

Средства релейной защиты и автоматики: состояние и перспективы

Д.А. Корнюшкин, А.А. Крылов

*Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им.
проф. М.А. Бонч-Бруевича*

Аннотация: В данной статье используется структурно-функциональный метод. Предложенное исследование показывает, какое огромное количество факторов влияет на работоспособность, эффективность предприятий и как важно следовать новейшим технологиям и векторам их развития. Важно все, начиная от материально-технической оснащённости персонала до своевременной замены устаревших или исчерпавших лимит собственной надёжности устройств. Недопустимо полагаться исключительно на технические средства или на корректную работу персонала - эти два важнейших аспекта должны работать совместно, находиться под постоянным контролем и иметь всё необходимое для качественного и своевременного выполнения поставленных задач. Также необходимо делать выводы из опыта прошлых лет: опираясь на них, можно понять какие ошибки были допущены, и, как следствие, грамотно поступать в дальнейшем чтобы не допустить их вновь. Помимо этого, важно развивать такие позитивные тенденции, как переход на дистанционное управление устройствами РЗА. На сегодняшний день мы должны уделять особое внимание информационной безопасности работы комплексов при переходе на дистанционное управление, так как современные реалии работы на энергообъектах требуют именно этого. Не менее важной целью данной статьи является и прогноз перспективных направлений развития РЗА на двадцатилетний период.

Ключевые слова: релейная защита и автоматика, совершенствование нормативно-технической базы, комплексы релейной защиты и автоматики

Цель исследования

Целью данной работы является оценка изменений, происходящих в электроэнергетике. Проанализировав имеющиеся данные, имеет смысл определить насущную потребность как в усовершенствовании устройств релейная защита (РЗ) и автоматики, так и выявлении актуальных и перспективных направлений их развития, в том числе и улучшения качества подготовки обслуживающего персонала. Для этого понадобится общая техническая информация по вопросам выполнения РЗ, а также инструктаж по аппаратуре, методам выбора установок и настройке защиты.

Несмотря на то, что в последнее время происходят существенные перемены в энергоснабжении, а само производство становится децентрализованным, многие научно-исследовательские проблемы требуют

своевременного решения. Одной из наиболее важных задач считается создание РЗ с целью не допустить в дальнейшем возникновения аварийных режимов в энергосистеме, а также минимизация их последствий, в том числе в условиях появления в ней ранее не известных элементов.

В промышленности все чаще используются устройства релейной защиты и автоматики (УРЗА), и чем сложнее становятся производства, тем жёстче применяются требования к качеству и надежности и качеству новых технологий.

С опорой на главную цель были применены проанализированные результаты данных о сроках применения устройств релейной защиты и автоматики с различными типами элементной базы [1]. Также выявляется стремление к использованию значительной части устаревших микроэлектронных и электромеханических релейных защит, а количество случаев ошибочного срабатывания по причине устаревшего оборудования достигает четверти от всех ошибочных инцидентов [2]. Подобного рода аппаратура изношена, а её характеристики существенно отстают от передовых требований по точности и энергопотреблению. Помимо этого, снижен потенциал функционирования в экстремальных аварийных условиях, а главным источником ошибок является человеческий фактор – персонал, занимающийся обслуживанием устройств релейной защиты и автоматики [3,4]. Основная доля некорректных действий систем релейной защиты и автоматик (РЗА) – это неверные и излишние активации, которые демонстрируют статистические показатели, накопленные на протяжении нескольких лет [5]. Наибольший ущерб происходит от ненадежности срабатывания и неверных действий защиты [6]. Важно обратить внимание и на недостаток в оснащённости нормативно-технической документацией персонала на объектах, а также отсутствие внедрения наиболее передовых микропроцессорных защит.

Первостепенным назначением УРЗА становится:

- своевременное выявление внештатных ситуаций и отклонений от штатных режимов;
- воздействие на автоматические выключатели с целью отключения поврежденного оборудования;
- замыкание цепей сигнализации с целью уведомления персонала, управляющего оборудованием;
- в иных ситуациях – отработка устройств автоматики, таких как аварийное включение резерва (АВР), автоматический повторный включатель (АПВ), автоматический ввод резерва (АРВ) и другие [7].

Помимо этого, немаловажной особенностью использования УРЗА является применение службы коротких сообщений (СМС) оповещения о внештатных и аварийных ситуациях персонала на объектах, где нет специального сотрудника, готового оперативно среагировать на ситуацию. [8].

Опираясь на вышесказанное, можно прийти к выводу, что от штатной и качественной работы УРЗА напрямую зависит надежность снабжения электроэнергией всех потребителей.

Результаты исследования:

В целях обеспечения безаварийной работы оборудования, в частности УРЗА, в исследуемый период времени были приняты документы стратегического назначения.

1. «Концепция развития релейной защиты и автоматики электросетевого комплекса ПАО «Россети» (приложение №1 к протоколу Правления ОАО «Россети»);

2. Решением совета директоров ПАО «Россети» (протокол от 30 декабря 2016 г. № 250) в 2016 г. утверждена «Программа инновационного развития на период 2016–2020 годы с перспективой до 2025 года».

3. В 2017 году разработана «Стратегия развития электросетевого комплекса Российской Федерации на 2018–2022 годы и период до 2030 года».

Во всех обозначенных документах одной из ключевых целей является обновление и современное развитие УРЗА, которое обязано происходить синхронно в нескольких направлениях:

- создание и реализация программ для усовершенствования и замены систем защиты и автоматики;
- усовершенствование нормативно-технического обеспечения и наличие письменного руководства о методах и технологиях эксплуатации сервисного обслуживания;
- обновление УРЗА;
- обучение и переподготовка специалистов, обслуживающих оборудование релейной защиты и автоматики (РЗА);
- создание и введение комплексов РЗА, проведение научно-исследовательских работ с целью создания современных УРЗА [9].

Цель исследования, материал и методы исследования

Главной целью этой работы является обозначение ведущих путей развития УРЗА и задач, которые надо решать при рассмотрении направлений развития.

В течение последних трех десятилетий в мире возникло стремление к повсеместному замещению реле защиты различными автоматическими устройствами и разного рода программируемыми контроллерами, которые в свою очередь управляют и контролируют режимы работы электрооборудования. На сегодняшний день они настолько активно внедряются в топливно-энергетическом комплексе (ТЭК), что представить качественное функционирование электроэнергетики без их применения практически невозможно. [3,6].

Подбор важнейших опций позволяет прийти к выводу, что от надежности функционирования средств РЗ напрямую зависит качество снабжения электроэнергией потребителей.

Первым и основополагающим назначением и главной задачей РЗ является обнаружение места возникновения короткого замыкания (КЗ) и мгновенная автоматическая остановка работы, получившего серьезные повреждения оборудования или, в ином случае, сегменты сети от неповрежденной части установки [10].

Вторым и не менее важным назначением РЗ является выявление сбоев штатных режимов работы оборудования и оповещение обслуживающего персонала, либо отключение техники с выдержкой по времени [11,12].

Основные требования к релейной защите:

- быстродействие;
- селективность или избирательность;
- чувствительность;
- надежность.

Первостепенным для устройств релейной защиты (УРЗА) является своевременное выявление аварийных ситуаций в работе электросети [2].

Кроме того, перечень возможностей УРЗА позволяет:

- выявление режимов, при которых появляются нарушения рабочих параметров от максимально допустимых значений;
- отключение поврежденных участков;
- информирование дежурного персонала об обнаруженных проблемах [13].

Опираясь на оборудование российской электроэнергетики, анализ текущей ситуации демонстрирует, что основную часть используемых на данный момент средств РЗА составляют аналоговые устройства на

электромеханической и микроэлектронной базе. Также следует отметить, что срок их эксплуатации существенно превышает нормативный [14].

Основное преимущество микропроцессорных терминалов защит оборудования состоит в их многофункциональности. Помимо того, что они защищают функционал и работу автоматических устройств, они также способны замерять электрические величины [15].

Полупроводниковые аналоговые реле пришли на смену электромеханическим устройствам. Следующим шагом модернизации УРЗА стало появление микропроцессорных (цифровых) средств и терминалов – многофункциональных устройств управления и защиты электроустановок.

Одно из ключевых преимуществ микропроцессорной защиты (МКЗ) – это высокая точность передачи данных [16]. В свою очередь, измерения производят аналоговые устройства с незначительной погрешностью. В случае если они эксплуатируются на протяжении нескольких десятков лет (именно в этом состоянии находится большая часть измерительных приборов), то итоговая верность и достоверность их работы существенно понижается [16].

На дисплее устройства последовательно показываются электрические величины и их параметры – это гарантирует контроль отключения или включения всех без исключения полюсов выключателей.

Плюс ко всему МКЗ малогабаритны. Применение микропроцессорных технологий позволяет практически в двое урезать число панелей с оборудованием, расположенным на пункте управления подстанцией [17].

В настоящее время надежное состояние устройств защиты поддерживается с помощью плановых проверок, при которых можно обнаружить и устранить образовавшиеся недостатки.

У передовых микропроцессорных и микроэлектронных устройств защиты есть встроенные системы автоматической и тестовой проверки –

функция, с помощью которой можно быстро обнаружить появившиеся поломки и предотвратить отказ, либо некорректную работу защиты.

Наличие профилактических действий не исключает необходимость плановых проверок, но ощутимо сокращает частоту и объем их проведения [18].

Усовершенствование методов обслуживания систем релейной защиты и автоматики

В 2017 г. в ПАО «Россети» было утверждено положение «О единой технической политике в электросетевом комплексе», согласно которому были скорректированы основы усовершенствования методов обслуживания систем РЗА.

Система технического и оперативного обслуживания обозначенных устройств обязана включать в себя:

- использование надежных методов диагностики УРЗА для замены дефектных узлов и элементов оборудования, из-за которых могут происходить к неисправности на протяжении жизненного цикла устройства, а также для продления сроков эксплуатации;

- совмещение периодического технического обслуживания и обслуживания «по состоянию» с установлением обоснованных межремонтных интервалов [19];

- применение дистанционного контроля (мониторинга) состояния и правильности работы УРЗА, систем их самодиагностики.

С целью автоматизации процесса технического обслуживания РЗА необходима реализация следующих задач:

- составление графиков технического обслуживания УРЗА и контроль за его исполнением;

- автоматизация проверок УРЗА при проведении технического обслуживания;

- расчет токов короткого замыкания, выставление уставок, а также конфигурирование УРЗА;
- создание и корректировка электронной базы данных УРЗА;
- создание электронной технической библиотеки, также для хранения исполнительной и нормативно-технической документации (НТД) по РЗА.

Одним из важных преимуществ следует считать индикацию ошибок и концентрацию на них внимания технического персонала. В случае отклонения от предельно разрешенных параметров, либо при аварии, на панели загорается индикация, сигнализирующая оперативному персоналу о случившемся.

Схема-макет отображается на дисплеях защитных терминалов. На ней автоматически отображаются все изменения, которые происходят с положением коммутационных устройств и в соответствии с фактическими данными.

Более того, все терминалы защит подключаются к встроенной системе supervisory control and data acquisition (SCADA), которая демонстрирует всю схему, где отображаются значения нагрузок по каждому присоединению, напряжение на шинах переключательного пункта (ПС), в том числе и в режиме реального времени, где фиксируются возникающие неполадки [20].

Таким образом, применение микропроцессоров позволяет включить в одном устройстве наибольшее количество функций, которые раньше производились рядом различных приборов. Более того, с поддержкой таких устройств стала возможна реализация некоторых функций, недоступных при использовании иных типов релейной защиты [21].

Цифровые технологии позволили наделять устройства релейной защиты рядом преимуществ, к которым относятся:

- высочайшее качество работы РЗА с учетом высокой надежности, постоянного самоконтроля и диагностики;
-

- увеличенная точность измерений;
- сокращение габаритов;
- легкость в использовании технического обслуживания;
- малогабаритные и обоснованные экономически технические решения;
- перспективы улучшения технологических характеристик РЗА;
- функция выбора любой времятоковой характеристики (ВТХ) из числа тех, что записаны в памяти каждого токового модуля;
- присутствие функций, не связанных напрямую с защитой (регистрация повреждений и параметров защищаемого объекта, контроль нагрузки, диагностика цепи выключателя и др.).

Тем не менее, нужно обратить внимание на то, что у микропроцессорных РЗ есть ряд недостатков, к которым можно отнести ошибки при разработке и сбоях П.О, что может повлиять на надежность работы РЗА.

В отличие от дорогой автономной аппаратуры, определяющей место повреждения, цифровая защита является сторонним детищем ПО и не подразумевает собой добавочную стоимость [22].

Векторы развития и возможные риски.

Надежность снабжения потребителей электроэнергией напрямую зависит от своевременного функционирования РЗА и грамотно-поставленной работы.

Предлагаемые в Концепции решения по переходу от устаревших методов управления режимами работы средств РЗА, к дистанционному управлению и контролю устройств с диспетчерских пунктов фирм, целиком и полностью отвечают глобальным веяниям развития энергетики. Также они позволяют быть уверенным в качественной и надежной работе систем РЗА, как и снижение существенных затрат, и сокращение расходов, связанных с эксплуатацией данных устройств.

Отдельное внимание хотелось бы уделить вопросам безопасности. Современное оборудование использует большое количество узлов и элементов иностранного производства, что при возможности удаленного доступа может привести к определенным рискам. Злонамеренное воздействие на узлы и элементы за пределами нашей страны, может приводить к созданию аварийных ситуаций и остановке работы оборудования [23].

Вероятные риски, образующиеся при переходе на новейшие технологии:

- потеря управления из-за прерывания канала связи;
- ослабление или абсолютная потеря управления при взломе системы посторонними лицами;
- возможность повторного включения оборудования персоналом без осмотра персонала места неисправности, что может привести к аварии;
- вынужденное замедление сотрудников аварийных служб в случае возникновения чрезвычайной ситуации (ЧС).

Для предотвращения несанкционированного проникновения в систему управления устройствами РЗА, нужно осуществить информационную безопасность комплексов релейной защиты и автоматики [24].

Для реализации необходимо:

- изучить объективные возможности для проникновения нарушителей (их возможности и степень оснащенности техническими устройствами), постараться их мотивацию;
 - подробно подвергнуть анализу вероятные уязвимости в системах РЗА;
 - разработать методы защиты конфиденциальной информации;
 - оценить последствия от вероятного вхождения в систему лиц, не имеющих права доступа.
-

Заключение

1. Для реализации нужного и современного уровня средств РЗА необходимо осуществлять по мере возможности замену устаревших УРЗА, и вводить микропроцессорные устройства релейной защиты.

2. Усовершенствование систем защиты и автоматики обязано двигаться по пути разработки терминалов, оборудованных устройствами по самодиагностике и мониторинга их состояния.

3. Научные исследования обязаны быть реализованы с опорой на проект «Разработка и внедрение цифровых электрических подстанций и станций на вновь строящихся и реконструируемых объектах энергетики».

4. Создание и внедрение отечественной электронной базы и оборудования.

5. Применение отечественного программного обеспечения приведет к большей безопасности объектов энергетики.

Литература

1. Фёдоров В.А. Библия релейной защиты и автоматики. Новосибирск: Изд-во Новосибирский институт повышения квалификации, 2004. С 7, 278.

2. Лундалин.А.А, Пузина Е.Ю, Худоногов И.А, Кашковский В.В. Анализ надежности электроснабжения транспортных систем в зависимости от состояния устройств релейной защиты и автоматики. Журнал Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. №3(63), 2019. С. 127-135.

3. Сушко В.А РЗА в российской энергосистеме. Современное состояние. Новости электротехники информационно-справочное издание Журнал 6(90), 2014.

4. Удрис А. П. Кадровая и научно-техническая политика – основа обеспечения надежности функционирования РЗА. Журнал для специалистов

в области цифровой техники и технологий для энергетики Релейщик 01 / декабрь 2008. С.56.

5. Зубков Д.В, Пинчуков П.С. Анализ особенностей микропроцессорных устройств релейной защиты. Журнал Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. Том 1 2019 г. С.62-66.

6. Типикина А.П, Певцова Л.С. Оценка программной надежности микропроцессорных релейных защит. Интернет-журнал «Науковедение». Том 7, №2 2015 г.

7. Баженов В.Н Анализ работы релейной защиты и автоматики для послеаварийного восстановления схемы электроснабжения. Вестник национального технического университета «ХПИ» № 17 (990) 2013 г. С 18-25.

8. Цуриков А.Н. Устройство адресного оповещения о чрезвычайной ситуации с использованием SMS-сообщений. Технические науки- от теории к практике. №15, 2012.С.157-161.

9. Минакова Т. Е. Релейная защита и автоматика энергосистем 2.0. Международный научно-исследовательский журнал. №6 (25) Часть 1. 2014. С.62.

10. Булычев А.В, Васильев Д.С., Козлов В.Н., Силанов Д.Н. Функционирование цифровой системы РЗ. Релейная защита и автоматизация научно-практическое издание. 1 марта 2019 г. С. 73.

11. Гловацкий, В. Г., Пономарёв И.В. Современные средства релейной защиты и автоматики электросетей. М.: Энергомашвин, 2003 г. – 534 с.

12. Смородин Г.С, Лысенко В.С. Назначение и организация работы релейной защиты. Международный научный журнал Молодой ученый. № 29 (133) 2016 г. С. 140-145.

13. Сурмагин Д.С, Титова Г.Р Исследование актуальности применения микропроцессорной релейной защиты. Журнал «Наука и образование сегодня» №5(6) 2016 г. С.19-21.

14. Лундалин А.А, Пузина Е.Ю, Худоногов И.А. Направления развития релейной защиты и автоматики в российских электрических сетях. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование № 2 (62) 2019 г. С.77-85.

15. Исабеков Д.Д, Марковский В.П. Применение микропроцессорных устройств релейной защиты для защиты силовых трансформаторов. Наука и техника Казахстана. №1-2 2014 г. С.46-50.

16. Абдюкаева А.Ф, Фомин М.Б, Асманкин Е.М, Ушаков Ю.А, Федотов Е.С. Релейная защита – проблемы и перспективы. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. №2(70) 2018 г. С.142-144.

17. Соколова Е.В, Мигунова Л.Г. Достоинства и недостатки микропроцессорных устройств релейной защиты электродвигателя. Журнал «Студенческий». №15-3(59) 2019 г. С.34-36.

18. Евминов Л.И, Курганов В.В. Релейная защита электроэнергетических систем. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений по электроэнергетическим специальностям, – Гомель: Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2009 г. ISBN 985-420-035-3

19. Итоги голосования в рамках научно-практической конференции «Релейная защита и автоматизация энергосистем. Совершенствование эксплуатации и перспективы развития» Научно-практическое издание. №01(38). Февраль 2020 г. С.62-64.

20. Разумов Р.В. Михайлов А.В, Соловьев М.Ю. Системы мониторинга высоковольтного энергетического оборудования. Научно-практическое издание «Релейная защита и автоматизация». №03(36) сентябрь 2019 г. С. 61.

21. Кириленков В.С. О текущем состоянии и планах развития релейной защиты и автоматики в ДЗО ПАО «Россети». М.: ОАО Россеть, 2018 г. – 15 с. URL: digitalsubstation.com/wp-content/uploads/2018/12/Prezentatsiya-RZA-Kirilenkov.pdf. (Дата обращения: 16.02.2019).

22. Куликов А.А, Вуколов В.Ю, Шарыгин М.В, Бездушный Д.И, Темирбеков Ж. Алгоритм определения места повреждения линии электропередач с ответвлениями. Вестник НГИЭИ №9(76) 2017 г. С. 29-37.

23. Карантаев В.Г. Вопросы кибербезопасности в меняющейся электроэнергетической отрасли. «Издательский дом «Вся электротехника» №1(33) 2019 г. С. 48-51.

24. Колосок И.Н., Гурина Л.А. Повышение кибербезопасности интеллектуальных энергетических систем методами оценивания состояния. Вопросы кибербезопасности №3(27) – 2018 г. С. 63-69.

References

1. Fyodorov V.A. Bibliya relejnoj zashchity i avtomatiki [Bible of relay protection and automatics]. Novosibirsk: Izdatelstvo Novosibirskij institut povysheniya kvalifikacii, 2004, pp.7, 278.

2. Lundalin.A.A, Puzina E.YU, Khudonogov I.A, Kashkovskij V.V. Zhurnal Sovremennye tekhnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie. №3 (63) 2019, pp. 127-135.

3. Sushko V.A Sovremennoe sostoyanie. Novosti ehlektrotekhniki informacionno-spravochnoe izdanie Zhurnal 6(90) 2014.

4. Udris A. P. Zhurnal dlya specialistov v oblasti cifrovoj tekhniki i tekhnologij dlya ehnergetiki Relejshchik 01, dekabr' 2008, p. 56.



5. Zubkov D.V, Pinchukov P.S. Zhurnal Nauchno-tehnicheskoe i ehkonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke. Tom 1 2019, pp. 62-66.
 6. Tipikina A.P, Pevcova L.S. Internet-zhurnal «NaukovedeniE» Tom 7, №2 2015.
 7. Bazhenov V.N. Vestnik nacional'nogo tekhnicheskogo universiteta «KHPI» № 17 (990) 2013, pp. 18-25.
 8. Curikov A.N. Tekhnicheskie nauki- ot teorii k praktike. №15 2012, pp. 157-161.
 9. Minakova T. E. Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. №6 (25). Chast' 1 2014, p.62.
 10. Bulychev A.V, Vasil'ev D.S., Kozlov V.N., Silanov D.N. Relejnaya zashchita i avtomatizaciya nauchno-prakticheskoe izdanie. 1 marta 2019, p. 73.
 11. Glovackij, V. G., Ponomaryov I.V. Sovremennye sredstva relejnoj zashchity i avtomatiki ehlektrosetej [Modern means of relay protection and automation of power grids]. M.: Ehnergomashvin, 2003. 534 p.
 12. Smorodin G.S, Lysenko V.S. Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal Molodoj uchenyj. № 29 (133) 2016, pp.140-145.
 13. Surmagin D.S, Titova G.R Nauka i obrazovanie segodnya, №5(6) 2016, pp.19-21.
 14. Lundalin A.A, Puzina E.YU, Khudonogov I.A. Sovremennye tekhnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie № 2 (62) 2019, pp. 77-85.
 15. Isabekov D.D, Markovskij V.P. Nauka i tekhnika Kazakhstana. №1-2 2014, pp. 46-50.
 16. Abdyukaeva A.F, Fomin M.B, Asmankin E.M, Ushakov YU.A, Fedotov E.S. Izvestiya Orenburskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. №2 (70). 2018, pp.142-144.
 17. Sokolova E.V, Migunova L.G. Zhurnal «StudencheskiJ». №15-3(59) 2019, pp. 34-36.
-

18. Evminov L.I., Kurganov V.V. Relejnaya zashchita ehlektroehnergeticheskikh sistem. Uchebnoe posobie dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedenij po ehlektroehnergeticheskim special'nostyam [Relay protection of electric power systems. Textbook for students of higher educational institutions on electric power specialities], Gomel': Uchrezhdenie obrazovaniya «Gomel'skij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet imeni P. O. SukhogO», 2009. ISBN 985-420-035-3

19. Itogi golosovaniya v ramkakh nauchno-prakticheskoy konferencii, Nauchno-prakticheskoe izdanie. №01(38) Fevral' 2020, pp. 62-64.

20. Razumov R.V. Mikhajlov A.V, Solov'ev M.YU. Nauchno-prakticheskoe izdanie «Relejnaya zashchita i avtomatizaciYA». №03(36) sentyabr' 2019, p. 61.

21. Kirilenkov V.S. O tekushchem sostoyanii i planakh razvitiya relejnoj zashchity i avtomatiki v DZO PAO «RossetI» [On the current state and plans for the development of relay protection and automation in Subsidiaries and Affiliates of PJSC "Rosseti"]. M. OAO Rosset', 2018, – 15 p. URL: digitalsubstation.com/wp-content/uploads/2018/12/Prezentatsiya-RZA-Kirilenkov.pdf.

22. Kulikov A.A, Vukolov V.YU, Sharygin M.V, Bezdushnyj D.I, Temirbekov ZH. Vestnik NGIEHI №9(76) 2017, pp. 29-37.

23. Karantaev V.G. «Izdatel'skij dom «Vsya ehlektrotekhnika» №1(33) 2019, pp. 48-51.

24. Kolosok I.N., Gurina L.A. Voprosy kiberbezopasnosti №3(27) 2018, pp. 63-69.