовательности в поврежденном присоединении и тем самым может быть достигнута высокая селективность централизованных защит от однофазных замыканий на землю. Обращаем внимание на то, что принцип централизованных защит не возможно реализовать в системах электроснабжения горных предприятий применительно к защитам, установленным в приключательных пунктах из-за больших расстояний между данными пунктами. В этом случае селективность защит от однофазных замыканий на землю достигается за счет наложения добавочного активного тока на ток однофазного замыкания на землю, т.е. за счет использования устройств «УДАТ» - первый компонент технологии RUTAS 4К.

На практике резистивное заземление нейтрали используется, в основном, для ограничения перенапряжений, возникающих при однофазных замыканиях на землю и достаточно редко используются устройства с индивидуальными параметрами RC-цепей для защиты электродвигателей и трансформаторов от коммутационных перенапряжений.

В технологии 4К параметры устройства «УДАТ» обеспечивают эффективное ограничение перенапряжений в режиме однофазного замыкания на землю и 100% селективность в работе токовых защит как индивидуальных, так и централизованных.

RC-гасители (третий компонент технологии 4К RUTAS) имеют универсальные параметры RC-цепей, позволяющие обеспечивать эффективную защиту электродвигателей и трансформаторов от коммутационных перенапряжений не зависимо от их мощности, это позволило наладить их выпуск в промышленных масштабах с минимальными затратами и тем самым обеспечить конкурентное преимущество на коммерческом рынке.

Устройства «Гаситель-компенсатор» и «RC-K4» (второй и четвертый компоненты технологии 4K RUTAS) прошли испытания на крупных промышленных предприятиях и показали высокую эффективность, не известны мировому сообществу и не имеют мировых аналогов.

Проблема аварийности широко известна и базовые элементы устройств технологии RUTAS 4K (R, C, ОПН, ДГР, объединение этих элементов) используются повсеместно для решения различных задач. Однако, применение данных базовых элементов, в их текущей интерпретации рынком, не достаточно эффективно решает проблему аварийности, как в системах электроснабжения с длительным сроком эксплуатации, так и в новых. Это подтверждается статистикой аварийности.

**Основные эффекты технических решений**

Таблица 1 – Основные эффекты внедрения технологии 4К и её компонентов.

Эффект	Эффективность				
	Внедрение <b>К1</b>	Внедрение <b>К3</b>	Внедрение <b>К1+К3</b>	Внедрение <b>К1+К2</b>	Внедрение <b>4К технологии</b>
Сокращение количества пробоев изоляции электродвигателей	<b>32 %</b>	<b>71 %</b>	<b>84 %</b>	<b>54 %</b>	<b>93 %</b>
Сокращение количества пробоев изоляции кабельных линий и муфт	<b>48 %</b>	<b>23 %</b>	<b>71 %</b>	<b>76 %</b>	<b>81 %</b>
Сокращение количества ОЗЗ	<b>58 %</b>	<b>18 %</b>	<b>76 %</b>	<b>70 %</b>	<b>88 %</b>
Достижение уровня селективности токовых защит от ОЗЗ	<b>100 %</b>	-	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>
Сокращение затрат времени на определение линии с ОЗЗ	<b>98 %</b>	-	<b>98 %</b>	<b>98 %</b>	<b>98 %</b>
Сокращение внутренних коротких замыканий	<b>38 %</b>	<b>12 %</b>	<b>47 %</b>	<b>42 %</b>	<b>63 %</b>
Сокращение количества провалов напряжения	<b>24 %</b>	<b>8 %</b>	<b>31 %</b>	<b>27 %</b>	<b>41 %</b>
Сокращение годовых аварийных издержек	<b>39 %</b>	<b>25 %</b>	<b>64 %</b>	<b>56 %</b>	<b>81 %</b>

Данные эффективности основаны на собранных статистических данных за 26 лет, как до реализации технических решений, так и после.

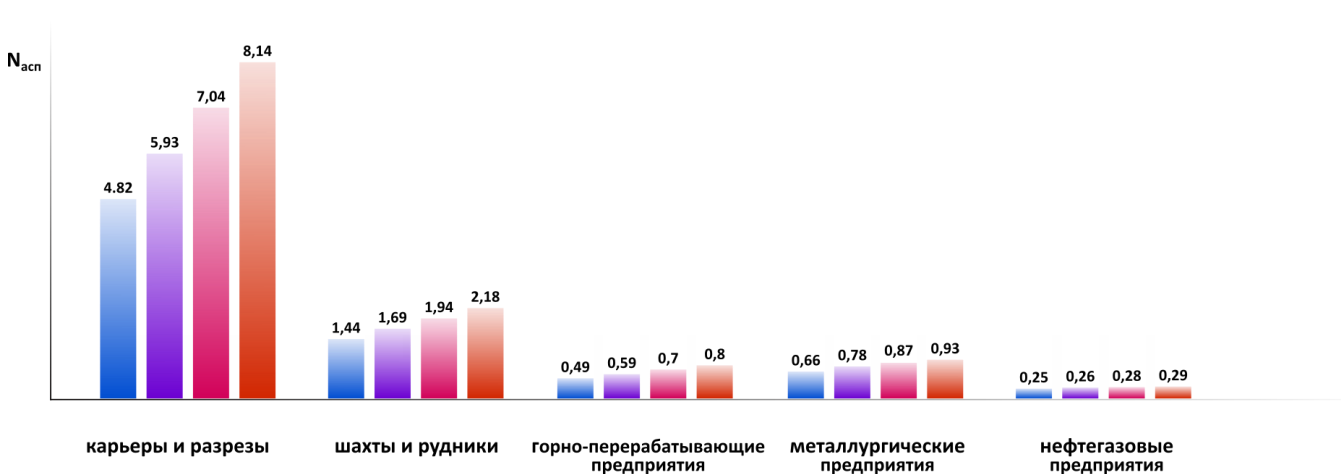
Данные обновлены в 2020 году.

Прогноз аварийности до 2033 года

Рассмотрим динамику количества аварийных случаев для разных отраслей промышленности без технологии 4К и в случае её внедрения в электроэнергетическую систему предприятия.

ПРОГНОЗИРУЕМАЯ ДИНАМИКА КОЛИЧЕСТВА АВАРИЙНЫХ СЛУЧАЕВ

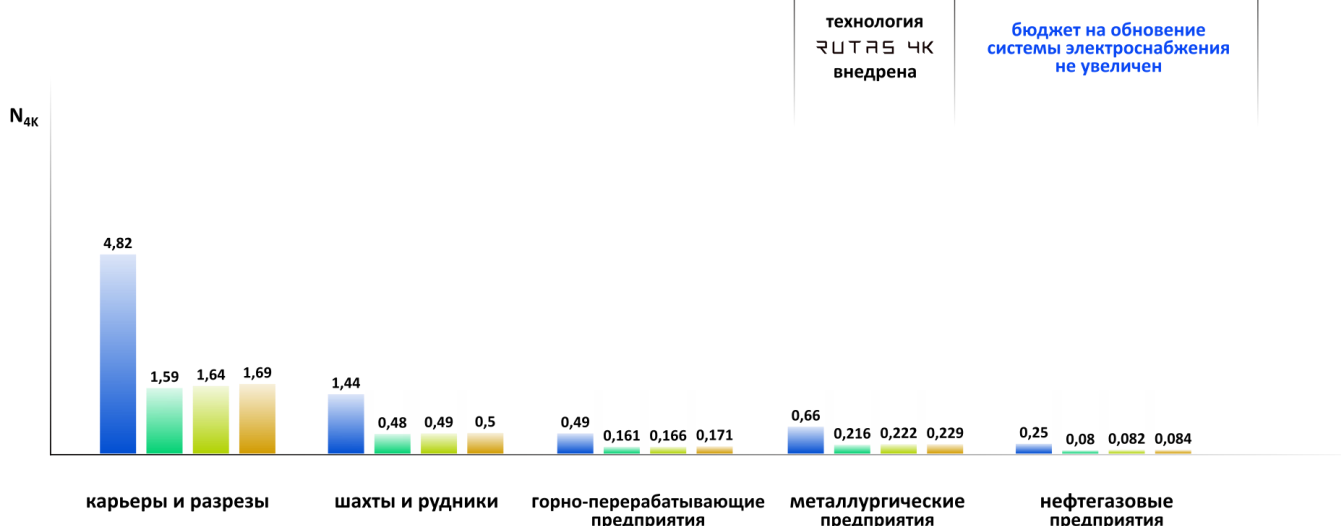
2014-2018 2019-2023 2024-2028 2029-2033



$N_{асп}$  - прогнозируемое количество аварийных случаев приходящихся на 1 километр кабельных линий системы электроснабжения 6-10 кВ

ПРОГНОЗИРУЕМАЯ ДИНАМИКА КОЛИЧЕСТВА АВАРИЙНЫХ СЛУЧАЕВ

2014-2018 2019-2023 2024-2028 2029-2033



$N_{4к}$  - прогнозируемое количество аварийных случаев приходящихся на 1 километр кабельных линий системы электроснабжения 6-10 кВ

- Рост аварийности за пятилетний период без 4К в среднем составит 12,6 %
- Внедрение технологии 4К снижает количество аварийных случаев в среднем на 67% от текущего состояния электроэнергетической системы.
- Итоговая разница количества аварийных случаев в перспективе 10-ти лет в среднем составит 76%

### Внешний вид устройств



УДАТ



Гаситель-компенсатор



RC-гаситель



RC-K4

**Техническая информация по устройствам «УДАТ»**

Устройство добавочного активного тока типа УДАТ предназначено для резистивного или комбинированного заземления нейтрали сетей 3, 6, 10 кВ, что позволяет ограничить перенапряжения в режиме однофазного замыкания на землю (ОЗЗ) до уровня  $(2,0-2,1)U_n$  и создать условия для 100 % селективности простых токовых защит от ОЗЗ.

Принцип работы устройства основан на том, что в режиме ОЗЗ между нейтральной точкой сети возникает напряжение смещения нейтрали, которое прикладывается к резистору. В результате этого через резистор протекает активный ток, способствующий повышению селективности токовых защит от ОЗЗ.

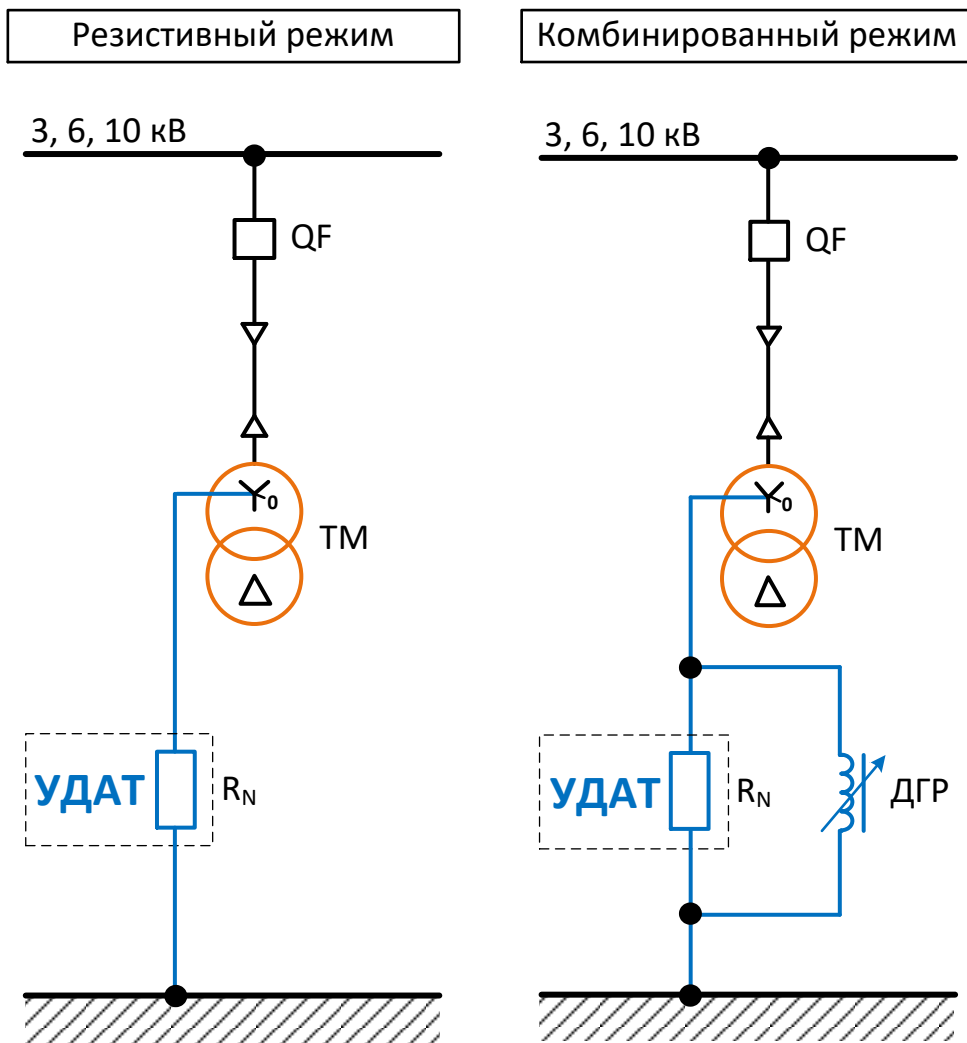
Ограничение перенапряжений в режиме ОЗЗ достигается за счет снижения величины напряжения смещения нейтрали и создания низкоомного контура для перезаряда емкостей фаз по отношению к земле.

Устройство оснащено автоматическим принудительным отводом тепла, что обеспечивает высокую надежность устройства в длительных режимах работы и позволило уменьшить габариты устройства. Принудительный отвод тепла позволяет снизить температуру резистора с 350 градусов Цельсия до 100 градусов Цельсия, что существенно увеличивает срок эксплуатации устройства.

Устройство осуществляет регистрацию времени и продолжительности однофазного замыкания на землю.

Конструкция устройства позволяет регулировать величину добавочного активного тока при настройке токовых защит с учётом разброса параметров трансформаторов тока нулевой последовательности. Это позволяет добиться 100% селективности работы токовых защит от ОЗЗ и исключить влияние конфигурации сети на их работу.

Габариты устройства: 1850x1500x1500 (высота, длина, ширина).



**Техническая информация по устройствам «Гаситель-компенсатор»**

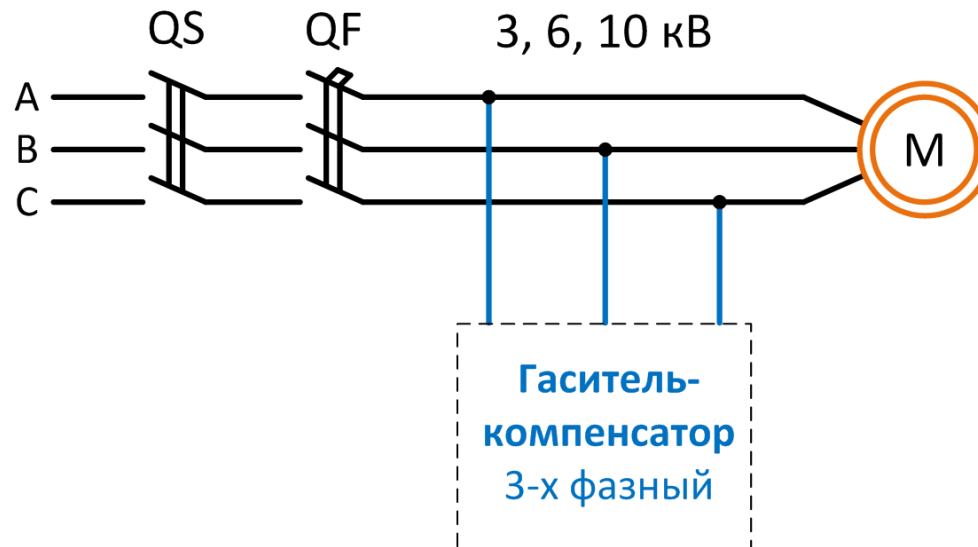
Гаситель-компенсатор разработан с целью защиты изоляции электрооборудования 3, 6, 10 кВ (линии, трансформаторы, электродвигатели) от перенапряжений в режиме ОЗЗ и резонансных перенапряжений в режиме ОЗЗ в сетях трехфазного переменного тока частотой 50 Гц

Резонансные перенапряжения в режиме ОЗЗ могут возникать в точках подключения индуктивной нагрузки (трансформатор, электродвигатель). Величина резонансных перенапряжений может превышать номинальное напряжение сети в 4-6 раз, что приводит к пробоям изоляции обмоток электродвигателей, трансформаторов или изоляции кабельных концевых муфт.

Гаситель-компенсатор:

- ликвидирует условия возникновения резонансных явлений на зажимах электродвигателей и вводах трансформаторов в режиме ОЗЗ;
- частично ограничивает высшие гармоники тока нагрузки кратные трём;
- частично компенсирует реактивную мощность электродвигателей и трансформаторов;
- осуществляет дальнейшее снижение перенапряжений в режиме ОЗЗ до уровня не превышающего  $1,78U_n$  в сетях с резистивным или комбинированным режимами нейтрали сети.

Габариты устройства: 800x700x550 (высота, длина, ширина).



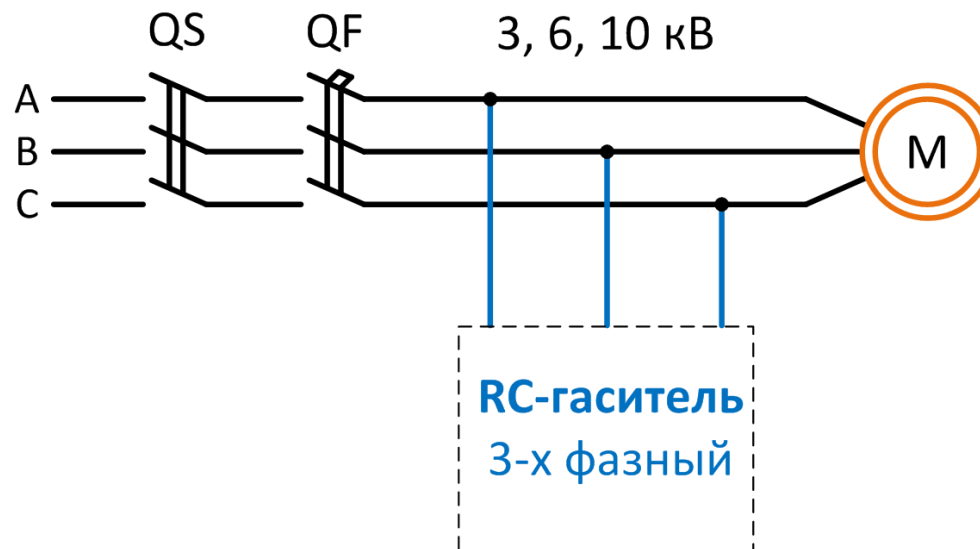
**Техническая информация по устройствам «RC-гаситель»**

RC-гаситель: трехфазный резистивно-емкостной гаситель коммутационных перенапряжений разработан с целью защиты изоляции электрооборудования (линии, трансформаторы, электродвигатели) от коммутационных перенапряжений в сетях трехфазного переменного тока частотой 50 Гц, как при наличии, так и при отсутствии высших гармоник по току и напряжению.

RC-гаситель ограничивает коммутационные перенапряжения до уровня не превышающего  $1,68U_n$ .

Принцип работы основан на ограничении амплитуды перенапряжений за счет уменьшения волнового сопротивления защищаемого объекта с помощью емкости и устранения многократных повторных зажиганий дуги в выключателе с помощью активного сопротивления.

Габариты устройства: 800x700x550 (высота, длина, ширина).





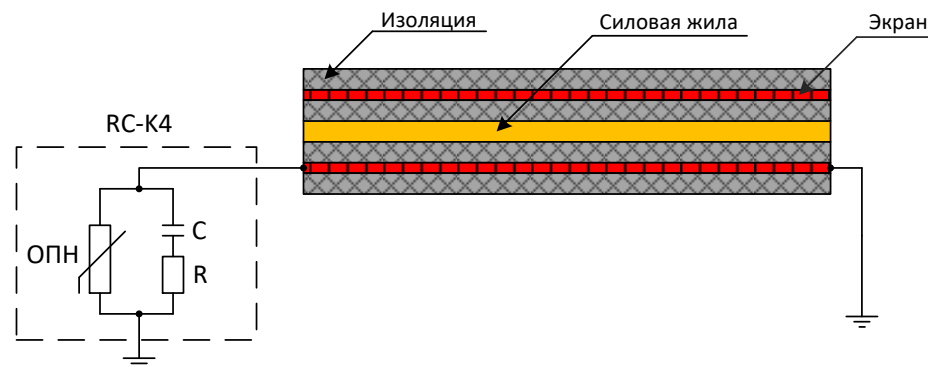
### Техническая информация по устройствам «RC-K4»

Устройство RC-K4 разработано для защиты экранов однофазных кабелей из сшитого полиэтилена от термического разрушения в режимах перегрузки и КЗ.

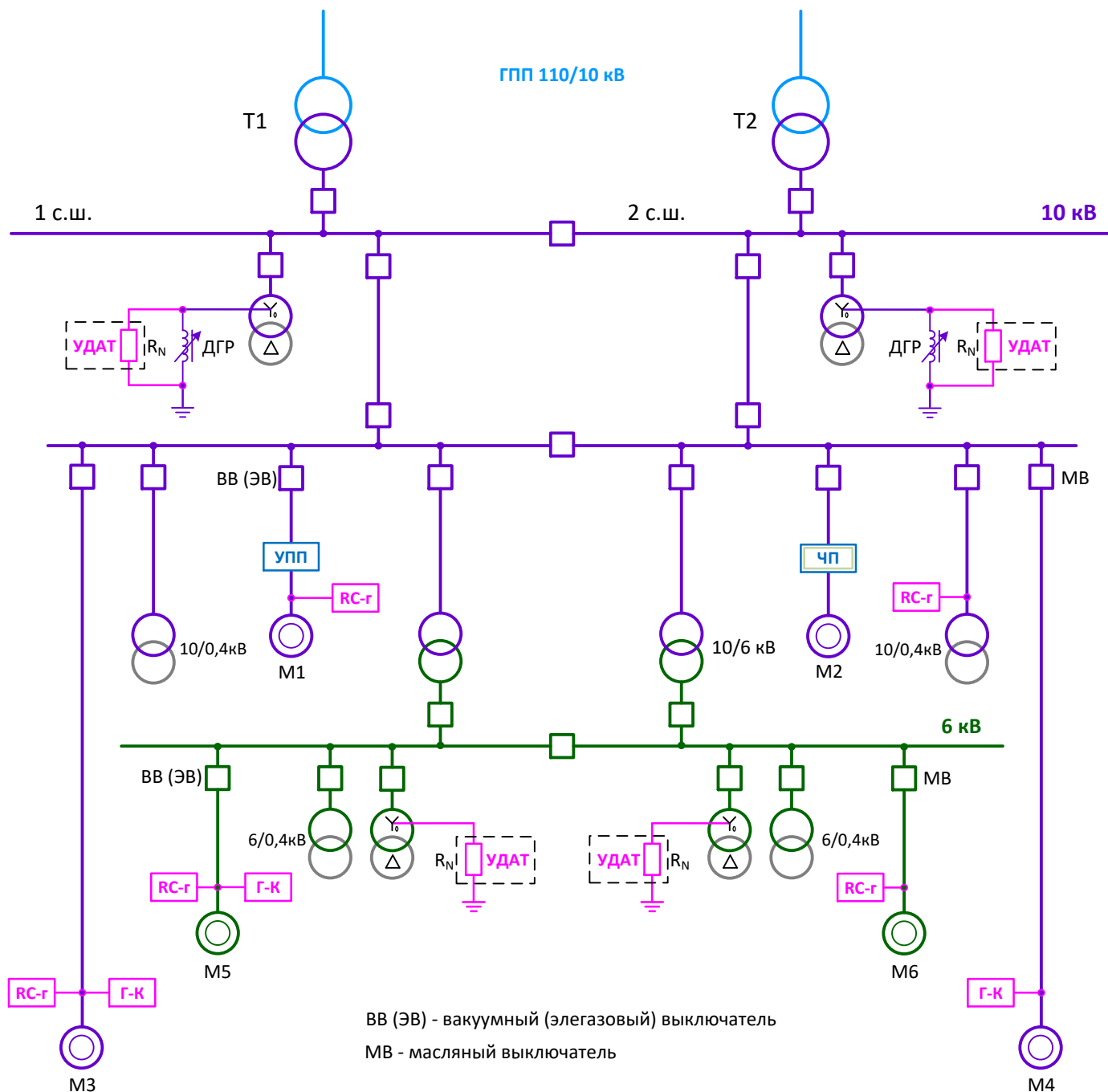
Параметры RC-цепи выбираются таким образом, чтобы в режиме устойчивого КЗ по экрану кабеля протекал ток неспособный вызвать термическое разрушение экрана.

В переходном режиме в первый полупериод промышленной частоты по кабелю будет протекать ударный ток, величина которого может превышать установившееся значение тока КЗ в 2,2-2,7 раза. В данный момент времени величина ЭДС возрастает в 2-2,5 раза. В этом случае срабатывает ОПН и ограничивает величину ЭДС в экране кабеля, а RC-цепь после закрытия ОПН ограничивает ток в экране кабеля до безопасной величины.

Габариты устройства: 300x530x220 (высота, длина, ширина).



Места подключения устройств к системе электроснабжения



Устройства «УДАТ» подключаются к секциям шин. На один узел электрических нагрузок необходимо одно устройство.

Устройства «RC-гаситель» (RC-г) и «Гаситель-компенсатор» (Г-К) подключаются к зажимам электродвигателей или вводам трансформаторов специальной кабельной перемычкой. Объекты защиты определяются предварительно с учётом их степени ответственности и рисков пробоя изоляции. Степень риска зависит от текущего срока эксплуатации электроприемника, его мощности, типа коммутационного аппарата, величины коммутационных перенапряжений.

**Мероприятия необходимые для внедрения устройств и достижения 100% селективности токовых защит от ОЗЗ**

Таблица 2 – Необходимые мероприятия для внедрения устройств и достижения 100% селективности токовых защит от ОЗЗ

№	Обследования системы электроснабжения	Результаты обследования	Приложения
1	<b>Обследование режимов однофазного замыкания на землю в сетях 3, 6, 10, 35 кВ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Оценка величины токов ОЗЗ</li> <li>- Обоснование необходимости компенсации токов ОЗЗ</li> <li>- Выбор дугогасящих реакторов (катушек)*</li> <li>- Оценка величины перенапряжений в режиме ОЗЗ</li> <li>- Определение степени рисков выхода из строя кабельных линий, электрооборудования и электроприемников</li> <li>- Обоснование необходимости ограничения перенапряжений в режиме ОЗЗ</li> <li>- Обоснование рационального режима нейтрали сети</li> <li>- Обоснование эффективных средств ограничения перенапряжений в режиме ОЗЗ</li> <li>- Выбор величины и мощности резистора заземления нейтрали сети.</li> </ul>	Состав работ: <b>Приложение 1</b>
2	<b>Обследование работоспособности защит от ОЗЗ в сетях 3, 6, 10, 35 кВ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Определение коэффициента эффективности защит от ОЗЗ для различных режимов нейтрали сети</li> <li>- Обоснование величины добавочного активного тока для выбора универсальной уставки защит от ОЗЗ</li> <li>- Обоснование 100% селективности защит от ОЗЗ</li> <li>- Достижение 100% селективности защит от ОЗЗ.</li> </ul>	Состав работ: <b>Приложение 2</b>
3	<b>Обследование коммутационных перенапряжений</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Оценка величины коммутационных перенапряжений</li> <li>- Определение степени рисков выхода из строя кабельных линий, электрооборудования и электроприемников</li> <li>- Обоснование необходимости ограничения коммутационных перенапряжений</li> <li>- Обоснование и выбор эффективных средств ограничения коммутационных перенапряжений</li> </ul>	Состав работ: <b>Приложение 3</b>
4	<b>Обследование термической устойчивости кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена в режиме КЗ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Обоснование эффективной защиты экранов силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена в режиме перегрузки и режиме КЗ за время действия защиты</li> </ul>	Состав работ: <b>Приложение 4</b>

\* - в случае необходимости

Референс-лист

Таблица 3 – Референс-лист

Объекты, на которых внедрено оборудование технологии 4К	
	АО «РУСАЛ Ачинский Глиноземный Комбинат»
	АО «РУСАЛ Саяногорский Алюминиевый Завод»
	ОАО "СУАЛ" "БАЗ-СУАЛ"
	ПАО «РУСАЛ Братск»
	ЗАО «Богучанский Алюминиевый Завод»
	АО «Ачинский НПЗ ВНК»
	Угольный разрез «Восточный», республика Казахстан
	Угольный разрез «Кедровский»
	Угольный разрез «Краснобродский»
	Угольный разрез «Междуреченский»
	АО «Бийскэнерго» ТЭЦ г.Бийск «Сибирская Генерирующая Компания»
	Угольный разрез «Черногорский»
	Угольный разрез «Березовский»
	Угольный разрез «Бородинский»
	Угольный разрез «Тулунский»
	Угольный разрез «Мугунский»
	ПАО «ММК» Рудник «Малый Куйбас»
	ПС 110/6 «КС-0» КС «Надымская»
	ПАО «Уралкалий»

Таблица 3 – Референс-лист

Объекты, на которых внедрено оборудование технологии 4К	
 <b>РОСАТОМ</b>	ФГУП «Горно-химический комбинат»
 <b>АЛРОСА</b>	ПАО «Нюрбинский горно-обогатительный комбинат»
 <b>НОРНИКЕЛЬ</b>	ПАО «Надеждинский металлургический завод»
 <b>SAMRUK ENERGY</b>	АО «АЖК» ПС 110/10 кВ «Новозападная» г. Алматы, республика Казахстан
 <b>ЕКАТЕРИНБУРГСКАЯ ЭЛЕКТРОСЕТЕВАЯ КОМПАНИЯ</b>	АО «ЕЭСК» ПС 110/10 кВ «Бархотка», г. Екатеринбург
 <b>Сибирский Цемент</b>	ООО «Красноярский цемент», цементный завод
 <b>КРИОГЕНМАШ</b>	ПАО «Криогенмаш»
 <b>СИБУР</b>	ООО «Тобольск-нефтехим»
 <b>ТРАНСНЕФТЬ</b>	ООО «Транснефть – Восток»

**Сравнение с мировыми аналогами**

Таблица 4 – Сравнение устройств «УДАТ» с мировыми аналогами

№	Технические характеристики	Тип (марка) устройства				
		NERS	DANGER	NGR	CRESSOL	УДАТ (RUTAS)
1	Уровень ограничения перенапряжений	(2-2,2)U <sub>Н</sub>	(2-2,2)U <sub>Н</sub>	(2-2,2)U <sub>Н</sub>	(2-2,2)U <sub>Н</sub>	(2-2,2)U <sub>Н</sub>
2	Регулировка добавочного активного тока для достижения селективной работы защит от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ)	нет	нет	нет	нет	да
3	Регистрация времени и длительности ОЗЗ	нет	нет	нет	нет	да
4	Длительность работы	длительно	длительно	10с	60с	длительно
5	Диапазон окружающей температуры	-60 <sup>0</sup> С ÷ +40 <sup>0</sup> С	-40 <sup>0</sup> С ÷ +40 <sup>0</sup> С	-40 <sup>0</sup> С ÷ +40 <sup>0</sup> С	-40 <sup>0</sup> С ÷ +40 <sup>0</sup> С	-60 <sup>0</sup> С ÷ +50 <sup>0</sup> С
6	Габариты, мм (высота x длина x ширина)	2200x1800x1800	2400x2000x2000	2000x1600x1600	2000x1800x1800	1800x1500x1500
7	Масса, кг	600	1300	700	1200	500
8	Ремонтопригодность	нет	да	нет	да	да
9	Страна производитель	Англия	Австралия	Китай	Индия	Россия

Таблица 5 – Сравнение устройств «RC-гаситель» с мировыми аналогами

№	Технические характеристики	Тип (марка) устройства		
		SURGEPACK	ZORC	RC-гаситель (RUTAS)
1	Уровень ограничения коммутационных перенапряжений	2,2 U <sub>Н</sub>	2,8 U <sub>Н</sub>	(1,5-1,68) U <sub>Н</sub>
2	Габариты, мм (высота, длина, ширина)	1320x1066x580	650x650x350	800x700x550
3	Масса, кг	70	40	60
4	Температура окружающей среды	-40 <sup>0</sup> С ÷ +46 <sup>0</sup> С	-40 <sup>0</sup> С ÷ +55 <sup>0</sup> С	-46 <sup>0</sup> С ÷ +55 <sup>0</sup> С
5	Ремонтопригодность	нет	нет	да
6	Термическая устойчивость к высшим гармоникам тока	Низкая, т.к. конденсатор и резистор в одном корпусе	Низкая, т.к. конденсатор и резистор в одном корпусе	Высокая, т.к. резистор вынесен из корпуса конденсатора
7	Влияние на величину ёмкостного тока однофазного замыкания на землю (ОЗЗ)	Увеличивает ёмкостной ток ОЗЗ	Увеличивает ёмкостной ток ОЗЗ	Не влияет
8	Установка ДГР или их настройка	Требуется	Требуется	Не требуется
9	Страна производитель	США	Австралия	Россия

**Аналогов второго (гаситель-компенсатор) и четвертого (RC-К4) компонентов технологии 4К не существует**

### Диссертационные работы

В таблице 6 указаны ссылки на диссертационные работы членов нашей команды на звание «Кандидат технических наук» по теме режимов нейтрали сети, внутренних перенапряжений, разработки и совершенствования методов и средств ограничения внутренних перенапряжений

Таблица 6 – Диссертационные работы

<b>Автор диссертационной работы</b>	<b>Ссылка на материалы</b>
Кузьмин Роман Сергеевич	Автореферат: <a href="https://rutas.group/files/kuzmin_r.s._avtoreferat.pdf">https://rutas.group/files/kuzmin_r.s._avtoreferat.pdf</a> Работа: <a href="https://rutas.group/files/kuzmin_r.s._dissertaciya.pdf">https://rutas.group/files/kuzmin_r.s._dissertaciya.pdf</a>
Гаврилова Екатерина Владимировна	Автореферат: <a href="https://rutas.group/files/gavrilova_e.v._avtoreferat.pdf">https://rutas.group/files/gavrilova_e.v._avtoreferat.pdf</a> Работа: <a href="https://rutas.group/files/gavrilova_e.v._dissertaciya.pdf">https://rutas.group/files/gavrilova_e.v._dissertaciya.pdf</a>
Барышников Дмитрий Владимирович	Автореферат: <a href="https://rutas.group/files/baryshnikov_d.v._avtoreferat_2.pdf">https://rutas.group/files/baryshnikov_d.v._avtoreferat_2.pdf</a> Работа: <a href="https://rutas.group/files/baryshnikov_d.v._dissertaciya_2.pdf">https://rutas.group/files/baryshnikov_d.v._dissertaciya_2.pdf</a>
Меньшиков Виталий Алексеевич	Автореферат: <a href="https://rutas.group/files/menshikov_v.a._avtoreferat.pdf">https://rutas.group/files/menshikov_v.a._avtoreferat.pdf</a> Работа: <a href="https://rutas.group/files/menshikov_v.a._dissertaciya.pdf">https://rutas.group/files/menshikov_v.a._dissertaciya.pdf</a>
Майнагашев Роман Александрович	Автореферат: <a href="https://rutas.group/files/mainagashev_r.a._avtoreferat.pdf">https://rutas.group/files/mainagashev_r.a._avtoreferat.pdf</a> Работа: <a href="https://rutas.group/files/mainagashev_r.a._dissertaciya.pdf">https://rutas.group/files/mainagashev_r.a._dissertaciya.pdf</a>



**Статьи**

В таблице 7 приведены ссылки на некоторые из наших статей по теме режимов нейтрали сети, аварийности систем электроснабжения, внутренних перенапряжений.

Таблица 7 - Статьи

№	Название статьи	Ссылка на материалы
1	Причины возникновения коротких и однофазных замыканий на землю в сетях горных предприятий	Статья: <a href="https://rutas.group/files/tl2.pdf">https://rutas.group/files/tl2.pdf</a>
2	Анализ и прогноз аварийности распределительных электросетей и электроприемников 6-10 кВ в горной отрасли	Статья: <a href="https://rutas.group/files/tl1.pdf">https://rutas.group/files/tl1.pdf</a>
3	Анализ аварийности в системе электроснабжения 6-10 кВ горно-металлургических предприятий Сибири	Статья: <a href="https://rutas.group/files/tl3.pdf">https://rutas.group/files/tl3.pdf</a>
4	Анализ динамики аварийности и повышение эффективности защиты от однофазных замыканий на землю в сетях и электрооборудовании 6-10 кВ карьеров и разрезов	Статья: <a href="https://rutas.group/files/tl4.pdf">https://rutas.group/files/tl4.pdf</a>
5	Однофазные замыкания на землю в сетях 6-10 кВ и электротравматизм на угольных разрезах	Статья: <a href="https://rutas.group/files/tl39.pdf">https://rutas.group/files/tl39.pdf</a>
6	Опыт эксплуатации средств защиты от коммутационных перенапряжений в системах электроснабжения 6 кВ горных предприятий	Статья: <a href="https://rutas.group/files/tl24.pdf">https://rutas.group/files/tl24.pdf</a>
7	Влияние процесса дугогашения в высоковольтных выключателях на величину коммутационных перенапряжений, возникающих в сетях 6...10 кВ горно-добывающих предприятий	Статья: <a href="https://rutas.group/files/tl26.pdf">https://rutas.group/files/tl26.pdf</a>
8	Влияние типа и мощности электродвигателей и типа выключателей на величину коммутационных перенапряжений, возникающих в сетях 6-10 кВ горно-добывающих предприятий	Статья: <a href="https://rutas.group/files/tl33.pdf">https://rutas.group/files/tl33.pdf</a>
9	Анализ коммутационных перенапряжений в сетях 6-10 кВ угольных разрезов	Статья: <a href="https://rutas.group/files/tl34.pdf">https://rutas.group/files/tl34.pdf</a>
10	Влияние коммутационных перенапряжений на надежность систем электроснабжения 6 кВ шахт и рудников	Статья: <a href="https://rutas.group/files/tl36.pdf">https://rutas.group/files/tl36.pdf</a>

Отзывы



Инжиниринг  
Строительство  
Обслуживание

Филиал в г. Ачинск

**ОТЗЫВ**

о результатах работы RC-гасителей в сетях 3, 6 и 10 кВ, гасителей-компенсаторов, комбинированного режима нейтрали в сетях 10 кВ на АО «РУСАЛ Ачинск»

На основании проведённых исследований специалистами ООО «НПП «Рутас» и в соответствии с выданными рекомендациями для снижения аварийности и повышения эффективности систем электроснабжения 3-10 кВ АО «РУСАЛ Ачинск» с 2004 года по настоящее время происходит внедрение RC-гасителей и гасителей-компенсаторов (ГК). Общее число внедрённых устройств составило 93 шт.

До внедрения RC-гасителей и ГК средний выход из строя высоковольтных электродвигателей мощностью от 1250 до 10000 кВт составлял 16 двигателей, а мощностью от 250 до 625 кВт – 37 двигателей в год.

После внедрения RC-гасителей и ГК средний выход из строя двигателей мощностью от 1250 до 10000 в год не превышает 3 двигателей, а мощностью от 250 до 625 кВт не более 7 двигателей в год, т.е. аварийность двигателей снизилась в 5 раз и более. В связи с данным эффектом срок окупаемости RC-гасителей не превышает 1,2 года.

Сети 10 кВ АО «РУСАЛ Ачинск» с компенсированного режима нейтрали на комбинированный за счёт устройства УДАТ были переведены в 2013 году. За период 2014-2019 гг. количество повреждений изоляции кабельных линий и электрооборудования снизилось с 38 до 6, т.е. примерно в 6 раз. Прекратился выход из строя измерительных трансформаторов напряжения. Прекратились групповые отключения электроприёмников в режиме однофазного замыкания на землю, что позволило сократить годовые затраты времени на ремонтные и восстановительные работы электрических сетей и электрооборудования практически в 2,6-3 раза. Это позволило окупить затраты на внедрение комбинированного режима нейтрали за 0,92 года, т.е. менее, чем за год.

С учётом затрат на научно-исследовательскую работу средний срок окупаемости RC-гасителей, ГК и устройств УДАТ не превысил 1,5 года.

Научно-исследовательские работы, производство, поставка и шеф-монтаж RC-гасителей, ГК и системы УДАТ осуществлялись компанией ООО «НПП «Рутас».

Главный специалист по электрооборудованию  
(главный энергетик) дирекции по ремонту  
энергетического оборудования филиала ООО «ИСО»  
в г. Ачинске

Демидов Е.Б.



**ОТЗЫВ**

о результатах работы Общества с ограниченной ответственностью «Научно-производственного предприятия «Рутас» на АО «РУСАЛ Саяногорск»

ООО «НПП «Рутас» сотрудничает с АО «РУСАЛ Саяногорск» с 2004г. в области научно-технических услуг по повышению надёжности и эффективности системы электроснабжения АО «РУСАЛ Саяногорск».

Специалистами ООО «НПП «Рутас» было выполнено комплексное обследование системы электроснабжения 6-10 кВ Саяногорского и Хакасского алюминиевых заводов. Обоснована и начата с 2019г. реализация разделения электрических нагрузок двух заводов, что позволит увеличить пропускную способность, повысить ремонтоспособность системы электроснабжения, исключить взаимное влияние электрических нагрузок двух заводов и свести к минимуму необоснованные простои технологии по производству алюминия.

Изучены вопросы коммутационных перенапряжений при эксплуатации печных агрегатов с элегазовыми выключателями и электродвигателей совместно с маломасляными и вакуумными выключателями с учётом особенностей производства алюминия. В частности, выявлено влияние высших гармоник тока на величину коммутационных перенапряжений. Доказана низкая эффективность нелинейных ограничителей перенапряжений для защиты электродвигателей и печных агрегатов от коммутационных перенапряжений.

Проанализирована аварийность системы электроснабжения 6-10 кВ АО «РУСАЛ Саяногорск». Показано, что основными причинами аварийности сетей 6-10кВ и электроприёмников являются: ускоренное старение изоляции, наличие условий для возникновения коммутационных перенапряжений, превышающих номинальное напряжение сети в 5-6 раз, в режиме дуговых однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) перенапряжения могут достигать величины  $4U_n$ , а недостаточная эффективность защит от ОЗЗ может приводить к групповым отключениям электроприёмников.

Рекомендовано и начато внедрение с 2018г. технологии, разработанной в ООО «НПП «Рутас», по снижению аварийности в системе электроснабжения АО «РУСАЛ Саяногорск», основанной на комплексном использовании комбинированного режима нейтрали в сети 10 кВ, RC-гасителей, гасителей-компенсаторов и устройств RC-K4.

Установлен эффект ионизации дождевых капель в мощном магнитном поле постоянного тока, что позволило разработать эффективную систему молниезащиты тяжёлой ошиновки и исключить прямое попадание молнии в тяжёлую ошиновку.

Главный энергетик АО «РУСАЛ Саяногорск»

21.04.2020г.

Льсоногов А.В.





**ОТЗЫВ**

о сотрудничестве ПАО «РУСАЛ-Братск» с ООО «НПП «Рутас»

Сотрудничество ПАО «РУСАЛ-Братск» с ООО «НПП «Рутас» осуществляется с 2004г. и позволило решить ряд неотложных научно-технических задач, связанных с:

- устойчивостью системы электроснабжения 6-10 кВ в режимах коротких замыканий и однофазных замыканий на землю в сетях 6-10 кВ;
- эффективным ограничением внутренних перенапряжений в системе электроснабжения 6-10 кВ;
- снижением аварийности выпрямительных агрегатов в технологии по производству алюминия.

Установлена закономерность влияния коммутационных перенапряжений, возникающих в первичной обмотке, на перенапряжения вторичной обмотки печного трансформатора, кратность которых превышает кратности перенапряжений в первичной обмотке в 3-4 раза. Данное явление является основной причиной пробоев силовых диодов обратным напряжениям в выпрямительных агрегатах.

Соответствующая научная подготовка и высокий профессионализм позволил сотрудникам ООО «НПП «Рутас» разработать эффективное решение по нейтрализации вышеуказанных явлений, основанном на совместном использовании RC-гасителей и RC-реле.

RC-гасители обеспечивают защиту первичной обмотки печного трансформатора, а RC-реле защищают силовые диоды выпрямительных агрегатов от импульсных перенапряжений.

Детальный анализ аварийности системы электроснабжения ПАО «РУСАЛ-Братск» позволил приступить с 2017г. к реализации технологии по снижению аварийности в системах электроснабжения 6-10 кВ, разработанной сотрудниками ООО «НПП «Рутас». В основе технологии лежит одновременное использование четырёх компонентов: резистивного режима нейтрали на базе систем УДАТ-63/10,5-150/1000-15/85-УХЛ1, RC-гасителя типа RC-6,3/10,5-0,25/30-УХЛ1; гасителя-компенсатора типа ГК-10,5-0,75 УХЛ1 и реле RC-8000-1000.

Главный энергетик ПАО «РУСАЛ-Братск»



Згрундо С.М.



**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«АЧИНСКИЙ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИЙ ЗАВОД ВОСТОЧНОЙ НЕФТЯНОЙ КОМПАНИИ»  
(АО «АНПЗ ВНК»)**

Почтовый адрес: промзона НПЗ, Большеулуйский район, Красноярский край, Российская Федерация, 662110  
Место нахождения: Российская Федерация, Красноярский край, Большеулуйский район, промзона НПЗ  
Телефон: 8(39159) 5-33-10, факс: 8(39159) 5-37-10, e-mail: sokr@achnpz.ru  
ОКПО 05747206, ОГРН 1022401153532, ИНН/КПП 2443000518 / 997250001

от 20.04.2020 № 211/061

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

*Директору  
ООО НПП «Рутас»  
Кузьмину С.В.*

***Отзыв о работе  
трёхфазных РС-гасителей***

***Уважаемый Сергей Васильевич!***

На АО «АНПЗ ВНК» с 2001 года для защиты от коммутационных перенапряжений, ответственных и часто коммутируемых электродвигателей, используются РС-гасители в количестве 42 штук производства ООО НПП «Рутас». Защита редко коммутируемых и не ответственных электродвигателей осуществляется нелинейными ограничителями перенапряжений ОПН в количестве 15 штук.

Опыт эксплуатации показывает, что электрические пробой изоляции, разделок кабелей и электродвигателей при использовании РС-гасителей за период с 2001 по 2019гг. отсутствуют. В то же время при использовании ОПН наблюдали пробой изоляции электродвигателей при их коммутации вакуумным выключателем в среднем у 1-2 двигателей в год, а разделки силовых кабелей выходят из строя чаще электродвигателей в 2,5-3 раза.

Вышеприведённые факты указывают на высокую эффективность РС-гасителей по сравнению с ОПН при защите электродвигателей и разделок кабелей от коммутационных перенапряжений.

Окупаемость РС-гасителей на основе снижения затрат на ремонт электродвигателей и разделок кабелей и с учётом простоя технологического оборудования не превышает 1,4 года.

С уважением,  
**Главный энергетик**

**А.Ю. Разин**





20.06.2019

### ОТЗЫВ

на методики оценки, прогнозирования внутренних перенапряжений и использование в проектах технических решений по снижению аварийности в системах электроснабжения 6-35 кВ промышленных предприятий «Rutas 4К»

При проектировании систем электроснабжения для новых промышленных предприятий и модернизации систем электроснабжения АО «Электропроект» широко применяется разработанная в ООО «НПП «Рутас» технология 4К, направленная на увеличение в режиме наработки на отказ новых кабельных линий, электродвигателей, трансформаторов и снижение аварийности в существующих (модернизируемых) системах электроснабжения 6-10 кВ.

В основе технологии Rutas 4К лежит комплексное использование четырёх компонентов:

1. Универсальные RC-гасители для эффективного ограничения коммутационных перенапряжений до уровня  $(1,65-1,7)U_N$ ;

2. Устройства УДАТ или BSR для перевода изолированного и компенсированного соответственно на резистивный и комбинированный режимы нейтрали сетей 6-10кВ, позволяющих ограничивать перенапряжения в режиме ОЗЗ до уровня  $(2-2,1)U_N$ , обеспечивать 100% селективность токовых защит от ОЗЗ и ликвидировать условия возникновения феррорезонансных перенапряжений;

3. Гасители-компенсаторы, позволяющие осуществить более глубокое ограничение перенапряжений в режиме ОЗЗ до уровня  $(1,7-1,8)U_N$  в сетях с резистивным или комбинированным режимами нейтрали, ликвидировать возникновение локальных резонансных перенапряжений и осуществлять частичную компенсацию реактивной мощности;

4. Устройство RC-K4 для защиты экранов кабелей 6-10 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена от термического разрушения.

Методика оценки и прогнозирования внутренних перенапряжений в системах электроснабжения 6-10 кВ промышленных предприятий разрабатывалась сотрудниками ООО «НПП «Рутас» в период с 2006г. по 2011г. и состоит из трёх основных разделов:

1. Экспресс-методы оценки коммутационных перенапряжений;
2. Методика оценки перенапряжений в режиме дугового однофазного замыкания на землю (ОЗЗ), изолированного, резистивного, компенсированного и комбинированного режимов нейтрали сети;
3. Методика оценки резонансных и феррорезонансных перенапряжений.

По сравнению с компьютерным моделированием внутренних перенапряжений в системе электроснабжения горно-металлургических предприятий, средняя продолжительность которых составляет 6-14 месяцев, данная методика имеет простой алгоритм расчёта, что позволяет в 5-6 раз сократить время расчётов и снизить количество инженеров, занятых расчётами перенапряжений с 5-6 до одного сотрудника и, как следствие, уменьшить себестоимость данных работ в 7-8 раз.

Актуальность и своевременность методики состоит в том, что с широким внедрением вакуумных и элегазовых выключателей в сетях 6-10 кВ возможен обоснованный выбор эффективных средств защиты от коммутационных перенапряжений и мест их установки, а также обоснованный выбор рационального режима нейтрали в сетях 6-10 кВ с целью эффективного ограничения перенапряжений в режиме ОЗЗ, резонансных, феррорезонансных перенапряжений и обеспечить 100% селективность защит от ОЗЗ, что снижает аварийность системы электроснабжения и электроприёмников.

Методика оценки и прогнозирования внутренних перенапряжений в системах электроснабжения 6-10 кВ промышленных предприятий может быть использована как для стадии проектирования, так и во время эксплуатации систем электроснабжения.

Директор  
Красноярского филиала  
АО «Электропроект»



Таркова В.В.



АКТ № 1

от «20» ноября 2018 г.

**РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТРОЙСТВ  
ТИПА УДАТ-6,3-200/750-65/75 УХЛ1**

Комиссия, назначенная приказом № 1813 от «31» нояб 20 18 г.  
по филиалу «Кедровский угольный разрез» АО «Кузбассразрезуголь»:

Рассмотрев образцы устройств типа УДАТ-6,3-200/750-65/75 УХЛ1,  
предоставленные ООО «СервоЭнергоКрат»,  
и результаты эксплуатационных испытаний, проведенных на ПС 110/6 кВ. №36  
«Владимировская» филиала «Кедровский угольный разрез» АО «Кузбассразрезуголь».

СЧИТАЕТ:

1. Разработанное устройство соответствует требованиям ПУЭ, ПТЭЭП, ПБ РУМОС.
2. Основные показатели устройств соответствуют требованиям ПУЭ, ПТЭЭП, ПБ РУМОС.

За период с 13.06.2018 г. по 01.11.2018 г. в комплексе с секционными ячейками типа ЯКНО-6У-1В5 согласно данным журнала опытной эксплуатации устройств УДАТ (приложение к акту) достигнута 100 % селективность отключений при возникновении однофазных замыканий на землю.

Защита от ОЗЗ ячеек на ответвлениях фидеров указанной подстанции срабатывала селективно, не отключая секционные ячейки, позволяя другим электропотребителям этих фидеров продолжать работу.

Выявленные недостатки устройств: недостатков не выявлено.

3. Испытанные устройства, полностью соответствующие заявленным к ним требованиям, целесообразно использовать на ПС 110\6 кВ и аналогичных подстанциях, питающих передвижные электроприемники (экскаваторы) на горных работах.

РЕКОМЕНДУЕТ:

Установленную партию устройств приобрести в рамках инвестиционной программы в 2019 г.

- Приложение: 1. Журнал опытной эксплуатации устройств УДАТ (секция 1).  
2. Журнал опытной эксплуатации устройств УДАТ (секция 2).

Члены комиссии:

И. о. заместителя директора – технического  
директора филиала «Кедровский угольный разрез»  
АО «Кузбассразрезуголь»



(подпись)

Никонов Д.И.

Главный энергетик филиала «Кедровский  
угольный разрез» АО «Кузбассразрезуголь»



(подпись)

Чулынин А.Л.

Начальник Кедровского РЭС  
ОАО «Кузбассэлектро»



(подпись)

Андрющенко А.В.



**ОБСЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ 3, 6, 10, 35 кВ****СОСТАВ РАБОТ:**

1. Расчет собственных емкостных токов однофазного замыкания на землю (ОЗЗ) отдельных линий и присоединений для нормальной конфигурации сети
2. Расчет токов ОЗЗ в узлах электрических нагрузок для нормальной конфигурации сети
3. Расчет токов ОЗЗ в узлах электрических нагрузок для конфигураций сети отличных от нормальной
4. Измерение токов ОЗЗ\*
5. Расчет тока ОЗЗ для конфигурации сети на момент измерения тока ОЗЗ\*
6. Сравнение расчетного и измеренного токов ОЗЗ\*
7. Обоснование необходимости компенсации емкостных токов ОЗЗ
8. Выбор дугогасящих реакторов (катушек)
9. Оценка перенапряжений в системе электроснабжения в режиме ОЗЗ
10. Оценка условий возникновения феррорезонансных перенапряжений
11. Оценка термической устойчивости нелинейных ограничителей перенапряжений в режиме ОЗЗ
12. Обоснование рационального режима нейтрали сети
13. Определение допустимой величины добавочного активного тока
14. Оценка перенапряжений в режиме ОЗЗ с учетом добавочного активного тока
15. Оценка условий возникновения феррорезонансных перенапряжений с учетом добавочного активного тока
16. Оценка термической устойчивости нелинейных ограничителей перенапряжений в режиме ОЗЗ с учетом добавочного активного тока
17. Сравнительный анализ режимов нейтрали сети
18. Выбор рационального режима нейтрали сети
19. Выбор величины и мощности резистора
20. Выбор типа и мощности нейтралеобразующего трансформатора

\* Данные пункты по согласованию с заказчиком. Выполняются в случае необходимости доказательства достоверности расчетных данных.

**ОБСЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЗАЩИТ ОТ ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ 3, 6, 10, 35 кВ****СОСТАВ РАБОТ:**

1. Обоснование рационального режима нейтрали сети с учетом эффективности защит от ОЗЗ
2. Расчет уставок защит от ОЗЗ по первичному току для существующего режима нейтрали сети
3. Определение коэффициента эффективности защит от ОЗЗ для существующего режима нейтрали сети
4. Расчет уставок защит от ОЗЗ по первичному току с учетом необходимой компенсации емкостного тока
5. Определение коэффициента эффективности защит от ОЗЗ с учетом компенсации емкостного тока
6. Расчет уставок защит от ОЗЗ с учетом добавочного активного тока
7. Определение коэффициента эффективности защит от ОЗЗ с учетом добавочного активного тока
8. Сравнительный анализ эффективности защит от ОЗЗ для возможных режимов нейтрали сети
9. Обоснование 100% селективности защит от ОЗЗ
10. Снятие характеристик трансформаторов тока нулевой последовательности
11. Проверка работоспособности устройств защит от ОЗЗ при выбранных уставках и выбранному току срабатывания
12. Корректировка уставок защит от ОЗЗ для достижения 100% селективности

**ОБСЛЕДОВАНИЕ КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ****СОСТАВ РАБОТ:**

1. Расчет коммутационных перенапряжений (КП)
2. Расчет коммутационных перенапряжений в режиме ОЗЗ
3. Измерение коммутационных перенапряжений
4. Сравнительный анализ расчетных и измеренных значений КП
5. Определение степени рисков пробоя изоляции кабельных линий, кабельных муфт, электрооборудования и электроприемников.
6. Обоснование и выбор средств защиты от КП
7. Выбор мест установки средств защиты от КП

**ОБСЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА В РЕЖИМЕ КЗ****СОСТАВ РАБОТ:**

1. Оценка величины тока протекающего в экране кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена в режиме КЗ
2. Оценка величины тока протекающего в экране кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена в нормальном режиме эксплуатации
3. Оценка величины тока протекающего в экране кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена в пусковых режимах
4. Определение времени термической устойчивости экранов кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена для нормального режима, пусковых режимов и в режиме КЗ
5. Определение потенциала между экраном кабеля и землей в случае его заземления с одной стороны
6. Измерение тока в экране кабеля и силовой жиле в нормальном режиме эксплуатации
7. Выбор рациональных устройств защиты от термического разрушения экранов кабелей