

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ  
ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ  
КӨЛІК – ЭНЕРГЕТИКА ФАКУЛЬТЕТІ



**«КӨЛІК ЖӘНЕ ЭНЕРГЕТИКАНЫҢ ӨЗЕКТІ МӘСЕЛЕЛЕРІ:  
ИННОВАЦИЯЛЫҚ ШЕШУ ТӘСІЛДЕРІ» X ХАЛЫҚАРАЛЫҚ  
ҒЫЛЫМИ-ТӘЖІРИБЕЛІК КОНФЕРЕНЦИЯСЫНЫҢ БАЯНДАМАЛАР  
ЖИНАҒЫ**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ  
X МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО – ПРАКТИЧЕСКОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ: «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТРАНСПОРТА И  
ЭНЕРГЕТИКИ: ПУТИ ИХ ИННОВАЦИОННОГО РЕШЕНИЯ»**

**PROCEEDINGS OF THE X INTERNATIONAL SCIENTIFIC-PRACTICE  
CONFERENCE «ACTUAL PROBLEMS OF TRANSPORT AND ENERGY:  
THE WAYS OF ITS INNOVATIVE SOLUTIONS»**

**Нұр-Сұлтан, 2022**

УДК 656/621.31  
ББК 39/31  
А43

**Редакционная коллегия:**

Председатель – Мерзадинова Г.Т., Член Правления – Проректор по науке, коммерциализации и интернационализации ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, д.т.н., профессор; Заместитель председателя – Султанов Т.Т., заместитель декана по научной работе, к.т.н., доцент; Сулейменов Т.Б. – декан транспортно-энергетического факультета ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, д.т.н., профессор; Председатель «Әдеп» – Ахмедьянов А.У., к.т.н., доцент; Арпабеков М.И. – заведующий кафедрой «Организация перевозок, движения и эксплуатация транспорта», д.т.н. профессор; Тогизбаева Б.Б. – заведующий кафедрой «Транспорт, транспортная техника и технологии», д.т.н. профессор; Байхожаева Б.У. – заведующий кафедрой «Стандартизация, сертификация и метрология», д.т.н. профессор; Жакишев Б.А.– заведующий кафедрой «Теплоэнергетика», к.т.н., доцент.

**А43 Актуальные проблемы транспорта и энергетики:** пути их инновационного решения: X Международная научно – практическая конференция, Нур-Султан, 17 марта 2022 /Подгот. Г.Т. Мерзадинова, Т.Б. Сулейменов, Т.Т. Султанов – Нур-Султан, 2022. – 597с.

**ISBN 978-601-337-661-5**

В сборник включены материалы X Международной научно – практической конференции на тему: «Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения», проходившей в г. Нур-Султан 17 марта 2022 года.

Тематика статей и докладов участников конференции посвящена актуальным вопросам организации перевозок, движения и эксплуатации транспорта, стандартизации, метрологии и сертификации, транспорту, транспортной техники и технологии, теплоэнергетики и электроэнергетики.

Материалы конференции дают отражение научной деятельности ведущих ученых дальнего, ближнего зарубежья, Республики Казахстан и могут быть полезными для докторантов, магистрантов и студентов.



© ЕНУ имени Л.Н.Гумилева, 2022

## УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

**Глазырин Сергей Александрович**

*[glan-sergey@yandex.ru](mailto:glan-sergey@yandex.ru)*

доцент кафедры «Теплоэнергетика» ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

**Бимурзина Зарина Аскарровна**

*[bimurzina\\_z@mail.ru](mailto:bimurzina_z@mail.ru)*

инженер отдела перспективного развития АО «Астана-Энергия», Нур-Султан, Казахстан

**Исабеков Тимур Жанатович**

*[timur-isabekov@mail.ru](mailto:timur-isabekov@mail.ru)*

магистрант кафедры «Теплоэнергетика» ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

**Нұртай Сәкен Жолдасбекұлы**

*[saken\\_98.00@mail.ru](mailto:saken_98.00@mail.ru)*

магистрант кафедры «Теплоэнергетика» ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

**Слямбеков Сырым Алмазулы**

*[sirim077@mail.ru](mailto:sirim077@mail.ru)*

магистрант кафедры «Теплоэнергетика» ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

**Сапар Елжас Талғатұлы**

*[syelzhasedu@gmail.com](mailto:syelzhasedu@gmail.com)*

магистрант кафедры «Теплоэнергетика» ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

На предприятиях топливно-энергетического комплекса непрерывно прорабатывается возможность приближения каждого производства к безотходному.

В уходящих дымовых газах теплоэнергетических установок (ТЭУ) содержатся составляющие, которые широко используются в промышленности и быту. Для их производства проектируются и эксплуатируются различные дорогостоящие установки. Обладая практически неисчерпаемыми запасами, топочные газы могут служить в качестве исходного сырья для производства, например, различных смесей газов, угольной кислоты или азота на любом предприятии, имеющем теплоэнергетическую установку. Использование составляющих топочных газов в производстве позволит вовлечь в хозяйственный оборот вторичные энергоресурсы, получая попутные продукты, улучшить экологическую обстановку.

Проведены исследования вариантов использования сточных вод и компонентов дымовых газов теплоэнергетических установок, что позволит приблизить их технологические процессы к безотходным, повысить энергоэффективность и надежность эксплуатационных процессов.

Установку по получению углекислоты в зависимости от предполагаемой ее производительности можно проектировать в условиях работающего предприятия силами ремонтного персонала, используя для ее размещения существующие помещения предприятия. Основной особенностью установки следует считать ее компактность, возможность быстрого запуска в работу, простота в обслуживании, минимум необходимой автоматизации и обслуживающего персонала. При разработке технологии предпочтение было отдано использованию в схеме улавливания углекислоты моноэтаноламина (МЭА) или его аналогов. Узел отбора газа из топки удаления сернистых составляющих в установках малой производительности вызвал достаточно много вопросов. Использовать для отбора газа компрессор, сложный в обслуживании, не рентабельно. В схеме использовались эжектор, работающий с насосом и емкостью со щелочным раствором в одном узле. Учитывая малое количество отбираемого газа устанавливаемый насос небольшой производительности. Эжектор был рассчитан и сконструирован со специальной низконапорной удлиненной смешивающей камерой. До эжектора линия находится под разрежением. Отбор газов на углекислотную установку производится газо-водяным эжектором низкого давления специальной конструкции,

в удлиненной камере которого осуществляется химическая реакция между содовым раствором и кислыми составляющими дымовых газов. Разряжение на входе эжектора при стабильной работе установки находится на уровне 0,7–2,00 кПа, при пуске установки в работу оно колеблется от 4,0 до 6,0 кПа. Оборудование, расположенное от топки до содового скруббера, находится под разряжением, создаваемым эжектором. опочный газ из газохода котла отбирается, транспортируется по трубопроводу на вход газоохладителя, в котором проходит снизу вверх, поднимаясь навстречу потоку орошающей воды. Газ проходит через перфорированный лист с расположенной на нем деревянной решеткой – стабилизатором пены, охлаждается и, очищаясь от взвешенных частиц, направляется на вход эжектора. В газоохладителе за счет растворения удаляется большая часть сернистых составляющих газа. Охладитель газа работает в среде слабой серной и сернистой кислот. В качестве «барьерной» стадии очистки газа от сернистых составляющих в верхней части содового скруббера устанавливается металлический перфорированный лист, на котором располагается решетка из дерева – стабилизатор пены, орошаемая частью содового раствора, поступающего из напорного трубопровода насоса. На выходе из содового скруббера очищенный от сернистых составляющих газ проходит каплеотбойный щит, выполненный из металлических пластин, или через загрузки керамической насадки высотой 200–300 мм. Из содового скруббера по трубопроводу очищенный от сернистых составляющих газ направляется в нижнюю часть абсорбера под слой воды толщиной 50–70 мм и проходит через керамическую насадку вверх, навстречу орошающему его раствору МЭА, температура которого не должна превышать 30–40°C. На выходе из абсорбера газ, проходя дополнительную очистку от капель МЭА в его верхней части, выбрасывается в атмосферу или, при организации дополнительной очистки, может использоваться как инертный газ. При контакте с газами раствор МЭА насыщается углекислотой в результате протекания реакции и в виде бикарбонатного раствора МЭА насосом направляется в теплообменник раствора МЭА, в котором греющей средой является истощенный раствор МЭА, поступающий из десорбера. Насыщенный раствор МЭА проходит теплообменник МЭА-МЭА, нагреваясь, направляется в верхнюю часть десорбера и, орошая керамическую насадку, контактирует с парогазовой смесью, образующейся в кипятильнике десорбера. При этом он дополнительно нагревается, выделяя углекислоту. Затем раствор поступает непосредственно в кипятильник десорбера, где заканчивается разложение бикарбоната МЭА с практически полным выделением углекислоты из раствора в виде газа. Истощенный раствор МЭА из верхней части кипятильника десорбера самотеком поступает в теплообменник МЭА – МЭА, проходя который охлаждается и направляется в холодильник раствора МЭА, где охлаждающей средой служит техническая вода, и при температуре 30–40°C насосом подается в верхнюю часть абсорбера. Углекислота, получаемая на углекислотной установке из уходящих топочных газов, много дешевле, чем получаемая на специальных установках той же производительности.

Консервация теплоэнергетического оборудования, идущего в резерв, с использованием газообразного азота – простой и надежный метод. При этом консервирующие среды не обезвреживаются. Азотная консервация широко применяется за рубежом и признана эффективным мероприятием, повышающим надежность и экономичность работы оборудования. Она используется как самостоятельно, так и в сочетании с другими методами, например заполнением оборудования обессоленной водой с присадками гидразина и аммиака, вакуумной сушкой пароперегревателя и др. Кроме того, азот применяется на теплоиспользующих установках не только для консервации основного оборудования, но и для замены среды водород – воздух – водород в генераторах при ремонте, для создания инертной атмосферы в маслосистеме турбогенераторов и трансформаторах в целях предотвращения окисления масла, в пылесистемах и т.д. Большие капитальные затраты на сооружение азотных станций и высокая стоимость получаемого на них азота для целей консервации потребовали поиска путей получения дешевого технического азота необходимого качества. Для этого разработали технологию, выполнили расчет, смонтировали опытную промышленную установку, отработали режим получения азота из отходящих дымовых газов

производительностью 100 м<sup>3</sup>/ч. Установку можно использовать на предприятии, имеющем в схеме подготовки воды для нужд производства анионитовые фильтры, регенерируемые щелочью, т.е. иметь щелочные сбросные воды. Установка состоит из двух узлов – узла очистки газа от золы и кислорода, расположенного в котельном цехе, и узла окончательной очистки газа с подготовкой азота для использования, расположенного в отдельном помещении.

Использование кислых составляющих топочных газов для приготовления регенерационных растворов. Для регенерации катионитов как правило используются растворы хлорида натрия или серной кислоты. Затраты на получение этих реагентов с каждым годом увеличиваются, эти вещества становятся все дефицитнее, так как их стараются использовать и в других отраслях промышленности, в первую очередь для производства каустика, хлора, удобрений и другой продукции. Используя топочные газы отопительных котельных, ТЭЦ, ГРЭС, можно приготовить регенерационные растворы с рН = 1. Эти растворы могут заменять растворы поваренной соли, использующиеся для регенерации в настоящее время. Степень регенерации с рН = 1 достигает 60 - 70%. Показатели регенерации и Na - катионирования не снизилось при проведении 30 фильтроциклов, что указывает на возможность практического применения данной схемы регенерации. Высокую эффективность показывает совместная регенерация раствором NaCl с концентрацией 2% и раствором топочных газов. при этом осуществляется Н - Na - катионирование. При двукратной экономии соли достигается высокая степень регенерации катионита (до 90 - 95%) и уменьшается содержание иона HCO<sub>3</sub>, что снижает щелочную коррозию в котлах. Регенерация с использованием растворов топочных газов дает экономический эффект ввиду снижения расхода соли или серной кислоты. Кроме того, предложенная схема регенерации имеет природоохранный эффект, так как уменьшает количество стоков и выбросов вредных примесей газа в окружающую среду. Разработана и осуществлена конструкция промышленной установки для насыщения воды топочными газами. Необходимость большого объема газа на единицу объема воды требует установки вентилятора, а малый напор, характерный для вентиляторов, продиктовал схему с малым гидравлическим сопротивлением потоку газа. Опыт работы показал, что для эффективной работы при насыщении объема воды 30 - 40 м<sup>3</sup> производительность вентилятора должна быть около 10000 м<sup>3</sup>/ч.

Очистка газа от пыли по схеме с использованием мокрых золоулавливающих установок при орошении газа технической водой, позволяет удалить и часть сернистых составляющих, при растворении их в воде, но только не более 10-12%. Для улавливания основной части серы рекомендуется множество технологий с использованием дополнительных реагентов и, как правило, оборудование для этого представляет собой минизаводы. В качестве конечной продукции получают удобрения или серу в твердом виде, необходимую для промышленности. Стоимость очистки газа с улавливанием серы и получением этой продукции составляет 30 – 50% от стоимости основного оборудования. При использовании сточных щелочных вод ТЭУ возможно повышение степени улавливания сернистых составляющих из дымовых газов до 70% с минимальными капитальными вложениями и фактически без реконструкции схемы очистки газов и модернизации действующего оборудования.

На надежность эксплуатации оборудования влияют коррозионные процессы. Особенно серьезное воздействие происходит в поверхностях нагрева с процессами при высоких температурах: это испарительные поверхности нагрева и пароперегреватели.

Использование перегретого пара позволяет значительно увеличить КПД паровой установки. В связи повышенными показателями пара (особенно в установках со сверхкритическими параметрами) пароперегреватели относятся к наиболее повреждаемым поверхностям нагрева котла. В процентном соотношении: на долю пароперегревателей приходится до 56 % от общего числа повреждений; трубы топочных экранов до 17 % и прочие поверхности порядка 7 %.

Преобладающим видом коррозии является пароводяная коррозия. С перегретым паром при стационарной работе оборудования контактируют поверхности котлоагрегата, к которым относятся пароперегреватели, главные паропроводы, проточная часть турбин (до точки начала

конденсации пара), а также турбопроводы отборного пара. Качество пара, поступающего в турбину, подлежит строгому нормированию и поэтому присутствие посторонних примесей в нём, как правило, крайне мало. К возможным примесям относятся аммиак, углекислота, водород, соли натрия, кремнекислота. В перегретом паре высоких, сверхвысоких и сверхкритических параметров все эти вещества пребывают в состоянии парового раствора.

Углеродистые стали при температурах до 450-500 °С достаточно стойкие, а выше 530 °С начинается их окисление, которое может протекать как с внутренней (пароводяная коррозия), так и с наружной стороны (окалинообразование). Эти процессы представляют собой интенсивное окисление металла кислородом с образованием закиси-оксида железа  $Fe_3O_4$  и выделением газообразного водорода.

Скорость пароводяной коррозии зависит преимущественно от температуры пара и состава контактирующего с ним металла. Эти факторы учитывают при выборе материала для изготовления пароперегревателей и трубопроводов перегретого пара. Также значение имеют величины теплообмена и температурных колебаний при работе пароперегревателя, которые могут вести к разрушению защитных окисных пленок. При температуре больше 575 °С (среда перегретого пара) на поверхности стали в результате пароводяной коррозии образуется  $FeO$ , который при более низких температурах распадается на  $Fe_3O_4$  и  $Fe$ . Образовавшаяся пленка  $Fe_3O_4$  является неустойчивой и не останавливает дальнейшее окисление металла при высоких температурах.

Для труб из углеродистой и легированной сталей о скорости коррозии под действием пара (температуры до 650°), можно судить по объему выделяющегося водорода. Выделением водорода иногда используют, как меру общей коррозии. Коррозия на внутренних поверхностях трубок пароперегревателей в первую очередь вызывается взаимодействием между металлом и паром высокой температуры, и во вторую – уносом солей котловой воды паром. Во втором случае на металлических стенках могут появляться пленки растворов с высокой концентрацией едкого натра, непосредственно разъедающие сталь или же создающие отложения, спекающиеся на внутренней поверхности трубок, что ведёт к образованию отдулин. В неработающих котлах и при конденсации пара в относительно холодных пароперегревателях под влиянием кислорода и угольного ангидрида может развиваться точечная коррозия.

Частично коррозия вызывается примесями в насыщенном паре, поступающем в пароперегреватель. Этот пар уносит с собой из котловой воды малые, но заметные количества газов и солей. Чаще всего встречающиеся газы – кислород, аммиак и двуокись углерода. При прохождении пара через пароперегреватель концентрации этих газов ощутимо не изменяются. Следовательно, лишь незначительная часть коррозии пароперегревателя может быть отнесена на счёт действия указанных газов. Едкий натр, как максимальная часть увлекаемых котловой водой солей, может способствовать коррозии сильно нагретых трубок пароперегревателя, особенно если щелочь прикипит к металлической стенке.

Внешние поверхности труб пароперегревателей окисляются под действием окислов серы, соединений ванадия (для котлов, работающих на сернистых мазутах), кислорода, которые находятся в топочных газах. Средняя температура перегретого пара на выходе из пароперегревателя составляет 540-585 °С. Из-за неравномерности распределения тепловых нагрузок температура пара в отдельных змеевиках может подниматься до 600-620 °С, а температура стенок до 625-640 °С. В таких условиях наблюдается усиление коррозии с внутренней и с внешней сторон. Когда толщина окисной пленки увеличивается, в ней возрастает внутренние напряжения, что в сочетании с термическими напряжениями ведёт к механическому разрушению окисной пленки. Твердые частицы окалины уносятся потоком перегретого пара, а оголенная поверхность металла снова окисляется с образованием новой пленки, стенка трубы постепенно истончается, что может привести к её разрыву. Основные марки сталей, используемые для приготовления пароперегревателей – стали перлитного и аустенитного класса.

Трубы, изготовленные из обычной малоуглеродистой стали, находясь в течение длительного времени под воздействием высокоперегретого пара, равномерно разрушаются с

одновременным изменением структуры металла и образованием плотного слоя окалины. В парогенераторах сверхвысокого и сверхкритического давлений при температуре перегрева пара 550 °С и выше наиболее теплонапряженные элементы пароперегревателя (выходные участки) обычно изготавливают из теплостойких аустенитных нержавеющей сталей (хромоникелевых, хромомолибденовых и др.). Эти стали в условиях совместного действия растягивающих напряжений и коррозионно-агрессивной среды подвержены растрескиванию. Борьба с коррозионным растрескиванием деталей из аустенитных сталей осуществляется в первую очередь посредством поддержания безопасного водного режима парогенераторов.

#### **Список использованных источников**

1. Водоподготовка: Справочник. /Под ред. д.т.н., члена Академии промышленной экологии С.Е. Беликова. - М.: Аква-Терм, 2007. – 240 с.
2. Глазырин С. А. Использование компонентов дымовых газов в промышленности. – Алматы: деп. в КАЗНИИТИ, 05.10.1998, № 8462-Ка98. - 48 с.
3. Глазырин С. А., Глазырин А. И. Аналитический обзор вариантов использования топочных газов котлов для получения отдельных компонентов и их смесей при создании «Универсальной установки». - Павлодар: КАЗНИИТИ, 1998. - 26 с.
4. Айдымбаева Ж.А., Глазырин С.А., Достияров А.М., Глазырин А.И. Способ очистки дымовых газов энергетического котлоагрегата барабанного типа. Патент на полезную модель РК № 5184, 2020.
5. Musabekov R.A., Zlatov N.V., Aidymbayeva Zh.A. Analysis of technologies for cleaning smoke gases from thermal power plants from sulfur oxides. // «XXIII Научна конференция с международно участие ЕМФ 2018 – технически университет - София», сборник докладов «Энергия, экология, комфорт, самочувствие», секция «Теплоэнергетика и ядрена енергетика». - София (Болгария), 2018. - С. 29-32.
6. Sergey A. Glazyrin, Zhanar A. Aidymbayeva, Mikhail G. Zhumagulov, Nikolay Zlatov, Velimir Strefanović. Development of Technology for Utilization of Exhausted Gases and Waste Water of Coal-Fired Thermal Power Plants // Thermal Science. - №1. - 2021.

#### **УДК 621.1**

### **АТМОСФЕРАЛЫҚ ГАЗ ГЕНЕРАТОРЫМЕН ЖАБДЫҚТАЛҒАН БУ-ГАЗДЫ ШАҒЫН ЖЭО ЖҰМЫС РЕЖИМДЕРІН ОПТИМИЗАЦИЯЛАУ**

**Дәржан Ерлан Виленұлы**

[darzhanoverlan@mail.ru](mailto:darzhanoverlan@mail.ru)

Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Жылуэнергетика» кафедрасының магистранты

Мақалада бу-газ циклінде STIG (Steam Injected Gas Turbine) технологияларын қолдана отырып, атмосфералық қысымның қатпарлы айналдырылған газ генераторында алынатын жанғыш газда жұмыс атқаратын бу-газ қондырғысы (БГК) қарастырылады. Соңғы уақыттағы зерттеу деректері бойынша мұндай қондырғы отынды өңдеу процесінің қарапайым технологиясын ұсынады. Тиімді термодинамикалық циклді қолдану арқылы төмен қуатты қондырғыларда органикалық отындардан электр энергиясын алудың басқа технологияларымен салыстырғанда эффективтілігі анықталды. Есептеулер қуаттылығы шамамен 5 МВт(э) қондырғылар үшін жүргізілді.

#### **Кіріспе**

Көмірді газдандыру мақсатында шағын бу-газ қондырғыларының (БГК) құрылысын негіздеу үшін электр энергиясын алудың дәстүрлі технологияларын пайдаланатын