

УДК 621.311.22

М.З. АБДУЛИН, канд. техн. наук

Национальный технический университет Украины «КПИ»

ПРИМЕНЕНИЕ СТРУЙНО-НИШЕВОЙ ТЕХНОЛОГИИ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

Проведено огляд існуючих пальникових пристроїв та основних принципів на яких базуються сучасні технології спалювання. Проведені аналітичні та експериментальні дослідження автономного пілона з струменево-нишевою системою та широкомасштабні випробування пальникових пристроїв, які реалізують струменево-нишову технологію спалювання палив. Виявлені нові принципи розбудови сучасної технології спалювання палив.

По экспертным оценкам в Украине насчитывается около 2000000 топливо сжигающих устройств (теплогенераторы, сушила, печи различного назначения, контактные водонагреватели, котлы и т.д.), которые потребляют около 80 млрд. м³ природного газа в год [1].

Особую группу энергогенерирующего оборудования составляет 240 ПТЭЦ общей мощностью 3000 МВт, в том числе: в химической промышленности 10 ПТЭЦ (10 МВт), металлургической – 22 ПТЭЦ (900 МВт), сахарной – 180 ПТЭЦ (1000 МВт). Большинство из них имеют низкий КПД, т.к. работают более 30 – 40 лет. Мощным потребителем природного газа являются промышленные и отопительные котельные (более 200000 котлов) причем их КПД (по общим тепловым балансам) составляет в среднем около 75 %. Подавляющее количество конструкций печей различного назначения морально устарели (большинство из них было спроектировано под твердое топливо), отличаются низкой маневренностью, низким значением КПД, высоким уровнем токсичности.

Такое положение характерно для всех типов огнетехнического оборудования (ОО) в различных отраслях национальной экономики. Как известно, основным элементом огнетехнического оборудования является горелочное устройство (ГУ), рабочий процесс которого определяет экономичность, надежность и экологическую безопасность объекта в целом. 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 различных фирм (включая “Simmens”, “Wayshaupt”, “Riello”, “Girsh”,...) 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.

Для формирования подходов к созданию технологии сжигания топлив необходимо прежде всего 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 ОО из «холодного» в «горячее» состояние, либо просушивания ОО);
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 (α) (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 (η_f) в топочном объеме ОО;
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 ОО, 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 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;
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.

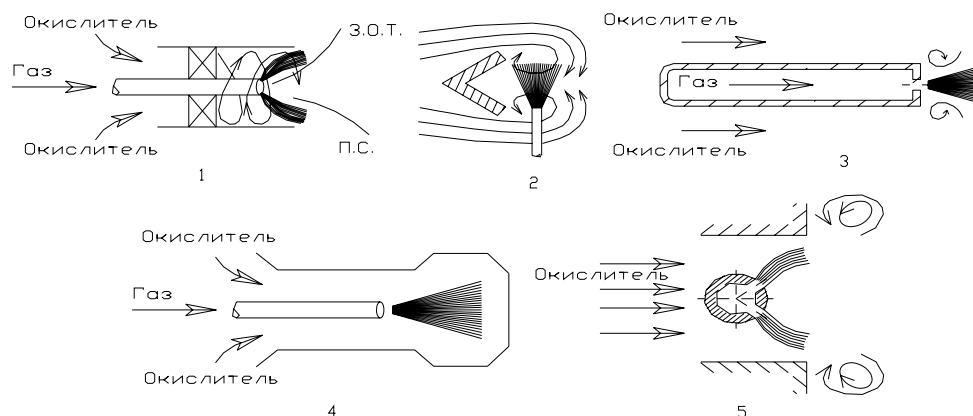


Рис. 1 Газодинамические схемы горелочных устройств

Необходимо также отметить, что спектр этих требований постоянно расширяется, а нормы (в частности экологические) ужесточаются. В настоящее время ни одно ГУ включая лучшие образцы зарубежных фирм не удовлетворяет этим требованиям в комплексе.

Многолетние исследования основных компонентов рабочего процесса ГУ (аэродинамика течения горючего, окислителя и продуктов сгорания; химическое реагирование горючего и окислителя; процессы теплопередачи) проведенные в лаборатории горения КПИ выявили определяющую роль аэродинамических процессов, что позволило классифицировать типы ГУ по нескольким газодинамическим схемам подачи горючего и окислителя (рис. 1) [2].

Анализ аэродинамической структуры ГУ с различными аэродинамическими схемами показал, что основными причинами их недостаточной эффективности при переменных режимах является [3, 4]:

- разрушение циркуляционных зон высоконагретых продуктов сгорания, обеспечивающих аэродинамическую стабилизацию горения;
- нарушение равномерности распределения горючего в потоке окислителя;
- выход концентрации топливной смеси в зонах обратных токов (ЗОТ) за пределы воспламенения;

Из этого следует, что 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 и т.д.) горючего, окислителя и продуктов сгорания в широком диапазоне скоростей с необходимым концентрационным полем топливной смеси.

Аналитические и экспериментальные исследования [3-5] показали, что ГУ регулирующее современную технологию сжигания топлива должно обеспечивать:

- рациональное первоначальное распределение горючего в потоке окислителя;
- высокий уровень интенсивности турбулентности в области смесеобразования топливной смеси;
- устойчивая управляемая аэродинамическая структура течения горючего, окислителя и продуктов сгорания с зонами обратных токов в области стабилизации факела;
- саморегулируемость состава топливной смеси в зоне обратных токов.

На рис. 2 представлены основные принципы создания эффективной технологии сжигания и способы их реализации.

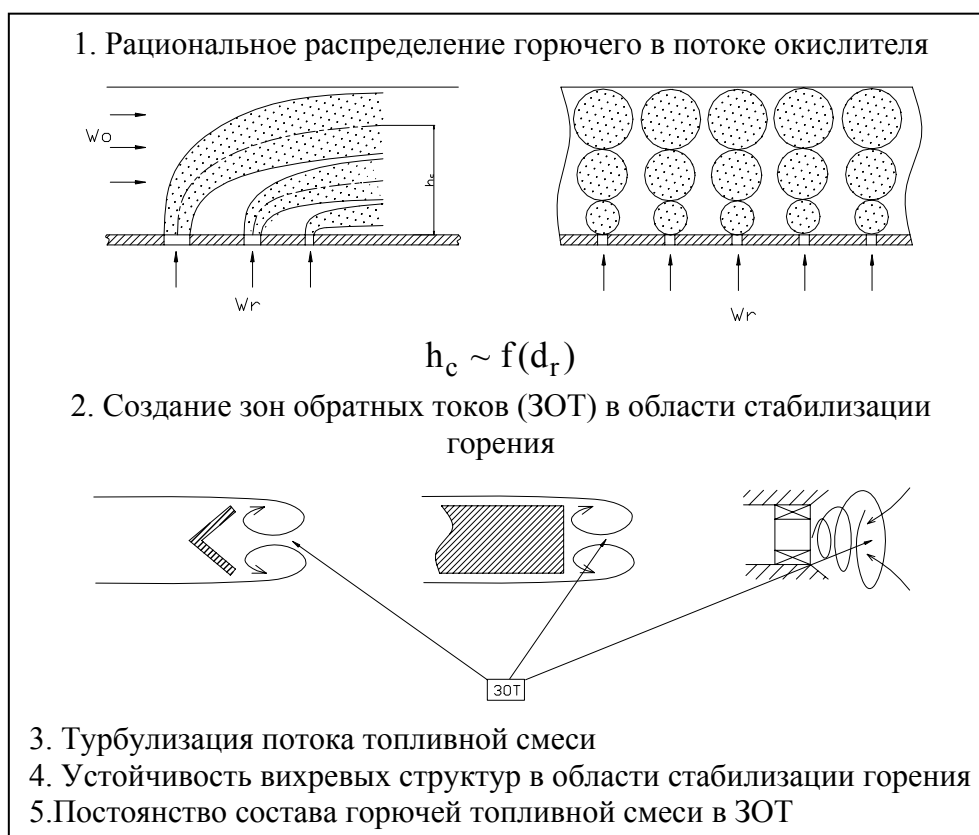


Рис. 2 Основные принципы создания технологий сжигания топлива

В настоящее время разработчики ГУ пытаются обеспечить рациональное распределение горючего в потоке окислителя, турбулизацию топливной смеси и создание зон обратных токов в области стабилизации факела [5], однако если им это удастся, то в очень узких диапазонах изменения режимных факторов и поэтому не обеспечивается вся полнота требований в совокупности предъявляемая к ОО.

Новая технология сжигания топлива основывается на газодинамической схеме предусматривающей поперечную подачу горючего сносимый поток окислителя перед вихреобразователем в виде ниш (струйно-нишевая система) (рис. 3) [3-5].

Режимные и геометрические параметры исследования такой газодинамической схемы менялись в следующих диапазонах

$$W_b = 5..120 \text{ м/с}; W_r = 0..300 \text{ м/с}; \bar{q} = 0..220; T_0 = 323..344 \text{ К}; P_0 = 1,1 \times 10^5 \text{ Па}; L = 20..75;$$

$$H = 10..50; L/H = 0,4..7,5; d_1 = 2; 2,5; 3; 4; \bar{S} = 2..8; l = 15..60$$

Особенностью нишевого вихреобразователя является генерирование высокочастотных пульсаций скорости, приводящих к интенсификации смесеобразования (рис. 4).

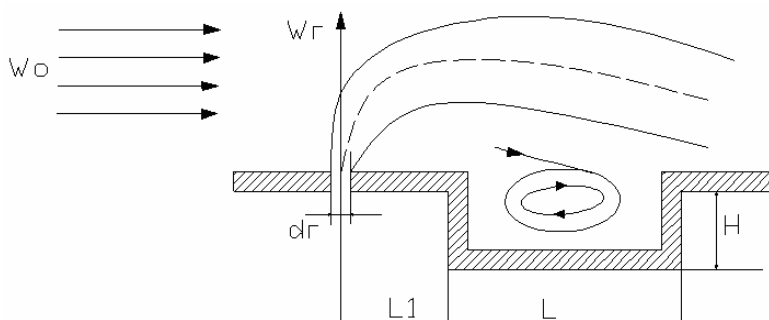


Рис. 3 Газодинамическая схема с подачей горючего однорядной системой струй перед нишевым вихреобразователем

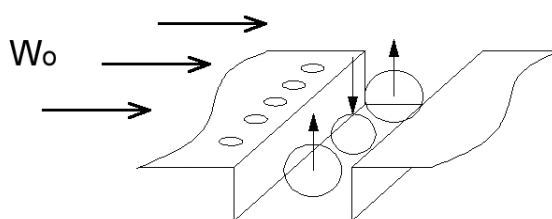


Рис. 4 Генерирование пульсаций скорости в нишевой полости

Струйно-нишевая система обладает устойчивой вихревой структурой с переменным объёмом устойчивой циркуляционной зоны и постоянным составом топливной смеси в области стабилизации факела. На рис. 5а видно образование устойчивой вихревой ЗОТ расположенной ниже границы нулевых скоростей $W_0 = 0$. При увеличении скорости истечения газа из отверстий размер ЗОТ прямопропорционально увеличивается, обеспечивая необходимую интенсивность смесеобразования и стабилизацию горения.

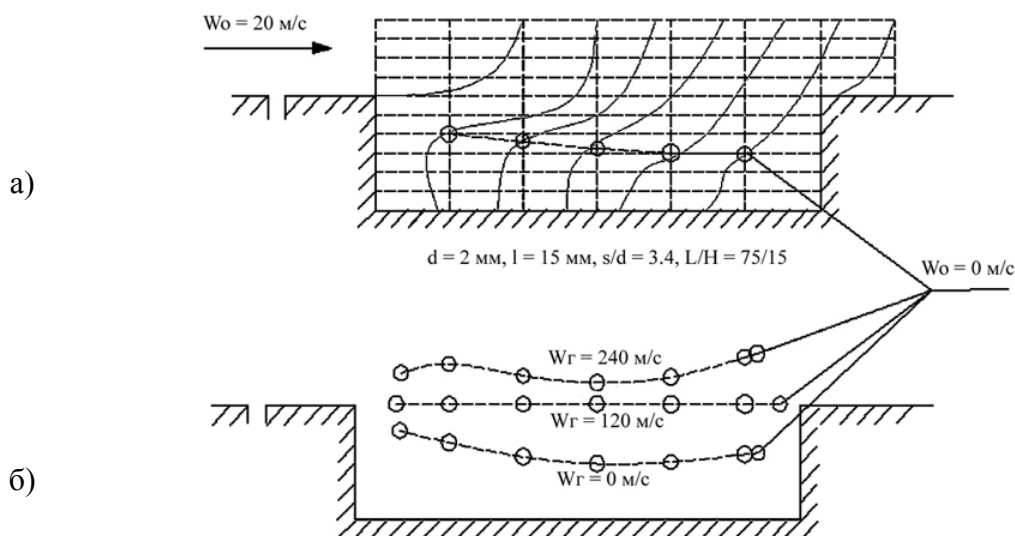


Рис. 5 Формирование циркуляционных зон струйно-нишевой системы

Путь реализации эффективной технологии сжигания – расположение струйно-нишевой системы на автономном пилоне-коллекторе (рис. 6) [4]. Такой горелочный модуль замыкает на себя все стадии рабочего процесса – распределение горючего в потоке окислителя, смесеобразования 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 [4]. Исследования рабочего процесса такого автономного модуля показали неоспоримые преимущества такой схемы – существенное сокращение длины факела за счет двустороннего подвода окислителя.

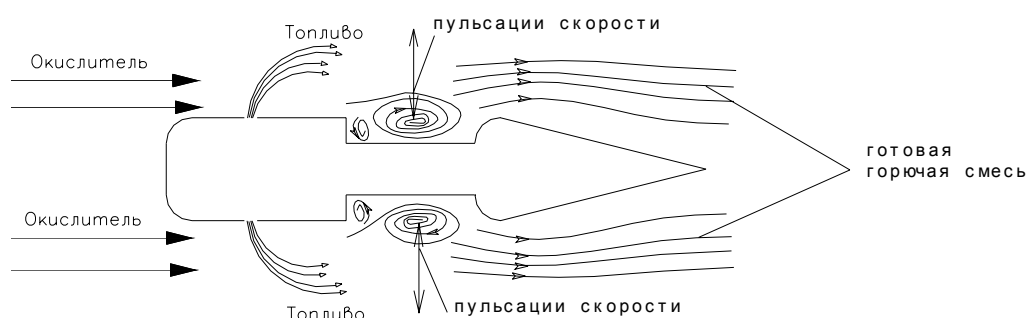


Рис. 6 Струйно-нишевый модуль

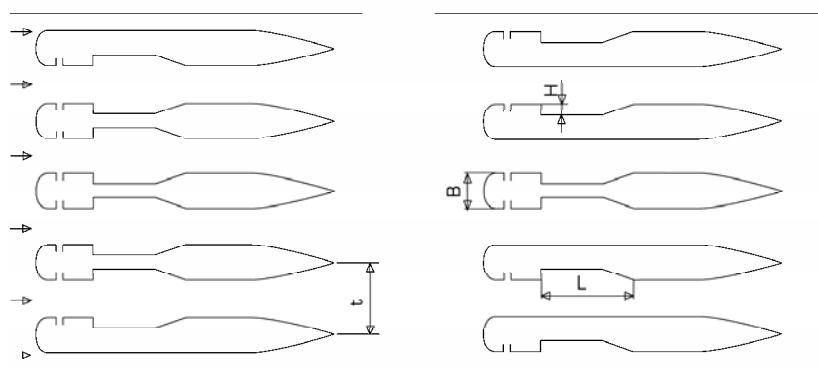


Рис. 7 Решетка из струйно-нишевых модулей

$$K_f = \frac{t}{B} = 0.15 \dots 0.5, \quad (1)$$

где K_f – коэффициент загромождения, $B = 10$ мм, $t = 80$ мм, $H = 5$ мм.

$$\bar{L} = \frac{L}{H} = 4. \quad (2)$$

Исследования различных модификаций решеток из струйно-нишевых пилонов (рис. 7) показали высокую интенсивность выгорания при минимально возможных

коэффициентах загромождения потока (рис. 8), что является предпосылкой к малому аэродинамическому сопротивлению таких систем и обосновывает возможность создания ГУ на их основе. Минимальный характерный размер пилонов, из условия равномерного распределения горючего по отверстиям, составляет $B = 10$ мм.

На рис. 8 и 9, представлены результаты исследование выгорания природного газа за пилоном и за решеткой. Видно, что длина факела за системой пилонов ($\eta_r = 95\%$) значительно короче чем за одиночным пилоном. Кроме того, появляется возможность существенно варьировать шаг между пилонами (t) и таким образом доводить коэффициент загромождения потока (k_f) до предельно низких значений 0,15 и ниже.

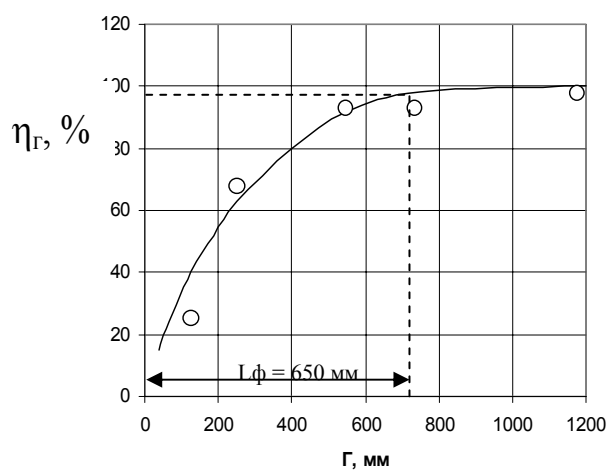


Рис. 8 Выгорание природного газа в струйно-нишевой системе

где L_ϕ – длина факела.

$$\eta_r = \text{CO}_2 / (\text{CO}_2 + \text{CO} + \text{CH}_4) \cdot 100\%, \quad (3)$$

$$\eta_r = 100 \left[1 - e^{-\left(\frac{\bar{L}}{278}\right)} \right], \quad (4)$$

$$\bar{L} = \frac{L}{H}. \quad (5)$$

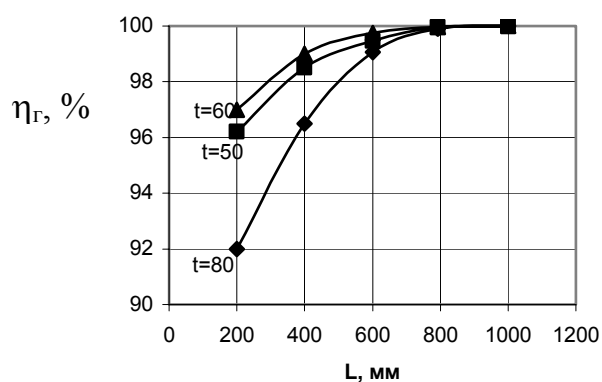


Рис. 9 Выгорание природного газа за решеткой из струйно-нишевых модулей
 t – шаг расположения модулей.

Совершенствование горелочного струйно-нишевого модуля с системами ниш и торцевой нишей, взаимосвязь режимных и конструктивных параметров влияющих на процесс горения отображены на рис. 10.

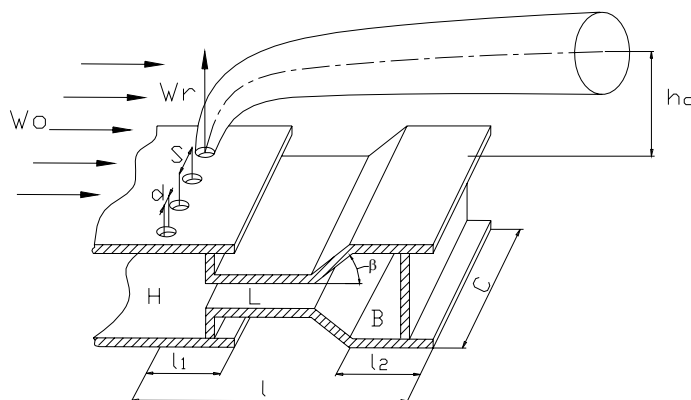
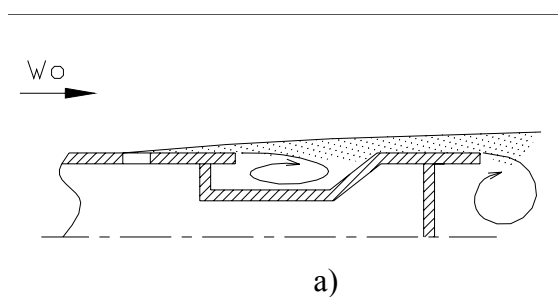


Рис. 10 Режимные и конструктивные характеристики при исследовании струйно-нишевого модуля

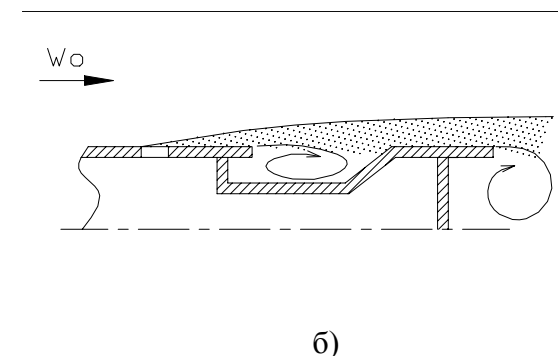
Взаимосвязь режимных (а) и конструктивных (б) параметров и их влияние на характеристики рабочего процесса модуля:

<p>а)</p> <ul style="list-style-type: none"> $l \rightarrow$ качество смесеобразования $l_1 \rightarrow$ качество смесеобразования $l_2 \rightarrow$ качество смесеобразования $H \rightarrow B$ $L \rightarrow l$ $L/H \rightarrow$ стабилизация горения $d \rightarrow G_r; P_r^{\min}$; воспламенение $B \rightarrow t_r; K_f$; стабилизация $C \rightarrow$ смесеобразован. $S \rightarrow G_r$ $d \rightarrow G_r$ $\bar{S} \rightarrow$ смесеобр.; стабилизац. $\beta^o \rightarrow P_r^{\min}$; воспламенение $K_f \rightarrow P_b^{\min}$; аэродинамическое сопротивление 	<p>б)</p> <ul style="list-style-type: none"> $W_b \rightarrow \alpha$ $W_r \rightarrow G_r$ $\bar{q} \rightarrow$ $h_c \rightarrow K_f$ $t_{zy} \rightarrow$ стабилизация горения $t_r \rightarrow \eta_r$ $t_b \rightarrow \eta_r$ $t_{cr} \rightarrow$ надежность $\alpha \rightarrow \eta_r$
---	---

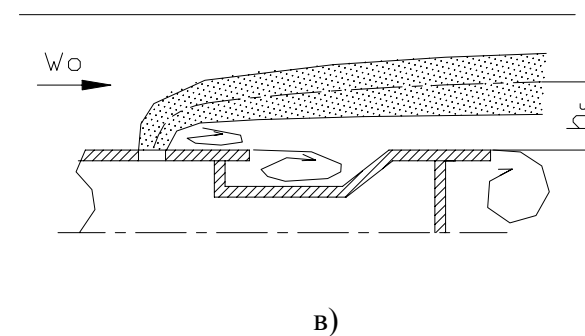
Экспериментальные и аналитические исследования данных взаимосвязей, а также аномальных явлений аэродинамики и смесеобразования в струйно-нишевой системе [4, 5] позволили создать физическую модель устойчивого горения в струйно-нишевом модуле (рис. 11), которая отражает взаимосвязь структуры течения и смесеобразования в вихревых зонах струйно-нишевого пилона. При сужении расхода газа ($G_r \rightarrow \bar{q}$) в широких пределах вихреобразование остается устойчивым и только при переходах через критические значения \bar{q} меняется их структура и объем. При этом концентрация топливной смеси в вихрях находится в пределах воспламенения.



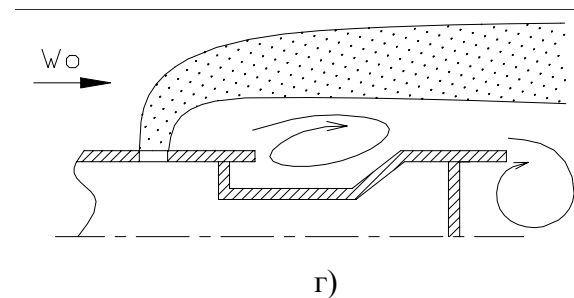
$$\begin{aligned} Gr &\rightarrow 0 \\ \bar{q} &\rightarrow 0 \\ \alpha_{30T} &\rightarrow \infty \\ \alpha_{\Sigma} &\rightarrow \infty \\ V_{30T} &\rightarrow \min \\ W_{об} &\rightarrow W_0 \end{aligned}$$



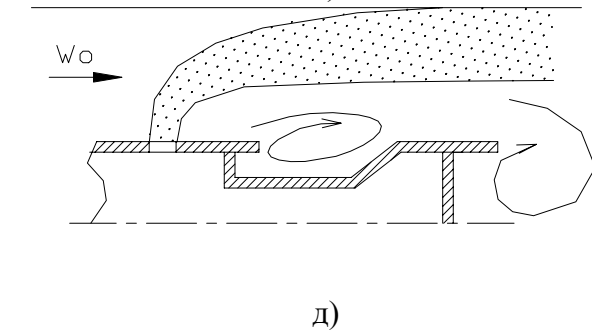
$$\begin{aligned} G_{\Gamma} &\rightarrow G_{\Gamma}^{\text{зажиг}} \\ 0 &< \bar{q} < q_{кр}^I \\ \infty &< \alpha_{30T} \approx 1 \\ &\alpha_{\Sigma} < \alpha_{НОМ} \\ W_{об} &\approx W_0 \\ W_{30T} &> W_{30T}^{\max} \end{aligned}$$



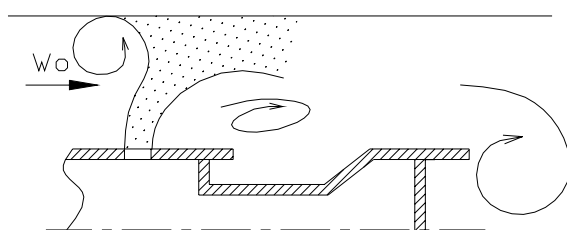
$$\begin{aligned} G_{\Gamma}^{\min} &< G_{\Gamma} < G_{\Gamma}^{\text{НОМ}} \\ \bar{q}_{\text{Iкк}} &< \bar{q} < q_{кр}^{\text{II}} \\ \alpha_{30T} &= 1 \\ \alpha_{\Sigma} &> \alpha_{НОМ} \\ W_{30T}^{\min} &< W_{30T} < W_{30T}^{\text{НОМ}} \\ W_{об} &> W_0 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} G_{\Gamma}^{\text{НОМ}} & \\ \bar{q}_{\text{НОМ}} & \\ \alpha_{30T} &= 1 \\ \alpha_{\Sigma} &= \alpha_{НОМ} \\ V_{30T}^{\text{НОМ}} & \\ W_{об} &> W_0 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} G_{\Gamma}^{\text{НОМ}} & \\ \bar{q}_{\text{НОМ}} & \\ \alpha_{30T} &= 1 \\ \alpha_{\Sigma} &= \alpha_{НОМ} \\ V_{30T}^{\text{НОМ}} & \\ W_{об} &> W_0 \end{aligned}$$



$$G_{\Gamma}^{\max}$$

$$\bar{q}_{\max}$$

$$\alpha_{кр} < \alpha_{зот} < 1$$

$$\alpha_{\Sigma} < \alpha_{ном}$$

$$W_{зот} < W_{зот}^{\max}$$

$$W_{об}^{\max}$$

е)

Рис. 11 Физическая модель устойчивого горения в струйно-нишевом модуле

где G_{Γ} – расход горючего через систему отверстий,
 $\bar{q} = \rho_{\Gamma} W_{\Gamma} / \rho_{\text{в}} W_{\text{в}}$ – гидродинамический параметр,
 $\alpha_{зот}$ – коэф. избытка воздуха в вихревых зонах,
 W_{Γ} ; $W_{\text{в}}$ – скорость горючего и оксида,
 $W_{об}$ – скорость оксида обтекающего струи газа.

Исследования горения природного газа показали, что факел за каждым пилоном имеет устойчивую аэродинамическую структуру (фото 12) и автономен по скорости, что позволяет набирать и формировать из них горелочные устройства любой мощности. Измерение удельных тепловыделений в таких факелах при $\alpha \rightarrow 1$ показали, что механизм горения в них приближается к кинетическому, но при этом обеспечивает широкие пределы регулирования.



Рис. 12 Фотография горения за системой из двух струйно-нишевых модулей

Зоны обратных токов, отвечающие за стабилизацию горения, в сотни раз по объёму меньше, чем в самых распространенных ГУ типа ГМГ. Они обладают высокой устойчивостью в широком диапазоне изменения скоростей горючего и окислителя вследствие постоянства оптимального состава топливной смеси в зоне обратных токов (рис. 13).

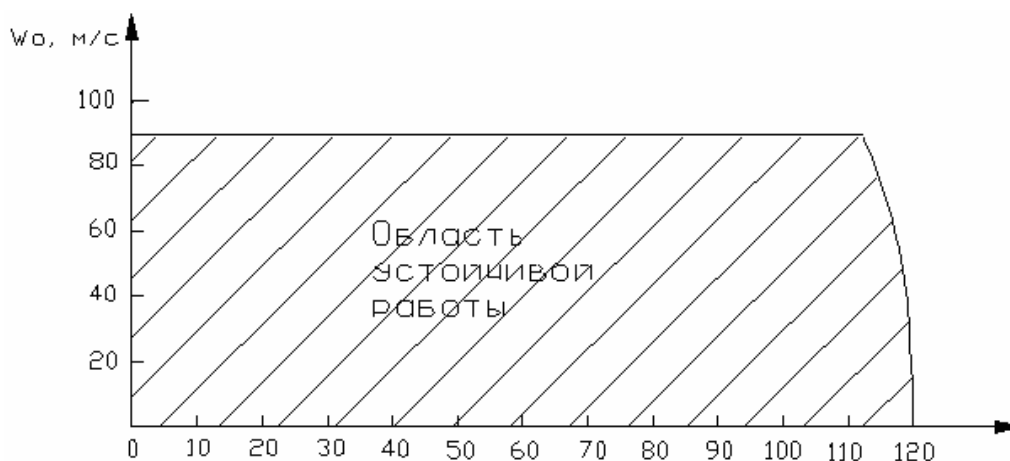


Рис. 13 Пределы устойчивого горения в струйно-нишевой системе $B=25\text{мм}$; $k_f=0,3$; $d=4\text{мм}$; $L=40\text{мм}$

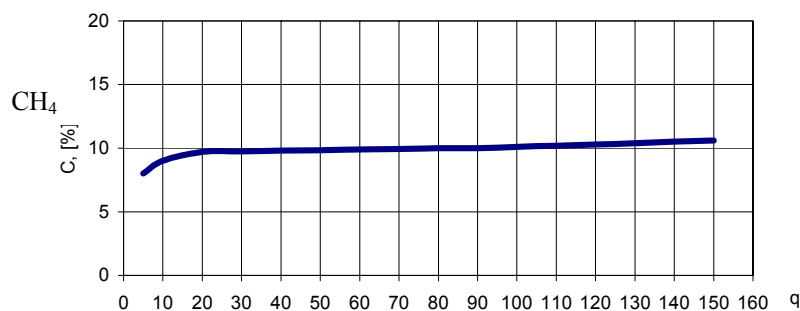


Рис. 14 Саморегулируемость состава топливной смеси в зоне обратных токов нишевого генератора вихрей

Такие свойства модуля позволяют компоновать из них ГУ практически для любого огнетехнического объекта. На рис. 15 показаны наиболее распространенные варианты ГУ СНГ с торцевой нишей 15а и системой ниш 15б. Причем на рис. 15б показан вариант ГУ со смешанными пилонами.



Рис. 15 Струйно-нишевые горелки (СНГ) различной модификации

Струйно-нишевая технология реализованная в ГУ СНГ испытана на котлах различного типа и производительности (НИИСТУ-5; Надточия; ТВГ; КВГ; КВГМ; ПТВМ; Е; ДЕ и др.). Некоторые результаты исследования аэродинамики, кинетики, химической эффективности в условиях промышленной эксплуатации приведены на рис. 16, 17, 18 и 19. Здесь обобщены результаты тщательных испытаний на различных типах котлов, которые наиболее характерны.

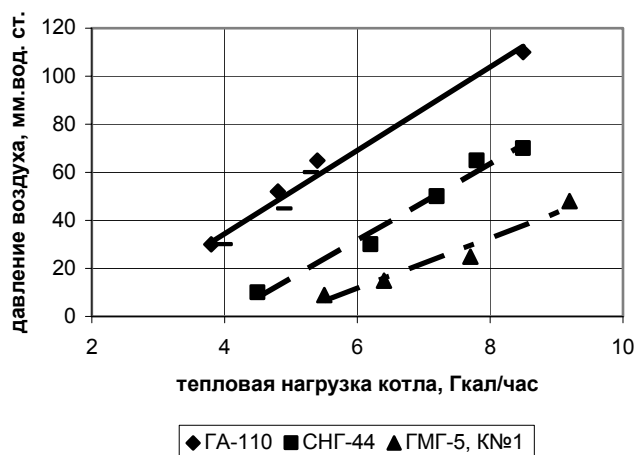


Рис. 16 Аэродинамическое сопротивление горелок

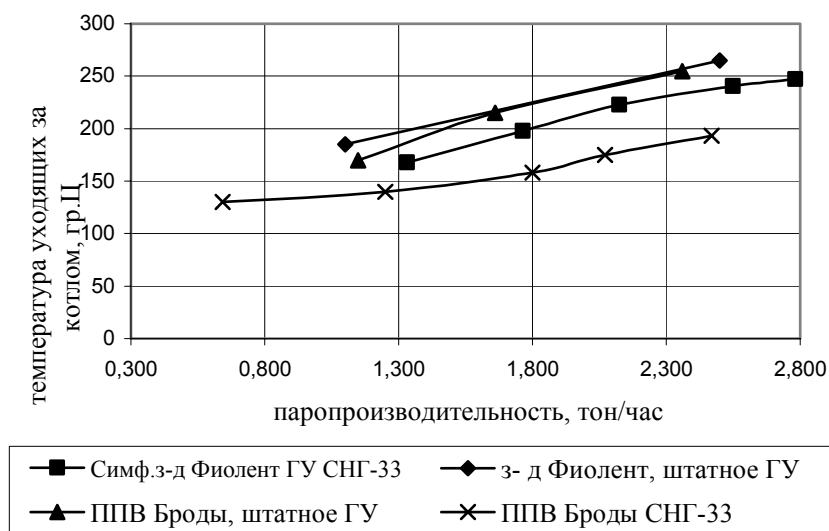


Рис. 17 Температура уходящих газов перед дымососом

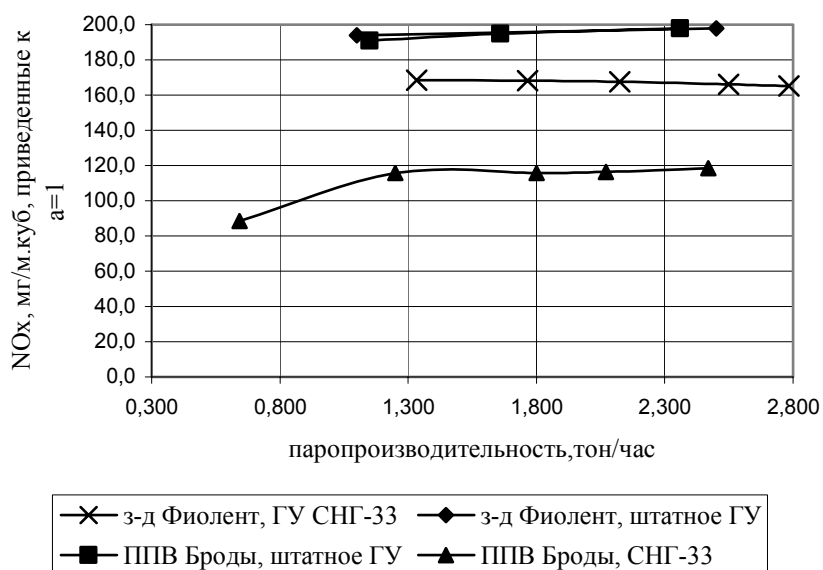


Рис. 18 Эмиссия оксидов азота

Полученные результаты подтверждают правильность выбранной концепции. По сравнению с наиболее распространенными ГУ типа ГМБ и ГА горелки СНГ обладают значительно меньшим сопротивлением по воздушному тракту (рис. 16) и существенно снижает эмиссию окислов азота (рис. 18) за счет улучшенного смесеобразования и предельного снижения избыточного воздуха. Также на всех котлоагрегатах достигнуты предельные значения КПД за счет снижения коэффициента избыточного воздуха, повышения температурного уровня в топочном пространстве, интенсификации радиационного теплообмена (т.о. снижения расхода и температуры уходящих продуктов сгорания). На рис. 19 видно, что по сравнению со штатным ГУ РГМ-20 горелки СНГ обеспечивают снижение удельных расходов газа более чем на 10 %.

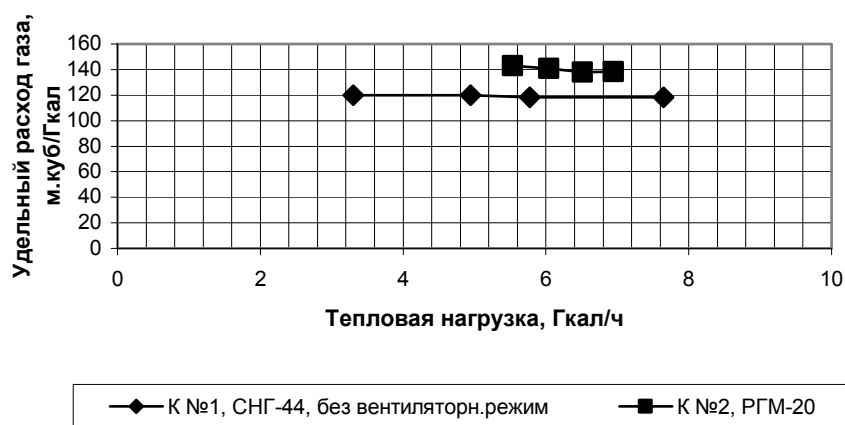


Рис. 19 Сравнительная характеристика работы горелок РГМ-20 и СНГ-44

Существенная экономия электрической энергии обеспечивается за счет снижения нагрузки на тягодутьевые средства (в 1,5-2 раза) из-за уменьшения гидравлического сопротивления и количества избыточного воздуха. Во многих случаях ОО работает с отключенными вентиляторами за счет только дымососа.

Многолетние и многочисленные исследования объектов модернизированных при помощи СНГ показали, что значительно улучшается режим эксплуатации за счет плавного и безопасного запуска (при нагрузках 5-10% номинальной мощности и ниже), а также высокой температурной равномерности в топочном пространстве. Это существенно увеличивает межремонтный период оборудования.

При помощи СНГ удалось решить много сопутствующих задач: устранены вибрационные явления на различных котлах за счет упорядочивания аэродинамики течения, обеспечилось устойчивое производство тепловой энергии (что дало ощутимый социальный эффект) и т.д. [6, 7]. Экономические расчеты показали, что СНГ является основой малозатратной модернизации даже ОО устаревшей конструкции со сроком окупаемости, за счет экономии газа до 1 года.

Выводы

- Проведен обзор существующих в мировой практике ГУ для сжигания газообразного топлива;
- Проведен анализ существующих огнетехнических объектов;
- Введено понятие газодинамической схемы подачи горючего и окислителя;
- Проведена систематизация существующих ГУ на основе газодинамических схем подачи горючего и окислителя.;
- Сформулированы современные требования к ГУ на основе анализа работы ОО (сушила, теплогенераторы, котлы и т.д.)
- Выявлена определяющая роль управляемой устойчивой аэродинамической структуры течения в обеспечении необходимых характеристик ГУ;
- Сформулированы принципы создания эффективной технологии сжигания и их влияние на обеспечение необходимых характеристик ГУ;
- Разработана струйно-нишевая газодинамическая схема и на ее основе струйно-нишевый модуль, реализующий данную технологию;
- Проведены лабораторные исследования струйно-нишевого модуля (конструктивных и режимных факторов) замыкающего на себе все стадии рабочего процесса ГУ, которые показали:
 - ~ широкие пределы устойчивой работы
 - ~ высокий уровень равномерности смесеобразования
 - ~ устойчивость аэродинамической структуры;
- Проведены исследования характеристик кинетического механизма горения и их сравнение с характеристиками горения в струйно-нишевой системе;
- Разработано ГУ на основе струйно-нишевого модуля;
- проведены широкомасштабные испытания СНГ в условиях промышленной эксплуатации на теплогенераторах, печах, КВН, котлах, которые показали, что ГУ СНГ обеспечивают:
 - ~ экономичность
 - ~ экологическую безопасность
 - ~ надежность запуска и эксплуатации
 - ~ простоту эксплуатации и ремонтпригодность

- ~ адаптацию к современным технологиям и автоматик управления и безопасности
- ~ решение сопутствующих важных задач:
 - ✓ устойчивая работа при снижении давления газа
 - ✓ устранение вибрационных явлений
 - ✓ социальный эффект;
- Подтверждена правильность концепции создания новой струйно-нишевой технологии сжигания топлива (СНТ);
- Новая СНТ сжигания на основе устойчивой управляемой аэродинамической структуре течения горючего, окислителя, продуктов сгорания и автомодельности процессов смесеобразования топливной смеси обеспечивает высокий уровень экономичности, экологической безопасности и надежности; значительно расширяет пределы эффективной работы ОО по мощности и условиям эксплуатации и может применяться на любых ОО на различных видах топлива и может быть основой малозатратной модернизации ОО со сроком окупаемости до 1 года.

Литература

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 смесеобразования и стабилизации пламени. Автореферат дис. — Киев, КПИ, 1986//Абдулин М.З.
4. Абдулін М.З. Ібрагім Джамал. //Дослідження пальникового пристрою з поперечною подачею струменів палива // Єкотехнології і ресурсосбереження. — 1997. — №2 — с.68-69.
5. 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.
6. Опыт внедрения горелочных устройств типа СНГ на основе струйно-нишевой технологии сжигания топлива. // Глухарев Ю.В., Дубовик В.С. /«Новости теплоснабжения», М. — 2003. — №11. — с.20-21.
7. 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., 2005