

**ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ В ЗАДАЧАХ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

**Солодников Н.А.**

Научный руководитель доцент Р.А. Уфа.

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

В настоящее время все большую распространенность в электроэнергетике получают распределенная генерация и возобновляемые источники электроэнергии. Благодаря этому появляются расширяются возможности обеспечения энергией районов, расположенных на изолированных от энергосистемы территориях. Россия активно увеличивает объемы альтернативной энергетики. Например, компания «Фортум» – лидер в области возобновляемой энергетики в России – только в прошлом году ввела в эксплуатацию ветряные электростанции суммарной мощностью 478 МВт, а суммарный портфель «Фортума» и его совместных предприятий составляет примерно 3,4 ГВт мощностей ветряной и солнечной энергетики; между тем на 2025–2027 годы уже запланировано строительство ветряных электростанций еще на 1,3 ГВт [1]. Данные технологии могут быть применены, в частности, для нефтяных месторождений, расположенных на значительном расстоянии от объединенной энергосистемы.

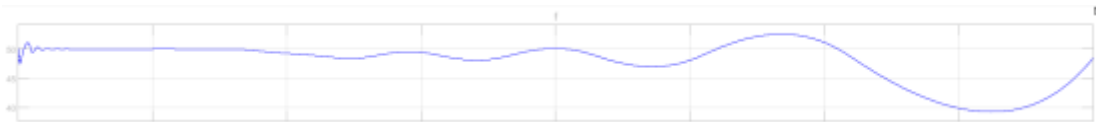
Однако внедрение возобновляемых источников электроэнергии (ВИЭ) имеет ряд сложностей, одной из которых является поддержание баланса потребляемой и генерируемой мощности для регулирования частоты в сети. Генераторы возобновляемых источников, в отличие от традиционных турбо- и гидрогенераторов, не обладают достаточным моментом инерции для обеспечения запаса устойчивости, в то же время ВИЭ зависят от нерегулируемых параметров, таких как скорость ветра в случае использования ветрогенераторов или интенсивности солнечного излучения в случае применения солнечных панелей. Следовательно, мощность, выдаваемая в сеть, нестабильна. Способность синхронного генератора реагировать на возможные небалансы характеризуется таким параметром, как максимальная скорость открытия клапанов, подающих пар в турбину, данный параметр ограничен в силу конструктивных особенностей генератора. Таким образом, при совместной изолированной работе синхронного генератора и ВИЭ, возникает проблема возникновения колебаний, которые могут нарушить устойчивость работы синхронного генератора.

Для подтверждения данного явления смоделирована система, состоящая из синхронного генератора, приводимого во вращение паровой турбиной, ветрогенератора, нагрузки и шины бесконечной мощности (ШБМ), необходимой для начального задания частоты в системе. На пятой секунде моделирования происходит отключение ШБМ, при этом синхронный генератор и ветрогенератор продолжают совместную работу изолированно. На восьмой секунде генерация ВИЭ начинает стремительно снижаться, происходит моделирование небаланса, вследствие снижения ветра. Далее рассматриваются два варианта развития событий. В первом сценарии синхронный генератор имеет высокую максимальную скорость открытия клапанов и в ходе возникновения небаланса сохраняет устойчивость (Рис. 1).



**Рис. 1. Зависимость частоты от времени (высокая скорость открытия клапанов)**

Во втором случае, когда генератор не может обеспечить необходимую скорость реагирования, происходит нарушение устойчивости. Наблюдаются нарастающие колебания частоты в сети, способные привести к отключению генерации (Рис. 2).

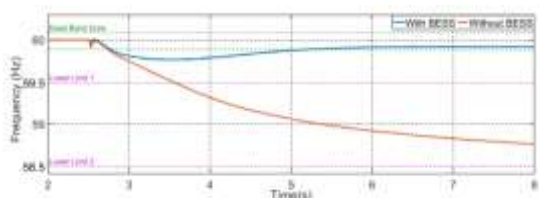


**Рис. 2. Зависимость частоты от времени (низкая скорость открытия клапанов)**

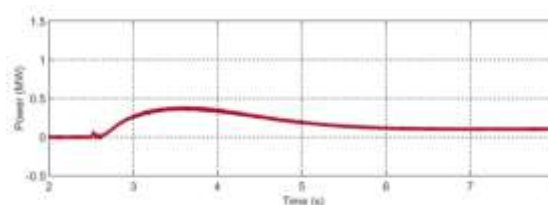
Одним из вариантов решения проблемы первичного регулирования частоты, применяемой для возобновляемых источников электроэнергии, является применение систем накопления энергии Battery Energy Storage Systems (BESS). BESS представляют собой аккумуляторные батареи, которые могут накапливать энергию из разных источников и высвобождать ее при необходимости поддержания баланса генерируемой и потребляемой мощности. BESS состоит из одной или нескольких батарей и может использоваться для балансирования электрической сети, обеспечения резервного питания и повышения стабильности сети [2]. Для оценки возможности применения систем накопления энергии в работе рассматриваемой работе [3] было произведено моделирование электроэнергетической системы в программной среде MATLAB. Для этого составлена система, состоящая из генератора, линий электропередачи, энергосистемы с мощностью короткого замыкания 500 МВА в роли ШБМ, системы накопления энергии, нагрузки и трансформаторов.

Система накопления энергии состоит из накопительного элемента и системы преобразования энергии. Накопительный элемент запасает электрохимическую энергию и представляет из себя литий-ионный аккумулятор большой емкости. Система преобразования же, в свою очередь, построена на базе инвертора, подключенного к шине переменного тока, а также системы управления, формирующей направление и величину перетока мощности в системе. Для осуществления управления накопителем системой управления одновременно контролируются частота в сети и величина заряда батареи. На основе данных показателей формируются сигналы для заряда или разряда накопителя. Так, во время падения частоты, что свидетельствует о дефиците активной мощности в энергосистеме, батарея будет разряжаться, выдавая мощность в сеть, во время повышения же частоты система будет работать на заряд батареи, таким образом, поддерживая баланс активной мощности в энергосистеме и сглаживая возможные небалансы. Управление согласуется с величиной заряда батареи для защиты аккумуляторов от максимума и минимума заряда, что обеспечивает увеличение срока службы оборудования. Блоки контроля частоты и уровня заряда построены на базе ПИ-регулятора. Чтобы изучить влияние накопителя на энергосистему, была создана тестовая модель распределительной сети, основными элементами которой являются ветрогенератор мощностью 2,5 МВт, BESS мощностью 1,5 МВт, синхронный генератор мощностью 7,5 МВт, ШБМ с мощностью короткого замыкания 500 МВА в роли энергосистемы и нагрузка мощностью 10,3 МВт.

В первом опыте моделируется случай отключения ШБМ на 2,5 секунды. Скорость ветра, была сохранена постоянной и равной номинальному значению (11,5 м/с), при которой ветрогенератор выдает мощность 2,5 МВт. Моделируются два случая: при наличии системы накопления энергии и без нее. Результаты моделирования выражены в зависимостях частоты от времени для двух случаев, построенных в одних осях (Рис. 3). Также для опыта с BESS построена зависимость выдачи мощности батареей от времени (Рис. 4).

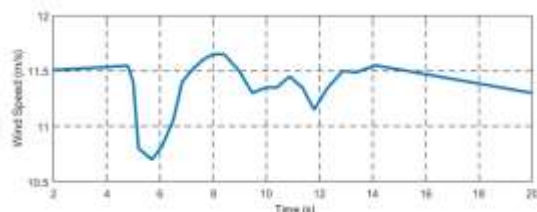


**Рис. 3. Зависимость частоты от времени в сети с BESS и без BESS [3]**

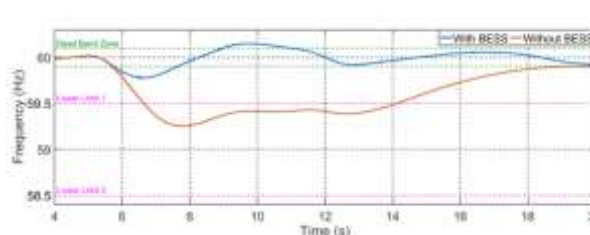


**Рис. 4. Выдача мощности системой BESS [3]**

Таким образом, можно наблюдать, что во время отключения ШБМ, система накопления энергии, определив снижение частоты в системе, начинает высвобождать мощность, накопленную батареей, и тем самым компенсировать дефицит активной мощности, не позволив частоте продолжить снижение, как в случае без использования системы BESS. В следующем опыте мощность вырабатываемая ветрогенератором изменяется из-за непостоянности ветра (рис. 5). В данном сценарии моделирование длится 20 секунд, энергосистема остается подключенной в ходе всего времени моделирования.



**Рис. 5. Зависимость скорости ветра от времени [3]**



**Рис. 6. Зависимость частоты от времени в сети с BESS и без BESS [3]**

На рисунке 6 можно наблюдать, как в критический момент изменения мощности (происходит между 5 и 14 секундами) в системе без BESS, частота упала ниже первого предела, в этом случае у системы было бы 30 секунд, чтобы восстановить частоту, но скорость ветра вернулась к норме. Однако, в энергосистеме оснащенной BESS колебания частоты были значительно менее выражены, практически укладываясь в допустимый диапазон. Как видно из представленных результатов, система накопления энергии может эффективно демпфировать колебания генерируемой активной мощности, вызванные особенностями возобновляемых источников энергии, в частности ветрогенераторов.

#### Литература

1. Мнимые и реальные проблемы ветровой энергетики // Независимая газета URL: [https://www.ng.ru/energy/2022-02-07/12\\_8365\\_problems.html](https://www.ng.ru/energy/2022-02-07/12_8365_problems.html) (дата обращения: 05.11.2022).
2. Battery energy storage // Siemens Energy URL: <https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/storage-solutions/battery-energy-storage.html> (дата обращения: 05.11.2022).
3. Vargas R. Z. et al. Energy storage system integration with wind generation for primary frequency support in the distribution grid // Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos-SBSE. – 2020. – Т. 1. – №. 1.