



ОБСЛУЖИВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ РЗА ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ

Сушко Александр Александрович

аспирант,
Югорский государственный университет,
Ханты-Мансийск, Россия
E-mail: enegy2020@inbox.ru

Пятков Сергей Григорьевич

доктор физико-математических наук, профессор,
Югорский государственный университет,
Ханты-Мансийск, Россия
E-mail: s_pyatkov@ugrasu.ru

Предмет исследования: методы технического обслуживания и наладки устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) в электроэнергетических системах.

Цель исследования: анализ существующих методов обслуживания и наладки, разработка предложений по их оптимизации для повышения эффективности и надежности работы электроэнергетических систем.

Методы исследования: в рамках исследования были использованы методы анализа нормативных документов, опроса специалистов и анализе публикаций.

Основные результаты исследования: выявление недостатка стандартизации процедур, проблемы с квалификацией персонала и несоответствие некоторых устройств заявленным характеристикам. Выводы подчеркивают необходимость разработки унифицированных подходов к техническому обслуживанию и наладке, а также улучшения профессиональной подготовки специалистов. Результаты исследования могут быть использованы для совершенствования практик технического обслуживания и наладки РЗА, что способствует повышению надежности электроэнергетических систем.

Ключевые слова: релейная защита и автоматика, техническое обслуживание, наладка устройств, электроэнергетические системы, стандартизация процедур.

MAINTENANCE OF RZA EQUIPMENT ACCORDING TO TECHNICAL CONDITION

Alexander A. Sushko

Graduate Student,
Yugra State University
Khanty-Mansiysk, Russia
E-mail: enegy2020@inbox.ru

Sergey G. Pyatkov

Doctor of Physical and Mathematical
Sciences, Professor,
Yugra State University,
Khanty-Mansiysk, Russia
E-mail: s_pyatkov@ugrasu.ru

Subject of research: methods of maintenance and adjustment of relay protection and automation devices (RPA) in electrical power systems.

Purpose of research: analysis of existing maintenance and adjustment methods, development of proposals for their optimization to increase the efficiency and reliability of electrical power systems.

Methods of research: the research used methods of analysis of regulatory documents, survey of specialists and analysis of publications.

Main results of research: identification of a lack of standardization of procedures, problems with personnel qualifications and the discrepancy of some devices with the declared characteristics. The findings highlight the need to develop unified approaches to maintenance and commissioning, as well as improve the professional training of specialists. The results of the study can be used to improve the practices of maintenance and adjustment of relay protection and automation systems, which helps to increase the reliability of electric power systems.

Keywords: relay protection and automation, maintenance, device setup, electric power systems, standardization of procedures.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях эксплуатации электроэнергетических систем особенно актуален вопрос обеспечения их надежности и безопасности, что непосредственно связано с качеством технического обслуживания и наладки устройств релейной защиты и автоматики (РЗА). Учитывая важность этих устройств в предотвращении аварий и обеспечении стабильной работы энергосистем, оптимизация процессов их обслуживания и настройки становится приоритетной задачей. Актуальность данной проблематики обусловлена не только необходимостью повышения эффективности работы энергетического оборудования, но и стремлением минимизировать риски, связанные с потенциальными сбоями в его функционировании.

Необходимость данного исследования также подтверждается анализом существующей литературы по данной тематике, который показывает, что, несмотря на значительное

количество работ, посвященных техническому обслуживанию и наладке устройств РЗА, вопросы стандартизации этих процессов, обучения специализированного персонала и разработки новых методик остаются недостаточно разработанными. В связи с этим, введение новых подходов и методов исследования, направленных на улучшение существующих процедур, представляет собой значительный вклад в развитие данной области.

Целью настоящей работы является комплексный анализ методов технического обслуживания и наладки устройств РЗА, выявление основных проблемных моментов на различных этапах этих процессов и разработка предложений по их оптимизации. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи: изучение нормативно-правовой базы, регулирующей процессы технического обслуживания и наладки РЗА; выявление наиболее актуальных проблем и трудностей в существующей практике; изучение результатов экспериментальной работы



**Таблица 1.** Основные требования к организации работ по техническому обслуживанию и наладке устройств РЗА.

Аспект	Требования
Подготовка	<ul style="list-style-type: none">- Разработка и утверждение плана технического обслуживания.- Обеспечение наличия всех необходимых инструментов, приборов и материалов.- Подготовка рабочего места и обеспечение безопасности.
Персонал	<ul style="list-style-type: none">- Обеспечение наличия квалифицированного персонала, прошедшего соответствующее обучение и имеющего разрешение на выполнение работ.- Определение ответственных за проведение и контроль качества выполненных работ.
Процедура выполнения	<ul style="list-style-type: none">- Соблюдение установленной последовательности операций при техническом обслуживании и наладке.- Применение только утвержденных методик и инструкций.- Осуществление контроля качества на каждом этапе работ.
Безопасность	<ul style="list-style-type: none">- Соблюдение требований охраны труда и техники безопасности.- Использование средств индивидуальной защиты.- Предотвращение возможности несанкционированного доступа к месту проведения работ.
Документация	<ul style="list-style-type: none">- Ведение и актуализация технической документации по устройствам РЗА.- Оформление протоколов выполнения работ и актов приемки.- Систематическое внесение изменений в исполнительные схемы и руководства по эксплуатации в соответствии с выполненными работами.

для проверки эффективности устройств РЗА и их соответствия заявленным характеристикам; определение наиболее перспективных направлений для дальнейших разработок. Работа проводилась на основе критического анализа существующих исследований в данной области.

Используемые в исследовании методы включали анализ нормативной документации и анализ публикаций. Такой комплексный подход позволил не только всесторонне изучить проблематику, но и обеспечить объективность и надежность полученных результатов. Важной частью работы стал критический анализ существующих исследований

в данной области, который способствовал определению наиболее перспективных направлений для дальнейших разработок.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках проведенного исследования был выполнен анализ существующих методов технического обслуживания и наладки оборудования релейной защиты и автоматики (РЗА), с особым вниманием к выявлению основных проблем и трудностей, возникающих на различных этапах этих процессов. Исследование охватывает анализ нормативных документов, опросы специалистов, а также



Таблица 2. Результаты опроса специалистов в области технического обслуживания и наладки РЗА.

Выявленные трудности	Процент специалистов, сталкивающихся с этими трудностями
Недостаток стандартизации процедур	75%
Отсутствие или устаревание технической документации	65%
Нехватка квалифицированного персонала	55%
Сложность доступа к оборудованию для обслуживания	50%
Недостаточное обучение и подготовка персонала	45%
Проблемы с совместимостью нового и старого оборудования	40%
Временные ограничения и давление сроков	35%
Недостаток специализированного инструментария	30%
Проблемы связанные с обеспечением безопасности	25%
Неопределенность в интерпретации нормативных требований	20%

анализ публикаций, направленных на практическую проверку теоретически выявленных проблемных моментов [6, с. 34].

В рамках первоначального этапа исследования был выполнен тщательный анализ нормативно-правовой базы и методических рекомендаций, которые регулируют процедуры технического обслуживания и настройки устройств релейной защиты и автоматики (РЗА). Среди основных документов, подвергшихся детальному рассмотрению, были:

Правила технологического функционирования электроэнергетических систем, утвержденные Правительством Российской Федерации, определяющие общие требования к эксплуатации и техническому обслуживанию оборудования в электроэнергетических системах, включая устройства РЗА [1].

Правила переключений в электроустановках, утвержденные приказом Минэнерго России, содержащие требования к организации и выполнению переключений в электроустановках для обеспечения безопасности и надежности работы энергосистемы, важный компонент которой составляют устройства РЗА [2].

Методические указания по техническому обслуживанию и ремонту устройств РЗА, разработанные ведущими отраслевыми институтами, предоставляющие практические рекомендации по проведению регламентных работ, диагностики, наладке и испытаниям устройств РЗА.

Стандарты и технические условия производителей оборудования РЗА, содержащие спецификации, технические характеристики

устройств, а также руководства по их эксплуатации, настройке и техническому обслуживанию [14].

Изучение данных документов позволило выявить комплекс требований к организации работ по техническому обслуживанию и наладке устройств РЗА, обеспечению их надежного функционирования и безопасности выполнения работ. Также были определены области, требующие дополнительного анализа и уточнения, что стало основой для дальнейшего исследования (см. табл. 1) [5, с. 42].

На следующем этапе проводился анализ литературы, содержащей сведения об опросе специалистов, занятых в области технического обслуживания и наладки РЗА, с целью выявления их мнения о наиболее часто встречающихся проблемах и трудностях. Данный этап позволил получить реальную обратную связь от лиц, непосредственно сталкивающихся с проблемами в процессе своей профессиональной деятельности [3].

Ниже представлена таблица, взятая из работы [11], отражающая результаты опроса 100 специалистов в области технического обслуживания и наладки РЗА относительно наиболее часто встречающихся проблем и трудностей, а также процент людей, сталкивающихся с этими проблемами (см. табл. 2).

Эти данные позволяют увидеть, с какими основными трудностями сталкиваются специалисты в процессе своей работы, и подчеркивают важные аспекты, на которые следует обратить внимание при планировании мероприятий по улучшению процессов технического обслуживания и наладки устройств РЗА [8].



Таблица 3. Результаты эксперимента по тестированию устройств РЗА.

Наименование устройства РЗА	Тест на точность срабатывания	Анализ времени реакции (мс)	Оценка стабильности работы	Выявленные недостатки
Реле защиты типа А	Соответствует	20	Стабильно	-
Реле защиты типа Б	Не соответствует	35	Нестабильно	Отклонение во времени реакции
Автоматика типа В	Соответствует	15	Стабильно	-
Контрольное устройство типа Г	Соответствует	25	Стабильно	-
Реле защиты типа Д	Не соответствует	50	Нестабильно	Неточность срабатывания

В работе [13] были проведены экспериментальные исследования технического обслуживания и наладки устройств РЗА с целью оценки соответствия устройств заявленным характеристикам и требованиям нормативных документов. Для этого были выбраны устройства РЗА различных типов, включая защитные реле, автоматику и контрольно-измерительные устройства, используемые в электроэнергетических системах.

Процесс эксперимента включал несколько ключевых тестов.

Тест на точность срабатывания. Этот тест направлен на проверку соответствия момента срабатывания устройства РЗА заданным параметрам при различных условиях нагрузки. Испытания проводились путем моделирования условий короткого замыкания и перегрузки для выявления способности устройства корректно реагировать на экстремальные условия [15].

Анализ времени реакции. В этом тесте измерялось время от момента возникновения условий, требующих срабатывания устройства, до фактического срабатывания. Значения времени реакции сравнивались с заявленными производителем параметрами для оценки быстродействия устройств [9].

Оценка стабильности и надежности работы. Этот комплексный тест был проведен в работе [10] и включал в себя долгосрочные наблюдения за работой устройств в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным, с целью выявления возможных отклонений в работе или сбоев в функционировании устройств РЗА.

В результате испытаний были собраны и систематизированы данные, отражающие характеристики и выявленные недостатки

каждого из проверенных устройств РЗА. Данные результаты позволили сформулировать выводы относительно текущего состояния технического обслуживания и наладки устройств и выделить направления для улучшения (см. табл. 3) [10].

Реле защиты типа А представляет собой устройство, предназначенное для надежной и точной защиты электрических цепей от перегрузок и коротких замыканий, характеризующееся быстрым временем реакции и стабильностью работы. Реле защиты типа Б – это тип реле, разработанный для работы в более сложных условиях, например, с переменными нагрузками, однако в эксперименте показало отклонения во времени реакции, указывающие на необходимость дополнительной настройки. Автоматика типа В относится к устройствам автоматического управления, обеспечивающим высокий уровень контроля и регулирования работы электроэнергетических систем, выделяющимся своей быстродейственностью и надежностью. Контрольное устройство типа Г используется для мониторинга и диагностики состояния электрооборудования, обладая хорошей стабильностью работы и точностью измерений. Реле защиты типа Д, аналогично типу Б, предназначено для защиты сложных электроустановок, но в ходе тестирования продемонстрировало несоответствие некоторым техническим характеристикам, в частности неточность срабатывания, что подчеркивает важность проведения тщательного тестирования перед вводом в эксплуатацию.

В результате экспериментов было выявлено, что устройства типа А и В полностью соответствуют заявленным характеристикам, показывая высокую стабильность работы. В то

**Периодичность проведения технического обслуживания устройств РЗА
электрических сетей 0,4-35 кВ**

Место установки устройств РЗА	Цикл технического обслуживания, лет	Количество лет эксплуатации													
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
В помещениях I категории (вариант 1)	12	Н	К1	-	О	-	К	-	О	-	К	-	В	-	О
В помещениях I категории (вариант 2)	8	Н	К1	-	К	-	О	-	В	-	О	-	К	-	О
В помещениях I категории (вариант 3)	6	Н	К1	-	К	-	В	-	К	-	К	-	В	-	К
В помещениях II категории (вариант 1)	6	Н	К1	-	К	-	В	-	К	-	К	-	В	-	К
В помещениях II категории (вариант 2)	3	Н	К1	В	-	-	В	-	-	В	-	-	В	-	-

Примечания: 1. Н - проверка (наладка) при новом включении; К1 - первый профилактический контроль; К - профилактический контроль; В - профилактическое восстановление; О — опробование.
2. В таблице указаны обязательные опробования. Кроме того, опробования рекомендуется производить в годы, когда не выполняются другие виды обслуживания. Если при проведении опробования или профилактического контроля выявлен отказ устройства или его элементов, то производится устранение причины, вызвавшей отказ, и при необходимости в зависимости от характера отказа - профилактическое восстановление.

Рисунок 1. Цикл технического обслуживания для устройств РЗА.

же время устройства типа Б и Д демонстрировали отклонения от нормы, в частности, по времени реакции и точности срабатывания, что указывает на необходимость дополнительной настройки или возможной замены.

По результатам исследования в качестве ключевых проблем были выделены следующие аспекты:

Недостаточная точность срабатывания некоторых устройств РЗА, что может привести к неправильной работе защитных механизмов.

Значительные временные задержки в действии защиты, превышающие нормативно установленные пределы.

Пониженная надежность работы устройств в условиях повышенной влажности и температурных колебаний.

Сложность проведения технического обслуживания и наладки из-за недостаточной стандартизации процессов и отсутствия унифицированных методических материалов.

Также был выявлен оптимальный цикл технического обслуживания для устройств РЗА, зависящий от категории помещений, где они эксплуатируются. Для устройств, установленных в помещениях I категории, рекомендуемый цикл составляет 12, 8, или 6 лет, тогда как для устройств в помещениях II категории

– 6 или 3 года. Эти рекомендации основаны на среднем сроке службы устройств и учитывают местные условия, влияющие на скорость их износа (см. рис. 1) [11].

Исходя из проведенного анализа нормативной базы и анализа публикаций, были получены результаты, которые подчеркивают несколько ключевых направлений для улучшения текущих практик в области технического обслуживания и наладки. Недостаток стандартизации процедур, выявленный как в теоретическом анализе, так и в ходе опроса специалистов, подчеркивает критическую потребность в разработке единых стандартов и подходов к техническому обслуживанию и наладке, которые могли бы обеспечить более высокую эффективность и надежность устройств РЗА [7].

Анализ времени реакции и точности срабатывания устройств РЗА в ходе экспериментальной работы, проведенной в работах [7-15] подтвердил, что отклонения от заявленных характеристик могут привести к сбоям в работе защитных систем, что, в свою очередь, увеличивает риск возникновения аварийных ситуаций в электроэнергетических системах. Таким образом, результаты экспериментальной части исследования, проведенных в работах



[7-15], подчеркивают необходимость усиления контроля качества устройств РЗА на этапах их производства и ввода в эксплуатацию.

Обсуждение полученных результатов позволяет сделать вывод о значимости комплексного подхода к обеспечению надежности и безопасности функционирования устройств РЗА. Анализ, проведенный в рамках данного исследования, демонстрирует, что улучшение процессов технического обслуживания и наладки может быть достигнуто за счет внедрения унифицированных процедур, обеспечения постоянного профессионального развития персонала и использования современных методик диагностики и испытаний.

Изучение полученных ранее данных [4] показывает, что проблема недостаточной стандартизации и квалификации персонала остается актуальной на протяжении многих лет. Тем не менее, внимание к этим вопросам со стороны отраслевых специалистов и научного сообщества продолжает расти, что дает основание ожидать положительных изменений в будущем.

Таким образом, результаты данного исследования не только подтверждают значимость существующих проблем в области технического обслуживания и наладки устройств РЗА, но и предлагают конкретные направления для дальнейших усилий по их решению. Ожидается, что реализация предложенных рекомендаций позволит повысить надежность и безопасность электроэнергетических систем, а также сократить риски возникновения аварийных ситуаций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Можно сделать следующие выводы о том, что проведенное исследование выявило ряд ключевых проблем и трудностей, связанных с техническим обслуживанием и наладкой устройств релейной защиты и автоматики (РЗА). Целью работы было исследование существующих методов обслуживания и наладки оборудования РЗА, а также выявление основных проблемных моментов на различных этапах этих процессов. Сопоставление полученных результатов с изначально поставленной целью позволяет заключить, что цель была достигнута: выявлены конкретные проблемы, такие как недостаток стандартизации процедур, отсутствие или устаревание технической документации, нехватка квалифицированного персонала, а также сложности доступа к оборудованию для обслуживания.

На основе анализа нормативных документов, на основании анализа литературы, содержащей сведения о опросе, и о

экспериментальных исследованиях были сформулированы рекомендации по улучшению текущей практики в данной области. Эти рекомендации включают в себя разработку и внедрение унифицированных методик технического обслуживания и наладки, повышение квалификации специалистов и обновление технической документации. Подчеркивается важность этих мер для повышения надежности и безопасности работы электроэнергетических систем.

Практическая значимость полученных в ходе исследования результатов заключается в возможности использования выявленных данных для корректировки существующих процессов технического обслуживания и наладки, что может способствовать улучшению работы электроэнергетических систем в целом.

Таким образом, данное исследование подчеркивает необходимость системного подхода к улучшению процессов технического обслуживания и наладки устройств РЗА. Результаты работы могут служить основой для разработки конкретных мер, направленных на повышение эффективности и надежности электроэнергетических систем, а также для формирования дальнейших научных исследований в этой важной области.

ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление Правительства РФ от 13.08.2018 N 937 (ред. от 31.01.2024) «Об утверждении Правил технологического функционирования электроэнергетических систем и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации». – Текст: непосредственный.
2. Приказ Минэнерго России от 13.09.2018 N 757 (ред. от 01.09.2023) «Об утверждении Правил переключений в электроустановках». – Текст: непосредственный.
3. Агафонов, А. И. Современная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем : учебное пособие / А. И. Агафонов, Т. Ю. Бростилова, Н. Б. Джазовский. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. – 300 с. – Текст: непосредственный.
4. Горемыкин, С. А. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем : учебное пособие / С. А. Горемыкин. – Москва : ИНФРА-М, 2023. – 191 с. – Текст: непосредственный.
5. Ершов, Ю. А. Электроэнергетика. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем : учеб. пособие / Ю. А. Ершов, О. П. Халезина, А. В. Малеев и др. – Красноярск: Сиб. Федер. Ун-т, 2020. – 68 с. – Текст: непосредственный.
6. Ковалёв, Д. В. Анализ методов выбора комплектов защит для терминалов релейной автоматики /

- Д. В. Ковалев. – Текст: непосредственный // Автоматика и вычислительная техника в промышленности. – 2022. – № 4. – С. 34-40.
7. Куксин, А. В. Релейная защита электроэнергетических систем : учебное пособие / А. В. Куксин. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 200 с. – Текст: непосредственный.
 8. Основы релейной защиты и автоматики интеллектуальной электрической сети : монография / В. И. Антонов, В. А. Наумов, М. В. Мартынов [и др.]. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. – 324 с.
 9. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем : учебное пособие / В. И. Бирюлин, А. Н. Горлов, Д. В. Куделина [и др.]. – Москва : ИНФРА-М, 2023. – 197 с. – Текст: непосредственный.
 10. Сипягина, П. С. Анализ существующих методов и средств расчёта устройств релейной защиты и автоматики / П. С. Сипягина. – Текст : непосредственный. – Текст: электронный // Молодой ученый. – 2023. – № 38 (485). – С. 19-21. – URL: <https://moluch.ru/archive/485/106166/> (дата обращения: 03.04.2024).
 11. Жраков, С. В. Развитие релейной защиты в электроэнергетической системе России / С. В. Жраков, В. И. Зацепина. – Текст: электронный // StudNet. – 2021. – № 4. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-releynoy-zaschity-v-elektroenergeticheskoy-sisteme-rossii> (дата обращения: 03.04.2024).
 12. Зайцев, А. А. Разработка автоматизированной системы мониторинга и анализа функционирования релейной защиты и автоматики распределительных подстанций / А. А. Зайцев, Д. А. Коледа. – Текст: электронный // SAF. – 2023. – № 3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-avtomatizirovannoy-sistemy-monitoringa-i-analiza-funktsionirovaniya-releynoy-zaschity-i-avtomatiki-raspre-delitelnyh> (дата обращения: 03.04.2024).
 13. Зацепина, В. И. Итоговая надёжность электроснабжения и систем релейной защиты и автоматики / В. И. Зацепина, С. С. Астанин. – Текст: электронный // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2020. – № 10. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/itogovaya-nadyozhnost-elektrosnabzheniya-i-sistem-releynoy-zaschity-i-avtomatiki> (дата обращения: 03.04.2024).
 14. Моисеев, Д. В. Проектирование архитектуры программного комплекса диагностики централизованной системы РЗА / Д. В. Моисеев, Н. А. Галанина, Н. Н. Иванова. – Текст: электронный // Вестник ЧГУ. – 2021. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-arhitektury-programmnogo-kompleksa-diagnostiki-tsentralizovannoy-sistemy-rza> (дата обращения: 03.04.2024).
 15. Тымкив, А. С. Об измерении интервалов времени при проверке средств испытаний и диагностики устройств РЗА / А. С. Тымкив, П. В. Никитин. – Текст: электронный // Компетентность. – 2022. – № 8. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ob-izmerenii-intervalov-vremeni-pri-poverke-sredstv-isyptaniy-i-diagnostiki-ustroystv-rza> (дата обращения: 03.04.2024).
 16. Котеленко, С. В. Модернизация длительно эксплуатирующихся систем релейной защиты и автоматики энергосистем / С. В. Котеленко. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modernizatsiya-dlitelno-ekspluatiruyuschih-sistem-releynoy-zaschity-i-avtomatiki-nergosisistem?ysclid=lum5wlgbpj357775263> (дата обращения: 04.04.2024). – Текст: электронный.
 17. Колесников, А. А. Особенности сбора и обработки данных для расчета надёжности современной релейной защиты / А. А. Колесников, Б. В. Папков. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-sbora-i-obrabotki-dannyh-dlya-rascheta-nadyozhnosti-sovremennoy-releynoy-zaschity?ysclid=lum6h32z3118886817> (дата обращения: 04.04.2024). – Текст: электронный
 18. Корнюшкин, Д. А. Средства релейной защиты и автоматики: состояние и перспективы / Д. А. Корнюшкин, А. А. Крылов. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sredstva-releyno-zaschity-i-avtomatiki-sostoyanie-i-perspektivy?ysclid=lum6dr2q3q561318492> (дата обращения: 04.04.2024). – Текст: электронный.
 19. Симаков, А. В. Разработка математической модели функционирования электротехнических комплексов релейной защиты цифровых подстанций / А. В. Симаков, В. В. Харламов, М. Ю. Чернев. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-matematicheskoy-modeli-funktsionirovaniya-elektrotehnicheskikh-kompleksov-releynoy-zaschity-tsifrovyyh-podstantsiy?ysclid=lum6empw67914713118> (дата обращения: 04.04.2024).
 20. Симаков, А. В. Проверка электрических и временных характеристик токовой защиты цифровых подстанций / А. В. Симаков, В. В. Харламов, В. И. Скороходов. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proverka-elektricheskikh-i-vremennykh-kharakteristik-tokovoy-zaschity-tsifrovyyh-podstantsiy?ysclid=lum6g72icw396871770> (дата обращения: 04.04.2024). – Текст: электронный.