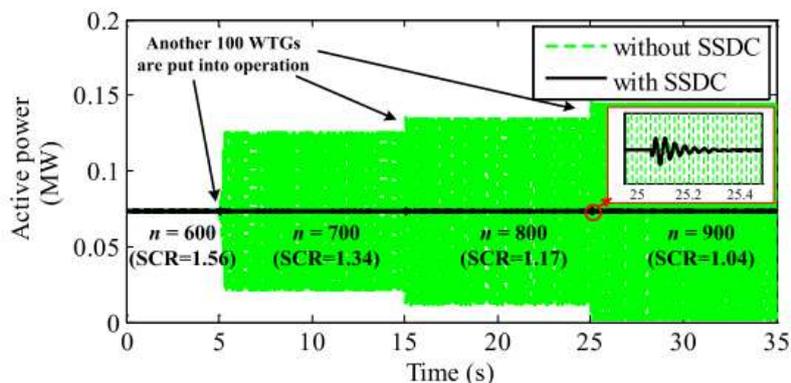


положительное, что означает, что ССВ хорошо стабилизирован. Таким образом, демонстрируется способность ДСУП увеличивать сопротивление или демпфирование.

Типичный случай проиллюстрирован на рисунке 3, где приняты те же условия эксплуатации, что и в случае 2 в разделе III–С. Очевидно, что без ДСУП устойчивые колебания мощности возникают, когда количество подключенных к сети ВЭУ достигает 700, 800 или 900. Однако при включении ДСУП колебания быстро гаснут, как показано на увеличенном графике на рис. Эти результаты подтверждают, что ДСУП может эффективно стабилизировать ССВ, не влияя на нормальную работу ДСУП [1].



**Рис. 3. Верификация схемы ДСУП с помощью моделирования во временной области [1]**

Литература

1. Liu H. et al. Subsynchronous interaction between direct-drive PMSG based wind farms and weak AC networks // IEEE Transactions on Power Systems. – 2017. – Т. 32. – № 6. – С. 4708-4720.

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ УСТРОЙСТВ  
РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ НА БАЗЕ ТЕРМИНАЛА БМР3-51 ПРОИЗВОДСТВА НТЦ  
«МЕХАНОТРОНИКА»**

**Шахнович Д.И.**

Научный руководитель старший преподаватель Аскарлов А.Б.

**Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия**

Короткие замыкания возникают из-за нарушений изоляции электроустановок, обрывов проводов и ошибок персонала, таких как включение заземленного оборудования под напряжением или отключение разъединителя при нагрузке. Эти виды повреждений считаются наиболее опасными [5].

Чтобы предотвратить аварийные ситуации, используются специальные автоматические устройства, известные как релейная защита (РЗ). Они могут отключать выключатели поврежденных участков сети, выполнять необходимые операции для восстановления нормального режима работы или предупреждать дежурный персонал [1].

Микропроцессорная релейная защита – это система, используемая для защиты электрических сетей и оборудования. Она основана на применении микропроцессоров для обработки и анализа электрических параметров, таких как напряжение, ток и частота, с целью обеспечения надежной и точной реакции на возникающие неполадки или аварийные ситуации в электрических системах [9]. Микропроцессорная релейная защита обеспечивает более гибкие настройки и возможность обеспечения множества функций защиты, что делает её более эффективной по сравнению с традиционными методами релейной защиты [2].

В данной работе будет рассматриваться блок микропроцессорной релейной защиты БМР3-51 производства НТЦ «Механотроника», г. Санкт-Петербург [6].

Комплекс выполняет ряд функций в области защиты, автоматики и управления выключателем, включая: токовую защиту (ТО), максимальную токовую защиту (МТЗ), ускорение МТЗ (УМТЗ), логическую защиту шин (ЛЗШ), дуговую защиту (ДГЗ), защиту от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ), защиту от несимметрии и обрыва фазы (ЗОФ), устройства резервирования при отказе выключателя (УРОВ), автоматическое повторное включение (АПВ) и другие функции управления выключателем. Блок обеспечивает отключение и включение выключателя по командам от защиты, автоматики, дискретных входов и интерфейсов коммуникаций. Он также осуществляет функции сигнализации и вспомогательные функции [6].

В работе будут проверяться следующие функции защиты: Токовая отсечка (ТО); Максимальная токовая защита (МТЗ); Логическая защита шин (ЛЗШ); Защита от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ); Защита от несимметрии и обрыва фазы (ЗОФ); Автоматическое повторное включение (АПВ).

Схемы функционирования защит БМР3-51 работают по общему принципу:

1. Измерение тока – происходит под действием механизма выбора максимального значения.
2. Следующим этапом происходит сравнение значения с заданным в уставке, максимальным пороговым элементов с гистерезисом;

3. Путем логических сигналов определяется: назначенный пользователем сигнал для блокировки первой или второй ступени; определения время токовой характеристики; ввод в работу функций защит, действующих в зависимости от других функций защит [4].

В современном мире широко распространена практика проведения проверки систем управления в реальном времени в замкнутом цикле RTDS, для оценки различных устройств, таких как контроллеры систем постоянного тока (HVDC), статические компенсаторы мощности (SVC), тиристорные серийные компенсаторы (TCSC) и гибкие системы передачи переменного тока (FACTS). Сегодня все производители электронных систем используют симуляторы для разработки алгоритмов, анализа динамических характеристик и проведения заводских испытаний своих устройств и систем управления. Этот подход обладает несколькими существенными преимуществами:

- а) проведение независимого тестирования новых контроллеров;
- б) детальное изучение воздействия новых установок на сеть с учетом обратной связи модели с системой управления;
- в) обучение персонала по эксплуатации установок и систем управления без риска негативного воздействия на реальную сетевую эксплуатацию;
- г) проверка потенциальных изменений в управлении сетью или обновлений конфигурации до начала фактической эксплуатации.

С помощью модели электроэнергетической системы, симулятор RTDS имитирует различные виды коротких замыканий, включая КЗ с утяжелением и двойные КЗ на землю, при различных сетевых условиях для оценки эксплуатационных характеристик системы. Также симулятор RTDS может выполнять сценарии, автоматизируя последовательность испытаний, и взаимодействовать с устройствами по протоколу IEC 61850 для тестирования совместимых с этим протоколом устройств передачи данных.

Для проверки функций защит создана виртуальная схема электрической сети (рисунок 1) [8].

Для испытаний устройств релейной защиты на базе терминала BMP3-51 в ПК «RSCAD» будут проводиться следующие испытания: формирование 2-х, 3-х фазных коротких замыканий; формирование однофазного замыкания на землю; формирование 2-х фазного короткого замыкания с последующим прекращением КЗ [3].

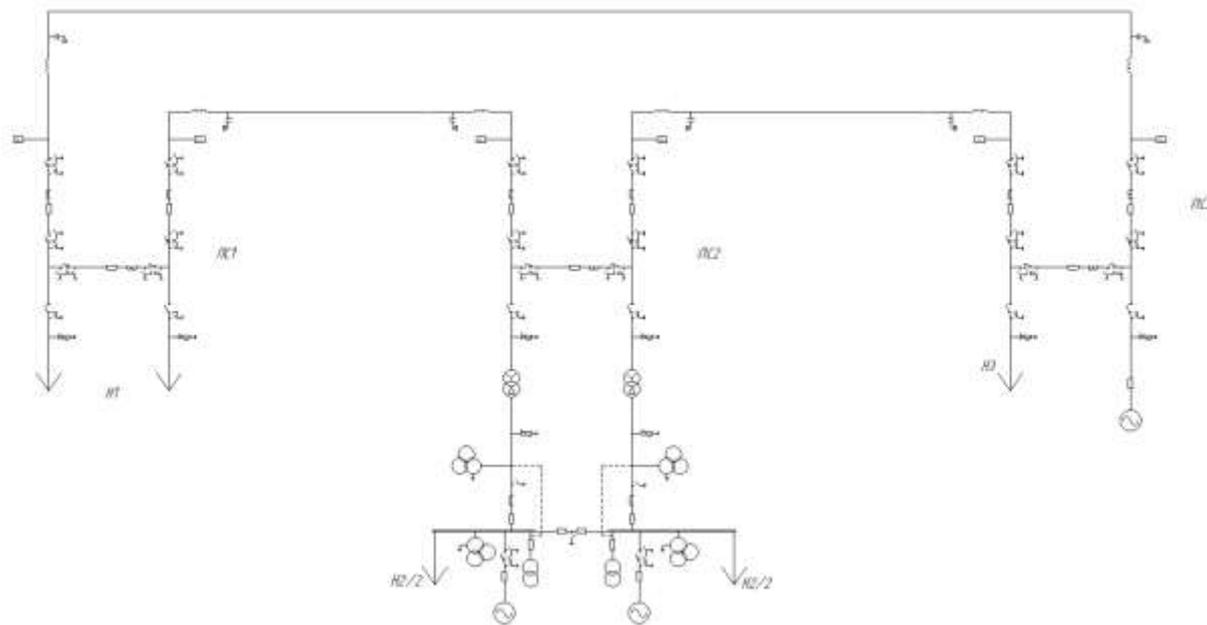


Рис. 1. Схема электрических соединений

#### Литература

1. Васильев А. Н. и др. Анализ количества и причин отключений в электрических сетях 0, 38... 10 кВ // Инновации в сельском хозяйстве. – 2018. – № 4. – С. 8-18.
2. Виноградов А. В., Колесов М. А. Способ автоматического восстановления питания потребителей электрической сети 6-10 кВ // Инновационные технологии механизации, автоматизации и технического обслуживания в АПК. – 2008. – С. 130-134.
3. Куценко Г. Ф., Парфёнов А. А., Бутенко А. В. Повышение надежности электроснабжения потребителей АПК при использовании пунктов автоматического резервирования // Вестник Гомельского государственного технического университета им. ПО Сухого. – 2000. – № 1 (1). – С. 053-058.
4. Максимов Б. К., Воротницкий В. В. Оценка эффективности автоматического секционирования воздушных распределительных сетей 6-10 кВ с применением реклоузеров с целью повышения надёжности электроснабжения потребителей // Электротехника. – 2005. – № 10. – С. 7-22.

1. Правила устройства электроустановок: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7– Новосибирск: «Норматика», 2020. – 499 с.
2. Руководство по эксплуатации блок микропроцессорный релейной защиты БМРЗ / НТЦ «Механотроника», г. Санкт-Петербург: 2023 – 109 с.
3. Федосеев А. М. Федосеев МА Релейная защита электроэнергетических систем: Учеб. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. // М.: Энергоатомиздат. – 1992.
4. Чернобровов Н. В., Семенов В. А. Релейная защита энергетических систем // М.: Энергоатомиздат. – 1998. – Т. 4.– № 7.
5. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита. М.: Энергоатомиздат, 2007 – 549 с.

### **ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАЖИГАНИЯ И ГОРЕНИЯ ПЕЛЛЕТИРОВАННЫХ ТОПЛИВ ИЗ БИОМАССЫ**

**Шведов Д.К., Дорохов В.В., Г.С. Няшина Г.С.**

Научный руководитель доцент Г.С. Няшина

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

**Введение.** Биомасса представляет собой универсальное и широкодоступное сырье, которое может быть использовано для выработки тепловой энергии [1]. Объемы использования биомассы для производства тепловой энергии значительно увеличились за последние десятилетия. Это связано с тем, что биотоплива из древесных отходов являются возобновляемым источником энергии [2,3]. Использование биомассы в качестве углеродно-нейтрального ресурса имеет потенциал для сокращения выбросов парниковых газов, а также позволяет сохранить ископаемые ресурсы. Для увеличения энергетической плотности и удобства эксплуатации прибегают к пеллетированию и гранулированию биомассы [4,5]. На сегодняшний день характеристики зажигания и горения композиционных топливных пеллет на основе биомассы и различных групп отходов остаются малоизученными. Учитывая высокий энергетический и экономический потенциалы данного вида топлива, целесообразно провести комплексное исследование композиционных топливных пеллет с целью их дальнейшего вовлечения в топливный сектор.

Настоящая работа направлена на экспериментальное исследование характеристик зажигания и горения пеллетированного топлива. Рассмотрены топливные пеллеты на основе сосновых опилок. В качестве функциональной добавки использовались твердые бытовые отходы (картон и пластик с долей 5 %, 10 %, 15 % масс.).

**Экспериментальное исследование.** Схема экспериментального стенда, используемого для определения характеристик зажигания и горения пеллетированных топлив, представлена на рисунке 1. В качестве исследуемых топлив использовались пеллеты на основе древесной биомассы и добавок пластика, картона и смеси пластика с картоном. Температура в камере сгорания варьировалась от 700 °С до 900°С.



**Рис. 1. Экспериментальный стенд**

На рисунке 2 представлены зависимости времен задержки газофазного и гетерогенного зажигания исследуемых топливных пеллет от температуры окислительной среды в камере сгорания. Время задержки газофазного зажигания – период времени, проходящий с момента начала нагревания пеллетированного топлива до момента начала зажигания парогазовой оболочки вокруг топлива. Задержка гетерогенного зажигания – это временной интервал между моментом начала нагревания топлива до момента инициации зажигания твердого остатка. Как ожидалось, повышение температуры окислительной среды приводит к снижению времен задержки газофазного и гетерогенного зажигания. Времена задержки газофазного зажигания снизилось на величину до 3,6 раз, а для гетерогенного зажигания сократились на величину до 1,4 раз.

Использование добавок картона, пластика и смеси картона с пластиком во всех экспериментах привело к увеличению времен задержки газофазного и гетерогенного зажигания исследуемых образцов. Причиной этого служит факт того, что при использовании добавок регистрировалось увеличение плотности образцов, что в свою очередь снижает скорость выхода летучих и в последствии уменьшает скорость накопления необходимой для зажигания концентрации летучих.