

М.З. Абдулин, канд. техн. наук, доцент; А.А. Серый  
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ГОРЕНИЯ В СТРУЙНО-НИШЕВОЙ СИСТЕМЕ ПРИ ОГРАНИЧЕНИИ ДАЛЬНОБОЙНОСТИ ТОПЛИВНЫХ СТРУЙ

*Работа посвящена исследованию устойчивости горения природного газа в струйно-нишевой системе (СНС) на основе которой эффективно работает струйно-нишевая технология сжигания газообразного топлива (СНТ). В статье описан экспериментальный стенд и дана методика проведения измерений и обработки экспериментальных данных. Приведены результаты исследования срывных характеристик факела в СНС в области «богатого» и «бедного» срыва пламени с использованием ограничителя дальнобойности топливных струй в широком диапазоне скоростей истечения топлива и окислителя. Установлено влияние высоты расположения ограничителя дальнобойности на характеристики процессов гидродинамики и смесеобразования в нишевой полости. Показано, что приближение ограничительной планки к устьям топливных струй сужает диапазон устойчивой работы системы за счет переобогащения топливом горючей смеси в зоне стабилизации пламени. Полученные результаты дают возможность расширить номенклатуру используемого газообразного топлива при сохранении существующей конструкции горелочных устройств струйно-нишевого типа.*

**Ключевые слова:** струйно-нишевая система, «бедный» срыв пламени, «богатый» срыв пламени, ограничитель дальнобойности топливных струй.

### Введение

В 2013 году потребление природного газа экономикой Украины составляло порядка 40 млрд м<sup>3</sup>/год, при этом 28% - нужды населения страны, 14% - предприятия теплокоммунальной энергетики; 1% - бюджетные организации; 40% - промышленные предприятия; 11% - производственно-технологические нужды; 6% - закачка в газовые хранилища. На собственную добычу из общего баланса приходится порядка 40% потребления, остальное – это импорт, в основном из России. Немаловажным остается факт ежегодного снижения потребления «голубого» топлива экономикой за счет частичного перехода на другие виды топлива [1] и реализации программы по энергосбережению.

Важной задачей в условиях современного топливного дефицита является возможность совершенствования существующих технологий сжигания топлива, с целью использования газов с широким диапазоном теплотворной способности (генераторный, доменный, сланцевый газы и т.д.)

Работа посвящена исследованию рабочего процесса струйно-нишевой системы (СНС), являющейся основой универсальной струйно-нишевой технологии (СНТ) сжигания газообразного топлива [2]. На сегодняшний день при помощи СНТ модернизированы сотни огнетехнических объектов, работающих на природном газе [3].

**Цель и задания.** Основной задачей работы является исследование характеристик СНС которая отличается от предыдущих конструкций наличием плоской металлической пластины, расположенной на некотором удалении от устьев топливных струй  $h$ , установленной параллельно потоку набегающего воздуха и в дальнейшем называемой «ограничителем дальнобойности топливных струй» (рис. 1). Экспериментально исследовать процессы гидрогазодинамики и смесеобразования, а также получить срывные характеристики факела в зависимости от конфигурации ограничителя дальнобойности. Также, одной из основных задач работы является получение срывных характеристик системы в зависимости от конфигурации ограничителя. Условия проведения эксперимента: топливо – природный газ ( $m_{CH_4}=98\%$ ); диапазон режимных параметров изучаемой системы был следующим: скорость воздуха  $W_v=5\div 60$  м/с, скорость газа  $W_g=1\div 200$  м/с, высота  $h=5\div 16$  мм.

Как известно, расчет горелочных устройств основывается на основе принятых методик, в том числе методике Иванова [4]. Важнейшим расчетным параметром в данном случае является значение дальнобойности газовой струи, представляющей собой относительное расстояние по нормали от устья струи до точки на оси струи, в которой значение осевой компоненты скорости не менее 5% от ее значения в устье.

Наиболее распространенная зависимость для дальнобойности имеет следующий вид:

$$h_c = k_c \cdot \sin \beta \cdot d \cdot \sqrt{q} \quad (1)$$

где:  $K_c$  - коэффициент, учитывающий шаг расположения отверстий,  $\beta$  - угол ввода струй топлива в воздушный поток,  $d$  - диаметр газоподающих отверстий,  $\bar{q}$  - гидродинамический параметр,

$$\bar{q} = \frac{\rho_{\Gamma} \cdot W_{\Gamma}^2}{\rho_{\text{В}} \cdot W_{\text{В}}^2} \quad (2)$$

где  $\rho_{\text{В}}, \rho_{\Gamma}$ , -плотность топлива и воздуха соответственно;  $W_{\text{В}}, W_{\Gamma}$ , - скорость топлива и газа. В работах Абдулина, Джамала детально исследовано развитие струй в условиях изотермического течения и химического реагирования [5, 6].

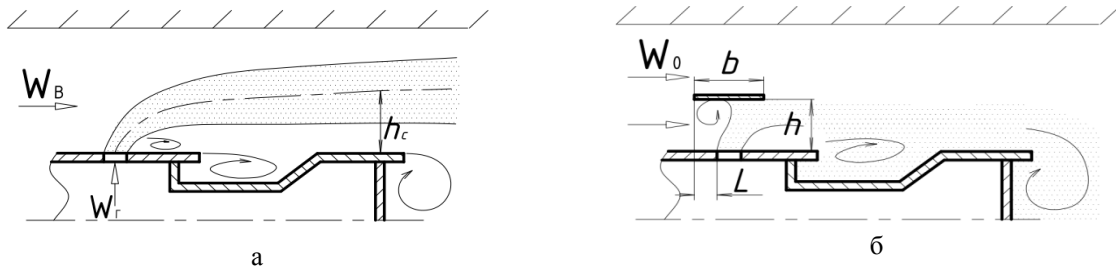


Рис.1 Физическая модель истечения топлива и окислителя в струйно-нишевой системе – а; струйно-нишевой системе, с ограничителем дальности топливных струй – б;  $h_c$  – дальность топливных струй;  $h, b, L$  – высота, ширина, ориентация расположения ограничителя,  $W_0$  – скорость воздуха,  $W_{\Gamma}$  – скорость газа.

**Методика проведения исследований.** На рис 2 представлена схема экспериментального стенда и измерительной аппаратуры для проведения огневых испытаний. Функционирует установка следующим образом. Воздух от вентилятора 1 подается к «успокоительному» участку 3, оборудованному сужающим устройством 4, позволяющим измерять расходы. Вентилятор в схеме оборудован частотным регулятором, позволяющим регулировать расходы воздуха без применения шиберной заслонки. После «успокоительного участка» воздух подводится к рабочему участку 7, футерованному огнеупорным материалом. Для обеспечения измерений в факеле, рабочий участок оборудован дифманометром для определения перепада давления в исследуемом модуле 6. Конструкция стенда позволяет производить быструю замену исследуемых струйно-нишевых модулей. Температура элементов измеряется термопарами 8. Температура воздуха измеряется термометром 2. Газовый тракт оборудован манометром и дифманометром для измерения давления газа перед диафрагмой и перепадом давления на диафрагме. Для поджигания смеси используется электрический запальник напряжением 27 В.

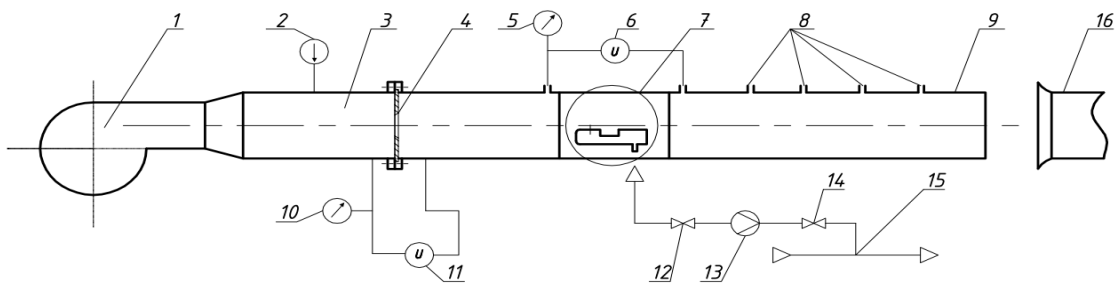


Рис. 2 Схема испытательного огневого стенда, где: 1 – вентилятор; 2 – термометр для измерения температуры воздуха; 3 – начальный участок; 4 – сужающее устройство; 5 – манометр измерения давления на входе в мерный участок; 6 – дифманометр измерения сопротивления испытуемых струйно-нишевых модулей; 7 – мерный участок, оборудованный доступом для зондов отбора проб газового анализа и измерительной аппаратуры а также свечой зажигания; 8 – штуцеры для отбора проб по длине факела; 9 – выхлопной участок; 10 – манометр измерения давления перед диафрагмой; 11 – дифманометр измерения перепада давления на диафрагме; 12 – регулирующий газовый вентиль; 13 – мерная диафрагма расхода газа; 14 – запорный вентиль; 15 – газовая магистраль лаборатории; 16 – патрубок отвода дымовых газов.

В ходе исследований проведены измерения осевых компонент скорости потока в нише и интенсивности турбулентных пульсаций при помощи анемометрической аппаратуры типа СТБ, которая

работает в режиме постоянной температуры. Оборудование состоит из трех блоков: термоанемометрического преобразователя СТБ-1, среднеквадратического вольтметра СТБ-2, цифрового вольтметра постоянного тока струму СТБ-3. Для настройки и работы использовался универсальный осциллограф С1-70. В качестве чувствительного элемента использовалась вольфрамовая нить диаметром 8 мкм и длиной  $1,5 \div 2$  мм [6].

Срывные характеристики характеризуют границы устойчивой работы ГУ и описываются зависимостью коэффициента избытка воздуха от скорости его истечения:  $\alpha^{\max} = f(W_B)$ ,  $\alpha^{\min} = f(W_B)$ . Режим воспламенения фиксировался при установившейся скорости воздушного потока и зажженной запальной свече. При этом, увеличивается расход газа до устойчивого воспламенения. При воспламенении смеси фиксировался расход топлива  $(V_G^u)^{\max}$ . Определение границы «бедного» срыва  $\alpha^{\max}$  определяется следующим образом: при установившейся скорости воздушного потока постепенно уменьшается расход топлива до момента срыва факела и фиксируется его значение  $V_G^{\min}$ . Определение характеристик «богатого» срыва определяется путем постепенного увеличения расхода газа. «Богатым» срывом принято считать факт возникновения пульсаций факела с отрывом его от системы или же полный срыв факела. При этом фиксируется достигнутый максимальный расход газа  $V_G^{\max}$ .

При принятом расходе воздуха характеристики зажигания факела, «бедный» и «богатый» срыв проверяются не менее пяти раз. Время продувки стенда после срыва факела – не менее 2 минут. Срывные характеристики строятся на режимах от минимально до максимально возможных скоростей воздуха, определяемых возможностями лабораторного стенда. Ниже приведен перечень зависимостей по которым рассчитываются коэффициенты избытка воздуха во время «бедного» и «богатого» срыва пламени  $\alpha^{\max}$  и  $\alpha^{\min}$  соответственно – и далее определяется зависимость этих коэффициентов от скорости воздуха в системе [7].

1. Во время обработки результатов испытаний под нормальными условиями следует понимать такие значения давления и температуры окружающей среды:  $P_B = 101325$  Па и  $t_B = 0$  °С.

2. Низшая теплота сгорания топлива  $Q_H^p$  кДж/м<sup>3</sup> определяется с помощью калориметра или в случае если известен состав топлива - по формуле:

$$Q_H^p = 126,4 \cdot CO + 107,9 \cdot H_2 + 358,8 \cdot CH_4 + 643,6 \cdot C_2H_6 + 931,8 \cdot C_3H_8 + 1227,8 \cdot C_4H_{10} + 1566,3 \cdot C_5H_{12} + 594,0 \cdot C_2H_4 + 876,1 \cdot C_3H_6 + 176,2 \cdot C_4H_8 + 1487,4 \cdot C_5H_{10} + 1556,7 \cdot C_6H_6 + 233,7 \cdot H_2S \quad (3)$$

3. Расход газа  $V_G$ , м<sup>3</sup>/с определяется по показаниям газового счетчика:

$$V_G = \frac{V_{сч}}{\tau_r} \quad (4)$$

где  $V_{сч}$  – общий расход газ, измеренный счетчиком за время проведения испытаний, м<sup>3</sup>;  $\tau_r$  – время измерений, с.

4. Расход газа приведенный  $V_G^H$ , м<sup>3</sup>/с к нормальным условиям определяется по формуле:

$$V_G^H = V_G \cdot \frac{273 \cdot (P_r^{сч} + P_0)}{101325 \cdot (273 + t_r^{сч})}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (5)$$

где  $P_r^{сч}$  – избыточное давление газа перед счетчиком, Па;  $t_r^{сч}$  – температура газа перед счетчиком, °С.

5. Расход воздуха через диафрагму  $V_B^d$  рассчитывается следующим образом:

$$V_B^d = K_d \sqrt{\frac{\Delta P_B^d}{\rho_B^d}} \quad (6)$$

где  $K_d$  – коэффициент, который учитывает геометрические характеристики диафрагмы и определяется по результатам проверки в соответствующих метрологических организациях;  $\Delta P_B^d$  – перепад давления воздуха на диафрагме, Па;  $\rho_B^d$  – плотность воздуха в реальных условиях, которая определяется по формуле:

$$\rho_B^d = \frac{(P_0 + P_B^d)}{(t_B^d + 273)R_B} \quad (7)$$

Где  $P_B^d$  – избыточное давление воздуха перед диафрагмой, Па;  $t_B^d$  – давление воздуха перед диафрагмой, °С;  $R_B$  – 281,53 Дж/(кг·К) – газовая постоянная воздуха.

6. Коэффициент избытка воздуха рассчитывается по формуле:

$$\alpha = \frac{V_B^H}{V_0 \cdot V_G^H} \quad (8)$$

где  $V_0$  стехиометрический объем воздуха во время горения газа,  $\text{м}^3/\text{м}^3$  рассчитывается следующим образом:

$$V_0 = \frac{1}{21} [0,5H_2 + 0,5CO + 2CH_4 + 3,5C_2H_6 + 5C_3H_8 + 6,5C_4H_{10} + 3C_2H_4 + 4,5C_3H_6 + 6C_4H_6 - O_2] \quad (9)$$

**Результаты исследований.** Для определения стабилизационных характеристик хорошо изученной струйно-нишевой системы с диаметрами газоподающих отверстий 2 мм, располагающихся с относительным шагом  $S=3$  и параметрами ниши  $H/L=15/75$  мм с ограничителем дальности топливных струй, был проведен ряд стендовых испытаний в лаборатории горения НТУУ «КПИ». Основные результаты представлены на рис. 3.

Испытания показали (рис. 3а) значительное сужение диапазона устойчивой работы системы с ограничителями в сравнении с системой без ограничителей. При этом сужение наблюдалось только лишь в области богатого срыва пламени, определяемого варьированием расстояния  $h$  ограничителя до устьев газовых струй.

На рис. 3 б приведены срывные характеристики системы (значения скорости воздуха от величины общего коэффициента избытка воздуха на границах «бедного» и «богатого» срыва пламени). Эта характеристика позволяет более качественно установить закономерности явления срыва в СНС. Относительно области богатого срыва пламени (кривые в левой части графика), то можно отметить следующее: присутствие ограничителя сужает предел, и это «сужение» все больше проявляется при уменьшении  $h$ , что коррелируется с данными на рис 3а. Срывные же характеристики в области бедного срыва (семейство кривых в правой части графика) определяется, очевидно, в большей степени флуктуациями потока в следе за планкой, изменяя при этом характеристики течения в нишевой полости (см. рис 4).

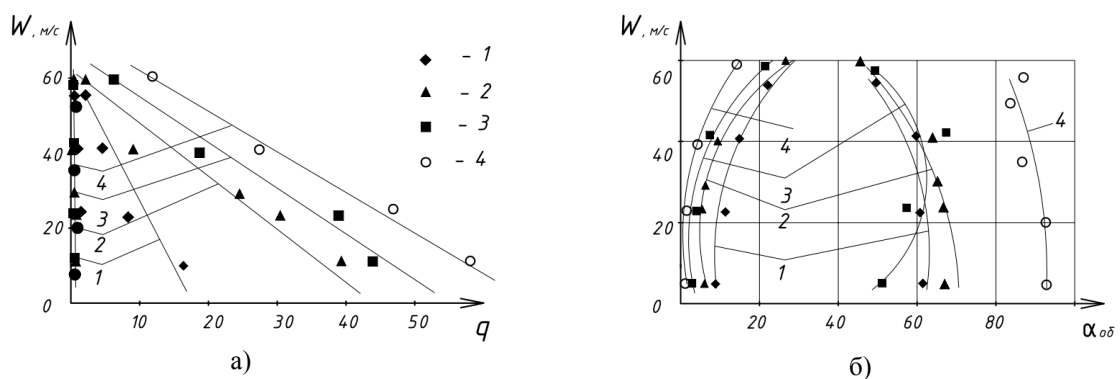
Тут на графике также приведены результаты для системы без ограничительной планки для характеристик богатого срыва, видно, что в данном случае и для исследуемого топлива система обладает наибольшими пределами устойчивой безсрывной работы.

Необходимо отметить, что при скоростях истечения воздуха до 30 м/с диапазон устойчивой работы значительно шире, нежели при скоростях 30-60 м/с.

Приведенные характеристики на рис. 3в в области бедного срыва пламени показывают, что наличие планки оказывает существенное влияние на автомоделность процессов смешения топлива и окислителя в струйно-нишевой системе. При высоте расположения ограничителя  $h=26$  мм и более, концентрации топлива в нишевой полости близки к стехиометрическим. В зоне богатого срыва наличие ограничителя приводит к переобогащению топливом горючей смеси по сравнению с ситуацией без ограничителя, при этом наиболее эта тенденция наблюдается в области низких скоростей воздуха, а при увеличении  $W_B$  до 60 м/с вышеуказанные различия минимизируются.

Следует обратить внимание на тот факт, что измеренные характеристики бедного срыва есть величиной усредненной, поскольку «богатый» срыв пламени наступает мгновенно, в то время как «бедным» срывом следует считать появление неустойчивого горения, пульсаций и хлопков пламени.

Эпюры осевой составляющей скорости при скорости воздуха 5 м/с в нишевой полости сходны, а в наднишевом пространстве отличаются лишь наличием минимума в следе за ограничительной планкой и выравниваются уже в сечениях до задней стенки ниши. В области отрыва потока со срывной кромки ниши наблюдается увеличение скорости потока, и в большей мере проявляется при уменьшении  $h$ . Также наличие ограничителя несколько увеличивает локальные скорости потока как за срывной кромкой так и в зоне обратных токов. Обращает на себя внимание тот факт, что в сечении задней стенки ниши скоростные характеристики для систем с планкой и без имеют лишь незначительные отличия связанные с влиянием пластины на течение в следе за ней.



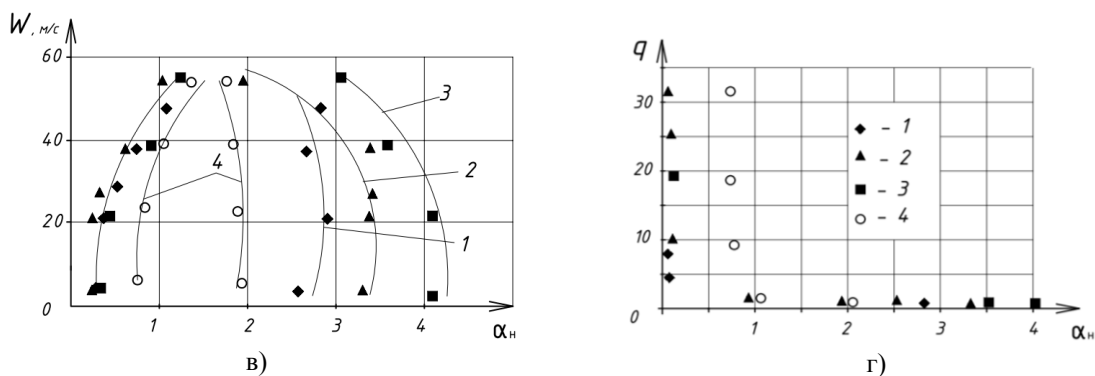
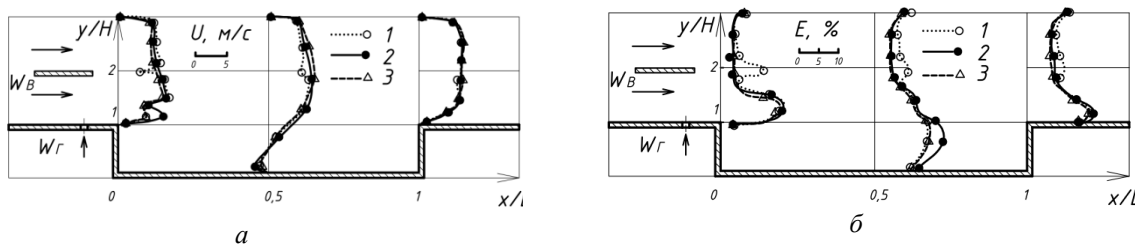


Рис. 3 Срывные характеристики струйно-нишевой системы при различной высоте расположения ограничителя дальности  $h$ , мм: 1 –  $h=5$ , 2 –  $h=9$ , 3 –  $h=16$ ; 4 –  $h=0$ ; ширина планки  $b$  соответственно: 8, 16, 20.



На рис. 4 даны результаты термоанемометрических измерений в струйно-нишевой системе при: скоростях истечения воздуха  $W_B$  5 м/с; высоты расположения ограничителя  $h$ : 1 – 16 мм; 2 – 5 мм; 3 – струйно-нишевая система без планки; и значении гидродинамического параметра  $q=12$ .

Что касается интенсивности турбулентности потока, то наличие ограничителя дальности несколько интенсифицирует уровни турбулентных пульсаций в зоне стабилизации пламени. Так, в рассматриваемых сечениях распределение интенсивности турбулентности характеризуется 2 максимумами, один из которых соответствует области в следе за планкой, а второй – отрывному пограничному слою со срывной кромки передней стенки ниши. В общем случае, наличие ограничителя интенсифицирует турбулентные пульсации, причем наибольшее влияние планки в этом плане проявляется при приближении ее к устьям газовых отверстий. Увеличение скорости воздуха, в свою очередь, несколько уменьшает разницу интенсивности турбулентности в рассмотренных сечениях в зоне стабилизации пламени в струйно-нишевой системе с ограничителем и без него.

На рис 5 показана схема расположения ограничителя дальности, как видно, его конфигурация определяется в основном значением гидродинамического параметра  $q$ . Для эффективного «отсекания» струй топлива от воздушного потока необходимо обеспечить перекрытие площадью пластины поперечного сечения газовых струй с учетом их раскрытия при выходе из отверстий в стенке определенной толщины и учетом воздействия сносящего потока воздуха. Рекомендуемое соотношение для ширины планки можно представить зависимостью:  $b = d + 0,8h$ . При этом ориентация ограничителя относительно газоподающих отверстий может быть представлена выражением:  $L/b = 0,85h^{-0,7}$ .

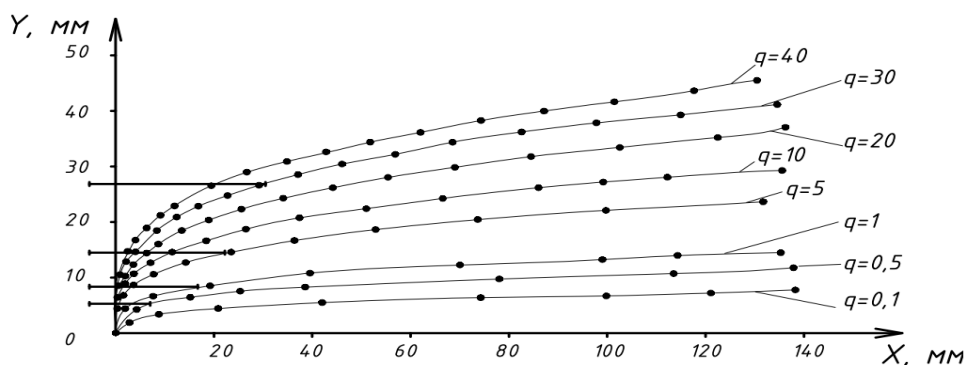


Рис. 5 Траектории развития «ограниченных» струй топлива в струйно-нишевой системе с диаметрами газоподающих отверстий 2 мм, располагающимся с относительным шагом  $S=3$ , и параметрами ниши  $H/L=15/75$  мм для различных значений гидродинамического параметра  $q$ .

При обработке экспериментальных данных получена обобщающая зависимость, позволяющая определить необходимую высоту расположения планки исходя из требуемых режимных и концентрационных параметров системы:

$$\frac{h_{nl}}{d} = 1,12 \cdot \alpha_n^{0,55} \cdot q^{0,36} \quad (10)$$

Таким образом, дальнобойность струй, ограниченных планкой, можно представить следующей зависимостью:

$$h_c = 2,31 h_{nl}^{0,16} \cdot q^{0,4} \quad (11)$$

Диапазон значений аргументов в приведенных зависимостях следующий:  $h_{nl}=5\div 26$  мм,  $q=0,1\div 40$ ;  $\alpha_n=0,1\div 3$ ;  $d=2\div 4$  мм,  $b=8\div 25$  мм.

#### **Выводы:**

1. Экспериментальным путем получены срывные характеристики в струйно-нишевой системе, отличающейся наличием плоской пластины-ограничителя дальнобойности топливных струй. Так, для природного газа диапазон устойчивой работы системы сужается одновременно со снижением высоты расположения ограничителя прежде всего за счет переобогащения топливом циркуляционной зоны в области стабилизации пламени при богатом срыве, а при бедном - сужение происходит в результате влияния пластины на структуру потока в области стабилизации.

2. Проведены измерения интенсивности турбулентных пульсаций, а также осевых составляющих скоростей потока в струйно-нишевой системе оборудованной ограничителем и в системе без ограничителя. Показано, что планка увеличивает скорости в области отрыва потока и в самой нише, а также в зоне отрицательных скоростей смеси тем самым значительно интенсифицируя уровни турбулентности в нишевой полости, кроме того, вносит некоторые возмущение в поток в следе за собой. Указанное влияние все больше возрастает при большем приближении ограничителя к устьям топливных струй.

3. Получены обобщающие зависимости для струйно-нишевой системы с ограничителем дальнобойности, позволяющие определить высоту расположения планки в зависимости от требуемых режимных характеристик системы.

4. Даны рекомендации по геометрии ограничителя (его ширины и ориентации относительно топливных отверстий) с целью наиболее эффективного его использования.

#### **Список литературы**

1. Еженедельный журнал «Терминал» <http://oilreview.kiev.ua/page/3/?s=>.
2. Абдулин, М.З. Применение струйно-нишевой технологии сжигания топлива в энергетических установках / М.З. Абдулин // Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. Вестник НТУ «ХПИ»: Сб. науч. трудов. – 2005. – № 6. – С. 130-144.
3. Абдулин, М.З. Технология сжигания – определяющий фактор эффективности огнетехнических объектов / М.З. Абдулин., Г.Р. Дворцин, А.М. Жученко // Научно-технический журнал «Новости теплоснабжения», М: 2008. - №4. - С. 31 - 34
4. Иванов, Ю.В. Основы расчета и проектирования газовых горелок. – М.: «Недра» Издательство, 1972. – 272 с.
5. Джамал Абдель Карим Ибрагим Особенности рабочего процесса модуля газогорелочного устройства с поперечной подачей струй газа: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.04.01 / Джамал Абдель Карим Ибрагим; КПИ – К., 1997. – 20 с.
6. Абдулин, М.З. Изотермические исследования модулей горелочных устройств на основе струйно-нишевых систем / М.З. Абдулин, А.А. Серый // Вісник національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». - Харків: НТУ «ХПИ», 2013. - №13.- С. 81 -88.
7. Спейшер В.А., Горбаненко А.Д. Повышение эффективности использования газа и мазута в энергетических установках. – М.: Энергоиздат, 1982. – 240с.
8. Варнатц Ю., Маас У., Диббл Р. Горение. Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ / Пер. с англ. Г.Л. Агафонова – под ред. П.А. Власова. – М.: Физматлит, 2003. – 352с.

**М.З. Абдулін**, канд. техн. наук, доцент; **О.А. Сірий**

#### **Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» ДОСЛІДЖЕННЯ СТАЛОСТІ ГОРІННЯ У СТРУМЕНЕВО-НИШОВІЙ СИСТЕМІ ПРИ ОБМЕЖЕННІ ДАЛЕКОБІЙНОСТІ ПАЛИВНИХ СТРУМЕНІВ**

*Робота присвячена дослідженню сталості горіння природного газу у струменево-нішевій системі (СНС) на основі якої ефективно працює струменево-нішева технологія спалювання газоподібного палива*

(СНТ). У статті описаний експериментальний стенд та дана методика проведення вимірювань і обробки експериментальних даних. Наведено результати дослідження зривних характеристик факелу в СНС в області «багатого» і «бідного» зриву полум'я з використанням обмежувача далькобійності паливних струменів в системі в широкому діапазоні швидкостей витікання палива та окислювача. Встановлено вплив висоти розташування обмежувача далькобійності на характеристики процесів гідродинаміки та сумішеутворення в нішевій порожнині. Показано, що наближення обмежувальної планки до газоподавальних отворів звужує діапазон сталої роботи системи за рахунок перезбагачення паливом горючої суміші в зоні стабілізації полум'я. Отримані результати дають можливість розширити номенклатуру газоподібного палива для використання в пальниках струменево-нішевого типу при збереженні їх існуючої конструкції.

**Ключові слова:** струменево-нішова система, «бідний» зрив полум'я, «багатий» зрив полум'я, обмежувач далькобійності паливних струменів.

M. Abdulin, A. Seryi

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

### STUDYING OF COMBUSTION STABILITY IN JET-NICHE SYSTEM WITH RANGE LIMITATION OF FUEL JETS

Work is devoted to the stability of the combustion of natural gas in the jet-niche system (SNS) which is the basis of effectively jet niche technology combustion of gaseous fuels (SNT). This paper describes an experimental stand and given method of measurement and analysis of experimental data. Shown the results of the studying stalling characteristics of the SNS in the "rich" and "poor" flameout regime with using range - limiter of fuel jets in a wide band of rates of flow of fuel and oxidant. The influence of the height of the range-limiter on the characteristics of fluid flow and mixing processes in the niche cavity. It is shown that the decreasing distance between the range-limiter and fuel holes narrows the range of stable operation of the system due to overfueling of combustible mixture in the flame stabilization zone. Obtained results make it possible to expand the range of gaseous fuel used while maintaining existing structure of burners jet niche type.

**Key words:** jet-niche system, «poor» flameout, «rich» flameout, range -limiter of fuel jets

1. Ezhenedelnyiy zhurnal «Terminal» <http://oilreview.kiev.ua/page/3/?s=>
2. Abdulin, M.Z. Primenenie struyno-nishevoy tehnologii szhiganiya topliva v energeticheskikh ustanovkakh / M.Z. Abdulin // Energeticheskie i teplotnicheskie protsessy i oborudovanie. Vestnik NTU «HPI»: Sb. nauch. trudov. – 2005. – # 6. – S. 130-144.
3. Abdulin, M.Z. Tehnologiya szhiganiya – opredelyayuschiy faktor effektivnosti ognetechnicheskikh ob'ektov / M.Z. Abdulin., G.R. Dvortsin, A.M. Zhuchenko // Nauchno-tehnicheskii zhurnal «Novosti teplosnabzheniya», M.: 2008. #4. S. 31-34
4. Ivanov, Yu.V. Osnovy rascheta i proektirovaniya gazovykh gorelok. – M.: «Nedra» Izdatelstvo, 1972. – 272 s.
5. Dzhamal Abdel Karim Ibragim Osobnosti rabochego protsessa modulya gazogorelochnogo ustroystva s poperechnoy podachei struy gaza: avtoref. dis. kand. tehn. nauk: 05.04.01 / Dzhamal Abdel Karim Ibragim; KPI – K., 1997. – 20 s.
6. Abdulin, M.Z. Izotermicheskie issledovaniya moduley gorelochnykh ustroystv na osnove struyno-nishevyykh sistem / M.Z. Abdulin, A.A. Seryiy // Visnik natsionalnogo tekhichnogo universitetu «Harkivskiy politehichnyi institut». Harkiv: NTU «HPI», 2013. - #13. S. 81-88.
7. Speysheer V.A., Gorbatenko A.D. Povyshenie effektivnosti ispolzovaniya gaza i mazuta v energeticheskikh ustanovkakh. – M.: Energoizdat, 1982. – 240s.
8. Varnatts Yu., Maas U., Dibbl R. Gorenie. Fizicheskie i himicheskie aspekty, modelirovanie, eksperimenty, obrazovanie zagryaznyayuschikh veshchestv / Per. s angl. G.L. Agafonova – pod red. P.A. Vlasova. – M.: Fizmatlit, 2003. – 352s.

Надійшла 15.09.2014

Received 15.09.2014