

По истечении выдержки времени, при невыполнении второго условия, работа схемы АВР прекращается и выдается сигнал «Неисправность ДГ».

При возобновлении питания на одном из вводов до требуемого значения, происходит восстановление нормального режима работы [5].

#### Литература

1. Инструкция по эксплуатации Гидрогенераторов Саяно-Шушенской ГЭС СВФ1-1285/275-42УХЛ4: утверждено главным инженером Филиала ОАО «РусГидро» - «Саяно – Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного» В.В. Луфференко от 2020 №5.38 // - 2020.
2. Инструкция по эксплуатации трансформаторов ОРЦ-533000/500-У1: утверждено главным инженером Филиала ОАО «РусГидро» - «Саяно – Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного» Т.М. Юсуповым от 2014 №5.44// - 2014.
3. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования/Л.Д. Рожкова, Л.К. Карнеева, Т.В. Чиркова. – 10-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 448 с.
4. Саяно-Шушенский гидроэнергетический комплекс: общие сведения [Электронный ресурс]: Официальный сайт РусГидро, 2008 – 2020. – Режим доступа: <http://www.sshges.rushydro.ru/press/news-materials/presskit/company> (дата обращения 10.02.2022).
5. Типовые схемы Автоматика включения резерва с применением интеллектуально-программируемого реле Zelio logic – Москва: Изд-во Библиотека проектных решений, 2008. – 98 с.
6. Устройства комплектные распределительные на напряжение 6(10) кВ серии КРУ ЭКРА-6(10) [Электронный ресурс]: Официальный сайт ООО НПП «ЭКРА», 2007 – 2021. – Режим доступа: <https://ekra.ru/product/nku-kru/resheniya-oborudovaniya-sn/kru-ekra-6-10/> (дата обращения 10.02.2022).

### МНОГОФАКТОРНАЯ ОЦЕНКА ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ УГЛЕЙ И ШЛАМОВ В ПАРОВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ

Дорохов В.В.

Научный руководитель доцент Г.С. Няшина

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

В связи с ежегодно увеличивающимся антропогенным давлением на окружающую среду, актуальным направлением исследований в области энергетики является разработка экологически эффективных технологий сжигания угольных топлив. Одним из способов решения данной задачи является замена традиционных схем подачи угольной пыли в топочные камеры энергетических установок на впрыск водосодержащих суспензионных топлив. Присутствие воды в камерах сгорания позволяет существенно снизить концентрации газовых выбросов. Однако возможно несколько технологических решений по концентрациям компонентов и схемам подачи воды в топочные камеры энергетических установок. Представляет интерес изучение влияния схемы подачи воды в камеру сгорания на характеристики процессов зажигания и горения угольных топлив. В рамках настоящего исследования реализованы три наиболее перспективные схемы сжигания топлива: (i) отдельный ввод частиц угля и капель воды в камеру сгорания; (ii) впрыск водяного пара в зону горения частиц угля; (iii) подача в топку ввод в топку водоугольных суспензий.

Целью данной работы является изучение влияния способа подачи воды в камеру сгорания на характеристики горения угольных топлив. Выполнена сравнительная оценка трех способов подачи воды (вода в составе суспензии, параллельная подача воды и угольного компонента, создание паровоздушной среды) в камеру сгорания с использованием методики многофакторного анализа (MCDM). В качестве критериев сравнения были выбраны времена задержки газофазного ( $\tau_{d1}$ ) и гетерогенного ( $\tau_{d2}$ ) зажигания, максимальные ( $T_g^{max}$ ) и минимальные ( $T_g^{min}$ ) температуры горения, полнота выгорания, концентрации основных антропогенных выбросов ( $CO_2$ ,  $NO$ ,  $SO_2$ ).

Таблица

*Технический и элементный анализ используемых компонентов*

Компонент	W <sup>a</sup> , %	A <sup>d</sup> , %	V <sup>daf</sup> , %	Q <sup>s,v</sup> , МДж/кг	C <sup>daf</sup> , %	H <sup>daf</sup> , %	N <sup>daf</sup> , %	S <sup>d</sup> , %	O <sup>daf</sup> , %
Угольный шлам	43.50	26.46	23.08	24.83	87.20	5.09	2.05	1.02	4.46
Уголь К	2.05	14.65	27.03	29.76	79.79	4.49	1.84	0.87	12.70

В качестве угольных компонентов выбирались каменный уголь марки «К» и угольный шлам, полученный при обогащении угля аналогичной марки. Результаты элементного и технического анализа используемых компонентов представлены в таблице. Схема экспериментального стенда и подробное описание методики проведения экспериментов представлено в [1,2].

Сжигание исследуемых топлив производилось при температурах 700-900 °С, поскольку данный температурный диапазон обеспечивают протекание всех характерных стадий зажигания и горения с активным выделением газообразных веществ. Для определения наиболее эффективного топлива с учетом полученных энергетических и экологических характеристик вычислены значения относительного показателя эффективности. Использовался метод взвешенных сумм, состоящий из нескольких этапов. Сперва выбиралось наилучшее значение по каждому из регистрируемых параметров. Затем значения всех параметров нормировались относительно

наилучшего значения, показатель эффективности которого в результате равнялся 1. Для задержки газофазного и гетерогенного зажигания, температуры зажигания и концентраций антропогенных выбросов наилучшим значением являлось минимальное в серии. Для коэффициента выгорания и максимальной температуры горения в качестве наилучшего выбиралась максимальная величина в серии. На заключительном этапе показатель эффективности топлива рассчитывался с применением выражения:

$$A_n = \sum C \cdot X,$$

где  $A_n$  – обобщенный показатель эффективности,  $C$  – значение весового критерия для каждого критерия сравнения,  $X$  – нормализованное значение отдельного показателя.

Сумма всех весовых коэффициентов составляла 1. В рамках настоящего исследования все весовые коэффициенты принимались равными. Наилучшим при таком подходе является топливо, показатель эффективности которого ( $A_n$ ) максимален. Результаты вычислений представлены на рисунке 1.

Вычисленные значения комплексных показателей эффективности показали, что наиболее предпочтительной схемой сжигания угольных топлив является создание водосодержащих суспензий на их основе. Совокупный показатель, объединяющий энергетические и экологические характеристики сжигания для суспензии на основе шлама в диапазоне температуры от 800 до 900 °С. Поэтому использование низкосортных угольных отходов для распыления водных суспензий может быть очень перспективной технологией. Парогазовая среда в камере сгорания, содержащая высокие концентрации  $H_2O$ , улучшает характеристики процесса инициирования горения, общую реакционную способность и снижает антропогенные выбросы при горении угольных топлив.

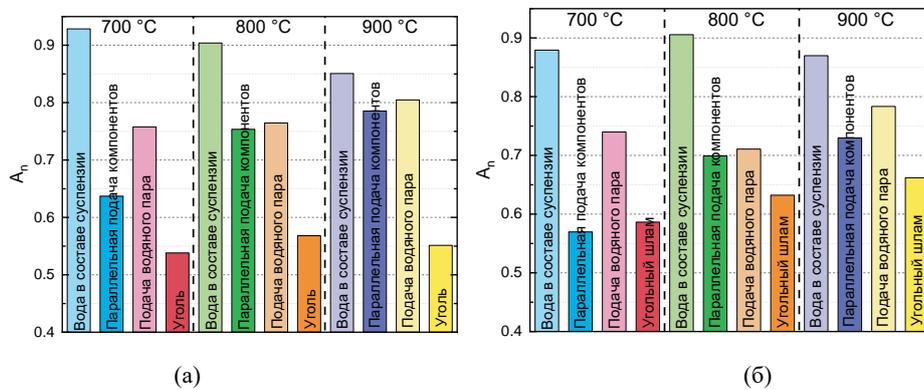


Рис. 1. Показатели эффективности исследуемых топлив на основе угля (а) и угольного шлама (б)

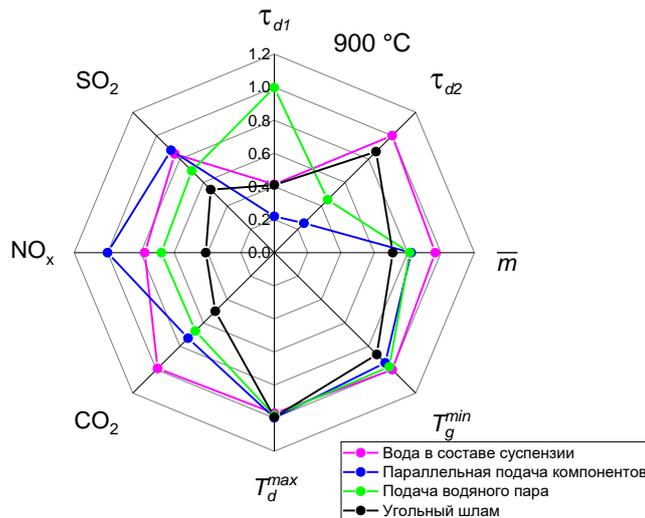


Рис. 2. Показатели эффективности исследуемых способов сжигания угольного шлама и воды (при температуре в камере сгорания 900 °С).

С целью иллюстрации вклада каждой составляющей в коэффициент  $A_n$  на рисунке 2 приведена векторная диаграмма для топлив на основе шлама, так как при сравнении двух угольных компонентов (рисунк 1) при температуре 800 °С и 900 °С именно суспензии на основе шлама характеризовались наибольшими показателями

эффективности. Согласно полученным данным (рисунок 2) видно, что шесть из восьми рассмотренных относительных показателей для суспензии характеризуются максимальными значениями.

Площадь поверхности на векторной диаграмме для суспензии больше, чем для двух других рассмотренных способов сжигания шлама и воды. Наибольший вклад в отмеченное увеличение вносят показатели по задержкам гетерогенного зажигания, показатель выгорания и выбросы оксидов углерода.

#### Литература

1. Nyashina G. S., Kurgankina M. A., Strizhak P. A. Environmental, economic and energetic benefits of using coal and oil processing waste instead of coal to produce the same amount of energy //Energy Conversion and Management. – 2018. – Т. 174. – С.175-187.
2. Vershinina K. et al. The prospects of burning coal and oil processing waste in slurry, gel, and solid state. //Applied Thermal Engineering. – 2019. – Т. 156. – С.51-62.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УУПК НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 220 КВ Коновалова Е.А., Рубан Н.Ю.

Научный руководитель доцент Н.Ю. Рубан

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Одним из видов оборудования, которое используется в нефтегазовой промышленности, являются нефтяные буровые установки. Электроснабжение таких объектов должно быть надежным и бесперебойным, в противном случае это приводит к экономическим потерям из-за отсутствия питания электропривода буровой установки, а также к увеличению времени простоя технологических агрегатов.

Для того чтобы обеспечить бесперебойное питание потребителя, электроэнергия поставляется с помощью линий электропередач 110-330 кВ, затем через понизительную подстанцию передается по линии 6-35 кВ к установке. Так как линии 110-330 кВ достаточно протяженные, а места расположения буровых установок обычно в отдаленных районах, поэтому помимо защит, предназначенных для надежной работы буровой установки, есть необходимость рассмотреть надежность работы защиты линии электропередачи.

К тому же следует отметить, что в связи с постоянным ростом спроса на электроэнергию возникает необходимость в поддержании напряжения на постоянном уровне, так как от этого напрямую зависит качество электроэнергии. В связи с этим на сегодняшний день с данной проблемой неплохо справляются устройства FACTS. Это комплекс технических и инновационных средств автоматического управления параметрами линии электропередачи. Управляемое устройства продольной компенсации (УУПК) можно отнести к устройствам второго поколения. Основной функцией данного комплекса является плавное управление емкостным сопротивлением и тем самым плавное изменение реактивного сопротивления, что в свою очередь влияет на генерацию и потребление реактивной мощности из сети и ведет к повышению или понижению уровня напряжения и качества электроэнергии. В свою очередь изменение реактивного сопротивления сети приводит к изменению полного сопротивления линии. Как известно, основной защитой линии электропередачи является дистанционная защита, а значит данное изменение влияет и на функционирование дистанционной релейной защиты линии.

В ходе работы моделируется радиальная схема электрической сети с двусторонним питанием выполненная проводом АС300/39 [2] в прикладном программном комплексе *MATLAB Simulink*, на которой в качестве защиты от междуфазных замыканий используется дистанционная защита (рис.1).

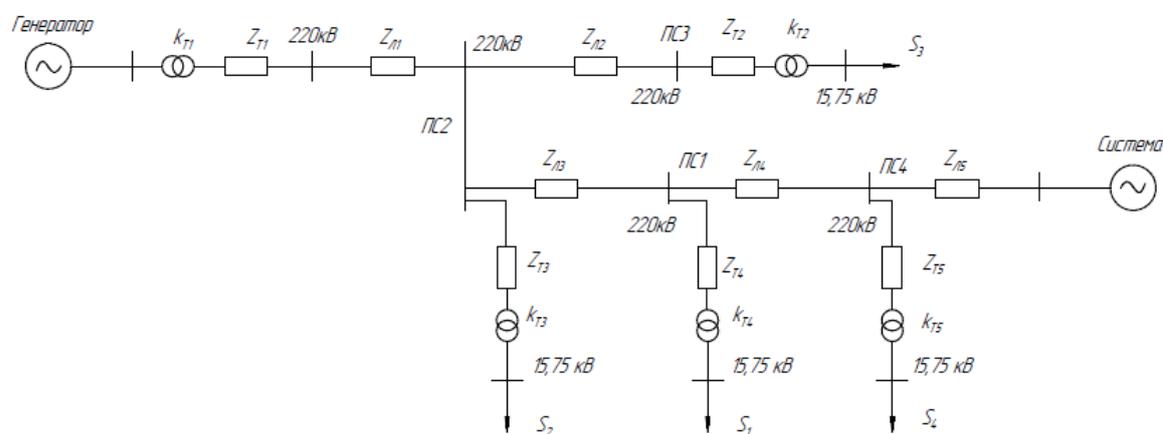


Рис. 1. Схема замещения исследуемой электрической сети