

Заключение. В ходе выполнения работы были проведены экспериментальные исследования рассматривающие способы подавления очагов, состоящих из древесины. Были определены оптимальные параметры системы пожаротушения, при которых время подавления очагов, состоящих из твердого горючего вещества и затраченный объемный расход тушащего средства сводились к минимуму.

Литература

1. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2020 году», МЧС России, Москва, 2021.
2. Brushlinsky N. N. et al. World fire statistics. – 2017.
3. СП 486.1311500.2020 Системы противопожарной защиты. Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и системами пожарной сигнализации. Требования пожарной безопасности, (2021) 6.
4. GOST R 59641-2021 Fire protection means for buildings and structures. Primary fire extinguishing means. Installation, maintenance and repair manual. Performance test methods, (2022).
5. Руководство по проектированию, монтажу, техническому обслуживанию и ремонту. Методы испытаний на работоспособность, (2021).
6. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 59636 - 2021. Установки пожаротушения автоматические. Руководство по проектированию, монтажу, техническому обслуживанию и ремонту. Методы испытаний на работоспособность (утв. и введен в действие приказом Федерально, (2021).
7. Приказ МЧС России от 31.07.2020 N 582 Об утверждении свода правил Системы противопожарной защиты. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования (вместе с СП 484.1311500.2020), 2020.

ВЛИЯНИЕ ОБЪЕКТА ВИЭ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ЭЭС Малькова Я.Ю.

Научный руководитель доцент Р.А. Уфа

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В настоящее время крайне актуален поиск и детальное предметное изучение альтернативных традиционным методов выработки электроэнергии, в том числе и в России, причем как на локальном, так и на федеральном уровне. Так, согласно п. 21, б Указа Президента РФ от 28.02.2024 г. № 145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» [5], одним из приоритетов научно-технологического развития нашей страны является переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, формирование новых источников энергии, способов ее передачи и хранения.

Согласно актуальной статистике, представленной АО «СО ЕЭС» [4], на 01.01.2024 г. установленная мощность единой энергетической системы (ЕЭС) России составляет 248,2 ГВт, из них на объекты генерации на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) приходится суммарно 4,7 ГВт (или около 2 %), солнечные (СЭС) и ветряные электростанции представлены примерно в равном соотношении.

Однако при локальном рассмотрении изолированных электроэнергетических систем (ЭЭС) доля объектов ВИЭ может достигать значения 20 и даже 30 %, что уже является критическим и может приводить к появлению незатухающих колебаний мощности, при возникновении внешнего возмущающего воздействия. Наличие незатухающих колебаний мощности, в свою очередь, оказывает негативное влияние на сохранение устойчивости ЭЭС, она может быть нарушена [2].

Причиной данного эффекта являются особенности подключения объектов ВИЭ к сети. Отметим, что описанное выше влияние на функционирование ЭЭС наблюдается также и при внедрении систем накопления энергии (СНЭ), в том числе гибридных, включающих в свой состав водородные накопители, как при одиночной установке, так и совместно с объектами ВИЭ в составе автоматизированных гибридных энергокомплексов (АГЭК). Подключение данного оборудования к сети осуществляется через сетевой инвертор на основе статических преобразователей напряжения (СПН). Объекты полностью безынерционные, вращающиеся массы у них отсутствуют.

Подобного рода колебания мощности ранее, до массового локального внедрения объектов ВИЭ, не наблюдались, меры по их эффективному демпфированию в настоящее время отсутствуют. Таким образом, имеет место необходимость разработки новых методов и средств демпфирования колебаний мощности и в целом повышения устойчивости современных ЭЭС, для которых характерно представление возобновляемой генерации, в том или ином объеме. Для чего следует провести всесторонние разноплановые исследования, с целью изучения влияния данных объектов на функционирование ЭЭС и ее устойчивость, чему и посвящена настоящая работа.

Проведем рассмотрение нескольких сценариев, отличных мощностью и местом установки объекта ВИЭ, на примере математической модели двухзональной 4-ех машинной ЭЭС («схемы Кундура» [1]), приведенной на рис. 1, с внедренным объектом ВИЭ. Здесь и далее под объектом ВИЭ будем понимать СЭС, что вполне позволяет сделать имеющий место уровень детализации объектов генерации. Исследование выполнено в подпрограмме Power System Analysis Toolbox (PSAT) [3] программного комплекса MATLAB.

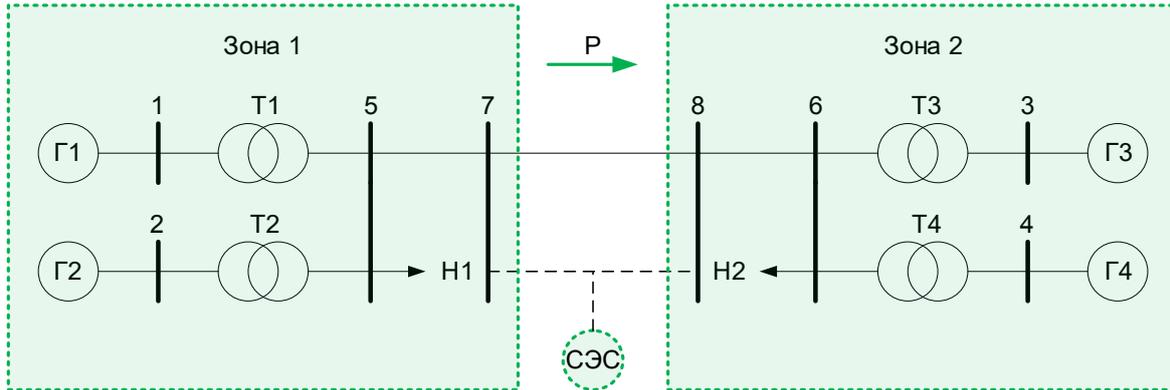


Рис. 1. Исследуемая двухзональная 4-х машинная ЭЭС («схема Кундура»):
Г – генератор, Т – трансформатор, Н – нагрузка

Схема рисунка 1 включает в себя две зоны – избыточную (Зона 1) и дефицитную (Зона 2). Каждая из которых представлена двумя генерирующими установками. Зоны соединены между собой двумя параллельными линиями между узлом 7 и узлом 8, к которым осуществляется подключение объекта ВИЭ, при размещении его в Зоне 1 и в Зоне 2 соответственно. Мощность объекта ВИЭ следующая: 50 МВт, с пошаговым увеличением вплоть до 400 МВт, величина шага – 50 МВт.

Каждой установке объекта ВИЭ соответствуют свои (отличные) собственные значения корней характеристического уравнения, поиск которых осуществляется с использованием подпрограммы PSAT программного комплекса MATLAB. Найденные корни систематизированы для всех выполненных расчетов и нанесены на комплексную плоскость (рис. 2).

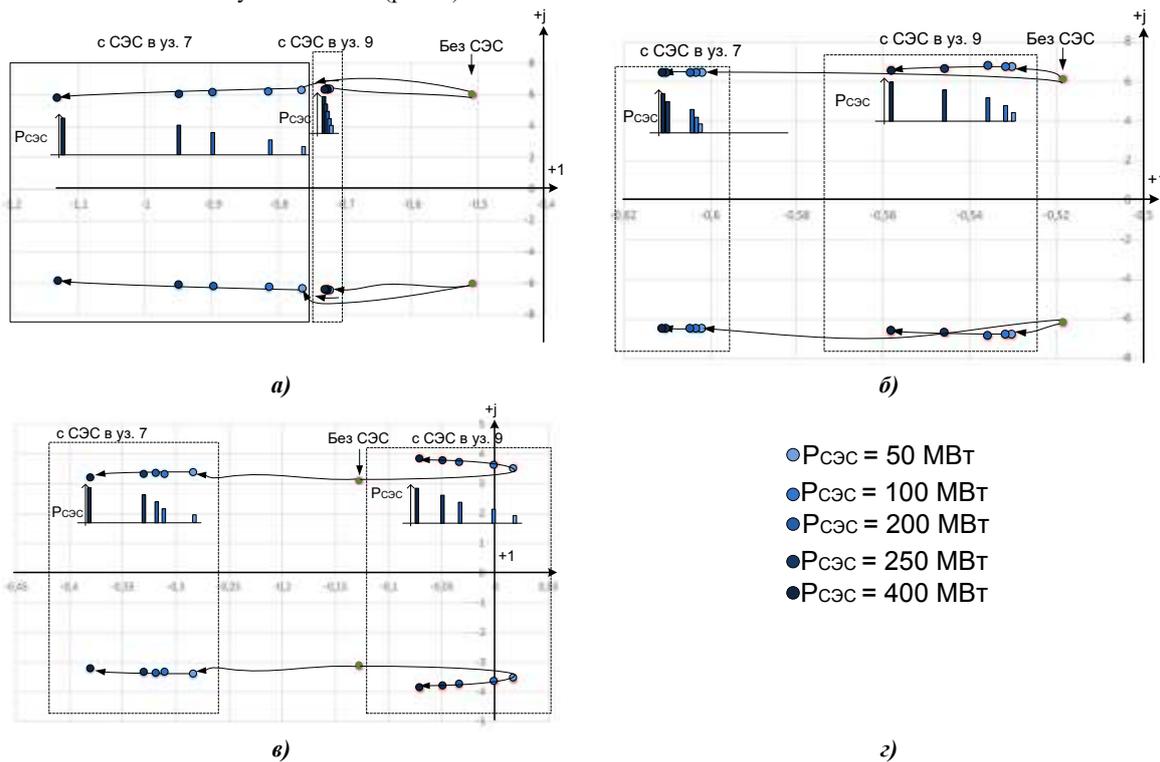


Рис. 2. Собственные значения корней характеристического уравнения при внедрении объекта ВИЭ разной мощности (z) в Зону 1 и в Зону 2: локальные колебания в Зоне 1 (а) и в Зоне 2 (б); межзональные колебания (в)

Рис. 2а и рис. 2б иллюстрируют локальные колебания генерирующих установок Зоны 1 и Зоны 2 соответственно, рис. 2в – межзональные колебания. Последние рассматриваются ввиду того, что несмотря на локальный характер установки объектов ВИЭ, возникающие низкочастотные и субсинхронные колебания имеют достаточно широкую область распространения, вплоть до магистральных сетей.

Так, из рис. 2а и рис. 2б видно, что установке объекта ВИЭ большей мощности в рамках принятого диапазона, как в Зону 1, так и в Зону 2, соответствует смещение корней характеристического уравнения влево, что оказывает положительное влияние на устойчивость исследуемой схемы. Кроме того, во всех приведенных сценариях

расположение корней характеристического уравнения при внедрении объекта ВИЭ в Зону 1 оказывается левее, чем при внедрении объекта аналогичной мощности в Зону 2. На основании чего можно сделать вывод, что Зона 1 является более предпочтительной для установки новых генерирующих мощностей на основе ВИЭ.

Однако, согласно проведенным исследованиям, обозначенная выше тенденция положительного влияния внедрения объектов ВИЭ на устойчивость ЭЭС сохраняется вплоть до доли ВИЭ от суммарной установленной мощности энергорайона, равной 30 %. Дальнейшее увеличение доли объектов ВИЭ приводит к описанным выше последствиям – появлению незатухающих колебаний мощности и нарушению устойчивости ЭЭС. Одним из возможных решений в данном случае может быть дополнение системы автоматического управления (САУ) сетевым инвертором на основе СПН регулятором демпфирования колебаний мощности и его настройка, что позволит увеличить долю объектов ВИЭ вплоть до 50 %. После чего необходимо принципиальное изменение реализованного в САУ алгоритма управления, например, применение технологии виртуального синхронного генератора (ВСГ), позволяющего объектам ВИЭ имитировать статические и динамические характеристики традиционных синхронных генераторов, для существенного улучшения демпфирующих свойств ЭЭС.

Литература

1. Kundur P. Power system stability, Power System Stability and Control //Chapter7. Boca Raton, FL: CRC. – 2007.
2. Liu C. et al. Oscillation analysis and wide-area damping control of DFIGs for renewable energy power systems using line modal potential energy //IEEE Transactions on Power Systems. – 2018. – Т. 33. – № 3. – С. 3460-3471.
3. Milano, F. An Open Source Power System Analysis Toolbox // IEEE Transactions on Power Systems. – 2005. – V. 20. – Is. 3. – P. 1199-1206.
4. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2023 году (на основе оперативных данных). АО «СО ЕЭС» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2024/ups_rep2023.pdf.
5. Указ Президента РФ от 28.02.2024 г. № 145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202402280003?index=10>.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ МОДАЛЬНОГО АНАЛИЗА ЛИНЕАРИЗОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ ЭНЕРГОСИСТЕМ С УЧЕТОМ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СИЛОВЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

Малюта Б.Д.

Научный руководитель доцент А.А. Суворов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Введение. На сегодняшний день интеграция возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в современные энергосистемы (ЭС) является одним из ведущих направлений развития электроэнергетики. Данные, собранные Международным Агентством по Возобновляемой Энергии (IRENA) за период с 2012 по 2021 год, свидетельствуют о росте процента от общей генерации, приходящегося на мощности, источниками первичной энергии которых являются ВИЭ [1].

В то же время данная тенденция приводит к возникновению существенных проблем с устойчивостью ЭС, т.к. ВИЭ-генерация не вносит вклада в общую инерцию ЭС из-за отсутствия либо непосредственной электрической связи с ЭС, либо запасов кинетической энергии, необходимых для обеспечения инерции [2]. Последнее становится все менее значимым в контексте современных энергосистем, т.к. всё большее количество современных объектов ВИЭ-генерации интегрируются в ЭС посредством силовых преобразователей (СП) – инверторов, управляемых специальными алгоритмами. Как отмечается в [3], рост числа СП в ЭС приводит к значительным изменениям динамических свойств ЭС относительно традиционных ЭС, в которых преобладают синхронные генераторы, а также к возникновению новых видов колебаний, проблем в области устойчивости и значительного числа прочих негативных факторов, влияющих на устойчивую и безопасную работу ЭС.

Одним из возможных решений вышеперечисленных проблем является соответствующая настройка системы управления (СУ) СП. Вариант реализации алгоритма для такой настройки предложен в [4]. Впрочем, сложность такого подхода состоит в необходимости применения средств модального анализа, реализация которых без должной автоматизации трудоёмка и занимает значительное время. Также без автоматизации невозможна автоматическая подстройка параметров системы под изменяющиеся условия работы. Таким образом становится актуальной разработка средств автоматической реализации расчёта параметров СУ СП на основании результатов модального анализа.

Данная работа посвящена демонстрации первичных результатов разработки программного обеспечения для автоматизации определения параметров СУ СП.

Описание разрабатываемого программного обеспечения. На текущем этапе разрабатываемое программное обеспечение реализуется в виде объекта MATLAB App в программном комплексе MATLAB. Реализация подобным образом позволяет упростить решение вопросов, связанных с графическим интерфейсом и способом задания входным данных, т.к. исследуемая модель в линеаризованном виде может быть задана посредством внутреннего языка программирования MATLAB и считана программой через обращение к пространству переменных модели (base workspace).