

УДК – 620.9

**БЕЗМАЗУТНАЯ РАСТОПКА КОТЛОВ ТПЕ-216 ХАРАНОРСКОЙ
ГРЭС: ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ
ОБОСНОВАНИЕ ПЛАЗМЕННОГО РОЗЖИГА ПРОТИВ
ТЕХНОЛОГИИ ТОХИЛ****НОСКОВА А.Э.**

аспирантка гр. А25-2.4.5 Энергетика и электротехника, г. Чита
Научный руководитель А.Г. Батухтин д.т.н., доцент, профессор
Федеральное Государственное Бюджетное Образовательное Учреждение
высшего образования «Забайкальский государственный университет»
Забайкальский край, г. Чита

Аннотация: в мировом энергобалансе тепловые электростанции на органическом топливе занимают значительную долю. На современном этапе особую актуальность приобретает модернизация существующих энергообъектов для снижения себестоимости электроэнергии и уменьшения экологического воздействия. Проблема розжига мазутом у пылеугольных ТЭС остается одной из ключевых: мазут дорог, экологически небезопасен и требует большого объема обслуживания. В рамках исследования проведен комплексный технико-экономический и экологический анализ двух безмазутных технологий розжига для котлов ТПЕ-216 на Харанорской ГРЭС: плазменного розжига и технологии ТОХИЛ (механоактивация угля).

Ключевые слова: плазменный розжиг, ТОХИЛ, технико-экономический анализ, экологический эффект.

Abstract: Fossil-fueled thermal power plants account for a significant share of the global energy balance. Currently, modernizing existing power facilities to reduce electricity costs and minimize environmental impacts is particularly urgent. Fuel oil ignition remains a key issue at coal-fired thermal power plants: it is expensive, environmentally hazardous, and requires extensive maintenance. This study conducted a comprehensive technical, economic, and environmental analysis of two non-fuel oil ignition technologies for TPE 216 boilers at the Kharanorskaya State District Power Plant: plasma ignition and TOHIL (mechanically activated coal).

Keywords: plasma ignition, TOHIL, technical, economic analysis, environmental impact.

Одной из ключевых проблем для пылеугольных ТЭС являются затруднения запуска котлов из холодного состояния и стабилизации факела на низких нагрузках без использования мазута как источника розжига и подсветки факела. Мазутное хозяйство дорогое, небезопасное и экологически неблагоприятное, что делает традиционную технологию экономически невыгодной и требует поиска альтернатив.

Харанорская ГРЭС — крупнейший энергообъект Забайкальского края. В качестве основного топлива здесь используется бурый уголь Харанорского

месторождения, обладающий высокой влажностью и низкой теплотой сгорания, что затрудняет воспламенение и устойчивое горение. Цель данного исследования — всесторонний анализ и научное обоснование внедрения систем безмазутного розжига на котле ТПЕ-216 Харанорской ГРЭС. В работе выполняется сравнительный технико-экономический анализ двух перспективных технологий: плазменного розжига и системы ТОХИЛ (механоактивация угля), оценивается их экологическая эффективность и определяются условия оптимизации внедрения [1].

Энергетические котлы типа ТПЕ-216 оснащены индивидуальными прямоточными системами пылеподготовки. Котел имеет 12 горелок, обслуживаемых шестью пылесистемами. Каждая пылесистема автономно обслуживает один блок горелок, что обеспечивает гибкость управления процессом горения.

Пуск котла из холодного состояния создаёт ряд технологических барьеров для системы МВ: отсутствие источника сушильного агента (в штатном режиме сушильным агентом служат горячие дымовые газы; при холодной растопке их нет), низкая температура в топке, ограниченная реакционная способность бурого угля для надёжного самовоспламенения и устойчивого горения. Исторически проблему пуска решали мазутной подогревающей подсветкой, однако мазут имеет значительные недостатки: высокая стоимость, большие эксплуатационные расходы и экологические риски.

Годовой расход мазута на растопку и подсветку факела для одного котла ТПЕ-216 составляет 463,5 тонн. При текущей цене мазута (примерно 39 779,7 руб./т) прямые затраты на топливо составляют около 18 438,5 тыс. руб./год; эксплуатационные расходы мазутного хозяйства оцениваются в 37,08 тыс. руб./год. Совокупные годовые затраты на мазутную растопку одного котла достигают примерно 18 475,58 тыс. руб./год. Сжигание мазута М-100 приводит к выбросам SO_2 , NO_x , бенз(а)пирена и высокотоксичных компонентов (например, V_2O_5). Энергетическая и экологическая стоимость мазута создают риски пожарной и взрывной безопасности, а процессы подготовки мазута требуют значительных энергоресурсов [2].

Технология плазменного розжига базируется на плазменной термохимической подготовке топлива. Аэросмесь (угольная пыль + первичный воздух) под действием низкотемпературной плазменной струи (плотность 200–300 МВт/м³) нагревается до 1200–1500 К, что обеспечивает выход летучих веществ и частичную газификацию коксового остатка. В результате образуется высокореакционное двухкомпонентное топливо — горючий газ (CO , H_2 , CH_4) и активированный коксовый остаток. Смешанный горючий газ затем легко воспламеняется и устойчиво горит без поддержки мазута [3].

Термодинамические расчёты для рабочего массы Харанорского угля показывают, что при температурном интервале 1200–1500 К концентрация горючих компонентов в газовой фазе достигает около 97%, что обеспечивает надёжное воспламенение. Для котла ТПЕ-216 при нагрузке 30% расход угля через горелки с плазмотронами составляет 49,02 т/ч; выход летучих веществ около 44%; относительная электрическая мощность плазмотронов ~0,29%.

Суммарная электрическая мощность плазмотронов на котле составляет около 532 кВт; принимаем необходимую мощность плазмотронов 600 кВт. Вычислительно требуется три горелки с плазмотронами по 200 кВт каждая, с учётом механического недожога.

Технология ТОХИЛ (механоактивация угля) как альтернативный способ безмазутной растопки ТОХИЛ основывается на механоактивации — предварительной механической обработке угля в мельницах-дезинтеграторах, что увеличивает удельную поверхность частиц и создаёт дефекты кристаллической решётки, снижающие энергию активации последующих процессов горения. Механоактивированная угольная пыль характеризуется более низким температурным порогом воспламенения и повышенной реакционной способностью.

Система ТОХИЛ для котла ТПЕ-216 включает три независимых растопочных модуля, каждый из которых содержит: молотковую дробилку, шнековый транспортер, мельницу-дезинтегратор, дутьевой вентилятор, пылеугольный смеситель, растопочную горелку и запально-защитное устройство (ЗЗУ) для электродугового розжига. Система работает параллельно с основными пылесистемами котла, подавая высокореакционную пыль в растопочные горелки.

Преимущества ТОХИЛ: не требуется мощных внешних источников энергии для подогрева аэросмеси, как в случае плазмотронов, и обычно не требует отдельной системы сушки угля. Основные недостатки: значительные капитальные затраты на оборудование (мельницы-дезинтеграторы, транспортировочные узлы) и более высокие эксплуатационные расходы, связанные с быстрым износом бил дезинтеграторов.

Для корректности сравнения приведены годовые затраты по каждому варианту, включая эксплуатационные затраты и приведение капитальных вложений к годовому эквиваленту с нормативным коэффициентом эффективности $E_n = 0,15$. Расчёт ведётся для одного котла.

Исходные условия: стоимость угля (прогноз на 2025 г. с учётом роста 10%): 1 844,49 руб./т; стоимость электроэнергии (прогноз на 2026 г.): 3,74 руб./кВт·ч; замещаемое количество угля (для плазменного розжига): 1 680,5 т/год.

Плазменный розжиг:

- Капитальные затраты (K): 18 240,67 тыс. руб.
- Эксплуатационные затраты (И):
- Доп. уголь: $1\,680,5\text{ т} \times 1\,844,49\text{ руб./т} = 3\,099,7\text{ тыс. руб./год}$
- Помол угля: $1\,680,5\text{ т} \times 10\text{ кВт·ч/т} \times 3,74\text{ руб./кВт·ч} = 62,85\text{ тыс. руб./год}$
- Работа плазмотронов: $4\text{ шт} \times 200\text{ кВт} \times 500\text{ ч} \times 3,74\text{ руб./кВт·ч} = 1\,496,0\text{ тыс. руб./год}$
- Итого $I = 4\,658,55\text{ тыс. руб./год}$
- Приведённые затраты (З): $Z = I + E_n \times K = 4\,658,55 + 0,15 \times 18\,240,67 = 7\,394,65\text{ тыс. руб./год}$

ТОХИЛ:

- Капитальные затраты (К): 33 900 тыс. руб.
- Эксплуатационные затраты (И):
- Доп. уголь: 3 099,7 тыс. руб./год
- Помол угля: $1\,680,5\text{ т} \times 30\text{ кВт}\cdot\text{ч/т} \times 3,74\text{ руб./кВт}\cdot\text{ч} = 188,55\text{ тыс. руб./год}$
- Затраты на лопасти/борьбу бйл: $1\,680,5\text{ т} \times 0,005 \times 10\,000\text{ руб./шт} = 84,03\text{ тыс. руб./год}$
- Итого I = 3 372,28 тыс. руб./год
- Приведённые затраты (З): $Z = I + E_n \times K = 3\,372,28 + 0,15 \times 33\,900 = 8\,457,28\text{ тыс. руб./год}$.

Срок окупаемости систем плазменного розжига составляет 1,25 в то время как срок окупаемости системы ТОХИЛ составляет 2,15 лет. Плазменный розжиг характеризуется меньшими приведёнными затратами и более коротким сроком окупаемости по сравнению с ТОХИЛ, что делает его экономически предпочтительнее.

Экологическая эффективность Замена мазута на уголь в растопке и подсветке факела существенно снижает вредные выбросы. По расчетам и практическим внедрениям, для системы плазменного розжига ожидаются следующие сокращения выбросов:

- SO₂: снижение на 7,03%
- NO₂: снижение на 2,4%
- Бенз(а)пирен: снижение на 13,8%

Экологические платежи для одного котла оцениваются примерно в 78 тыс. руб./год, что дополняет общий положительный экологический эффект проекта и способствует улучшению качества атмосферы в районе станции.

- Экономия на мазуте (с учётом прогноза роста цены на 10% к уровню 2025 г.): $18\,475,58\text{ тыс. руб./год} \times 1,10 \approx 20\,323,14\text{ тыс. руб./год}$
- Затраты на замещение (уголь + электроэнергия): 4 658,55 тыс. руб./год
- Чистая годовая экономия: $20\,323,14 - 4\,658,55 \approx 15\,664,59\text{ тыс. руб./год}$
- Срок окупаемости: Капитальные затраты / Чистая годовая экономия
- По базовой оценке $\approx 1,16$ года

Этот показатель свидетельствует об очень высокой инвестиционной привлекательности модернизации проекта в энергетике.

Внедрение системы плазменного розжига на котле ТПЕ-216 Харанорской ГРЭС является технически обоснованным и экономически целесообразным.

1. По результатам сравнительного анализа плазменный розжиг предпочтительнее системы ТОХИЛ: меньшие приведённые затраты и короче срок окупаемости.

2. Проект демонстрирует значительную экономическую эффективность: чистая годовая экономия на один котел достигает порядка 15,7 млн руб. при капитальных вложениях около 18,2 млн руб.

3. Экологический эффект выражается в существенном снижении выбросов SO₂, NO_x и бенз(а)пирена, что улучшает качество воздуха в регионе расположения станции.

4. Проект устойчив к рискам: рост цены мазута и динамика тарифов на электроэнергию влияют на экономику в целом, но выигрыши от перехода на безмазутный розжиг остаются устойчивыми.

На основе приведённых материалов можно сделать вывод, что для котлов ТПЕ-216 Харанорской ГРЭС переход к плазменному розжигу является более выгодной и экологически эффективной дорогой, чем использование технологии ТОХИЛ. Плазменный розжиг обеспечивает меньшие приведённые затраты и более короткий срок окупаемости, а также выраженный экологический эффект за счёт снижения выбросов вредных веществ и затрат на экологические платежи. Анализ чувствительности подтверждает устойчивость проекта к изменению ключевых факторов, особенно к росту цены мазута. Внедрение безмазутного розжига может стать одной из важных мер по модернизации региональной энергетики, снижению операционных рисков и повышению экологической безопасности.

Работа выполнена и подготовлена в рамках реализации государственного задания Министерства науки и высшего образования (соглашение № 075-03-2023-028/1 от 05.10.2023 г., регистрационный номер в ЕГИСУ НИ-ОКТР 10230222000-2-2.7.3), тема № 123102000012-2 Комплексное исследование аэродинамических характеристик плазменных систем термохимической подготовки топлива.

Список литературы:

1. Сидоренко Г.А. Минералогические методы в решении поисково-оценочных задач на современном этапе / Г.А. Сидоренко, В.И. Кузьмин, А.А. Рогожин // Разведка и охрана недр. 1998. №11. С. 28-31.
2. Батухтин А.Г., Хатькова А.Н., Кобылкин М.В., Риккер Ю.О. Проблемы подавления газовых выбросов угольных ТЭС: монография. Чита: ЗабГУ, 2021. 308 с.
3. Патент № 2490318 С1 Российская Федерация, МПК С10L 10/00, С10L 10/10, С10L 9/10. Способ снижения вредных выбросов от топок с факельным сжиганием топлива: № 2012125474/04: заявл. 19.06.2012: опубл. 20.08.2013 / А. Г. Батухтин, В. В. Пинигин; заявитель ФГБОУ ВПО "ЗабГУ". – EDN ZGTMTZ.