

Белоусов Д.В.,

магистрант,

2 курс, факультет «Теплоэнергетика»

Филиал «Национальный исследовательский университет

«МЭИ» в г. Волжском

Россия, г. Волжский

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АВТОМАТИКИ ОГРАНИЧЕНИЯ ПЕРЕГРУЗКИ ОБОРУДОВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Аннотация: Вот уже несколько лет в производстве и распределении электроэнергии происходят серьезные изменения. Инновационные циклы (когда речь идет об операционном оборудовании и средствах связи) становятся все короче, а рынок становится все более дерегулированным. Системы, используемые для контроля оборудования и процессов электропитания, должны учитывать эти изменения. При использовании новых продуктов важными характеристиками являются удобство для пользователя, простота проектирования, взаимодействие с различными средствами связи и расширяемость.

Ключевые слова: автоматика ограничения перегрузки, линии электропередач, воздушные линии.

Annotation: for several years now, serious changes have been taking place in the production and distribution of electricity. Innovation cycles (when it comes to operating equipment and communications) are getting shorter and the market is becoming more deregulated. Systems used to monitor equipment and power supply processes must take these changes into account. When using new products, user-friendliness, ease of design, interaction with various means of communication, and extensibility are important characteristics.

Key words: *automatic overload control, power lines, overhead lines.*

Возникновение перегрузки линии электропередачи является актуальной проблемой для распределительной сети Московской энергосистемы. Воздушные линии (OHL), кабельные линии (CL) и смешанные кабельно-воздушные линии (ML) могут быть подвержены опасности.

Опасность перегрузки тепловой линии в основном заключается в следующем¹:

- для OHL - удлинитель провода с повышением температуры - увеличение провисания провода - возможный пробой в воздушном зазоре и возникновении короткого замыкания - отключение линии;
- для КЛ - прогрессирование старения изоляции - возможное нарушение и короткое замыкание - отключение линии;
- для ML - сочетание вышеупомянутых факторов: в течение летнего сезона надземная часть находится в основной опасности, в зимний период - кабельная часть (как правило).

Если линия отключается во время возникновения перегрузки, нагрузка потребителей падает на другие каналы, что может вызвать возникновение перегрузки этих каналов и привести к каскадному отключению. Поэтому отключение перегруженной линии следует рассматривать как последнюю возможную меру. Должны быть предприняты меры аварийного контроля, направленные на разгрузку линии.

Московская объединенная электросетевая компания (MUEGC) разместила заказ в Институте «ЭНЕРГОСЕТПРОЕКТ» (ESP) на разработку системы автоматизации ограничения перегрузки (LOLA) и выполнение нескольких работ для реальных транзитов 110 кВ, которые были связаны с перегрузкой. В результате выполненных проектов были определены основные принципы работы автоматизации и разработаны функциональные и структурные (так

¹ Ратушняк, В.С. Статистический анализ аварийных отключений электроэнергии из-за гололедообразования на проводах ЛЭП на территории РФ / В.С. Ратушняк, В.С. Ратушняк, Е.С. Ильин, О.Ю. Вахрушева // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. - 2018. - №1. – С. 12.

называемые «архитектурные») схемы LOLA. На основании этих работ ОАО «Энера Инжиниринг») с 2009 года разрабатывает рабочую документацию, направленную на внедрение аппаратного обеспечения системы LOLA. Опыт, полученный в ходе общего рабочего процесса, анализируется и обобщается в этой статье для обмена².

Устройства ограничения перегрузки линии, которые использовались ранее, имели элемент реагирования на ток и осуществляли действия по аварийному управлению в зависимости от текущего значения перегрузки. Условиями нагрева и охлаждения линии пренебрегали. Прибор LOLA, разработанный Институтом ESP, позволяет определить перегрузку тепловой линии (то есть ее перегрев). Это решение является более точным в принципе, что позволяет определять и минимизировать действия по аварийному контролю.

Наиболее доступной мерой для ликвидации перегрузки линии является сброс нагрузки. Поскольку время отключения нагрузки должно быть как можно меньше, в устройстве LOLA предусмотрено автоматическое включение обратной нагрузки. Это осуществляется посредством автоматизации после снижения температуры проводника, но сначала требуется разрешение диспетчерского персонала. Ток линии контролируется одновременно, потому что слишком высокий уровень включения нагрузки (для периода после аварии) может привести к другому возникновению перегрузки³.

Различные меры могут быть использованы в качестве автоматического контроля действий. В принципе их всех можно разделить на три группы:

1) Уменьшение выработки электроэнергии в конце подачи транзита:

- одностороннее отключение (авто) трансформаторов, питающих участок шины, где коммутируется защищенная линия;

² Ахмедова, О.О. Анализ системы мониторинга воздушных линии электропередачи / О.О. Ахмедова, А.Г. Сошинов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2018. - № 11 (Ч. 4) - С. 533-536.

³ Касимов, В.А. Искажения локационных импульсов в высокочастотном тракте воздушной линии электропередачи / В.А. Касимов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. - 2019. - № 5-6. - С. 9-16.

- временное ограничение генерации электростанции - отключение генераторов гидроэлектростанции, ограничение мощности генераторов теплоэлектростанции (через механизм управления турбиной), отключение газовой турбины в парогазовых установках.

2) Увеличение подачи в конце загрузки транзита - введение резервных кормовых мощностей:

- включение электростанции - включение резервных генераторов ГЭС или использование гидроагрегатов, ранее работавших в режиме синхронного компенсатора; увеличение мощности уже работающих генераторов ТЭЦ;
- включение газотурбинных установок в парогазовых установках, запуск местных передвижных газотурбинных электростанций; временное ограничение централизованного теплоснабжения отбором пара теплоэлектростанциями комбината с целью увеличения электрической мощности,
- включение шинного выключателя для питания нагрузки от двух трансформаторов (вместо одного).

3) Снижение мощности, потребляемой в конце погрузки транзита:

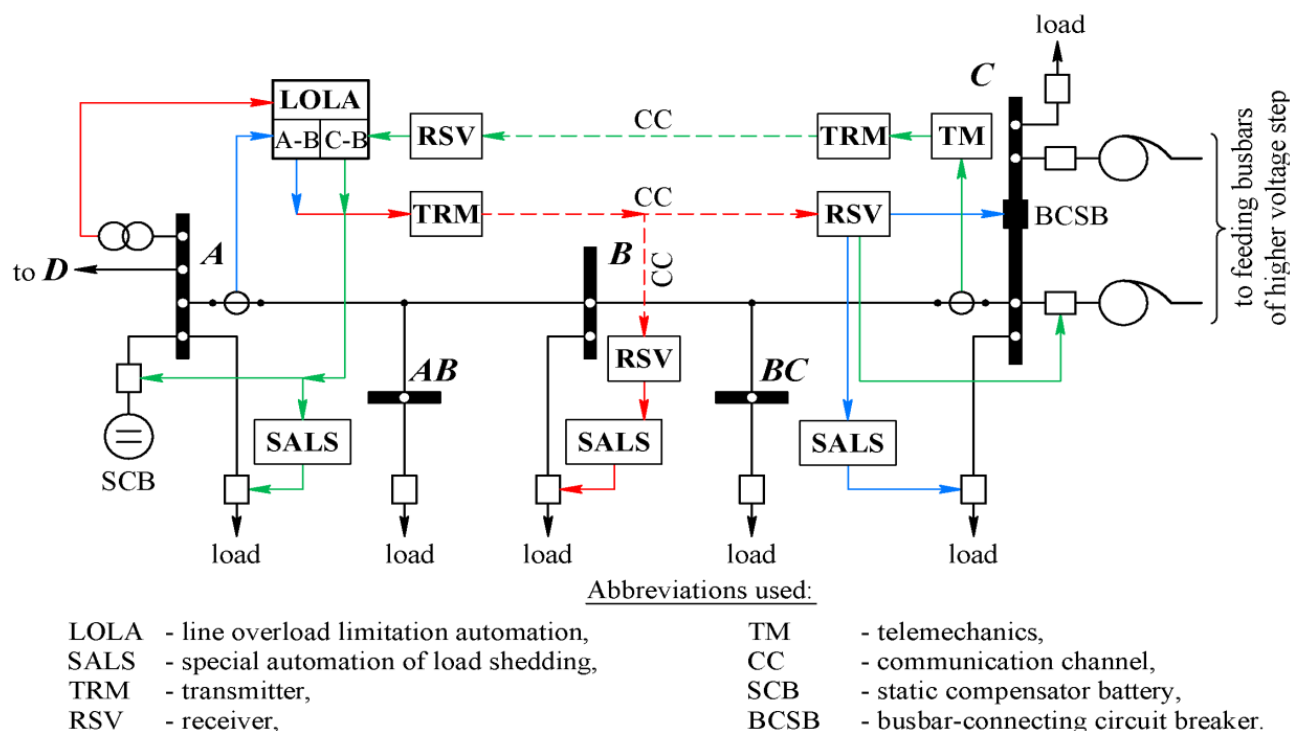
- включение источников реактивной мощности для компенсации части нагрузки и повышения уровня напряжения,
- сброс нагрузки,
- одностороннее отключение линии, которая удаляется от конечной подстанции.

Термины «конец подачи» и «конец нагрузки» используются условно, потому что любая часть 110-220 кВ московской энергосистемы имеет подачу питания на обоих концах. Еще одной особенностью этой системы является широко используемое разбиение сетки (секционирование).

Устройство LOLA не выбирает АСА автоматически из-за того, что для выбора действий требуется слишком много данных, включая топологию соседней сетки. Это также значительно усложнит логику устройства и снизит его

надежность. В связи с этим весь выбор АСА выполняется заранее техническими инженерами в процессе проектирования⁴.

Целесообразно рассмотреть операцию LOLA на определенном примере. Упрощенная схема, показана на рисунке.



Comments:

- 1 Communication organization scheme is given in a simplified way.
- 2 Load shedding scheme in substations is given in a simplified way.

Рисунок 1. Упрощённая однолинейная схема операции LOLA

Защищенный транзит состоит из двух линий: А - В и В - С, каждая имеет ответвление и подачу питания на обоих концах. В различных аварийных случаях происходит обратный поток энергии.

Когда поток энергии имеет направление $A \wedge B \wedge C$, обе линии перегружены, но наиболее загруженная часть находится рядом с шинами подстанции А (начальная секция). Следовательно, ток должен контролироваться в этом разделе. Меры аварийного контроля⁵:

⁴ Касимов, В.А. Модельно-экспериментальное обнаружение локационным методом повреждений на проводах воздушных линий электропередачи / В.А. Касимов, Р.Г. Минуллин, Ю.В. Писковацкий, Э.Ю. Абдуллазянов // Электросвязь. - 2019. - № 4. - С. 102-108.

⁵ Левченко, И.И. Интеллектуальная система плавки гололеда на проводах и грозозащитных тросах воздушных линий электропередачи ПАО "МРСК ЮГА" / И.И. Левченко, П.В. Гончаров, Е.И. Сацук, С.С. Шовкопляс // Электроэнергия. Передача и распределение. - 2018. - № 1 (46). - С. 72-82.

- первая ступень - включение шинного выключателя на подстанции С (увеличение подачи в конце нагрузки транзита);
- второй этап - отключение нагрузки на подстанциях В и С (уменьшение потребляемой мощности в конце нагрузки транзита).

Часть алгоритма, связанная с определением перегрузки линии АВ, изображена синим цветом на рисунке 1.

Когда поток энергии имеет направление $C \wedge B \wedge A$, обе линии также перегружены, но наиболее загруженная часть находится рядом с шинами подстанции С, поэтому ток контролируется в этом разделе. Меры аварийного контроля:

- первая ступень - одностороннее отключение питающего автотрансформатора подстанции С (уменьшение мощности, генерируемой на подающем конце транзита) и аккумулятора статического компенсатора включения подстанции А (уменьшение мощности, потребляемой в загрузка конца транзита),
- второй этап - отключение нагрузки на подстанциях А и В (уменьшение потребляемой мощности в конце нагрузки транзита).

Часть алгоритма, связанная с определением перегрузки линии СВ, изображена зеленым цветом на рисунке 1. Часть, окрашенная в красный цвет, относится как к линиям АВ, так и к линиям СВ.

Сброс нагрузки в отводных подстанциях (АВ, ВС) также уменьшает перегрузку линии. Однако это требует новой организации канала связи, которая является самым дорогим элементом системы LOLA. Система LOLA должна включать в себя как можно меньше объектов. В частности, это может быть достигнуто путем правильного выбора действий управления - когда АСА одинаковы для разных аварийных ситуаций (например, для отключения нагрузки на подстанции В). Целесообразно установить устройство LOLA на подстанции, где измеряется ток (для экономии на телемеханике), а некоторые АСА реализуются (для экономии на каналах связи)⁶.

⁶ Шилин, А.Н. Рефлектометр для линий электропередачи с автоматической коррекцией методической погрешности / А.Н. Шилин, А.А. Шилин, Н.С. Артюшенко, Д.Н. Авдеюк // Контроль. Диагностика. - 2018. - № 4. - С. 52-57.

В соответствии с этим может быть показана упрощенная функциональная схема устройства LOLA, установленного на подстанции А. Эту конфигурацию можно рассматривать как универсальную, поскольку здесь одно устройство обеспечивает защиту двух линий с обратным потоком мощности и разных АСА.

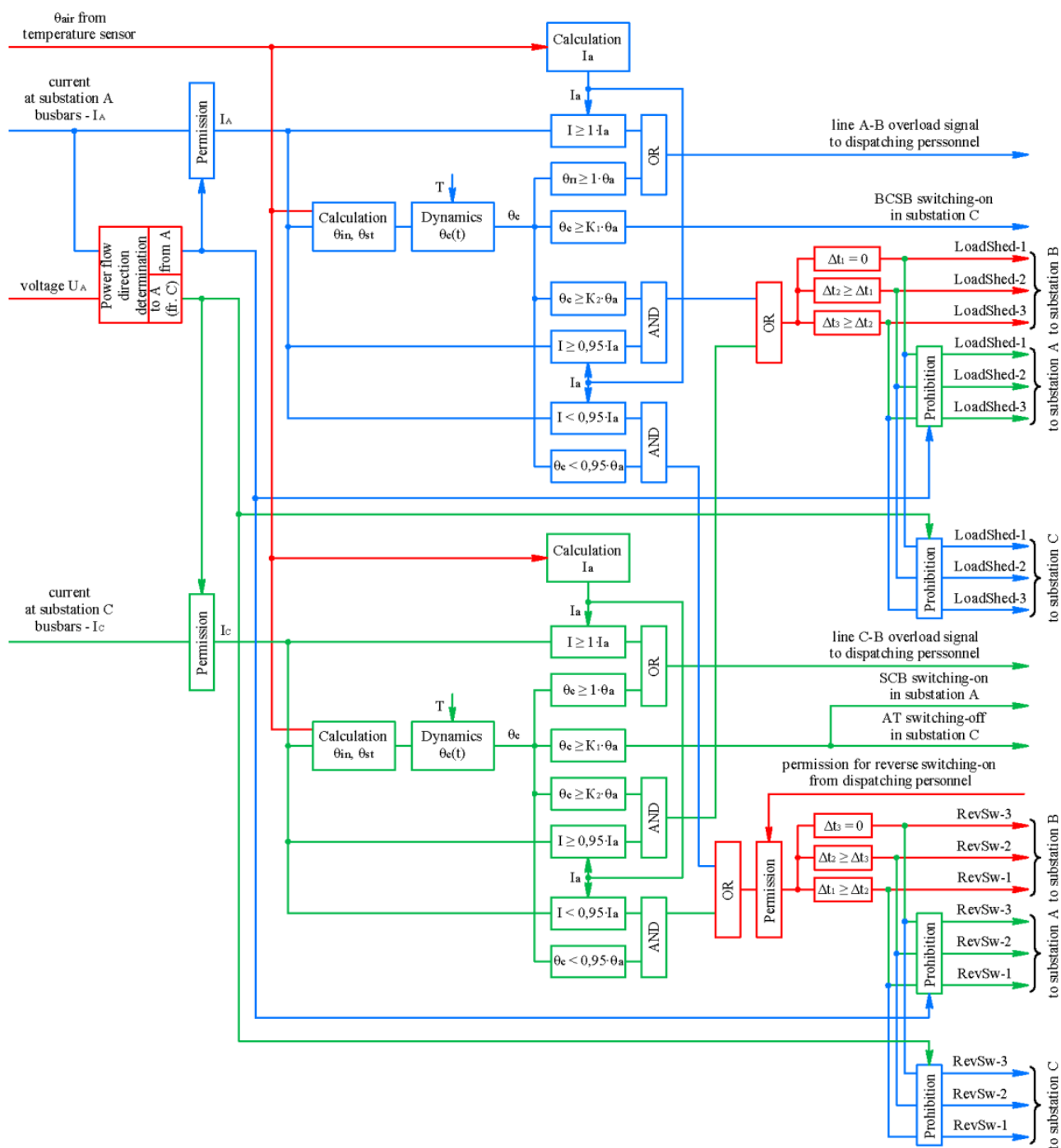


Рисунок 2. Упрощённая функциональная схема операции LOLA

Решения, используемые для этой конфигурации, полностью связаны с реализацией LOLA для ОНЛ. Для защиты СЛ и МЛ некоторые специальные функции также должны быть приняты во внимание.

Перегрев кабельной линии незначительно зависит от температуры окружающего воздуха, поскольку кабельные линии проложены под землей. Следовательно, измерение температуры воздуха и сам датчик не нужны. В качестве настройки используется фиксированное непрерывно допустимое значение тока (не пересчитанное). Это значение оценивается производителем кабеля и определяется в соответствии с условиями строительства кабельной линии; его часто можно найти в каталоге или в справочнике.

Для смешанных линий кабельная вставка может ограничивать пропускную способность линии в зимний период (как правило), в то время как верхняя часть имеет лучшие условия охлаждения из-за низкой температуры окружающего воздуха. И наоборот, в летний сезон кабельная часть имеет лучшие условия охлаждения. Летом нагрузка потребителя ниже, но ремонт элементов сетки (включая линии электропередачи) происходит одновременно. Из-за отключений этих элементов потоки энергии передаются по каналам, находящимся в нерабочем состоянии, поэтому их текущие уровни могут быть значительно выше, чем зимой. Поэтому возникновение перегрузки линии возможно как летом, так и зимой, и ML должны быть защищены круглый год⁷.

Приведенная выше конфигурация устройства LOLA учитывает эти особенности и подходит также для защиты CL и ML.

Устройство LOLA, разработанное Институтом ESP, позволяет достаточно точно определить перегрузку тепловой линии, но для его реализации не требуется сложное или дорогое оборудование. Логика LOLA может быть реализована для большинства микропроцессорных устройств. Вычисления настроек LOLA могут быть выполнены большинством технически образованных инженеров. Измерения тока линии и температуры окружающего воздуха, необходимые для работы устройства LOLA, также легко доступны. В

⁷ Касимов, В.А. Искажения локационных импульсных сигналов разной формы при распространении по линиям электропередачи / В.А. Касимов, Р.Г. Минуллин, Т.К. Филимонова // Материалы докладов XIII Международной молодежной научной конференции «Гинчуринские чтения». В 3 т. Т. 1. - Казань: КГЭУ 2018. - С. 74-76.

соответствии с этим, применение устройства LOLA может быть широко рекомендовано для распределительных линий 110 кВ.

Существуют некоторые реальные перспективы использования устройства LOLA в сочетании с прямым измерением температуры проводника. Для этого требуются высоковольтные датчики температуры. Эти датчики могут быть установлены локально в контролируемых частях линии или они могут контролировать температуру проводника по всей линии. Эти меры приводят к значительному росту цены системы LOLA, но в то же время позволяют использовать максимальную пропускную способность линии. Такое решение может быть рекомендовано для линий 220 кВ, образующих «каркас» энергосистемы.

Проекты LOLA, выполненные Институтом ESP, были согласованы с MUEGC и региональным диспетчерским управлением Москвы и Московской области. На основании этих работ ОАО «Энера Инжиниринг» разрабатывает рабочую документацию. Устройство AIR, включая функцию LOLA, уже установлено, отрегулировано и введено в промышленную эксплуатацию на Красногорской ПС 220 кВ, а также устройства LOLA Некрасовской и Вернадской ПС. Устройство AIR Красногорской СС уже исправно работает⁸.

Использование устройств LOLA позволяет автоматически ликвидировать тепловую перегрузку линии, предотвратить ее отключение с помощью релейной защиты и возможного каскадного отключения. Однако в большинстве случаев устройство LOLA является не единственным, которое требуется для обеспечения надежной защиты от перегрузки. Другие устройства аварийного управления, связь с соседними объектами и LOLA-диспетчерское взаимодействие также необходимы. Теория и практика доказывают, что реконструкция областей сетки и замена проводов и кабелей на новые с большей пропускной способностью - лучшая мера, чтобы избежать перегрузок линии. Задача повышения надежности электроснабжения не должна целиком возлагаться на аварийную

⁸ Дикой В.П., Левандовский А.А., Арбузов Р.С., Овсянников А.Г., Старцев В.Г. Мониторинг состояния воздушных линий электропередачи с использованием беспилотного летательного аппарата // Энергия единой сети. 2014. – №2 (13). – С. 16 - 25.

автоматизацию. Основными мероприятиями являются развитие и реконструкция самой электрической сети.

Список использованной литературы:

1. Ахмедова, О.О. Анализ системы мониторинга воздушных линии электропередачи / О.О. Ахмедова, А.Г. Сошинов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2018. - № 11 (Ч. 4) - С. 533-536.
2. Дикой В.П., Левандовский А.А., Арбузов Р.С., Овсянников А.Г., Старцев В.Г. Мониторинг состояния воздушных линий электропередачи с использованием беспилотного летательного аппарата // Энергия единой сети. 2014. – №2 (13). – С. 16 - 25.
3. Касимов, В.А. Искажения локационных импульсных сигналов разной формы при распространении по линиям электропередачи / В.А. Касимов, Р.Г. Минуллин, Т.К. Филимонова // Материалы докладов XIII Международной молодежной научной конференции «Гинчуринские чтения». В 3 т. Т. 1. - Казань: КГЭУ 2018. - С. 74-76.
4. Касимов, В.А. Искажения локационных импульсов в высокочастотном тракте воздушной линии электропередачи / В.А. Касимов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. - 2019. - № 5-6. - С. 9-16.
5. Касимов, В.А. Модельно-экспериментальное обнаружение локационным методом повреждений на проводах воздушных линий электропередачи / В.А. Касимов, Р.Г. Минуллин, Ю.В. Писковацкий, Э.Ю. Абдуллазянов // Электросвязь. - 2019. - № 4. - С. 102-108.
6. Левченко, И.И. Интеллектуальная система плавки гололеда на проводах и грозозащитных тросах воздушных линий электропередачи ПАО "МРСК ЮГА" / И.И. Левченко, П.В. Гончаров, Е.И. Сацук, С.С. Шовкопляс // Электроэнергия. Передача и распределение. - 2018. - № 1 (46). - С. 72-82.
7. Ратушняк, В.С. Статистический анализ аварийных отключений электроэнергии из-за гололедообразования на проводах ЛЭП на территории РФ / В.С. Ратушняк,

В.С. Ратушняк, Е.С. Ильин, О.Ю. Вахрушева // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. - 2018. - №1. – С. 12.

8. Шилин, А.Н. Рефлектометр для линий электропередачи с автоматической коррекцией методической погрешности / А.Н. Шилин, А.А. Шилин, Н.С. Артюшенко, Д.Н. Авдеюк // Контроль. Диагностика. - 2018. - № 4. - С. 52-57.