

## Струйно-нишевая технология сжигания топлива на объектах муниципальной энергетики

*М.З.Абдулин, докторант Национального технического университета Украины (КПИ), к.э.н. В.С. Дубовик, ведущий научный сотрудник СОПС Украины, НАН Украины*

Рынок теплотехнического оборудования в силу сложившейся ситуации (высокая степень изношенности данного оборудования, несогласованность соответствующих государственных программ, слабость отечественного производителя, отсутствие необходимого финансирования и т.д.) является весьма привлекательным для зарубежных производителей и поставщиков. Многие фирмы, включая известнейшие «Siemens», «ABB», «Wayshaupt», «Riello» и т.д., всевозможными способами стараются захватить лидерство на этом рынке.

Это положение в полной мере относится к рынку топливосжигающего оборудования, где многие десятки известных и сотни менее известных фирм интенсивно внедряют практически во все сферы национальной экономики Украины различные типы данного оборудования - котлы, печи, сушила, теплогенераторы, подогреватели, горелочные устройства (ГУ) [1].

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

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 много сотен типов ГУ (включая «Siemens», «Wayshaupt», «Riello», «Girsh» и т.п.), 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, сужения диапазона рабочего регулирования и т.д.

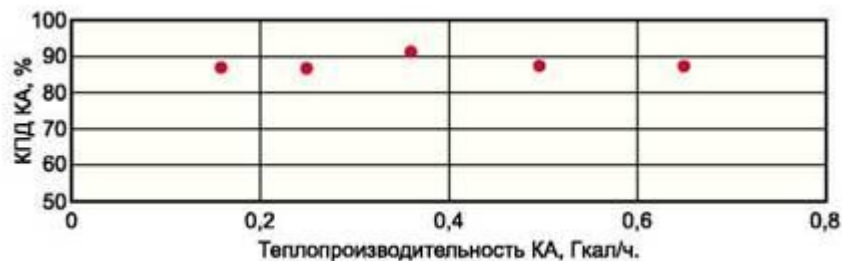


Рис. 1. Характеристика котлоагрегатов НИИСТУ-5 (ГУ СНГ-33).

Для формирования подходов к созданию технологии сжигания топлива на огнетехнических объектах (ОО) необходимо четко сформулировать современные

требования к ГУ [2]:

1. Легкий и надежный розжиг при минимально возможном расходе газа (для «безхлопкового» розжига котла и обеспечения плавного выхода огнетехнического объекта из «холодного» в «горячее» состояние, либо обеспечения режима сушки объекта).
2. Устойчивое (безхлопковое) горение в широком диапазоне скоростей горючего и окислителя (для предотвращения срыва факела при резких колебаниях давления газа и воздуха).
3. Необходимый диапазон регулирования по мощности ( $K_P$ ) и коэффициенту избытка воздуха ( $\alpha$ ) (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).
4. Максимально возможная полнота сгорания топлива ( $h_{сг}$ ) в топочном объеме огнетехнического объекта.
5. Допустимый уровень эмиссии токсичных веществ ( $NO_x$ ,  $CO$ ,  $SO_2$  и т.д.) во всем диапазоне нагрузок.
6. 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 огнетехнического объекта, образования окислительной или восстановительной среды в продуктах сгорания).
7. Минимально возможное сопротивление по трактам горючего и окислителя (для обеспечения возможности работы при низких давлениях газа и воздуха, снижение расхода электроэнергии на привод тягодутьевых машин).
8. Надежность и простота регулирования режимов работы (для упрощения автоматизации и обеспечения безопасности).
9. Возможность надежной работы на самотяге и на безвентиляторном режиме при частичных нагрузках за счет разряжения, создаваемого дымососом либо трубой, что является важным при аварийных отключениях тягодутьевых средств, а также позволяет существенно экономить электроэнергию.
10. Постоянство показателей рабочих характеристик в процессе эксплуатации.
11. Низкий уровень шума.

12. Модульность, позволяющая набирать ГУ необходимой мощности из автономно работающих модулей.

13. Технологичность, простота изготовления, низкая металлоемкость, отсутствие потребности в дорогих материалах.

Многолетние исследования основных компонентов рабочего процесса ГУ (аэродинамика течения; химическое реагирование горючего и окислителя; процессы теплопередачи), проведенные в лаборатории горения КПИ, показали определяющую роль аэродинамических процессов [3, 4], что позволило классифицировать многочисленные типы ГУ по нескольким газодинамическим схемам подачи горючего и окислителя [5].

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

- разрушение циркуляционных зон высоконагретых продуктов сгорания, обеспечивающих аэродинамическую стабилизацию горения;
- нарушение равномерности распределения горючего в потоке окислителя;
- выход концентрации топливной смеси за пределы воспламенения.

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

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.

Путь реализации эффективной технологии - расположение струйно-нишевой системы на автономном пилоне-коллекторе. Такой горелочный модуль (струйно-нишевая горелка (СНГ)) 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

окислителем и горючим и вследствие саморегулируемости состава топливной смеси не требует сложной автоматики управления.

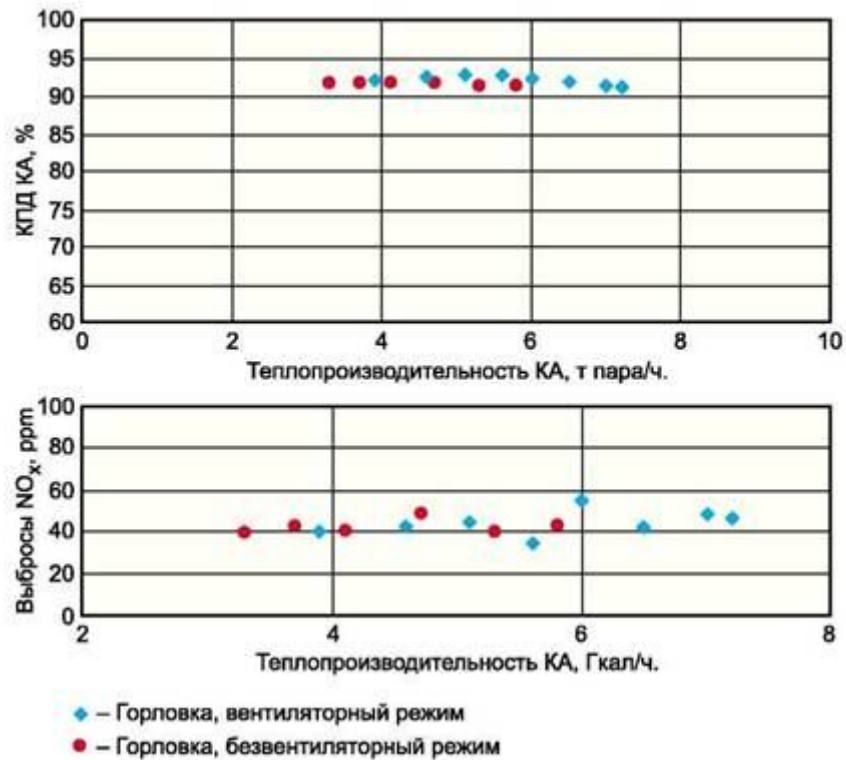


Рис. 2. Характеристика котлоагрегатов типа ТВГ.

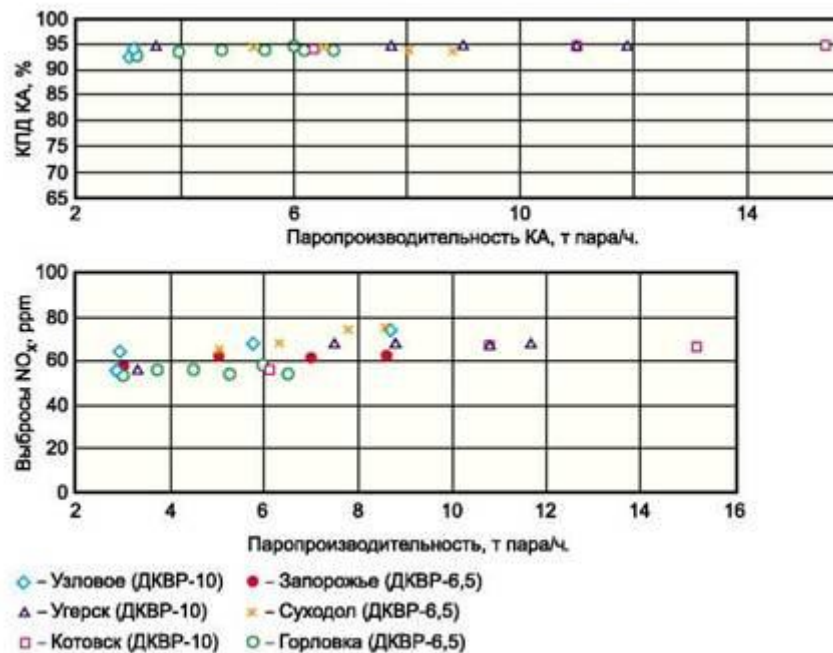


Рис. 3. Характеристика котлоагрегатов типа ДКВР.

Данная технология сжигания защищена патентом Украины № 51844 и имеет приоритет Евразии. В настоящее время Государственным центром сертификации топливоиспользующего оборудования Украины сертифицировано 41 ГУ СНГ от 10 кВт до 35 МВт.

Струйно-нишевая технология сжигания с 1994 г. проходит апробацию на огнетехнических объектах различного назначения Украины, Белоруссии и России (сушила, печи, подогреватели). Наиболее широко осуществляется внедрение на котлах разного типа [6].

Опыт эксплуатации малых котлоагрегатов (НИИСТУ, Надточия, которых насчитывается в Украине многие десятки тысяч) с горелками СНГ, установленными на фронте котла, показывает, что за счет улучшения сгорания топлива, снижения коэффициента избытка воздуха, улучшения радиационного теплообмена за счет увеличения среднего температурного уровня в топке и снижения температуры уходящих газов 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. При этом обеспечивается более плавный режим розжига и регулировки факела.

Интересен опыт модернизации котлов ТВГ, также работающих с подовыми горелками. Хотя эти котлы имеют развитую конвективную поверхность, однако двухсветные экраны, перегораживающие топочное пространство, негативно реагируют на чрезмерную длину факела саже-образованием и снижением температурного уровня в топке. В таких жестких условиях горелками СНГ обеспечивается КПД на уровне 93% (рис. 2). Причем уже имеется опыт эффективной работы котла на низком давлении газа и в безвентиляторном режиме. 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.

Весьма распространенными в малой энергетике являются котлы типа ДКВР. Опыт их модернизации отражен на рис. 3.

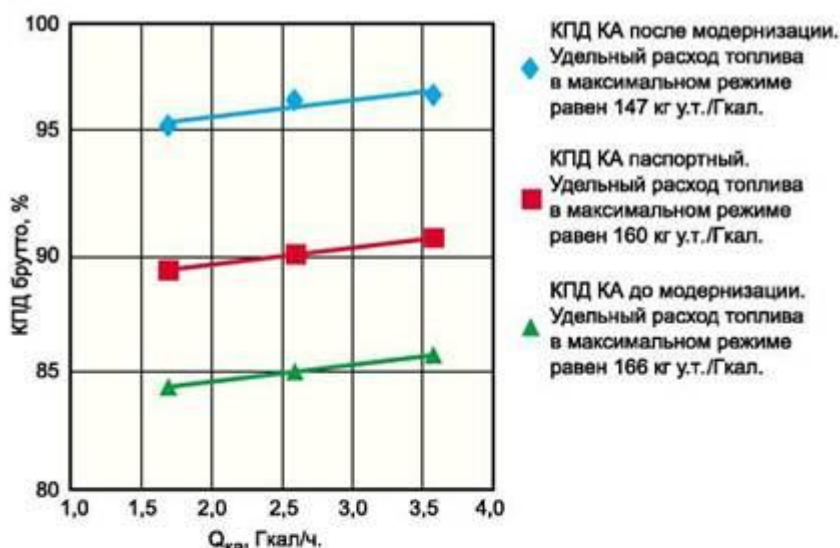


Рис. 4. Зависимость КПД «брутто» котлоагрегата ДКВР-6,5 от теплопроизводительности.

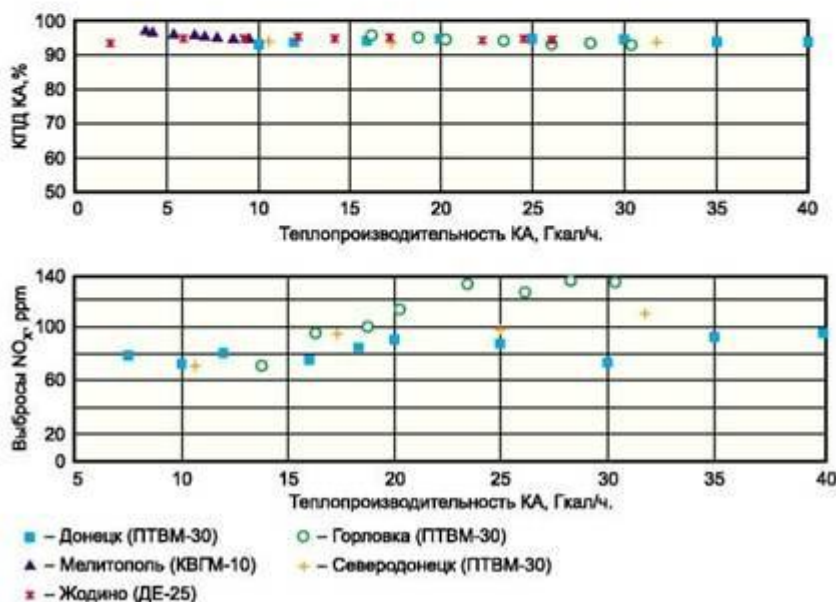


Рис. 5. Характеристика котлов типа ПТВМ, ДЕ, КВГМ после модернизации.

Практически на всех модернизированных котлоагрегатах (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%) при эмиссии NO<sub>x</sub> (приведенной к a=1) не более 80 ppm. На одном из котлов ДКВР-6,5, работающем в водогрейном режиме, были проведены тщательные сравнительные испытания горелок СНГ-43 (с системой ниш) 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 за счет замены горелочных устройств существенно превысил паспортные значения КПД.

В процессе модернизации некоторых котлов ДКВР у многих полностью оголялись экранные трубы и водяные коллектора, что приводило к увеличению радиационной поверхности, обеспечению равномерности нагрева экранов, улучшению условий работы с точки зрения наружной коррозии труб. 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 с установленной на нем ГУ СНГ Запорожским отделением Комитета по энергосбережению Украины показала, что неравномерность температурного поля трубных экранов топки котла не превышает 2%, что свидетельствует о высокой 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 не превышала 300 ОС. При этом газ, охлаждая пилоны, нагревался до 150-200 ОС. Котлы с высокой степенью экранирования радиационной части (ПТВМ, КВГМ, ДЕ) после модернизации также значительно улучшили свои технико-эксплуатационные характеристики (рис. 5).

КПД таких котлов после модернизации составил 95% и выше за счет предельно низких коэффициентов избытка воздуха и низкой температуры уходящих газов. 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 газа. Давление газа на горелках при этом составляет несколько десятков Па.

Струйно-нишевая технология, реализованная в горелках СНГ, обеспечивает упорядоченное течение продуктов сгорания в топке, что, в свою очередь, позволяет устранить мощные вихри, вызванные закруткой потока воздуха. В результате предотвращаются довольно часто встречающиеся вибрационные

режимы котлов КВГМ-10, ДЕ-2,5, ДЕ-10, ДЕ-25 и др. при нагрузке свыше 50-60% номинальной.

Как правило, модернизированные котлы эксплуатировались 20-40 лет и более и их техническое состояние неудовлетворительно: завышенные в несколько раз присосы воздуха, занесенные трубы (гидравлическое сопротивление некоторых котлов доходило до 6-7 кг/см<sup>2</sup>), разбалансированные тягодутьевые средства и др. Однако применение струйно-нишевой технологии неизменно ощутило улучшало практически все характеристики работы котла.

Отличительной особенностью струйно-нишевой технологии сжигания является возможность решать неожиданные задачи (в том числе и социальные), возникающие при эксплуатации оборудования. Так, в г. Запорожье было сорвано начало отопительного сезона (2003-2004 гг.) из-за низкого давления газа в сети. А в это время котельная Пролетарского района г. Донецка (тепловая мощность 120 Гкал/ч) работала настолько эффективно и устойчиво, 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 с потребителями тепла).

Накоплен достаточный опыт применения СНГ в высокоэффективных, так называемых, контактных водоподогревателях мощностью от 0,3 до 3 МВт. В условиях прямого контакта топочных газов с водой уровень эмиссии CO и NO<sub>x</sub> не превышал 50 и 40 ppm (приведено к α=1) соответственно.

Накоплен определенный опыт применения СНГ в двухтопливных котлах (газ - твердое топливо) для сжигания дров, тырсы (тырса - отходы при распиловке древесины - *прим. ред.*), лузги и т.д. с внутрицикловой газификацией. Данный способ сжигания опробован при работе на легком жидком топливе с пневмораспылом.

Блочное горелочное устройство СНГ-21 (тепловая мощность 0,1-0,3 МВт) прошло сертификационные испытания с автоматикой фирмы «AFN» SRL. В широком диапазоне нагрузок коэффициент избытка воздуха изменялся в пределах 1,01-1,04.

В настоящее время разработаны и внедряются технические проекты для: Я применения СНГ при подсветке пылеугольного факела энергетического котла; Я сжигания газа в продуктах сгорания ГТД (когенерирующие установки); Я сжигания шахтного газа; Я сжигания искусственных газов (коксовый, доменный и т.д.).

## **Выводы**

- Создана высокоэффективная струйно-нише-вая технология сжигания топлива на основе устойчивых вихревых структур течения горючего, окислителя и продуктов сгорания, которое может найти широкое применение при сжигании топлива в различных огнетехнических устройствах.
- На основе широкомасштабного промышленного внедрения на котлах различной конструкции (типа КПА-500Г, НИИСТУ, Надточия, ДКВР, ТВГ, КВГ, КВГМ, ПТВМ, Е, ДЕ, КВН) показано, что струйно-нишевая технология,



основанная на управляемой аэродинамической структуре горючего, окислителя и продуктов сгорания, обеспечивает высокий уровень экономичности, экологической безопасности, надежности работы огнетехнических объектов и значительно расширяет пределы их работы по мощности и давлению газа.

- ГУ типа СНГ обеспечивают благоприятный температурный режим работы огнетехнического объекта в целом и существенно увеличивают межремонтный период объекта.

- Струйно-нишевая технология может служить основой малозатратной модернизации морально устаревшего огнетехнического оборудования со сроком окупаемости 0,5-2 года за счет экономии газа в зависимости от нагрузки и часов использования, обеспечивая при этом значительную экономию электроэнергии на привод тягодутьевых средств.

### **Литература**

1. Долинский А.А., Черняк В.П., Сигал А.И., Базеев Е.Г. Косновным положениям концепции развития малой энергетики Украины // Промтеплотехника. 1998, т. 14, №4.
2. Абдулин М.З. Некоторые аспекты повышения экономичности и экологической безопасности горелочных устройств // Энергетика, экономика, технологии, экология. 2000, № 4, с. 65-68.
3. Абдулин М.З. Струйно-нишевая система смесеобразования и стабилизации пламени // Автореферат дис. 1986, Киев, КПИ.
4. Абдулін М.З., ІбрагімДжамал. Дослідження пальникового пристрою з поперечною подачею струменів палива // Экотехнологии и ресурсосбережение. 1997, № 2, с. 68-69.
5. Акилов В.А., Бридун Е.В., Ватачин М.Ю. и др. Актуальные проблемы устойчивого развития. Применение новых технологий сжигания топлива // К.: О-во «Знание» Украины, 2003, с. 430.
6. Глухарев Ю.В., Дубовик В.С. Опыт внедрения горелочных устройств типа СНГ на основе струйно-нишевой технологии сжигания топлива // Новости теплоснабжения. М., 2003, № 11, с. 20-21.