

## СПОСОБЫ БЕЗМАЗУТНОЙ РАСТОПКИ КОТЛОВ

<sup>1</sup>Айтмагамбетова Маралгуль Борамбаевна, <sup>2</sup>Сейтжаппаров Нұрсұлтан  
Құрманғазыұлы, <sup>3</sup>Мерғалимова Алмагуль Каирбергеновна  
[aiti.mb@yandex.kz](mailto:aiti.mb@yandex.kz), [nurs.zhidebay@mail.ru](mailto:nurs.zhidebay@mail.ru), [almagul\\_mergalimova@mail.ru](mailto:almagul_mergalimova@mail.ru)

<sup>1</sup>докторант КазАТИУ им.С.Сейфуллина,

<sup>2</sup>докторант ЕНУ им.Л.Н.Гумилева,

<sup>3</sup>PhD, ассоц.профессор КазАТИУ им.С.Сейфуллина, Астана, Казахстан

Во многих странах, включая развивающиеся, уголь по-прежнему остается наиболее удобным и доступным видом полезных ископаемых, обеспечивающим энергетическую безопасность и способствующим экономическому росту. В Казахстане также уголь широко используется в промышленности в качестве основного энергетического ресурса.

Применение угля в промышленных масштабах сопровождается увеличением выбросов вредных веществ, таких как зола, оксиды азота и сера. Особенно это актуально при использовании низкосортных углей, когда требуется дополнительное введение мазута или природного газа для обеспечения горения, что влечет за собой загрязнение окружающей среды и ухудшение экологической обстановки.

Сокращение выбросов оксидов азота, образующихся при сжигании органического топлива на тепловых электростанциях, играет важную роль в снижении общего уровня азотных оксидов, выбрасываемых в атмосферу.

Как известно, мазут применяется для растопки котлов и стабилизации горения пылеугольного факела при использовании непроектных (низкосортных) углей или при пониженной нагрузке. Ухудшение качества энергетических углей проявляется в увеличении содержания золы и влаги, снижении калорийности и выхода летучих компонентов. Совместное сжигание угля с мазутом ведет к негативным последствиям для экологии и экономики котлов: увеличивается механический недожог топлива на 10-15 %, снижается КПД-брутто на 2-3 %, увеличивается удельный расход условного топлива на выработку единицы электроэнергии на 1-2 %, ускоряется высокотемпературная коррозия экранных поверхностей топок. Также увеличивается выброс оксидов азота и серы на 30-40 % (особенно при высоком содержании серы в мазуте) и образуются выбросы канцерогенной пятиоксида ванадия. Однако, даже при наличии этих недостатков, отказ от мазута на ТЭС затрудняет проведение растопки пылеугольных энергоблоков, особенно в холодное время года.

При использовании мазута в котельных и тепловых электростанциях возникает ряд негативных аспектов, которые оказывают влияние на работоспособность оборудования, приводят к излишним расходам топлива и загрязнению окружающей среды. Эти факторы включают:

- потери топлива в виде отходов, которые могут достигать до 10 % при применении традиционных методов его подготовки, таких как отстой и сепарация. Это приводит к увеличению количества отходов, требующих утилизации, и увеличивает риск загрязнения окружающей среды.

- ухудшение качества мазута, увеличение его вязкости и температуры вспышки вследствие интенсивного процесса переработки нефти.

- старение мазута при его длительном хранении, что приводит к испарению легких фракций и увеличению вязкости и температуры вспышки. Часто после 2-3 лет хранения сжигание такого мазута становится проблематичным, и его приходится заменять свежим, что сопряжено с дополнительными затратами.

- выбросы вредных веществ в атмосферу при сгорании мазута, такие как оксиды азота, серы, сажа и бенз(а)пирен, а также сбросные воды, содержащие нефтепродукты.

- образование сажи, копоти и кокса из-за неполного сгорания топлива, что требует регулярной остановки котлов для проведения профилактических работ.

Существуют три способа замены мазута: использование сжатого и сжиженного природного газа, а также горючего газа, получаемого из угля путем его термической обработки, включая плазменную.

В основе безмазутного плазменного воспламенения твердых топлив лежит их термохимическая подготовка к сгоранию. Это приводит к образованию высокореакционного двухкомпонентного топлива, состоящего из горючего газа и активированного коксового остатка.

Применение безмазутной растопки котельных агрегатов горючими летучими веществами, полученными из угля, позволяет отказаться от использования мазута или природного газа для растопки котла и поддержания устойчивого воспламенения пылеугольного факела при низких нагрузках. Кроме того, это позволяет сократить финансовые затраты на мазут и расход энергии на собственные нужды ТЭС, связанный с подготовкой мазута к сжиганию [1]. Это ведет к улучшению эколого-экономической эффективности работы ТЭС, работающих на пылеугольном топливе.

Опыт использования плазменных систем безмазутного воспламенения пылеугольного факела на ТЭС РФ позволил выявить конкретные улучшения в показателях снижения вредных выбросов ( $Z_i$ ) при переходе к безмазутному режиму работы котлов [3]. Например, согласно данным для Гусиноозерской ГРЭС, где плазменные системы используются с 1994 года, суммарное уменьшение вредных выбросов составляют 4587,3 т/год.

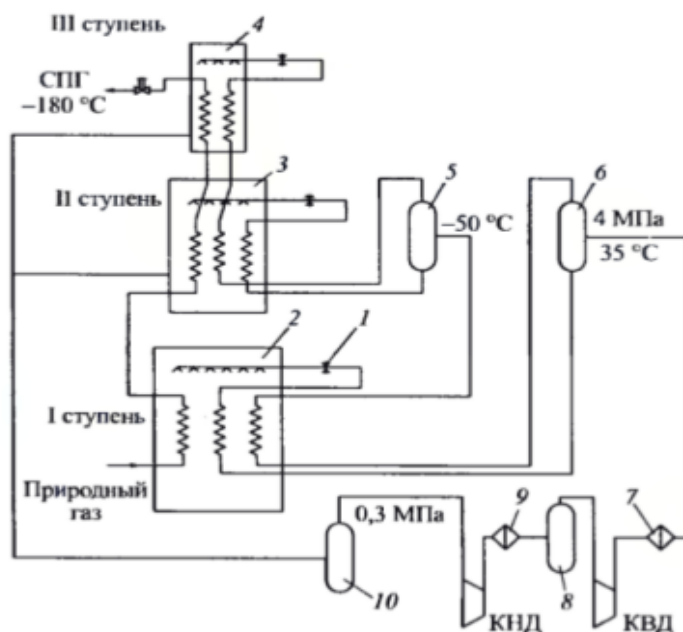
Рассматриваемая технология безмазутного розжига котельных агрегатов заключается в использовании синтез-газа, извлекаемого из твердого топлива, и предварительно сжижая его, при этом возможно использование технологии сжижения газа на основе однопоточной схемы холодильного цикла на смесях хладагентов [2]. Сущность холодильных циклов на смеси заключается в том, что многокомпонентное рабочее тело - МРТ (от бутанов до метана с азотом) холодильной установки кипит в широком интервале температур – от  $T_0$  (нижней температуры за дросселем) до температуры окружающей среды. Такой интервал кипения рабочего тела в теплообменных аппаратах может обеспечить оптимальное охлаждение технологического потока (газа) с минимальными потерями.

Принципиальная схема однопоточного цикла на смешанном холодильном агенте представлена на рисунке 1. Она предполагает циркуляцию многокомпонентного холодильного агента, состоящего из бутанов, пропана, этана и азота, в замкнутом контуре с помощью одного компрессора.

Холодильный агент, подвергнутый сжатию в компрессоре до оптимального давления (примерно 4 МПа), которое определяется составом холодильного агента и температурой воды, затем охлаждается и частично конденсируется в водяных холодильниках. Полученная газожидкостная смесь направляется в сепаратор, откуда жидкая фаза, содержащая в основном бутан, пропан, этан и азот, используется для генерации холода, необходимого для охлаждения и частичной конденсации паровой части холодильного агента (из сепаратора I) и синтез-газа.

Двухфазная смесь холодильного агента в трубах теплообменника направляется в сепаратор второй ступени для последующего разделения на паровую и жидкую фазы. Жидкость из сепаратора второй ступени, содержащая в основном этан, метан и азот, используется для производства холода на более низком уровне с целью конденсации паровой части холодильного агента (из сепаратора второй ступени) и сжижения синтез-газа. Паровая фаза холодильного агента из сепаратора второй ступени, представляющая собой смесь азота и метана, после конденсации и охлаждения используется для производства холода на температурном уровне от (120...130)... до 170 °С (ступень III).

Разделение холодильного агента в сепараторах первой и второй ступеней происходит при рабочем давлении (примерно 4 МПа), а кипение холодильного агента в межтрубном пространстве теплообменника происходит при низком давлении (примерно 0,3 МПа).



КНД - ступень компрессора низкого давления; КВД - ступень компрессора высокого давления; 1 - дроссель; 2,3,4 - теплообменники; 5, 6, 8, 10 - сепараторы; 7,9 - теплообменники водяные

Рис. 1 – Принципиальная схема однопоточного цикла сжижения на смешанном холодильном агенте

В патенте на полезную модель [4] описана новая технология безмазутной растопки котлоагрегатов и стабилизации горения факела. Этот метод является более эффективным, экологически безопасным и экономически целесообразным по сравнению с существующими. Основанная на использовании газообразного топлива, получаемого из угля, данная технология предполагает стабилизацию горения факела и подготовку растопочного топлива.

Согласно описанию полезной модели, растопочным топливом являются горючие летучие вещества, получаемые из угля. Это достигается путем нагрева угля без доступа кислорода в специальном топочном устройстве. Выделившиеся горючие летучие вещества, такие как  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и другие, направляются непосредственно в котел с помощью вентилятора или компрессора. После растопки эти вещества могут быть собраны и накоплены в газовом хранилище-рессивере под определенным давлением для последующего использования в поддержании горения факела.

Этот метод полностью исключает использование мазута на станции, что устраняет все связанные с ним сложности. Таким образом, станция становится однопаливной, а основным топливом становится уголь. В случае несоответствия теплотехнических характеристик используемого угля, для получения летучих горючих веществ может использоваться другой уголь с большим выходом летучих.

Процесс выделения горючих летучих веществ происходит в топочном устройстве без доступа кислорода и зависит от технических характеристик угля. Этот процесс не является полной газификацией угля, поскольку нагрев происходит только до температур, необходимых для выделения горючих летучих веществ. Полученные вещества напрямую подаются в котел и могут быть сохранены для дальнейшего использования в газовом хранилище.

Проведенный анализ различных методов растопки котла и стабилизации горения угольного факела (включая применение мазута, плазмотронов, сжатого природного газа, газообразных веществ угля) свидетельствует о том, что уже существуют обоснованные подходы для исключения использования мазута на пылеугольных ТЭС.

Следует отметить, что технология извлечения газообразных веществ из угля позволяет их поставку в небольшие населенные пункты, находящиеся на расстоянии от магистральных газовых сетей [1]. Установка газовых турбин, работающих на этом газе, перед котлом-утилизатором, позволяет производить как электрическую энергию для нужд такого поселка, так и тепловую энергию для отопления. Следовательно, уголь, из которого извлечены газообразные вещества, может быть использован в котле для производства тепловой энергии.

1 – склад угля; 2 – реактор; 3 – водогрейный котел со слоевой топкой; 4 – камера сгорания; 5 – компрессор; 6 – газовая турбина; 7 – электрогенератор; 8 – газорегуляторный пункт; 9 – ресивер-накопитель газообразного вещества; 10 – теплообменник; 11 – водоподогреватель; 12 – генератор холода; 13 – вентиль.

Эта технология использования газообразных веществ дает возможность обеспечить удаленных потребителей собственным газообразным топливом для бытовых нужд, собственной электрической энергией и централизованным снабжением горячей водой.

зону воспламенения факела приводит к адресному снижению содержания кислорода. Таким образом, возможно использование газообразного вещества, получаемого из угля и вводимого в топку с основным потоком аэросмеси, для снижения образования оксидов азота при сжигании угольной пыли.

Таким образом, переход от сжигания угля и мазута к газификации угля и сжижению полученного газа представляет собой эффективную стратегию для сокращения вредных выбросов и улучшения экологической ситуации.

#### Список использованных источников

1. Алияров Б.К., Алиярова М.Б., Жалмагамбетова У., Мергалимова А.К., Мессерле В.Е., Устименко А.Б. «Технологии безмазутной растопки котлов и стабилизации воспламенения пылеугольного факела на тепловых электростанциях», журнал «Горение и плазмохимия», том 17, 2019 г., стр. 193-202.
2. Онгар Б., Сарсенбаев Е.А., Мергалимова А.К. Чистые угольные технологии, монография, Алматы, 2023 г. - 349 с.
3. Ходаков Ю.С. Оксиды азота и теплоэнергетика. Проблемы и решения – М.: ООО «ЭСТ-М», 2001. –432 с.
4. Пат. 2450. Способ безмазутной растопки котлоагрегатов/ Алияров Б.К., Мергалимова А.К.; опубл.30.10.2017, Бюл.№20.
5. Котлер В.Р. Оксиды азота в дымовых газах котлов. М.: Энергоатом-издат, 1987.

ӘОЖ 536.8

#### ШАҒЫН ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫН ӨНДІРУГЕ АРНАЛҒАН БОС ЖҰМЫС ПОРШЕНІ БАР СТИРЛИНГ МАШИНАНЫ (ҚОЗҒАЛТҚЫШЫН) ЖОБАЛАУДЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ. 1. ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫҢ МОДЕЛІН ӘЗІРЛЕУ

<sup>1</sup>Алламжарова Сымбат, <sup>1</sup>Тельманов Нұрлыбек, <sup>2</sup>Ерзада Майра  
[allamjarovasymbat@gmail.com](mailto:allamjarovasymbat@gmail.com), [nurlybek\\_2002.16.04@mail.ru](mailto:nurlybek_2002.16.04@mail.ru)

Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан

<sup>1</sup>«Электроэнергетика» кафедрасы магистранттары

<sup>2</sup>PhD, «Электроэнергетика» кафедрасы доценті

Изотермиялық жуықтаудағы бос поршенді Стирлинг қозғалтқышының физикалық-математикалық моделі жасалды. Ол бұрын ұсынылғандарға қарағанда қарапайым және тек үш бөліктен тұрады: жылытқыш, салқындатқыш және регенератор.

**Түйінді сөздер:** электр энергиясын өндіру, бос жұмыс істейтін поршеньді стирлинг машинасы, регенератор, термодинамикалық Стирлинг циклі.

**Кіріспе.** Шағын тұрғын үйлерді, кәсіпорындарды, сондай-ақ ғарыш аппараттарын электр энергиясымен қамтамасыз ету үшін әртүрлі термодинамикалық циклдері [1–3] бар жылу қозғалтқыштары қарастырылуда, бұл әр түрлі жағдайда туындайтын мәселелерді сәтті шешілуі үшін [4, 5]. Олардың ішінде Стирлинг цикліне көп көңіл бөлінеді, мұндай циклді пайдаланатын Stirling қозғалтқышы құрылғылардың үлкен тобын біріктіреді ( $\alpha$ -,  $\beta$ - және  $\gamma$ - түрлері). Олар сондай-ақ төмен потенциалды жылу көздерінен механикалық жұмыстарды және/немесе электр энергиясын өндіруге арналған перспективалы машиналар болып саналады [6–7]. Сонымен қатар, олардың жұмысын математикалық модельдеу үлкен қиындықтар алып келіп жатады және бұл Stirling машинасының жұмыс істеу принциптерін