

соединений ( $H_2S + SO_2$ ) в дымовых газах на 19,7 %, 8,3 %, и 24,2 % соответственно. Из рассмотренных топливных смесей наибольший потенциал для практического применения наряду с традиционным твердым топливом имеет топливо с содержанием биомассы 20 %.

Таким образом, добавление биомассы к углю способствует снижению концентраций выбросов диоксида углерода, оксидов азота, соединений серы. Результаты позволяют сделать вывод о экологической перспективности развития технологий сжигания топливных смесей на основе широко распространенных углей с добавлением биомассы в небольших количествах. При этом добавление биомассы к углю способствует улучшению не только экологических, но и энергетических характеристик процесса горения.

#### Литература

1. Akhmetshin M. R., Nyashina G. S., Strizhak P. A. Normalizing anthropogenic gas emissions from the combustion of industrial waste as part of fuel slurries // *Fuel*. – 2022. – Т. 313. – С. 122653.
2. Ashraf A., Sattar H., Munir S. A comparative performance evaluation of co-combustion of coal and biomass in drop tube furnace // *Journal of the Energy Institute*. – 2022. – Т. 100. – С. 55-65.
3. Glushkov D. O. et al. An experimental investigation into the fuel oil-free start-up of a coal-fired boiler by the main solid fossil fuel with additives of brown coal, biomass and charcoal for ignition enhancement // *Fuel Processing Technology*. – 2021. – Т. 223. – С. 106986.
4. Roni M. S. et al. Biomass co-firing technology with policies, challenges, and opportunities: A global review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2017. – Т. 78. – С. 1089-1101.
5. Xia Y. et al. Research and application of online monitoring of coal and biomass co-combustion and biomass combustion characteristics based on combustion flame // *Journal of the Energy Institute*. – 2023. – Т. 108. – С. 101191.
6. Yang W. et al. An overview of inorganic particulate matter emission from coal/biomass/MSW combustion: Sampling and measurement, formation, distribution, inorganic composition and influencing factors // *Fuel Processing Technology*. – 2021. – Т. 213. – С. 106657.

### **ВИРТУАЛЬНЫЙ СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОРА НА БАЗЕ СНЭЭ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Иванов Н.С.**

Научный руководитель доцент А.А. Суворов

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

Для нефтегазовых компаний возобновляемая энергия представляет собой важный инструмент для осуществления перехода к более устойчивой энергетике. Инвестирование в возобновляемые источники энергии позволяет им диверсифицировать свой портфель и улучшить свою технологическую, экономическую и экологическую устойчивость. Среди крупнейших международных нефтегазовых компаний, активно инвестирующих в проекты возобновляемой энергии, можно выделить Shell, Equinor, Total, BP и ENI. Говоря об отечественных проектах, у ПАО «Лукойл» введено в эксплуатацию наибольший объем мощностей ВИЭ [1]: тепловые насосы, 84 МВт ветроэлектростанций, 40 МВт солнечных электростанций.

Хотя проекты солнечных и ветряных электростанций в целом имеют низкий уровень риска за счет короткого цикла реализации и масштаба, большинство систем возобновляемых источников энергии (ВИЭ) используют силовые преобразователи для интеграции с сетью. Однако внедрение установок генерации с СП способно значительно изменить динамические свойства сети, так как обладают отличными свойствами от традиционных синхронных генераторов (СГ), в частности система автоматического управления (САУ). Это приводит к влиянию на устойчивость сети. В итоге разработка более совершенной системы управления СП, позволяющей обеспечивать устойчивость и быть надежной как традиционная СГ, становится все более актуальной. Имитация статических и динамических характеристик традиционных СГ возможна за счет особой системы автоматического управления, которая получила название «виртуальный синхронный генератор». Это направление считается одним из самых перспективных, так как позволяет присвоить установкам с СП свойства, обеспечивающие традиционные СГ для надежной работы сети. В связи с этим данный доклад посвящен разработке системы ВСГ на основе модели системы накопления электроэнергии (СНЭЭ).

В данном докладе проводится обзор и результаты модели виртуального синхронного генератора (ВСГ) на базе СНЭЭ (рисунок 1).

В данной модели построена трехфазная система накопления электроэнергии (СНЭЭ), которая с помощью силовых преобразователей (СП) способна заряжаться и разряжаться в зависимости от режима работы.

Системы ВСГ построены по принципу подчиненного управления и включают в себя контуры системы: внутренний и внешний контур управления, модель СГ. Внешний контур управления может выполнять управление по частоте и мощности (автоматический регулятор частоты и мощности (АРЧМ)) или напряжению (автоматический регулятор напряжения (АРН)). В рассматриваемой модели рассматривается АРН, в контуре которой осуществляется регулирование реактивной мощности/напряжения при помощи ПИ-регулятора.

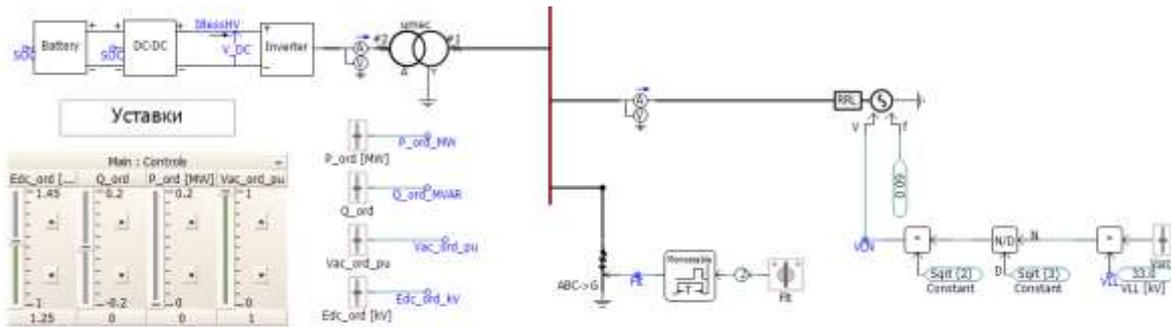


Рис. 1. Схема модели рассматриваемого СНЭЭ

Для воспроизведения динамики СГ используется топология ВСГ 230 [2] (рисунок 2). Работа регуляторов тока основано на ПИ-регулировании.

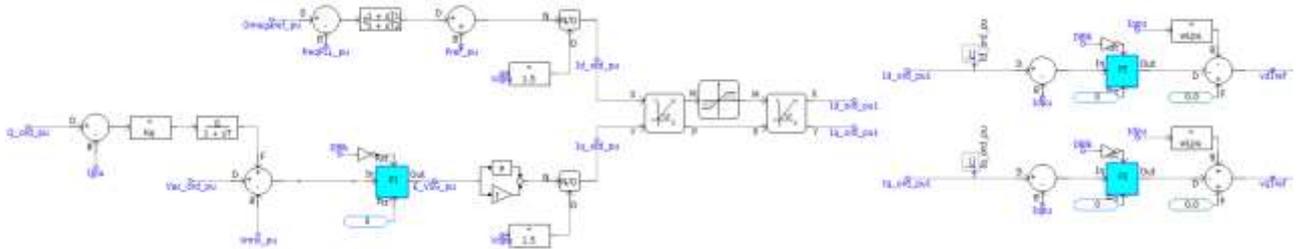


Рис. 2. Структурная схема ВСГ230

Далее приведены результаты исследования режима генерации: по активной и реактивной мощности  $P_{ord}$ ,  $Q_{ord}$  равны 0,1418, а напряжение на выводах DC-DC преобразователя  $E_{dc\_ord}$  и инвертора  $U_{ac\_ord}$  задано 1 о.е (рисунок 3).

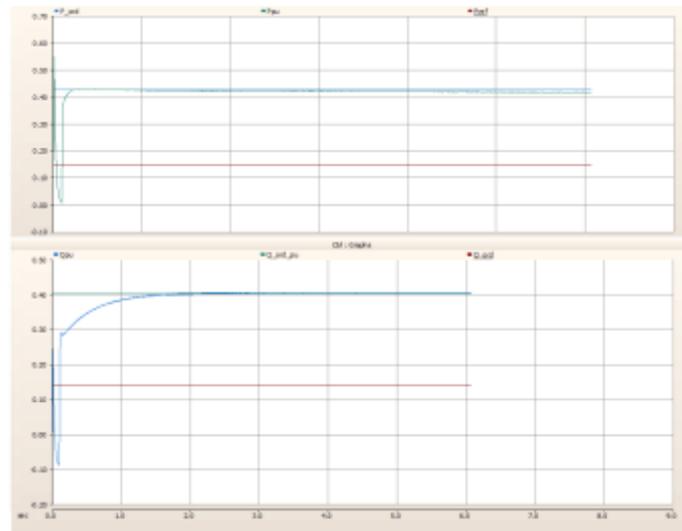


Рис. 3. График активной и реактивной мощности ВСГ

Согласно полученным результатам исследования можно сделать вывод, режим генерации мощности работает корректно, однако заметна небольшая статическая ошибка по активной мощности, требуется настройка внешнего контура управления. Напряжение соответствует уставке.

#### Литература

1. Новостной портал об отечественном энергопереходе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://esgport.org/2023/07/17/ukojl-nameren-postroit-zelyonuyu-energetiku-na-kaspii/>, свободный – (5.03.2024)
2. Суворов А. А. и др. Синтез и тестирование типовых структур систем автоматического управления на основе виртуального синхронного генератора для генерирующих установок с силовым преобразователем // Электрические станции. – 2022. – № 3. – С. 1088.