

УДК 620.9

DOI 10.52167/1609-1817-2022-123-4-264-273

А.М. Достияров, Д.Р.Умышев, Ж.С.Дуйсенбек, А.К.Яманбекова

Алматинский университет энергетики и связи имени Г.Даукеева, Алматы, Казахстан  
E-mail: aiau\_talgar@mail.ru

## ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВЫБОРУ ЭФФЕКТИВНОГО ТРЕУГОЛЬНОГО СТАБИЛИЗАТОРА ДЛЯ ФАКЕЛЬНОЙ ГОРЕЛКИ

**Аннотация.** В статье представлены результаты экспериментальных исследований проводимые на новой конструкции горелочного устройства с треугольными стабилизаторами при различных вариантах подачи топлива. При выполнении исследования расход воздуха был постоянным, а скорость воздуха и расход топлива были переменными. Эксперименты проводились при различных вариантах расположения отверстия для подачи топлива. В результате представлены графики зависимости оксидов азота, температуры уходящих газов. Как показали эксперименты, треугольники с равномерной подачей топлива вдоль высоты являются наиболее эффективными с точки зрения образования оксидов азота. К примеру, наличие 16 отверстий при всех прочих равных условиях позволяют сократить образование оксидов азота на 29 %, что говорит о высокой эффективности перемешивания топлива с воздухом, что сокращает время нахождения газов в зоне высоких температур, а также локальные зоны высоких температур.

Научная новизна проводимых исследований заключается в исследовании новых микрофакельных горелок, которые могут применяться в нефтегазовой и металлургической областях. В отличие от предыдущих разработок, новые типы горелок отличаются тем, что топливо не попадает в рециркуляционную зону, а догорает в хвостовой части уголков, а также тем, что топливо подается в рециркуляционную зону, не перемешиваясь с воздухом.

**Ключевые слова.** Топливо-воздушная смесь, микрофакельное сжигание, оксиды азота, треугольный стабилизатор, стабилизации пламени.

### Введение.

Вопросами сжигания топлива за плохообтекаемыми телами посвящено достаточно много работ. Изучение характеристик при приближении к бедным границам срыва пламени при использовании треугольных стабилизаторов [1] показал, что срыв пламени начинается в сдвиговом слое (shear layer). При стабильном горении существует две зоны разделенные сдвиговым слоем, при приближении к срыву зоны смазываются и сокращается объем горения, что постепенно приводит к тому, что свежая топливо-воздушная смесь не загорается. Изучение микропламен со стабилизаторами в камере сгорания [2] показали, что удлинение пламени и зона рециркуляции играют важную роль в стабилизации пламени. Предварительный подогрев предварительно перемешанной топливо-воздушной смеси играет значительную роль в стабилизации пламени. В работе [3] изучались процессы турбулентного горения за плохообтекаемым телом, было сделано предположение, что при турбулентном горении состав продуктов сгорания расходится с широко распространенной теорией, о влиянии диффузии. Известны работы по изучению неустойчивости Кельвина-Гельмгольца [2,4]. Изучение влияния добавления кислорода в топливо-воздушную смесь в камере сгорания с плохообтекаемыми телами, так называемая MILD технология, [5] показало, снижение

образование оксидов азота, которое возможно связано с изменением структуры пламени, в случае традиционного горения пламя находится непосредственно за плохообтекаемым телом, в случае добавления кислорода основной участок горения находится несколько ниже. В статье [6] изучалось влияние стратификации пламени в горелочном устройстве с плохообтекаемым телом. Эксперименты показали, что угловая стратификация пламени приводит к повышению полноты сгорания топлива на 42%. Изучение процесса горения при применении нишевых плохообтекаемых стабилизаторов при сжигании керосина [7] показало, что на процесс стабилизации в значительной степени влияет время нахождения газов и размеры плохообтекаемых тел. Причем можно добавить, что время пребывания газов в значительной мере зависит от рециркуляционной зоны образующейся за плохообтекаемыми телами, а размеры рециркуляционной зоны напрямую зависят от двух важных параметров – размеров и скорости набегающей топливо-воздушной смеси [8]. Широко известны работы за авторством Бикрама и др. [9-10] в которых изучались процессы горения за плохообтекаемыми телами, в частности изучалось влияние турбулентности на структуру пламени и бедных срывов. Причем результаты работ [10] и [2] имеют одинаковую теорию бедного срыва, когда бедный срыв появляется во сдвиговом слое. Проведенные замеры горения неперемешанного топлива при использовании плохообтекаемого тела, на расстоянии 0,5D, 1,0D и 1,5D показали, что на стабилизацию пламени в значительной степени влияет диаметр плохообтекаемого тела [11]. Данный факт подтверждается многочисленными исследованиями [12-14]. Изучение использования водорода в камере сгорания с плохообтекаемым телом показало [15], что сдвиг плохообтекаемого тела в целях увеличения скорости воздуха приводит к снижению образования оксидов азота. Также стоит отметить, что при этом происходит повышение недожога топлива и снижение пределов стабилизации пламени. Это вызвано тем, что происходит снижение температуры в зоне горения из-за повышения скорости. Также приводит к уносу топлива в хвостовую часть, отчего свежая топливо-воздушная смесь не успевает загореться. Это обстоятельство хорошо согласуется с теорией стабилизации [16].

Важным вопросом при горении топлива является турбулентность. При отсутствии искусственных турбулизаторов пламя имеет большую длину за счет того, что свежая топливо-воздушная смесь недогорает в турбулентном фронте пламени. С другой стороны турбулентный фронт создает турбулентные пульсации, которые выносят некоторые участки фронта пламени вперед, в сторону невоспламененной смеси. Сумма отдельных пульсаций по разному искривляет поверхность турбулентного фронта пламени, увеличивая площадь и количество вещества вступающую в реакцию в единицу времени. Повышение скорости с одной стороны увеличивает турбулентность, однако в таком случае повышается унос топливо-воздушной смеси [15]. Для снижения этого эффекта оптимальным является применение плохообтекаемых тел, которые являются «якорями», позволяющими более эффективно сжигать топливо, причем увеличение размеров тел приводит к раскрытию пламени [16]. Однако следует учесть, что стабилизация пламени мало зависит от масштаба турбулентности, а значит и от частоты турбулентных пульсаций.

Значительное количество работ подтверждает теорию о том, что стабилизация пламени, выбросы вредных веществ зависит от размеров плохообтекаемых тел [17-23]. Проведенные эксперименты по влиянию турбулентности на предварительно перемешанные топливо-воздушные смеси метана, этилена показали, что увеличение турбулентности приводит к появлению отдельных очагов угасания пламени вдоль зоны вокруг ядра пламени [24], что показывает значительное влияние турбулентности на процесс стабилизации пламени.

Другим известным направлением применения плохообтекаемых тел является микроэлектроника [25]. Широко плохообтекаемые тела используются в возобновляемых источниках энергии, в частности для получения кинетической энергии в ветровых турбинах [26-28].

### Материалы и методы.

На рисунке 1 приведена принципиальная схема экспериментальной установки с треугольными стабилизаторами. Установка состоит из систем подачи топлива и воздуха, а также зоны горения. В зоне горения установлены плохообтекаемые тела в виде треугольников. В свою очередь в систему подачи топлива входит газовый баллон с чистым пропаном, кран тонкой регулировки расхода, газовый расходомер, а также для измерения давления в трубопроводе используются манометры. Атмосферный вентилятор, в котором максимальный расход воздуха составляет  $1700 \text{ м}^3/\text{ч}$  и стабилизационные трубки с длиной 400 мм и диаметром 16 мм составляют систему подачи воздуха. Общий вид треугольных стабилизаторов представлен на рисунке 2.

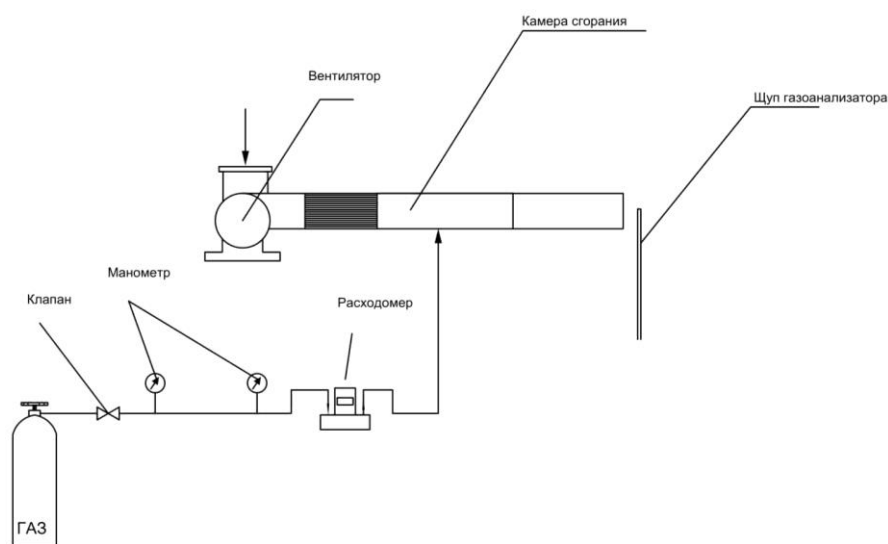


Рисунок 1 – Принципиальная схема экспериментальной установки с треугольными стабилизаторами

Высота и ширина треугольных стабилизаторов составляет 60 и 30 мм соответственно, а расстояние между соплами 1,5-7 мм. В экспериментальных исследованиях использовались 2 варианта треугольных стабилизаторов. В первом случае подача топлива осуществлялась через 8 отверстий, которые установлены в центральной части. Во втором варианте отверстия расположены в 2 ряда (рисунок 2).

Экспериментальные исследования проводились с целью определения влияния расположения сопел на стабилизационные характеристики, полноту сгорания топлива, а также на концентрацию оксидов азота содержащихся в уходящих газах. Серия экспериментов проводились при изменении скорости воздуха с шагом 4 м/с в диапазоне от 4 до 12 м/с, при этом расход воздуха был постоянным и контролировался анемометром. Также стоит отметить, что температура, давление и влажность в помещении влияли на корректировку расхода воздуха. Измерение температуры проводилось с помощью термопары хромель-алюмель и газоанализатором Testo 350-XL, который использовался также для измерения концентрации оксидов азота.

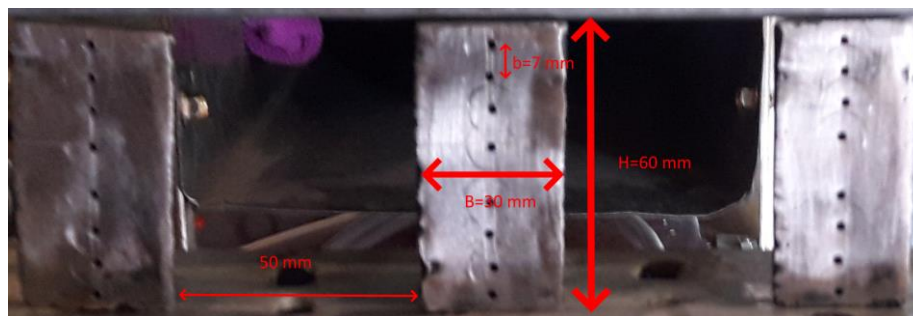


Рисунок 2 – Общий вид треугольных стабилизаторов

Определения «бедного» срыва производился по следующей последовательности: задавался определенный скоростной режим, далее идет снижение расхода топлива до визуального гашения пламени и замерялся расход топлива. В рассматриваемых режимах расход топлива был равен 1,5 кг/ч (0,004 кг/с). Число Рейнольдса принимался в зависимости от скорости воздуха в диапазоне 21868÷87475. Коэффициент избытка топлива определялся по формуле:

$$\varphi = \frac{\left(\frac{F}{A}\right)}{\left(\frac{F}{A}\right)_{st}}$$

где,  $\left(\frac{F}{A}\right)$  – фактическое отношение топливо/воздух;

$\left(\frac{F}{A}\right)_{st}$  – стехиометрическое отношение топливо/воздух.

Для измерения длины факела использовался лазерный длинномер. Замеры производились следующим образом: фронтальная плоскость треугольника был началом точки отчета, а конечной точкой визуальный конец пламени.

Отличительная особенность экспериментальных исследований заключается в подаче топлива диффузионным способом. Известно, что в нефтеперерабатывающей отрасли Казахстана сжигаются тяжелые фракции попутных газов, а также отсутствует возможность предварительного смешения и подогрева. И предлагаемый треугольный стабилизатор разрабатывались для использования в факельных установках в данной отрасли.

### Результаты и обсуждение.

#### *Бедный срыв.*

При различных подачах топлива зависимость «бедного» срыва пламени от скорости воздуха представлены на рисунке 3. В анализе в целях сравнения использовались результаты исследования уголковых стабилизаторов [28]. Для анализа было принято, что начало границ рециркуляционных зон соответствуют зоне, в которой продольные скорости меньше или равны 0 и отрицательное значение имеют во внутренней зоне. Для любых видов стабилизации в виде плохообтекаемых, закрученных или хорошообтекаемых тел на стабилизацию в большей степени влияет рециркуляционная зона, это связано с тем, что выгорание большей части топливно-воздушной смеси происходит в этой зоне.

Из анализа видно, что при подаче топлива через 16 отверстий получаем наилучшие показатели стабилизации, связанное с диффузионной подачей топлива непосредственно в рециркуляционную зону. В свою очередь это позволяет топливе активно участвовать в теплопередаче, она подогревается и сгорает с воздухом, которая поступает в эту область. Также в рециркуляционную зону непрерывно подается новая порция топлива, поддерживающая высокую стабилизацию пламени.

Как видно из рисунка 3 при использовании 8 сопел пределы стабилизации снижаются. Это обуславливается тем, что на кромках треугольников образуется пространство между рециркуляционными зонами куда истекают топливо с более высокой скоростью. При определенных скоростях часть топлива захватывается в рециркуляционной зоне обеспечивая стабилизацию горения, но пламя быстро угасает в связи с снижением концентрации топлива. Проведенные эксперименты показывают, что использование 8 сопел позволяет ближе к выходной области имеет более высокую температуру.

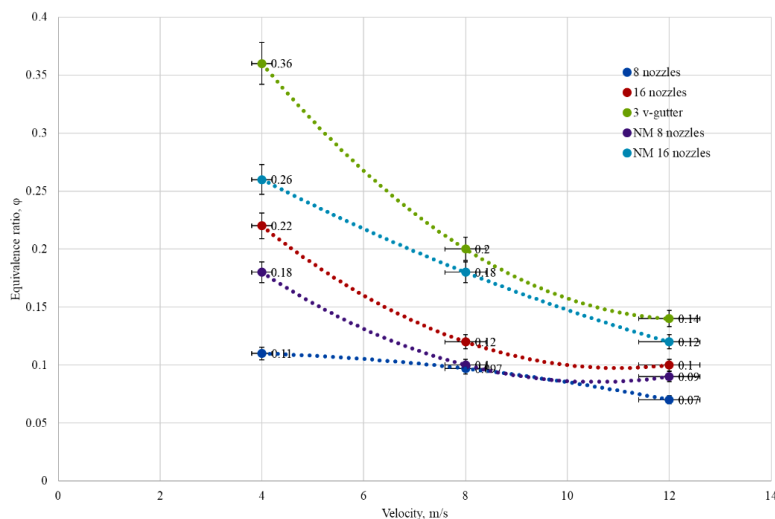


Рисунок 3 – Влияние скорости воздуха на обдув «бедной» смеси при различных способах подачи топлива

#### Образование оксида азота.

Зависимости образования концентрации оксидов азота от коэффициента избытка воздуха представлены на рисунке 4. Непосредственное влияние на образование оксидов азота оказывает время нахождения газов в зоне горения, температура в этой зоне и эффективность перемешивания топлива и воздуха. Проведенные анализы показывают, что для увеличения времени нахождения газов в зоне горения, необходимого для соединения молекул кислорода с молекулами азота необходима зона рециркуляции. Но в равновесной реакции образования оксидов азота повышение в зоне горения температуры приводит к повышению константы равновесия [29]. В зоне рециркуляции увеличение концентрации топлива приводит к повышению температуры.

Из-за отсутствия внутреннего пространства треугольные стабилизаторы, по сравнению с уголковыми, не имеют развитой рециркуляционной зоны, поэтому догорание части топлива происходит в «хвостовом» участке пламени. Из графиков видно, что значительное влияние оказывает время нахождения газов в рециркуляционной зоне.

Из сравнения видно, что разница в концентрациях оксидов азота не более 2 ppm, но значения температур различны. Наименьшую концентрацию азота можно получить при использовании 16 сопел, связанным с более эффективным смешиванием топлива. Повышения значения констант реакции образования оксидов азота происходит при повышении температуры. Дожигание газов в результате, проскакивающих зону рециркуляции, не имеют значительного влияния, но повышает концентрацию на 2-3 ppm.

Ввиду того, что горение – это вторичный источник турбулентности, а также турбулентность, которая генерируется за треугольными стабилизаторами имеет

одинаковый характер, следует, что эффективность перемешивания топлива и воздуха является единственным фактором, который влияет на стабилизацию пламени и образование оксидов азота. Следует учесть факт того, что влияние высокого перемешивания неоднозначно. При повышении эффективности горения образуется углекислый газ, а недожог приводит к повышению образования оксидов азота. Снижение концентрации оксидов азота достигается распределением пламени по сечению, за счет снижения времени пребывания газов в зоне высоких температур связанного с наличием малых зон горения.

Вышеприведенные факты поясняют более низкие концентрации оксидов азота при использовании 16 сопел.

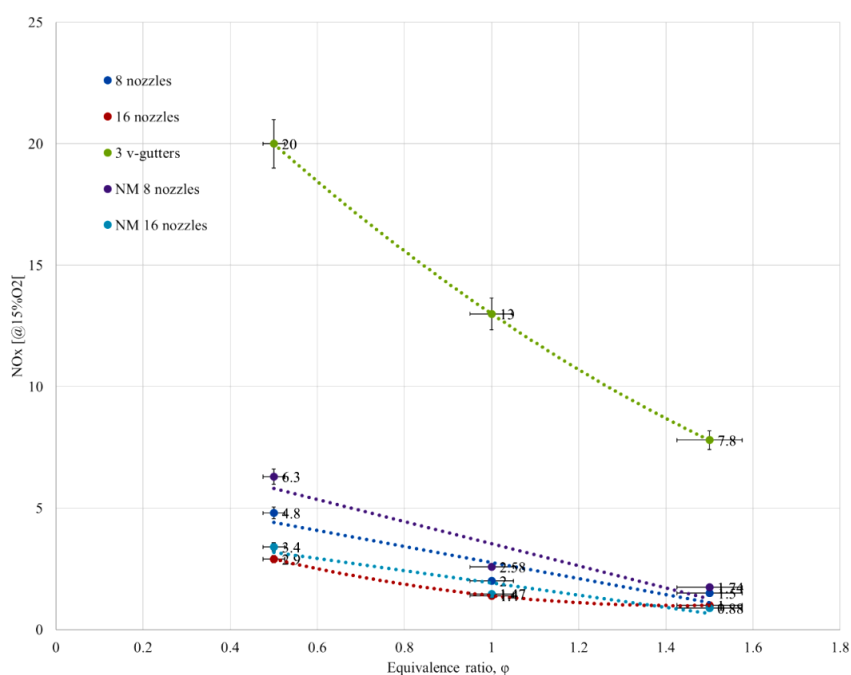


Рисунок 4 – Зависимость концентрации NO<sub>x</sub> в уходящих газах от коэффициента избытка топлива

#### Температура.

Зависимости температуры на входе установку от коэффициента избытка топлива при различных вариантах треугольных стабилизаторов представлено на рисунке 5. Как видно из рисунка 5 повышение коэффициента избытка топлива сопровождается повышением температуры на входе в установку. При начальных значениях коэффициента избытка топлива значение температур приблизительно одинаковые. Далее с повышением коэффициента избытка топлива разница в значениях температуры очевидна, а при значениях приближенной к 1,5, разница достигает 90 К. Данное явление можно объяснить тем, что при варианте подачи топлива через 16 сопел, которые находятся непосредственно перед зоной рециркуляции, способствуют сжиганию большего количества топлива, при этом повышается температура в зоне горения и этом объясняется высокие стабилизационные характеристики. Также горение газов в рециркуляционной зоне обеспечивает малый проскок пламени в хвостовую часть, где горение происходит при высоких температурах, обеспечивающая низкие концентрации оксидов азота.

При варианте подачи топлива через 8 сопел, осуществляемая через центральные части треугольного стабилизатора большая часть топлива уносится потоком высокой

скорости и не участвуют в процессе горения у устья треугольных стабилизаторов. В хвостовой части существуют хорошие условия для горения, высокая концентрация воздуха и большая концентрация несгоревшего топлива, причем топливо плохо перемешанно, что приводит к образованию зон с высокой локальной концентрацией топлива и соответственно к локальным зонам высоких температур, приводящим к росту константы равновесия реакции окисления молекул азота.

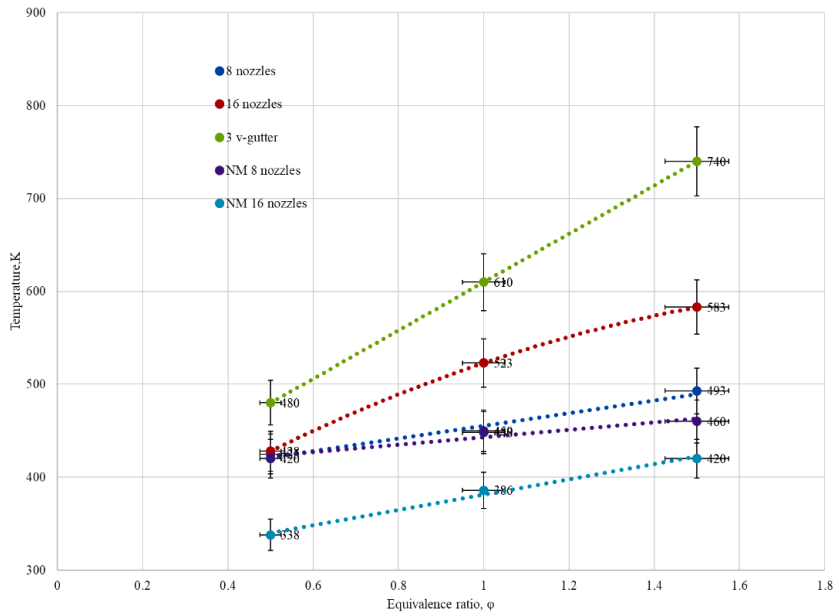


Рисунок 5 – Зависимости коэффициента избытка топлива от температуры уходящих газов

### Заключение.

В статье представлены результаты экспериментальных исследований с треугольными стабилизаторами при различных вариантах подачи топлива финансируемого Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP14872041).

На основе экспериментальных исследований были сделаны следующие выводы:

1) С точки зрения стабилизации пламени, а также снижения образования токсичных веществ треугольные стабилизаторы являются эффективными в серии плохообтекаемых тел. В результате экспериментальных исследований была предложена новая конструкция факельной горелки [30].

2) С точки зрения образования оксидов азота треугольные стабилизаторы с системой подачи топлива вдоль высоты уголка являются наиболее эффективными.

3) Необходимо провести дальнейшие экспериментальные исследования горения за уголковыми стабилизаторами с использованием жидкого топлива в виде керосина.

### ЛИТЕРАТУРА

[1] Chaudhuri S., Kostka, S., Tuttle, S.G., Renfro, M.W., Cetegen, B.M. Blowoff mechanism of two dimensional bluff-body stabilized turbulent premixed flames in a prototypical combustor. // Combustion and flame, 2011. – Vol.: 158 Issue: 7, pp. 1358-1371.

[2] Wan J.L., Cheng X.B. Numerical investigation of the local extinction and re-ignition mechanisms of premixed flame in a micro combustor with a flame holder and preheating channels// FUEL, Vol.: 264, in press.

[3] Barlow R.S., Dunn M.J., Sweeney M.S., Hochgreb S. Effects of preferential transport in turbulent bluff-body-stabilized lean premixed CH<sub>4</sub>/air flames//Combustion and flame, Vol.: 159 Issue: 8, pp. 2563-2575.

[4] Cao Y., Tamura T., Kawai H. Span wise resolution requirements for the simulation of high-Reynolds-number flows past a square cylinder//COMPUTERS & FLUIDS, 2020. – Vol.: 196, in press.

[5] Wang G., Si J., Xu M., Mi J. MILD combustion versus conventional bluff-body flame of a premixed CH<sub>4</sub>/air jet in hot coflow// Energy, 2019. – Vol.: 187.

[6] Sahebamei M., Amani E., Nobari M.R.H. Numerical analysis of radial and angular stratification in turbulent swirling flames// Energy, 2019. – Vol.: 173, pp. 523-539.

[7] Wu Z.J., He X.M. Investigations on Emission Characteristics of a Liquid-Fueled Trapped Vortex Combustor. // Journal of thermal science, 2021, in press.

[8] Лефевр А. Процессы в камерах сгорания ГТД. – М.: Мир, 1986. – 566 с.

[9] Bikram R. *et al.* Experimental study of the effects of free stream turbulence on characteristics and flame structure of bluff-body stabilized conical lean premixed flames// *Combustion and Flame*, 2018. – Vol.: 1 (178), pp. 311-328.

[10] Bikram R. *et al.* Effects of free stream flow turbulence on blowoff characteristics of bluff-body stabilized premixed flames// *Combustion and Flame*, 2018. – Vol.: 1 (190), pp. 302-316.

[11] Ata A., Ozdemir, I.B. Effects of the cone angle on the stability of turbulent nonpremixed flames downstream of a conical bluff body// *Heat and mass transfer*, 2020: in press.

[12] Aiwu Fan, *et al.* Numerical investigation on flame blow-off limit of a novel microscale Swiss-roll combustor with a bluff-body// *Energy*, 2017. – Vol.: 1 (123), pp. 252-259.

[13] Aiwu Fan, *et al.* Effect of bluff body shape on the blow-off limit of hydrogen/air flame in a planar micro-combustor// *Applied Thermal Engineering*, 2014. – Vol.: 62, pp. 13-19.

[14] Aiwu Fan, *et al.* Interactions between heat transfer, flow field and flame stabilization in a micro-combustor with a bluff body// *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2013. – Vol.: 66, pp.72-79.

[15] Wang J.L., Tang L.H., Zhao L.Y., Zhang Z. Efficiency investigation on energy harvesting from airflows in HVAC system based on galloping of isosceles triangle sectioned bluff bodies// *Energy*, 2019. – Vol.: 172, pp. 1066-1078.

[16] Пчелкин Ю.М. Камеры сгорания газотурбинных двигателей.–М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.

[17] Benmenine Djamel, Bentebbiche Abdelhalime, Hadjab Riyadb, Zighmi Nadia. The Effect of the Velocity Ratio on the Emissions of NO<sub>x</sub> in «BLUFF BODY» Burner with Turbulent Flames//*Energy Procedia*, 2015. – Vol.: 74, pp. 1032-1039.

[18] Kim W.H., Park, T.S. Flame characteristics depending on recirculating flows in a non-premixed micro combustor with varying baffles//*Applied thermal engineering*, 2018. – Vol.: 148, pp. 591-608.

[19] Yunfei Yan, *et al.* Numerical investigation on combustion characteristics of methane/air in a micro-combustor with a regular triangular pyramid bluff body//*International journal of hydrogen energy*, 2018. – Vol.: 43, pp. 7581-7590.

[20] Jianlong Wan, *et al.* Experimental and numerical investigation on combustion characteristics of premixed hydrogen/air flame in a micro-combustor with a bluff body//*International journal of hydrogen energy*, 2012. – Vol.: 37, pp. 19190-19197.



[21] Yiheng Tong, *et al.* Effects of the position of a bluff-body on the diffusion flames: A combined experimental and numerical study//Applied Thermal Engineering, 2018. – Vol.: 131, pp. 507-521.

[22] Sharma A., Kumar P., Singh S.K. Numerical analysis of flow structures behind the bluff body at different aspect ratio//2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN MECHANICAL ENGINEERING (ICAME 2018). IOP Conference Series- Materials Science and Engineering, Vol.: 402.

[23] Bifen Wu, Xinyu Zhao, Bikram Roy Chowdhury, Baki M. Cetegen, Chao Xu, Tianfeng Lu. A numerical investigation of the flame structure and blowoff characteristics of a bluff-body stabilized turbulent premixed flame//Combustion and Flame, 2019. – Vol.: 202, pp. 376-393.

[24] Bikram Roy Chowdhury, Baki M. Cetegen. Effects of fuel properties and free stream turbulence on characteristics of bluff-body stabilized flames//Combustion and Flame, 2018. – Vol.: 194, pp. 206-222.

[25] Zhang B.S., Wang K.H., Song B.W., Mao Z.Y. Tian W.L. Numerical investigation on the effect of the cross-sectional aspect ratio of a rectangular cylinder in FIM on hydrokinetic energy conversion//Energy, 2018. – Vol.: 165, pp. 949-964.

[26] Garzosi A., Greenblatt D. A pulsed Coanda-effect reciprocating wind energy generator//Energy, 2018. – Vol.: 150, pp. 965-978.

[27] Liu F.R., Zhang W.M., Peng Z.K., Meng G. Fork-shaped bluff body for enhancing the performance of galloping-based wind energy harvester//Energy, 2019. – Vol.: 183, pp. 92-105.

[28] Umyshev D.R., *et al.* Effects of different fuel supply types on flame stabilization and NOx emissions behind group of v-gutter flame holders: Experimental and numerical study//Thermal Science, 2020. – Vol.: 24, Issue 1 Part A, pp. 379-391.

[29] Зельдович Я.Б., Садовников П.Я., Франк-Каменецкий Д.А. Окисление азота при горении. – Москва-Ленинград: Изд-во АН СССР, 1947. – 150 с.

[30] Патент на изобретение «Факельная горелка» №34634, опубл. 16.10.2020г., бюл. №54.

**Абай Достияров**, т.ғ.д., профессор, Ғ. Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан, dost51@mail.ru

**Диас Умышев**, PhD, қауымдастырылған профессор, Ғ. Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан, umishev\_d@mail.ru

**Жансая Дуйсенбек**, PhD, доцент, Ғ. Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан, zhaniko.adina@mail.ru

**Аяулым Яманбекова**, PhD, доцент, Ғ. Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан, aiaa\_talgar@mail.ru

## ТӘЖІРБИЕЛІК ҚОНДЫРҒЫНЫҢ СИПАТТАМАСЫ ЖӘНЕ АЛАУ ҚЫЗДЫРҒЫШЫНА ТИІМДІ БҰРЫШТЫҚ ТҰРАҚТАНДЫРҒЫШТЫ ТАҢДАУ БОЙЫНША ЗЕРТТЕУ НӘТИЖЕЛЕРІ

**Андатпа.** Мақалада үшбұрышты тұрақтандырғыштары бар оттық құрылғының жаңа конструкциясында отын берудің түрлі нұсқаларында жасалған тәжірибелік зерттеулердің нәтижелері келтірілген. Зерттеулер ауа шығыны тұрақты, ал ауа жылдамдығы мен отын шығыны айнымалы болған жағдайда жүргізілді. Зерттеулерде отын беру саңылауларының орналасу варианттары түрлі болды. Нәтижесінде азот оксидтерінің және шығар газдардың температурасының тәуелділік графиктері келтірілген. Тәжірибелер көрсеткендей, үшбұрышты тұрақтандырғыштардың биіктігі

бойынша біркелкі отынмен қамтамасыз ету нұсқасы азот оксидтерінің түзілуі тұрғысынан ең тиімді болып табылады. Мысалы, барлық басқа тең жағдайларда 16 саңылаудың болуы азот оксидтерінің түзілуін 29% - ға қысқартуға мүмкіндік береді, бұл отынды ауамен араластырудың жоғары тиімділігін көрсетеді, бұл газдардың жоғары температура аймағында, сондай-ақ жоғары температураның жергілікті аймақтарында болу уақытын қысқартады.

Жүргізіліп жатқан зерттеулердің ғылыми жаңалығы мұнай-газ және металлургия салаларында қолдануға болатын жаңа микрофакелді оттықтарды зерттеуге негізделген. Алдыңғы зерттеулерден айырмашылығы, оттықтардың жаңа түрлері отынның рециркуляция аймағына еңбейтіндігімен, бірақ үшбұрыштардың құйрық бөлігінде жанып кететіндігімен, сондай-ақ отынның диффузиялық аймаққа жанармай құюымен ерекшеленеді. ауамен араласпай циркуляция аймағы.

**Түйінді сөздер.** Отын-ауа қоспасы, микрофакелді жағу, азот оксиді, үшбұрыштық тұрақтандырғыш, жалынды тұрақтандыру.

**Abay Dostiyarov**, d.t.s., professor, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeev, Almaty, Kazakhstan, dost51@mail.ru

**Dias Umyshev**, PhD, associate professor, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeev, Almaty, Kazakhstan, umishev\_d@mail.ru

**Zhansaya Duissenbek**, PhD, docent, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeev, Almaty, Kazakhstan, zhaniko.adina@mail.ru

**Ayaulym Yamanbekova**, PhD, docent, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeev, Almaty, Kazakhstan, aiau\_talgar@mail.ru

## DESCRIPTION OF THE EXPERIMENTAL SETUP AND RESULTS OF RESEARCH ON THE CHOICE OF AN EFFECTIVE ANGLE OF TRIANGLE STABILIZER FOR A FLARE BURNER

**Abstract.** The article presents the results of experimental studies conducted on a new design of a burner device with triangular stabilizers for various fuel supply options. During the study, the air consumption was constant, and the air velocity and fuel consumption were variable. The experiments were carried out with various options for the location of the fuel supply hole. As a result, graphs of the dependence of nitrogen oxides and the temperature of the exhaust gases are presented. Experiments have shown that triangles with uniform fuel supply along the height are the most effective in terms of the formation of nitrogen oxides. For example, the presence of 16 holes, all other things being equal, can reduce the formation of nitrogen oxides by 29%, which indicates a high efficiency of mixing fuel with air, which reduces the time spent by gases in the high temperature zone, as well as local high temperature zones.

The scientific novelty of the ongoing research lies in the study of new microflame burners that can be used in the oil and gas and metallurgical fields. Unlike previous developments, new types of burners are distinguished by the fact that the fuel does not enter the recirculation zone, but burns out in the tail part of the corners, as well as the fact that the fuel is fed into the diffusion zone into the recirculation zone without mixing with air.

**Keywords.** Air-fuel mixture, micro flaring, nitrogen oxides, triangular stabilizer, flame stabilization.

\*\*\*\*\*