

площадках того или иного предприятия, с последующей продажей электроэнергии на оптовом или розничном рынке. В первом случае предприятие может получить значительную экономию на капитальных затратах при организации электроснабжения отдаленных объектов, реализация электроэнергии на конкурентном рынке в свою очередь позволяет получить дополнительную прибыль.

Литература

1. Ахметшина Г. Р., Оздоева А. Х. Солнечные электростанции: эксплуатация на незадействованных площадках нефтегазового комплекса // Деловой журнал Neftegaz. RU. – 2021. – № 9. – С. 90-93.
2. Коданева С. И. Перспективы развития топливно-энергетического комплекса России в современных условиях // Россия: тенденции и перспективы развития. – 2021. – № 16-1. – С. 342-348.
3. Турышева А. В. Автономное энергоснабжение нефтегазодобывающих предприятий // Наука, техника и образование. – 2015. – № 4 (10). – С. 94-96.

ВЛИЯНИЕ ВНЕДРЕНИЯ ВИЭ НА ПАРАМЕТРЫ ЭЭС

Десятков А.В.

Научный руководитель доцент Ю.Д. Бай

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В соответствии с мировым технологическим прогрессом в области возобновляемых источников энергии интеграция производства электроэнергии с использованием энергии солнца и ветра в национальную энергосистему очень важна, поскольку это будет способствовать снижению зависимости от внешних источников энергии и созданию экономически оправданных альтернатив, позволяющих сократить общие расходы на электроэнергию без каких-либо негативных последствий для энергоэффективности и местного населения.

Актуальность для России

Значительная часть территорий России, в особенности районы Дальнего Востока, Арктики и Крайнего Севера, а также малые поселения и районы с низкой плотностью населения, не имеют централизованного энергоснабжения. Главной причиной является невыгодность экономической стороны постройки линий электропередач, это вызвало проблемы с энергетическим обеспечением этих районов. Развитие возобновляемой энергетики, в том числе использование солнечной энергии, является одним из способов решения этой проблемы.

Темпы внедрения

В РФ был принят федеральный закон «Об ограничении выбросов парниковых газов», а также утверждена Стратегия социально-экономического развития с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года, согласно которой реализация целевого сценария позволит Российской Федерации достичь баланса между антропогенными выбросами парниковых газов и их поглощением не позднее 2060 года.

В 2021 году Правительством РФ принято решение о продлении программы поддержки возобновляемой энергетики (ДПМ ВИЭ 2.0). Целевой объем ввода СЭС составляет 3,5 ГВт, который планируется достичь уже к 2035 году.



Рис. 1. Основные параметры будущей программы поддержки ВИЭ на период 2025-2035 гг.

Постановка задачи

По сравнению с традиционными турбинными установками, солнечные имеют иные технические характеристики. При их подключении они создают дополнительные проблемы поддержания устойчивости систем электропередачи как при нормальной работе, так и в случае аномальных возмущений. Соответственно, ожидаемые сценарии работы, должны быть заранее определены и изучены для поддержания устойчивости сети электропередачи и поддержания поставок в течение дня и ночи.

Влияние внедрения СЭС

В отличие от источников энергии на базе синхронных генераторов, солнечные электростанции (СЭС) отделены от сети и не оказывают ей инерционной поддержки, так как взаимодействуют с сетью через силовые электронные инверторы. Снижение инерционности энергосистемы может привести к возникновению ряда

эксплуатационных проблем и вопросов для операторов энергосистем, особенно в части стабильности частоты и напряжения. Сеть становится более восприимчивой к таким событиям, как внезапная потеря генерации, изменение нагрузки, короткое замыкание, а также способность сети реагировать и останавливать изменения частоты после возмущения снижается. В свою очередь, возрастает риск нестабильности частоты сети и каскадных сбоев.

Помимо проблем со стабильностью частоты, к числу других значимых проблем, связанных с малоинерционной энергосистемой, относятся низкий коэффициент короткого замыкания и прочность системы, изменение настроек защитных устройств, снижение способности к прохождению КЗ. Дополнительная инерционность и быстрая поддержка частоты станут необходимыми для обеспечения масштабного проникновения возобновляемых источников энергии в энергосистему.

Используемая модель

С целью исследования влияния ВИЭ на режимы ЭЭС смоделируем поведение системы с помощью создания схемы замещения солнечной панели в программе Matlab Simulink. На данный момент известно большое количество математических моделей СП, однако в рамках данной работы будет использоваться эквивалентная двухдиодная модель, считающаяся наиболее достоверной и распространённой. Представленная двухдиодная модель фотоэлектрического модуля (рис. 2.) показывает аналогичные результаты в рамках стандартных условий.

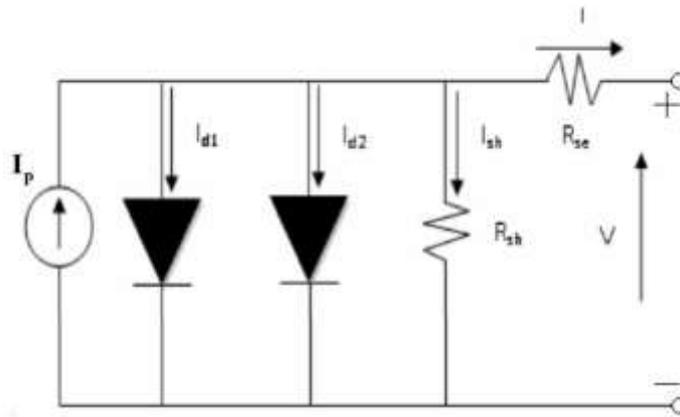


Рис. 2. Схема замещения солнечного элемента

Данная модель описывается следующим уравнением:

$$I_c = I_p - I_{d1} \exp \frac{e(U_c + I_c R_{\Pi})}{n_1 k T} - I_{d2} \exp \frac{e(U_c + I_c R_{\Pi})}{n_2 k T} - \frac{(U_c + I_c R_{\Pi})}{R_{\Pi}}$$

где I_p - фототок, I_{d1} - ток протекающий через неидеальный р-п-переход, I_{d2} – обратный ток насыщения.

Сбор модели осуществлялся согласно приведённому математическому уравнению в программном комплексе Matlab. Модель в Matlab собрана в виде следующих блоков: блок фототока, блоки диодных токов, блок тока через шунтирующее сопротивление, решающий блок Solve. Также для создания модели использовались блоки умножения и сложения.

Основные блоки модели представлены на рисунке 3.

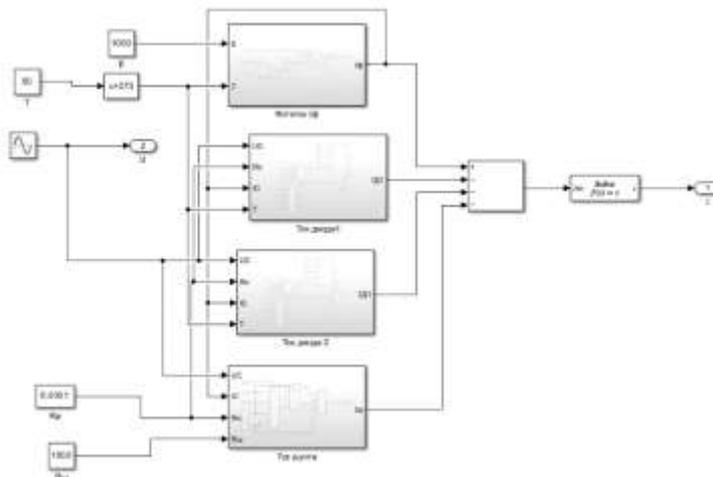


Рис. 3. Схема математической модели солнечной панели

С целью дальнейшего исследования влияния СЭС на характеристики ЭЭС была реализована описанная выше математическая модель солнечных панелей Kyocera KC130TM в программном комплексе MATLAB Simulink.

Реализованная математическая модель с допустимой степенью адекватности воспроизводит ВАХ СП. ВАХ двухдиодной математической модели практически совпадает с ВАХ СП в точках ХХ и КЗ. В дальнейших исследованиях будем полагать, что данная модель является эталонной.

Литература

1. Eftekharijad S. et al. Impact of increased penetration of photovoltaic generation on power systems // IEEE transactions on power systems. – 2012. – Т. 28. – № 2. – С. 893-901.
2. Nema S. et al. Matlab/simulink based study of photovoltaic cells/modules/array and their experimental verification // International journal of Energy and Environment. – 2010. – Т. 1. – № 3. – С. 487-500.
3. Renewables 2019 Global Status Report // Ren21.Renewables now [Электронный ресурс]. URL: https://www.ren21.net/gsr2019/chapters/chapter_03/chapter_03/ (01.11.2023).
4. Shannan N. M. A. A., Yahaya N. Z., Singh B. Single-diode model and two-diode model of PV modules: A comparison // 2013 IEEE international conference on control system, computing and engineering. – IEEE, 2013. – С. 210-214.
5. Российский союз промышленников и предпринимателей/Программа поддержки ВИЭ на период 2025-2035гг. Руководитель инвестиционного дивизиона ВИЭ ООО «УК «РОСНАНО» А.Б. Каланов: Available from: file: // C:/Users/%D0%90%D0%BB%D0%B5%D0

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ВОСПЛАМЕНЕНИЯ КАМЕННОГО УГЛЯ
ПУТЕМ ДОБАВЛЕНИЯ БИОМАССЫ**

Емельянов С.Г., Плешко А.О., Паномарев Д.А.

Научный руководитель профессор Д.О. Глушков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В настоящее время возрастает потребность в развитии топливно-энергетического комплекса за счет вовлечения и использования новых видов твердого топлива. Это связано с тем, что производство тепловой и электрической энергии в большинстве случаев осуществляется путем сжигания твердого органического топлива, что оказывает негативное воздействие на окружающую среду [6]. Одним из перспективных видов топлива является смесь на основе твердых горючих компонентов (например, биомассы и угля). Состав таких топливных смесей может быть адаптирован для решения конкретных задач, таких как утилизация древесных отходов, улучшение процесса сжигания углей с высоким и средним метаморфизмом, снижение вредных выбросов и уменьшение углеродного следа. При сжигании угля с низким метаморфизмом можно добавлять биомассу для снижения содержания золы и токсичных газовых компонентов в дымовых газах [2,4,5].

Целью данной работы является определение характеристик зажигания и горения каменного угля с добавлением биомассы, а также определение состава дымовых газов. Результаты данного исследования могут быть использованы при проектировании энергетических установок, работающих на твердом топливе.

В экспериментальных исследованиях использовались различные виды твердого топлива. Одним из них является черногорский каменный уголь марки Д (далее «У»), добываемый на Черногорском месторождении в Республике Хакасия (Россия). Дополнительно в экспериментах были использованы опилки лиственницы (далее «Б») из деревообрабатывающего предприятия Красноярска (Россия).

Для анализа характеристик зажигания и горения отдельных компонентов топлива и топливных смесей использовался хорошо апробированный экспериментальный стенд [3]. Одними из основных компонентов являются воздушный вентилятор высокого давления ROBUST, воздухонагреватель LEISTER LE 5000 HT и трубчатая муфельная печь General Therm RT 1000.1100 SP. Воздушный вентилятор и воздухонагреватель подают разогретый воздух в кварцевый цилиндр длиной 1 м со скоростью 5 м/с. Муфельная печь поддерживает температуру в диапазоне от 20 до 850 °С, равномерно распределяя температуру по длине цилиндра и минимизируя потери тепла в окружающую среду. Вдоль оси симметрии воздушного потока располагались термопары. Регистрация температуры осуществлялась с помощью многоканального регистратора РМТ-59 и четырех термопар на входе, в середине и на выходе из кварцевого цилиндра. Для снижения температуры воздушного потока и уходящих газов до 150 °С использовался воздухоохладитель. Топливо массой около 5 мг вводилось в воздушный поток с помощью автоматического механизма через отверстие диаметром 6 мм в стенке кварцевой трубки. Через смотровую щель муфельной печи регистрировались процессы зажигания и горения с помощью цветной высокоскоростной видеокамеры Phantom V411, которая располагалась перпендикулярно трубчатой муфельной печи на расстоянии около 2 м от смотровой щели.

Для анализа состава дымовых газов использовался хорошо апробированный экспериментальный стенд [1]. Муфельная печь Nabertherm R 50/250/13 прогревалась до заданной температуры T_g . Далее, при помощи координатного механизма, в камеру сгорания подавалась небольшая порция топлива массой около 0,2 г. С другой стороны муфельной печи был расположен зонд газоанализатора Test 1. Во время эксперимента оба отверстия трубки муфельной печи были закрыты изоляцией из стекловолокна. В процессе горения газообразные вещества, проходя через зонд, попадали в корпус газоанализатора. В одной серии проводилось от пяти до десяти экспериментов при идентичных начальных условиях. Для определения средней концентрации газа во времени использовался метод трапеций, подробно описанный авторами в работе [1].

В условиях нагрева топлив в потоке разогретого воздуха при температурах 500–800 °С с помощью программно-аппаратного комплекса высокоскоростной видеорегистрации быстропротекающих процессов установлены времена задержки зажигания. По результатам проведенных экспериментов установлено, что времена задержки зажигания варьируются в пределах от 0,02 до 0,22 с, а добавление 10–30 % биомассы к углю снижает времена