

## **Струйно-нишевая технология сжигания топлива на огнетехнических объектах национальной экономики**

**Потребности производства подталкивают к поиску подходов, позволяющих уже сейчас создавать ГУ необходимой эффективности. Для этого надо несколько изменить отношение к технологии сжигания, как к совокупности физико-химических процессов обеспечивающих эффективное преобразование химической энергии топлива в продукты сгорания необходимого качества.**

Рынок теплотехнического оборудования, в силу сложившейся ситуации, (высокая степень изношенности, несогласованность государственных программ, слабость отечественного производителя, отсутствие необходимого финансирования и т.д.) является весьма привлекательным для зарубежных производителей и поставщиков. Сотни фирм. всеми возможными способами стараются захватить лидерство на рынке топливосжигающего оборудования, где интенсивно внедряются во все сферы национальной экономики разные типы данного оборудования - подогреватели, печи, теплогенераторы, сушила, котлы, горелочные устройства (ГУ) [1].

Ситуация в данном сегменте рынка теплотехнического оборудования существенно усложняется тем, что над процессом сжигания топлива существует некая пелена загадочности. С одной стороны только ленивые не производят горелочные устройства для своих нужд, а с другой нет ясности, какие принципы закладываются при проектировании ГУ, как выбрать оптимальное ГУ. Современные классификации ГУ по давлению, степени гомогенизации, механизму горения и т.д. не вносят ясности в решение данной задачи.

Комплекс аэро-, термохимических процессов, служащий в основе работы ГУ, является сложнейшим в технике, недостаточно изученным и не поддается точным расчетам. Однако потребности производства подталкивают к поиску соответствующих подходов, позволяющих уже сейчас создавать ГУ необходимой эффективности.

Для этого надо несколько изменить отношение к технологии сжигания, как к совокупности физико-химических процессов обеспечивающих эффективное преобразование химической энергии топлива в продукты сгорания необходимого качества.

Отечественному потребителю трудно выбрать оптимальный вариант из предлагаемой огромной номенклатуры оборудования. При этом необходимо учитывать экономичность данного оборудования, срок окупаемости, экологическую безопасность, надежность в эксплуатации, уровень сервисного обслуживания, степень адаптации к нашим условиям эксплуатации (значительные колебания давления и состава га, низкий уровень химводоочистки и т.д.) Сам термин «технология сжигания» редко звучит на технических семинарах, совещаниях, конференциях. А о рабочем процессе ГУ, аэродинамической схеме, стабилизации горения очень редко можно услышать даже на сугубо научных конференциях. Аэродинамическая структура течения (как показывают исследования — важнейшая характеристика ГУ) вообще исчезла из поля зрения исследователей рабочего процесса ГУ.

Нечеткое представление об основных принципах сжигания, пренебрежение научными подходами к решению данной проблемы, не прошло бесследно. Несмотря на то, что в настоящее время в мировой практике насчитывается сотни типов ГУ к сожалению, приходится констатировать тот факт, что пока не существует ГУ в полной мере удовлетворяющих всем современным требованиям с точки зрения экономичности, экологической безопасности и надежности.

Как правило, улучшение показателей по экономичности добиваются за счет ухудшения экологических характеристик, снижения уровня надежности, сужение диапазона рабочего регулирования и т.д.

Многолетние исследования основных компонентов рабочего процесса ГУ (аэродинамические течения; химическое реагирование горючего и окислителя, процессов теплопередачи) проведенные в лаборатории горения КПИ показали определяющую роль аэродинамических процессов [3,4]. Это позволило существенно упростить классификацию по ГУ и привести ее к нескольким основным аэродинамическим схемам подачи горючего и окислителя [5].

Анализ аэродинамической структуры ГУ с различными аэродинамическими схемами показал, что основными причинами их недостаточной эффективности при переменных режимах является:

- разрушение циркуляционных зон высоконагретых продуктов сгорания, обеспечивающих аэродинамическую стабилизацию горения;
- нарушение равномерности распределения горючего в потоке окислителя;

- выход за концентрационные пределы воспламенения топливной смеси в области стабилизации факела.

Таким образом, для создания эффективного ГУ, необходимо обеспечить устойчивую аэродинамическую структуру течения (необходимые поля скоростей и искусственной турбулентности; систему устойчивых вихреобразований; необходимую глубину проникновения струй горючего в поток окислителя) горючего, окислителя и продуктов сгорания в широком диапазоне скоростей с необходимым концентрационным полем топливной смеси.

Для формирования подходов к созданию технологии сжигания топлив необходимо четко сформулировать современные требования к ГУ [2].

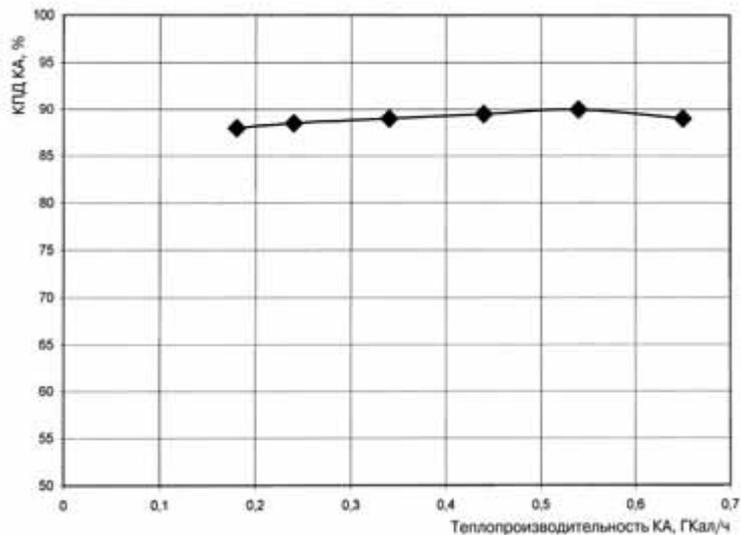
- Легкий и надежный розжиг при минимально возможном расходе газа (для безопасного запуска ГУ и обеспечения плавного разогрева либо просушивания огнетехнического объекта (ОО));
- Устойчивое горение в широком диапазоне скоростей горючего и окислителя (для предотвращения срыва факела при резких колебаниях давления газа и воздуха);
- Необходимый диапазон регулирования по мощности (Кр) и коэффициенту избытка воздуха, (для обеспечения оптимальных режимов сушки футеровки и теплового состояния элементов ОО; необходимого качества продуктов сгорания и их температурного уровня; обеспечения регулировки мощности ОО без отключения части ГУ);
- Максимально возможная полнота сгорания топлива в топочном объеме ОО;
- Допустимый уровень эмиссии токсичных веществ (NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub> и т.д.);
- Возможность регулировки длиной и светимостью факела, а также его аэродинамической и концентрационной структурой (для обеспечения необходимой интенсивности и равномерности распределения тепловых потоков; уменьшения вероятности соприкосновения факела с элементами ОО, образования окислительной или восстановительной среды в продуктах сгорания);
- Минимально возможное сопротивление по трактам горючего и окислителя (для обеспечения возможности работы при низких давлениях газа и воздуха, снижение расхода электроэнергии на привод тягодутьевых ман);
- Надежность и простота регулирования режимов работы (для упрощения автоматизации и обеспечения безопасности);
- Возможность надежной работы на самотяге и в безвентиляторном режиме на частичных нагрузках за счет разряжения, создаваемого дымососом либо трубой, что является важным при аварийных отключениях тягодутьевых средств, а также позволяет существенно экономить электроэнергию;
- Низкий уровень шума;
- Постоянство показателей рабочих характеристик в процессе эксплуатации;
- Модульность, позволяющая набирать ГУ необходимой мощности из автономно работающих модулей;
- Технологичность, простота изготовления, низкая металлоемкость, отсутствие потребности в дорогих материалах.

Исследования показали, что основными принципами современной технологии сжигания топлива являются:

- рациональное первоначальное распределение горючего в потоке окислителя;
- устойчивая, управляемая, аэродинамическая структура течения горючего, окислителя и продуктов сгорания;
- саморегулируемость состава топливной смеси в зоне стабилизации факела.

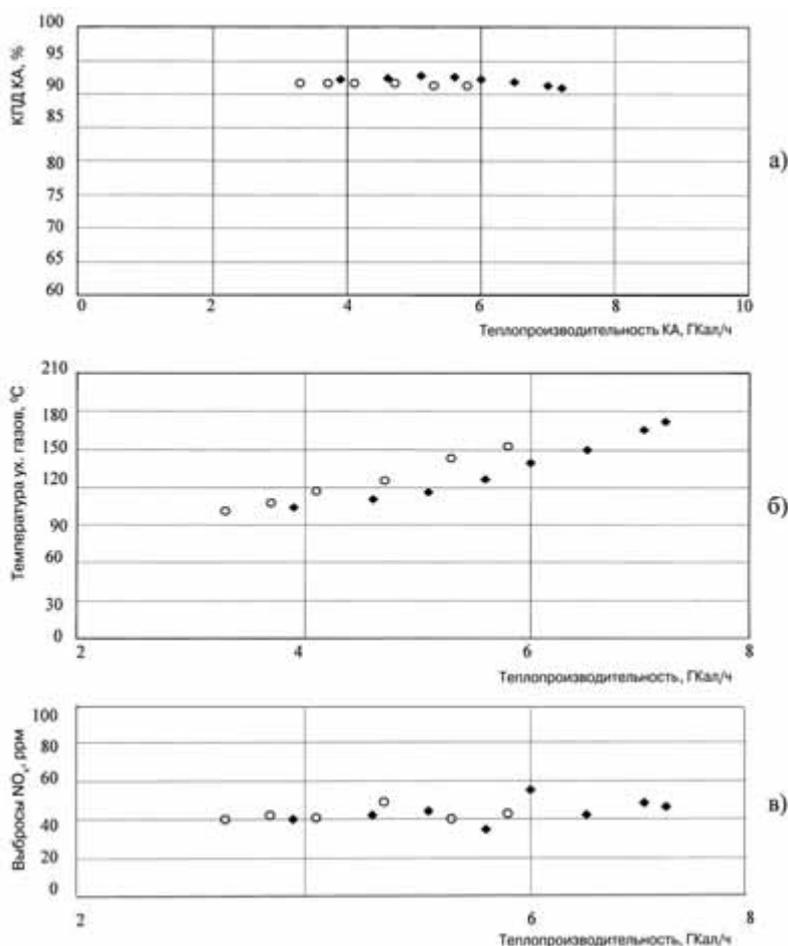
Данная технология сжигания защищена патентом Украины № 51844 и имеет приоритет в странах Евразийского региона.

Путь реализации эффективной технологии — расположение струйно-нишевой системы на автономном пилоне-коллекторе. Такой гоелочный модуль замыкает на себя все стадии рабочего процесса — распределение горючего в потоке окислителя, смесеобразование до необходимого уровня концентрации, воспламенение топливной смеси, стабилизация факела и формирование концентрационных, скоростных и температурных полей продуктов сгорания, активно самоохлаждается потоками окислителя и горючего и, вследствие саморегулируемости, не требует дополнительной автоматизации управления.



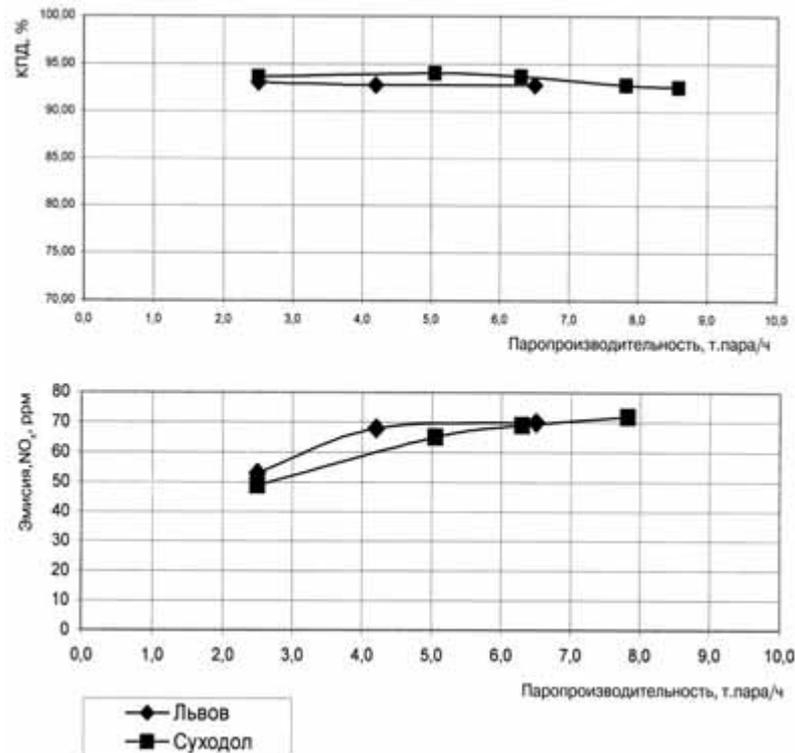
**Рис.1. Характеристика котлоагрегатов НИИСТУ-5, ГУ СНГ-33**

Государственным центром сертификации топливоиспользующего оборудования Украины сертифицировано 41 ГУ СНГ от 100 кВт до 35 МВт. Струйно-нишевая технология сжигания с 1994 г. прошла апробацию на огнетехнических объектах различного назначения Украины, Белоруссии, России (сушила, печи, подогреватели). Наиболее широко осуществляется внедрение на котлах разного типа. Опыт эксплуатации малых котлоагрегатов (НИИСТУ, Надточия которых насчитывается десятки тысяч) с горелками СНГ, установленными на фронте котла, показывает, что за счет улучшения сгорания топлива, снижения коэффициента избытка воздуха КПД котла можно увеличить до 90% (Рис.1). Поскольку котельные с котлами такого типа, как правило, не оснащены тягодутьевыми средствами, то предусмотрена возможность работы ГУ СНГ на самотяге, а также в блочном исполнении с автоматикой безопасности и управления – под наддувом с автономным вентилятором. При этом обеспечивается плавный режим розжига и регулирования нагрузки котла.



**Рис.2. Характеристика котлоагрегатов типа ТВГ: – вентиляторный режим, о – безвентиляторный режим**

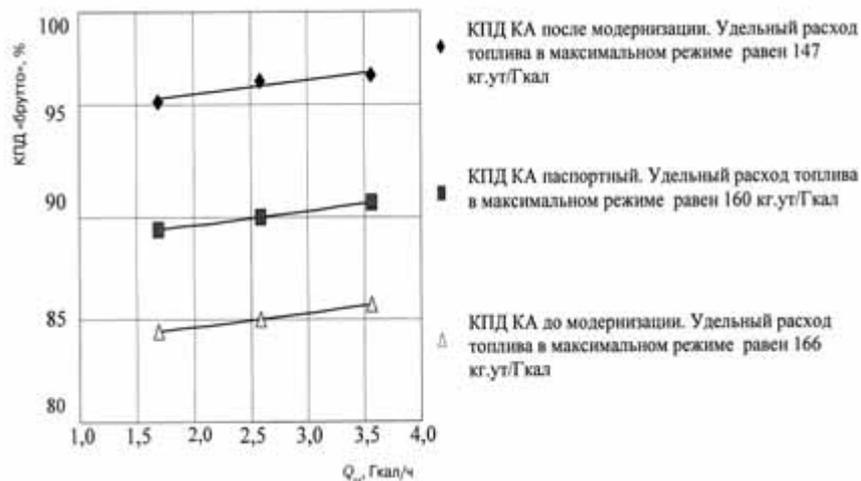
Интересен опыт модернизации котлов ТВГ. Хотя эти котлы имеют развитую конвективную поверхность, однако двухсветные экраны, перегораживающие топочное пространство, негативно реагируют на чрезмерную длину факела саже образованием и снижением теплотурного уровня в топке, повышением температуры уходящих газов. В таких жестких условиях горелками СНГ обеспечивается КПД на уровне 93 % (См. Рис.2). Причем, уже имеется опыт эффективной работы котла на низком давлении гав безвентиляторном режиме во всем диапазоне мощности. Установка ГУ СНГ на фронте котла позволяет удалять из его объема значительную массу огнеупорного кирпича, необходимого для формирования воздушных каналов и обеспечения стабилизации горения. Это существенно уменьшает разогреваемую массу котла и снижает его тепловую инерционность.



**Рис.3. Характеристика котлоагрегатов типа ДКВР**

Весьма распространенными в малой энергетике являются котлы типа ДКВР. Опыт их модернизации отражен на рис.3. Практически на всех модернизированных КА, за счет снижения коэффициента избытка воздуха до 1.04 – 1.07 и значительном снижении температуры уходящих газов в широком диапазоне нагрузки, обеспечивалось высокое, по сравнению с паспортным, значение КПД брутто (около 95%). На одном из котлов ДКВР-6,5, работающем в водогрейном режиме, были проведены сравнительные испытания горелок СНГ-43 с системой из двух ниш (приструйной и торцевой) и штатных горелок ГМГ-4.

Результаты замеров параметров работы котла до и после модернизации приведены на рис.4, из которого видно, что котел, находившийся в эксплуатации около 40 лет и несколько снизивший свои экономические характеристики, после модернизации существенно превысил паспортные значения КПД.



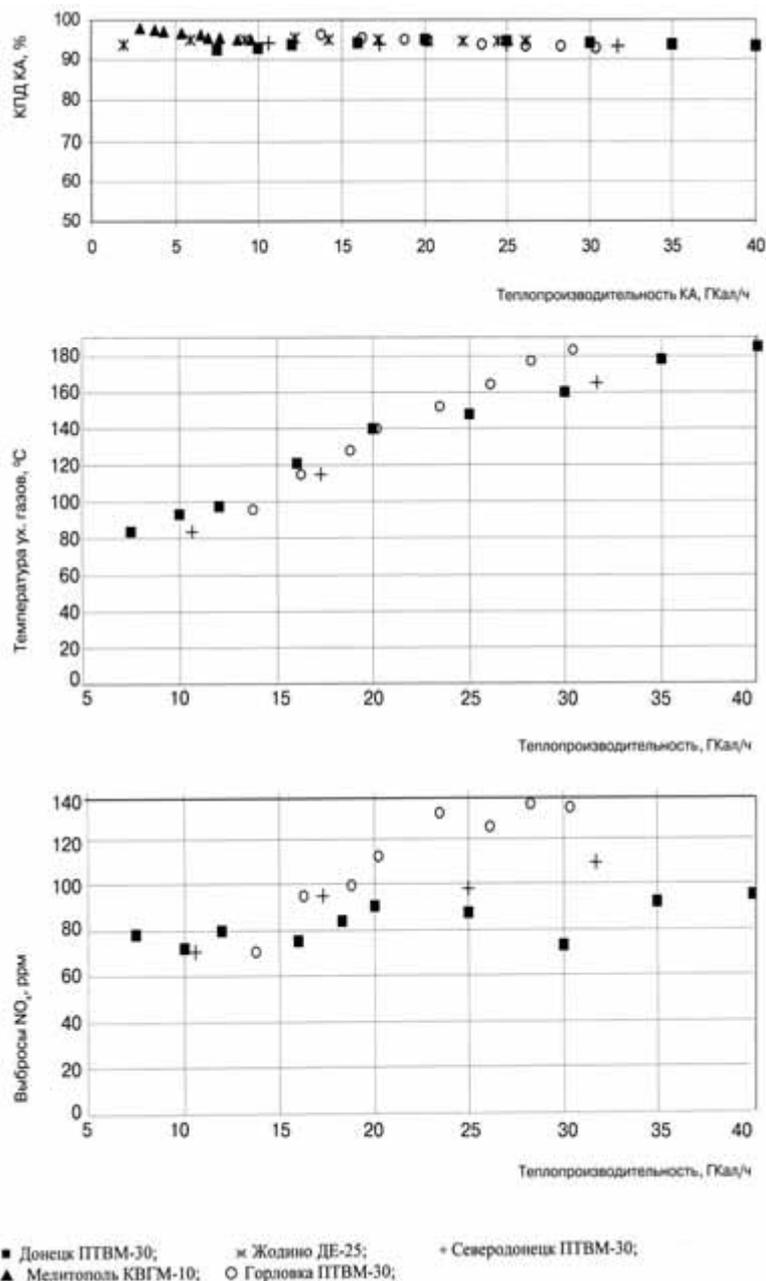
**Рис.4.**

В процессе модернизации некоторых котлов типа ДКВР полностью оголялись экранные трубы и водяные коллекторы, что приводило к увеличению радиационной поверхности, обеспечению равномерности нагрева экранов, улучшению условий работы с точки зрения защиты от коррозии труб экранов и коллекторов. На котле ДКВР 6,5 проводилось также испытание возможности его работы в безвентиляторном режиме в течение отопительного сезона с использованием 2-х горелок СНГ-43. При этом коэффициент избытка воздуха в топке котла не превышал 1,1 во всем диапазоне работы. Остановка вентилятора дала экономию более 5000 кВт/ч в месяц.

Обследование котлов после двух лет эксплуатации показало отсутствие каких-либо тепловых и эрозионных повреждений элементов футеровки, амбразуры, экранных и конвективных поверхностей нагрева. Отсутствие сажи и налета на этих поверхностях также говорит о высокой эффективности ГУ. Приемка котла ДКВР -6,5 в г. Запорожье с установленной на нем ГУ СНГ Запорожским отделением Комитета по энергосбережению Украины показала, что неравномерность температурного поля труб экранов топки котла не превышает 2%, что свидетельствует о равномерности температурного поля продуктов сгорания в топочном пространстве.

Уровень эмиссии окислов азота во всем рабочем диапазоне модернизируемых котлов ДКВР практически мало изменяется и находится в пределах существующих нормативов. Необходимо отметить, что ГУ при работе в составе КА типа ДКВР подвергаются повышенному радиационному тепловому воздействию со стороны раскаленного пода котла, защитной кладки (из огнеупорного кирпича), водяных коллекторов и других футерованных элементов. Замеры теплового состояния показали, что температура наиболее теплонапряженных элементов горелки не превышала 500С. При этом газ, охлаждая пилон, нагревался до 150..200С.

Котлы с высокой степенью экранирования радиационной части (ПТВМ, КВГМ, ДЕ) после модернизации также значительно улучшили свои технико-эксплуатационные характеристики (см. рис.5). КПД таких котлов после модернизации достигал 95% и выше за счет предельно низких значений коэффициента избытка воздуха и температуры уходящих газов.



**Рис.5. Характеристики котлов ПТВМ, ДЕ, КВГМ после модернизации**

Интересен также накопленный опыт перевода котлов и котельных в целом на низкое давление, причем перевод осуществлялся на котлах, которые изначально работали на среднем давлении. Это наиболее актуально для котельных установленных в тупиковых ветках газовой магистрали. Так, в г. Донецке котельная Пролетарского микрорайона с тремя котлами ПТВМ-30 полностью переведена на низкое давление (до 500 мм.в.ст.). Значительно расширен диапазон работы котлов по мощности при работе всех ГУ, т.о. исключена необходимость регулировки мощности отключением части ГУ. При летней нагрузке отработан безвентиляторный режим для котлов ПТВМ. Установлено, что розжиг горелок СНГ на всех типах модернизированных котлов легко осуществляется при минимально возможном расходе га. Давление газа на горелках при этом составляет несколько Паскалей.

Струйно-нишевая технология, реализованная в горелках СНГ, обеспечивает упорядоченное течение продуктов сгорания в топке, в отличие от мощных вихрей, вызванных закруткой потока газозвушной смеси созданной вихревыми горелками. В результате предотвращаются довольно часто встречающиеся вибрационные режимы котлов КВГМ-10, ДЕ-2,5, ДЕ-10, ДЕ-16, ДЕ-25 и др. при нагрузках выше 50-60% номинальной. Как правило, модернизированные котлы, которые эксплуатировались 20-40 лет, с неудовлетворительным техническим состоянием (завышенные в несколько раз присосы воздуха, занесенные трубы, разбалансированные тягодутьевые средства и др.). Однако применение струйно-нишевой технологии неизменно ощутимо улучшало практически все характеристики работы котла.

Отличительной особенностью струйно-нишевой технологии сжигания является возможность решать задачи (в том числе и социальные) неожиданно возникающие при эксплуатации оборудования. Так в г. Запорожье было сорвано начало отопительного сезона (2003-2004 гг.)

изнизкого давления газа в сети, а модернизованная котельная г. Донецка (тепловая мощность 120 Гкал) настолько устойчиво работала, что на 37% (более 1 млн. грн.) увеличился сбор средств с населения за высокое качество отпущенного тепла. (За весь сезон не было ни одной жалобы и, соответственно, перерасчетов).

Накоплен достаточно большой опыт применения СНГ в высокоэффективных контактных водоподогревателях мощностью от 0.3 до 3 МВт, где в условиях прямого контакта топочных газов с водой обеспечивался НПД на высоком уровне, а уровень эмиссии CO и NOx не превышали 50 и 40 ppm (приведено к  $\eta = 1$ ) соответственно.

Накоплен определенный опыт применения СНГ в двух топливных индивидуальных котлах (газ-твердое топливо) для сжигания дров, лузги, тырсы и т.д. с внутцикловой газификацией.

Блочное горелочное устройство СНГ-21 (тепловая мощность (0.1-3) МВт) прошло сертификационные испытания с автоматикой фирмы «AFN» SRL. В широком диапазоне нагрузок коэффициент избытка воздуха изменялся в пределах 1.01E1.04. Блочные ГУ показали высокую эффективность при модернизации котлов НИИСТУ-5 обеспечивая надежную работу котла с КПД до 91%.

Применение горелочных устройств на основе струйно-нишевой технологии на металлургических объектах в топках разного назначения:

- посты сушки ковша;
- миксеры;
- методические печи и т.д.

позволило не только снизить потребление газа до 30%, но и исключить шлакообразование на футеровке и амбразурах горелок, которое наблюдалось ранее при применении горелок ижекционного и вихревого ти. Кроме того, за счет высокой равномерно сти температурного поля и возможности варьирования коэффициента избытка воздуха повысилось качество заливаемого металла и снизилось количество отходов.

В настоящее время разработаны технические проекты для:

- применения СНГ при подпитке пылеугольного факела энергетического котла;
- сжигания газа в продуктах сгорания ГТД;
- сжигания искусственных газов (коксовый, доменный и т.д.).

В заключение можно отметить, что практика модернизации котельного парка Украины путем замены ранее установленных горелочных устройств на ГУ типа СНГ показала высокие экономические и экологические показатели применения струйно-нишевой технологии на котлах типа НИИСТУ, ДКВР, ТВГ, КВГ, КВГМ, ПТВМ.

Данная технология, основанная на увлвляемой аэродинамической структуре горючего, окислителя и продуктов сгорания, обеспечивает:

- высокий уровень экономичности, экологической безопасности, надежности работы ОО;
- значительно расширяет пределы их работы по мощности и давлению газа; • благоприятный режим работы ОО в целом и существенно увеличивают межремонтный период;
- равномерное температурное поле в топочном объеме.

Струйно-нишевая технология может служить основой малозатратной модернизации морально устаревших ОО со сроком окупаемости 0,5-2 года за счет экономии газа, в зависимости от тепловой нагрузки, часов работы, обеспечивая при этом значительную экономию электроэнергии на привод тяго-дутьевых средств.

Список литературы:

1. К основным положениям концепции развития малой энергетики Украины //Долинский А.А., Черняк В.П., Сигал А.И., Базеев Е.Г./ Промтеплотехника, 1998, т14, №4
2. Некоторые аспекты повышения экономичности и экологической безопасности горелочных устройств // Абдулин М.З./ Энергетика, экономика, технология. 2000.№4-с.65-68.
3. Струйно-нишевая система смесеобования и стабилизации пламени. Автореферат дис.-Киев, КПИ, 1986// Абдун М.З.
4. Актуальные проблемы устойчивого развития. Применение новых технологий сжигания топлива.// Акилов В.А., Бридун Е.В., Ватачин М.Ю. и др./ К.:В-во «Знание», Украина, 2003, с430
5. Опыт внедрения горелочных устройств типа СНГ на основе струйно-нишевой технологии сжигания топлива. // Глухарев Ю.В., Дубовик В.С. / «новости теплоснабжения», М.- 2003.№11с.20-21
6. Струйно-нишевая технология сжигания топлива на объектах муниципальной энергетики. // Абдулин М.З., Дубовик В.С. /»Новости теплоснабжения», М.2004.№11-с-19-22

---

**Абдулин М. З., Дворцин Г. Р., Жученко А. М., Кулешов Ю. А., Милко Е. И.**