

6. Малюта Б. Д. Применение модального анализа для изучения динамических свойств энергосистем при интеграции в них возобновляемых источников энергии // Бутаковские чтения: материалы II Всероссийской с международным участием молодежной конференции, 13 -15 декабря 2022 г., Томск. – Томский политехнический университет, 2022. – С. 15-18.

**ПИЛОТНАЯ ЭНЕРГОУСТАНОВКА УТИЛИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ
В СОСТАВЕ СУСПЕНЗИОННЫХ ТОПЛИВ**

Моор Е.Н., Кузнеченкова Д.А.

Научный руководитель профессор наук Д.О. Глушков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В современном мире одной из главных экологических проблем является загрязнение окружающей среды отходами, производимыми промышленностью и бытовыми хозяйствами [1–7]. Несмотря на усовершенствование системы обращения с отходами, существующие технологии утилизации не приносят радикального решения проблемы [8, 9]. Вариантом решения этих проблем является вовлечение горючих побочных продуктов различных производств (мелкодисперсных твердых частиц) в качестве компонентов суспензионных топлив для термической утилизации с последующей выработкой энергии. В качестве компонентов могут выступать: низкосортные угли, отработанные масла, отходы нефтепереработки, а также торф, биомасса, лесные горючие материалы, пиролизированные автомобильные шины, твердые коммунальные отходы и осадки сточных вод. Для успешного внедрения новых промышленных технологий необходимо провести всестороннее исследования технических, экологических и экономических аспектов данного направления утилизации отходов.

Целью настоящей работы является разработка принципиально новой энергоэффективной и экологически чистой технологии подготовки и сжигания суспензионных топлив на основе промышленных и коммунальных отходов, и создание пилотной энергетической установки, включающей: автоматизированную систему приготовления суспензионного топлива на основе промышленных и коммунальных отходов и автоматизированную систему подачи и сжигания приготовляемого суспензионного топлива.

Для проведения промышленного исследования энергетического применения суспензионных топлив на основе отходов были предварительно проведены полевые испытания (рисунок 1), которые показали, что суспензионное топливо при сжигании в больших объемах при использовании разработанных технических средств (муфельного горелочного устройства) демонстрирует удовлетворительные результаты. Задержек зажигания при впрыске суспензионного топлива не наблюдалось. Температура внутри горелочного устройства находилась в диапазоне 700–850 °С, которая является оптимальной для работы котла, обеспечивая его эффективную работу.



Рис. 1. Проведение полевых испытаний, фото горения суспензионного топлива

Для проведения натурных испытаний теплоэнергетических процессов, протекающих при использовании мультитопливных технологий, была разработана и построена энергетическая установка, способная утилизировать как твердые, так и жидкие горючие отходы. Эта установка представляет собой комплекс взаимосвязанных компонентов, целью которых является производство тепловой энергии. На фотографии, представленной на рисунке 2, можно увидеть данный технологический комплекс. Пилотный проект данной энергетической установки представляет собой технологическое решение, позволяющее использовать альтернативные виды топлива на основе промышленных, коммунальных отходов и низкосортных топлив. Разработанный технологический комплекс позволяет эффективно сжигать разнообразные горючие материалы и производить тепло с минимальными экономическими затратами на исходное топливо в процессе факельного или слоевого сжигания. Кроме того, данная установка обладает функцией автоматического контроля за техническими параметрами, такими как состав топлива, коэффициент избытка воздуха, температура сгорания, время пребывания частиц в камере сжигания, а также уровень антропогенных выбросов в дымовых газах.



Рис. 2. Фото пилотной энергетической установки на реальном объекте

Принцип управления пилотной энергетической установкой основан на трехуровневой автоматизированной системе управления технологическим процессом. Полевой уровень включает в себя: первичные средства измерения, датчики технологических параметров, местные показывающие приборы, исполнительные механизмы, охранные извещатели, и аппаратуру местного управления и сигнализации. Средний уровень автоматизации представлен щитом управления, который является ключевым элементом для автоматического управления пилотной энергетической установкой. Щит управления выполнен на базе приборных шкафов EMS-1800.800.400-1-IP65 и комплектующих к ним фирмы «Elbox EMS». В качестве основного оборудования, входящего в состав щита управления, выступают: программируемый логический контроллер ОВЕН, модули аналогового и дискретного ввода, модули аналогового и дискретного вывода, сенсорная web-панель, блоки питания, сетевые шлюзы и портовый сетевой неуправляемый коммутатор. Верхний уровень представлен специально сконструированным автоматизированным рабочим местом оператора с разработанной SCADA-системой (рисунок 3), осуществляющей сбор, анализ и хранение информации. SCADA-система взаимодействует с оборудованием через контроллер, программное обеспечение которого разработано на базе ПО Codesys, и обеспечивает визуализацию оперативных и архивных данных. Информационный обмен в данной системе осуществляется через протокол TCP/IP Modbus. Разработанная специально для этой установки SCADA-система предоставляет оператору уникальную возможность контролировать технологический процесс в реальном времени, а также отслеживать и информировать о любых чрезвычайных ситуациях. Для передачи данных от программируемого логического контроллера к удаленному рабочему месту оператора используется сетевой шлюз, который осуществляет связь через GSM-сеть и облачный сервис OwenCloud, обеспечивая надежную и безопасную передачу информации.

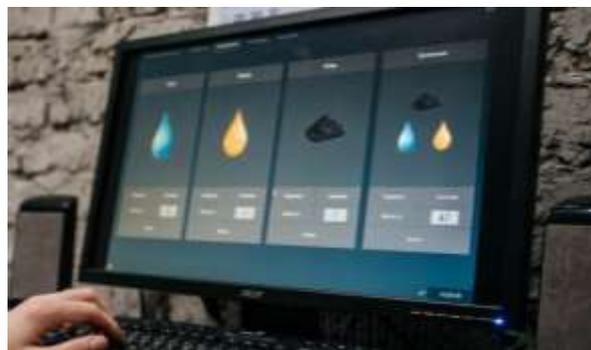


Рис. 3. Открытое окно SCADA-системы на рабочем месте оператора

На текущий момент ведутся пусконаладочные работы пилотной энергетической установки, при этом испытания с разработанной форсункой и муфельным предтопком позволили обосновать возможность использования суспензионных топлив на реальных горелочных устройствах.

Исследование выполнено при поддержке программы развития Национального исследовательского Томского политехнического университета «Приоритет-2030» (проект № Приоритет-2030-ЭБ-018-202-2024).

Литература

1. Jimenez L. et al. Operational predictive model for a municipal waste incinerator: A spanish case study // International Journal of Environmental Research. – 2011. – Т. 5. – № 3. – С. 639-650.
2. Moskvichev V. F., Tugov A. N. Analysis of operating experience with steam air preheaters at Russian municipal solid waste thermal power plants // Power Technology and Engineering. – 2012. – Т. 46. – № 1. – С. 46-51.
3. Wang H., Wang C. Municipal solid waste management in Beijing: characteristics and challenges // Waste Management & Research. – 2013. – Т. 31. – № 1. – С. 67-72.
4. Jeswani H. K., Smith R. W., Azapagic A. Energy from waste: carbon footprint of incineration and landfill biogas in the UK // The International Journal of Life Cycle Assessment. – 2013. – Т. 18. – С. 218-229.

5. De Souza S. N. M. et al. Technical potential of electricity production from municipal solid waste disposed in the biggest cities in Brazil: Landfill gas, biogas and thermal treatment // *Waste Management & Research*. – 2014. – Т. 32. – № 10. – С. 1015-1023.
6. Funari V. et al. Solid residues from Italian municipal solid waste incinerators: A source for «critical» raw materials // *Waste Management*. – 2015. – Т. 45. – С. 206-216.
7. Dong J. et al. Comparison of waste-to-energy technologies of gasification and incineration using life cycle assessment: Case studies in Finland, France and China // *Journal of Cleaner Production*. – 2018. – Т. 203. – С. 287-300.
8. Cimpan C. et al. Central sorting and recovery of MSW recyclable materials: A review of technological state-of-the-art, cases, practice and implications for materials recycling // *Journal of Environmental Management*. – 2015. – Т. 156. – С. 181-199.
9. Zaman A. U. A comprehensive review of the development of zero waste management: lessons learned and guidelines // *Journal of Cleaner Production*. – 2015. – Т. 91. – С. 12-25.

**ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЁЖНОСТИ
И ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМ ЗА СЧЁТ ПРИМЕНЕНИЯ СНЭ И СТАТКОМ**

Муравьев¹ Д.И., Лукутин² Б.В.

¹*ООО «Лаборатория преобразовательной техники» (ГК «Системотехника»),
г. Санкт-Петербург, Россия*

²*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Нефтегазовый сектор (НГС) является одним из ключевых сегментов промышленности и экономики не только в России, но и в мире, так, доля НГС в структуре ВВП России во II квартале 2023 года составила 16,0 % [3]. Подобные показатели были достигнуты благодаря значительным достижениям в технологиях добычи, переработки нефти и газа, делая НГС, на данный момент, драйвером в экономическом росте России. Продолжение стратегии поступательного развития отечественного НГС невозможно без увеличения эффективности и надёжности систем электроснабжения этого сектора. Данные вопросы являются центральными на дискуссионных площадках нашей страны, к примеру, на Международной выставке «Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса» – «НЕФТЕГАЗ», а также на Петербургском международном газовом форуме, среди участников которых крупнейшие нефтегазовые организации России: ПАО «Газпром», ПАО «Газпром нефть», ПАО «ЛУКОЙЛ», ПАО «Нефтяная компания «Роснефть», ПАО «Сургутнефтегаз» и др. По мнению лидеров НГС системы электроснабжения НГС часто сталкиваются с провалами напряжения, резкопеременными набросами и спадами активной мощности, значительным уровнем нелинейных искажений в сети, а также значительным потреблением реактивной мощности. Подобные электротехнические проблемы приводят к простоям оборудования и потере производственных мощностей. Стоит отметить, что недостаточная эффективность использования электроэнергии в процессе добычи и переработки нефти и газа также приводит к неоптимальной работе бурового и вспомогательного оборудования, к примеру, систем управления.

Сегодня, для решения этих сложных технических вопросов важно внедрять экономически и технологически обоснованные комплексные энергетические решения, среди которых наиболее перспективными являются системы накопления электроэнергии (СНЭ), дополненные быстродействующими статическими компенсаторами реактивной мощности с функцией активного фильтра – СТАТКОМ. СНЭ, основанные на литиевых батарейных модулях или суперконденсаторах, позволяют не только сглаживать пики потребления электроэнергии, но и полноценно замещать топливную генерацию, оптимально загружать вращающиеся генераторные установки по удельному расходу натурального топлива, а также стабилизировать частоту в сети. В свою очередь СТАТКОМ способны мгновенно (до 2 мс) реагировать на изменения реактивной мощности на нагрузке и компенсировать реактивную мощность как индуктивного, так и емкостного характера, что помогает увеличить пропускную способность сети, а также уменьшать коэффициент нелинейных искажений.



Рис. 1. Испытание параллельного режима работы ДЭС и СНЭ

На рисунке 1 показано испытание параллельного режима работы дизельной электрической станции (ДЭС) совместно со СНЭ в составе солнечно-дизельной электрической станции в Забайкальском крае. Во многих