

А.М. Достияров¹, Ж.Ф. Ожикенова², А.Ж. Амренова¹, А.К. Яманбекова¹
¹Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева, Алматы, Казахстан
²Yessenov University, Актау, Казахстан
E-mail: a.amrenova@aes.kz

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРЕНИЯ ЗАБАЛЛАСТИРОВАННЫХ ГАЗОВ ЗА УГОЛКОВЫМИ СТАБИЛИЗАТОРАМИ

Аннотация. В статье рассматривается численное моделирование процессов горения забалластированных газов за уголковыми стабилизаторами, расположенных эшелонированно. Исследуется оптимальное расстояние уголковых стабилизаторов на образование токсичных веществ. Проведенные исследования показывают, что добавление забалластированных газов в эшелонированное горелочное устройство позволяет значительно сократить концентрации оксидов азота. По результатам моделирования максимальные концентрации оксидов азота достигаются при максимальном расстоянии между рядами уголков. Это объясняется тем, что создается сильная рециркуляционная зона за счет комбинации рециркуляционных зон первого и второго рядов, что приводит к повышению температуры в зоне горения. Уменьшение расстояния между рядами уголков приводит к снижению концентрации оксидов азота за счет снижения времени нахождения газов в зоне горения. Согласно численному исследованию концентрация оксидов азота составила 18-24 ppm.

Ключевые слова. Забалластированные газы, уголковые стабилизаторы, рециркуляционная зона, оксиды азота, эшелонирование уголков.

Введение.

На сегодняшний день в энергетической отрасли парогазовые установки очень актуальны. Особое внимание уделяется совершенствованию схемы парогазовой установки с котлом утилизатором [1]. Для увеличения эффективности в таких установках применяют камеры дожигания. В камеру поступают продукты сгорания газотурбинной установки (ГТУ), которые являются горючим воздухом, т.е. забалластированными продуктами сгорания топлива. Концентрация кислорода O_2 в забалластированных продуктах составляет примерно 12÷17 %. Чтобы дожечь продукты сгорания ГТУ, ставятся жесткие требования к горелочным устройствам камеры догрева котла-утилизатора [2-4]. Во-первых, для устойчивого горения при больших скоростях набегающего потока из ГТУ полнота сгорания должно быть высоким. Во-вторых, температурное поле после горелок должно быть равномерным. В-третьих, экологические показатели должны быть высокими. Вышеуказанные требования можно достичь, используя уголковые диффузионно-стабилизированные горелки в камере дожигания КУ. Причем стабилизаторы должны быть расположены эшелонированно для увеличения эффективности горения [5]. К вопросу горения в уголковых стабилизаторах посвящены достаточно много материалов [6,7]. Однако горение в забалластированной среде с эшелонированно расположенными стабилизаторами почти не исследовано.

Материалы и методы.

Общие данные о процессе моделирования. Ниже представлен общий вид на моделируемую область уголковых стабилизаторов (рисунок 1).

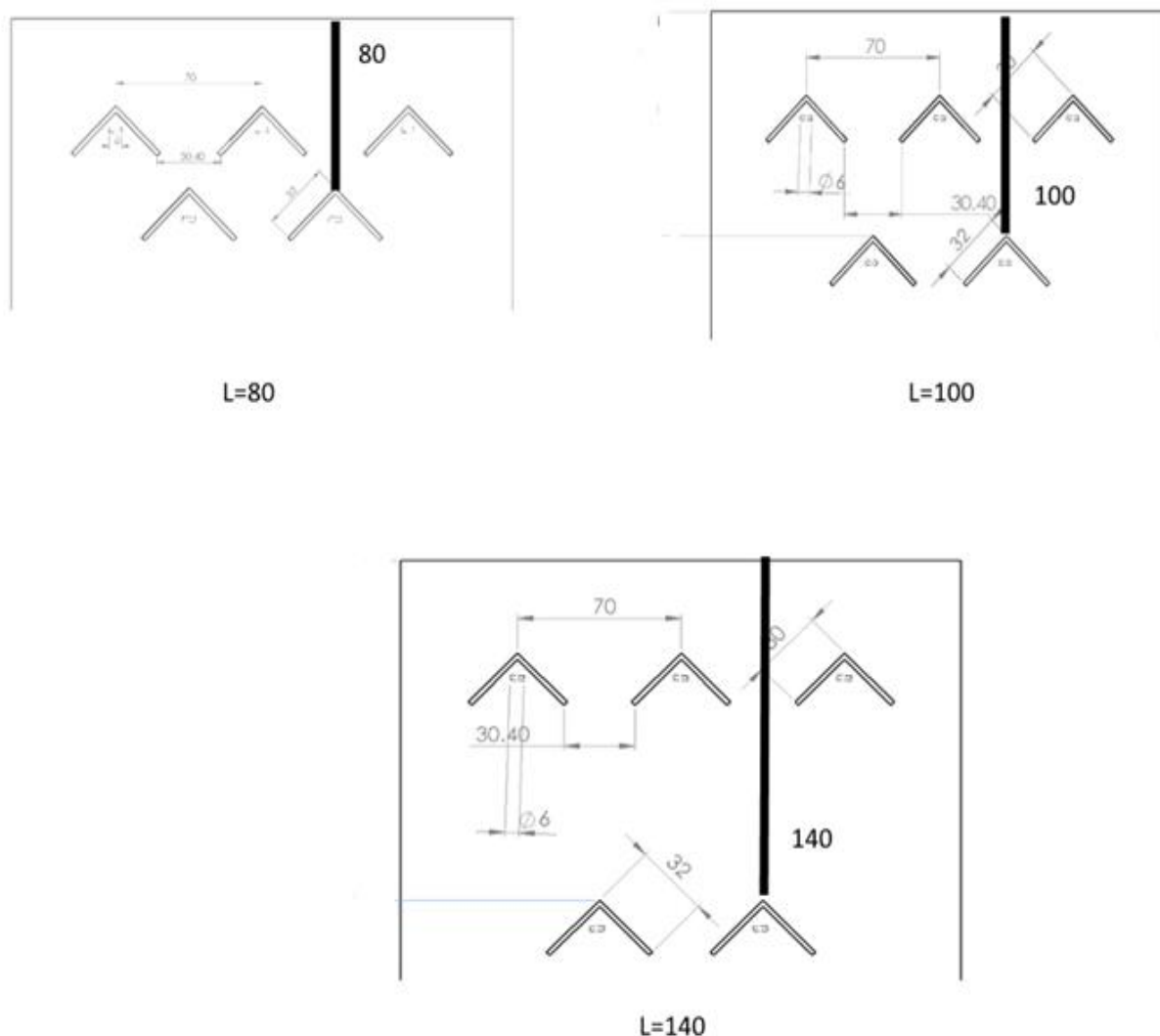


Рисунок 1 – Варианты установки уголковых стабилизаторов

Таблица 1 - Начальные данные моделирования

Расход топлива через сопла, кг/ч	Скорость воздуха, м/с (бралась согласно экспериментальной установке)	Начальная температура окислителя (воздуха)/топлива, К	Количество тетраэдрических элементов в моделируемой области
18	20	300	1135456

В таблице 1 представлены начальные условия моделирования. При моделировании расход воздуха был постоянным и равным 18 м/с.

На рисунке 2 представлена моделируемая область в мультифизическом программном комплексе, состоящая из источника воздуха 1, уголковых стабилизаторов 2 с системой раздачи топлива – соплами 3 и выходной области 4.

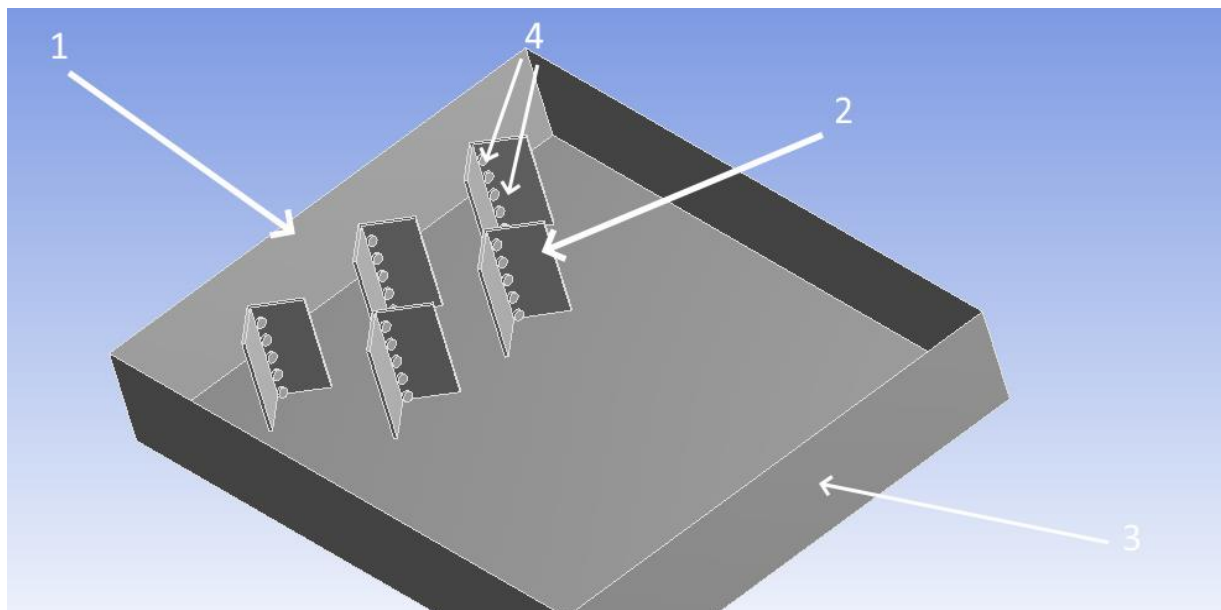


Рисунок 2 – Изометрический вид на область моделирования.

На рисунке 3 представлена сетка модели, в которой верхняя часть сделана с большим количеством элементов в сравнении с остальными частями. Это связано с тем, что течение и реакции имеют строгую направленность по оси z .

При моделировании использовалась модель турбулентности $k-\epsilon$ realizable, которая согласно [8] является наиболее оптимальным решением.

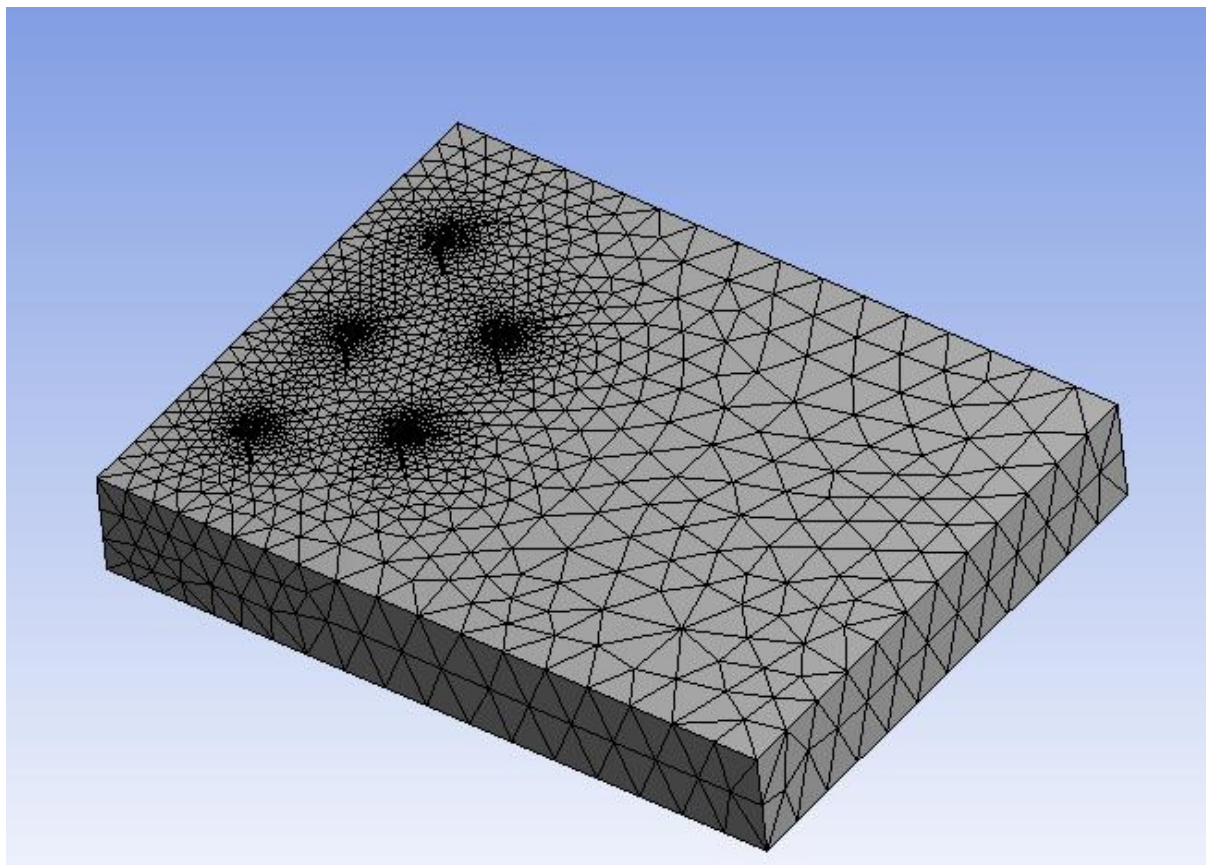


Рисунок 3 – Сетка модели

Результаты и обсуждение.

Температурные контуры. На рисунке 4 представлены контуры температур при различных расходах топлива. Как видно из рисунка, пламя появляется в тонком слое находящимся на уголковых стабилизаторах. Основная часть горючего топлива выгорает в области находящейся за вторым рядом уголков. Изменение расстояния между рядами уголков приводит к удлинению факела однако сам факел обладает практически тем же температурным уровнем. При достаточном увеличении расстояния между уголками, заметно, что высокотемпературная зона появляется за уголками второго ряда, что приводит к росту образования оксидов азота.

Более подробное рассмотрение факела показывает, что низкотемпературная зона во внутренней части уголков удлиняется для второго ряда уголков за счет более низкого сопротивления создающегося за счет увеличения расстояния между уголками.

Temperature, K

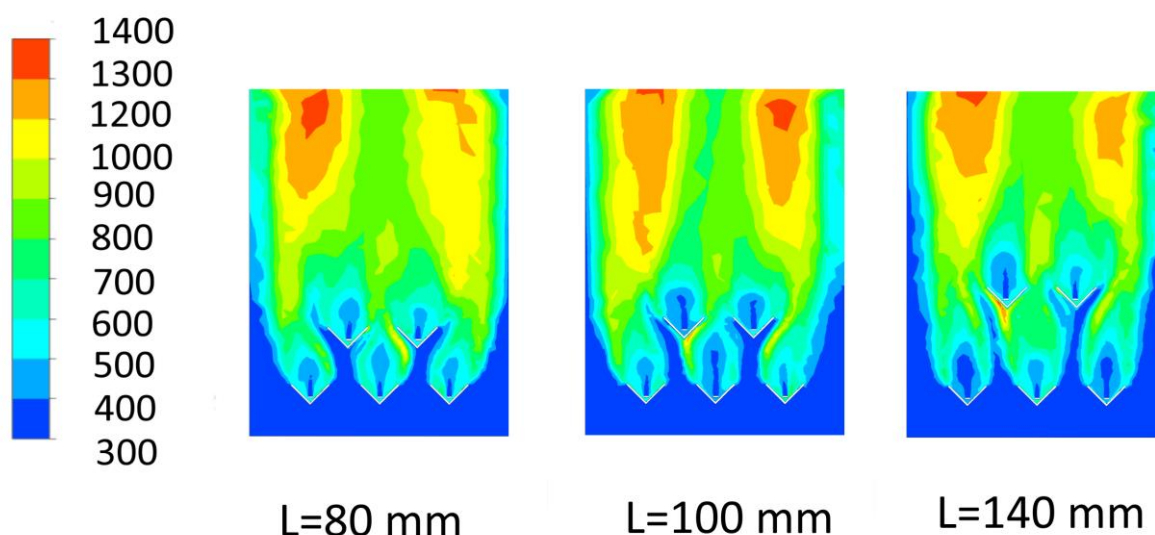


Рисунок 4 – Контурсы температур при различных расстояниях

Закрутка потока. На рисунке 5 представлены контуры закручивающихся течений в зависимости от расстояния L . Как видно из рисунка, увеличение расстояния сказывается на форме закрутки потока. При минимальном расстоянии закрученные потоки имеют схожий характер и относительно одинаковые размеры. Это сказывается на образовании оксидов азота, в виду того, что топливно-воздушная смесь малое время находится в рециркуляционных зонах, что является одной из причин низких концентраций оксидов азота. При увеличении расстояния между рядами уголков появляются дополнительные закручивающиеся потоки вокруг уголков второго ряда. Топливо попадая во второй ряд проходит длинную рециркуляционную зону, что приводит к повышению температуры при увеличении времени нахождения газов в зоне высоких температур, что сказывается на образовании оксидов азота.

При увеличении расстояния до 140 мм, размеры закрутки первого ряда имеют тот же уровень, однако второй ряд закручивает в значительной степени газы, причем это приводит к увеличению разбавления забалластированными газами и повышению времени нахождения газов в зоне высоких температур, что в свою очередь, приводит к повышению концентраций оксидов азота.

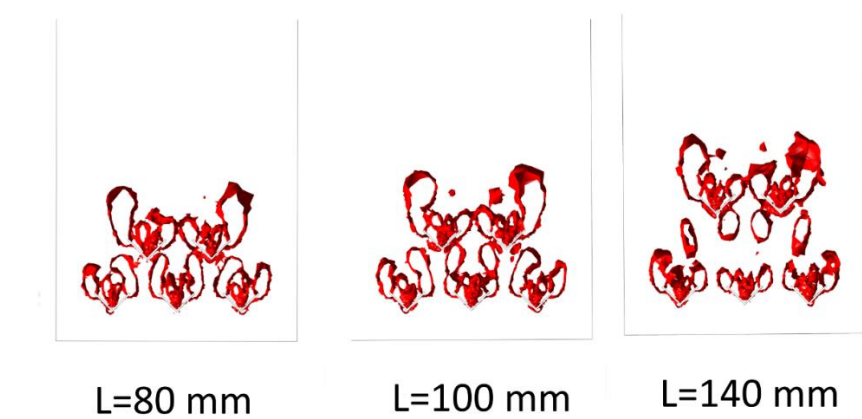


Рисунок 5 – Закрутка потока в зависимости от расстояния и расхода топлива

Концентрации NO_x и температуры. На рисунке 6 представлены зависимости концентрации оксидов азота от a при различных расстояниях L .

Как видно из рисунка, максимальные концентрации оксидов азота достигаются при максимальном расстоянии между рядами уголков. Это объясняется тем, что создается сильная рециркуляционная зона за счет комбинации рециркуляционных зон первого и второго рядов, что приводит к повышению температуры в зоне горения. Уменьшение расстояния между рядами уголков приводит к снижению концентрации оксидов азота за счет снижения времени нахождения газов в зоне горения.

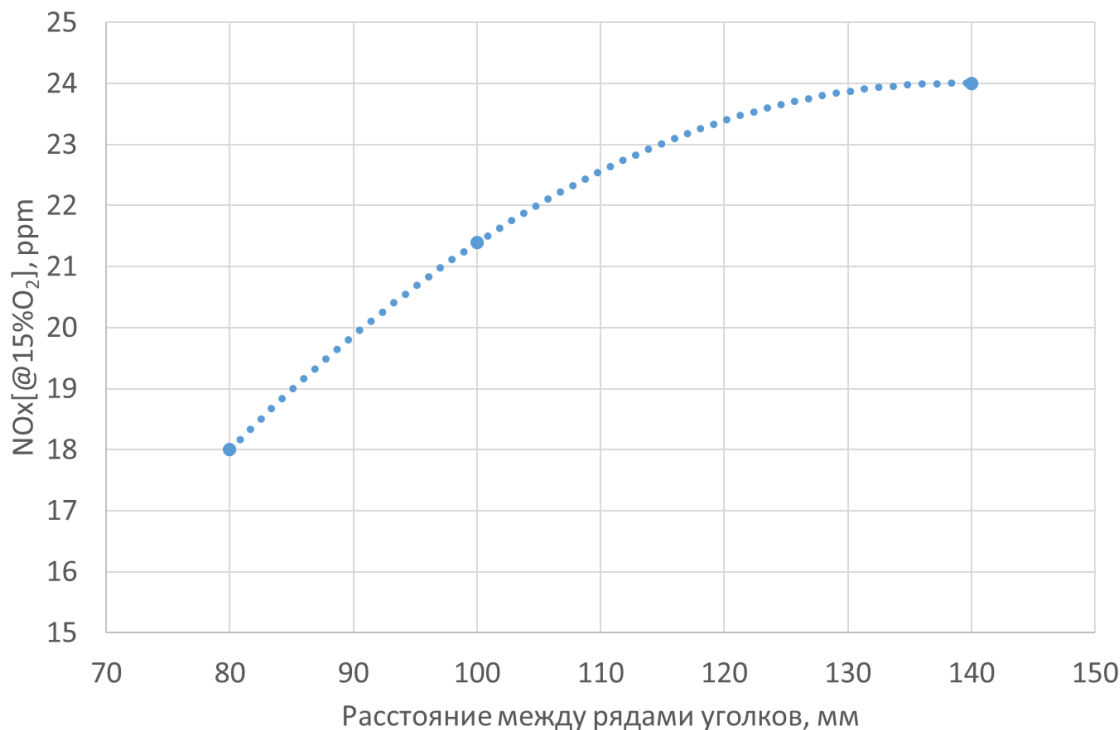


Рисунок 6 – Концентрации оксидов азота на выходе из зоны моделирования

На рисунке 7 представлены зависимости температуры на выходном участке области моделирования от расстояния между уголками. Полученные данные отражают зависимость оксидов азота от температурного уровня. Хорошо развитые

рециркуляционные зоны приводят к образованию локальных зон с высокой температурой, а увеличение расстояния между ними приводит к повышению температуры.

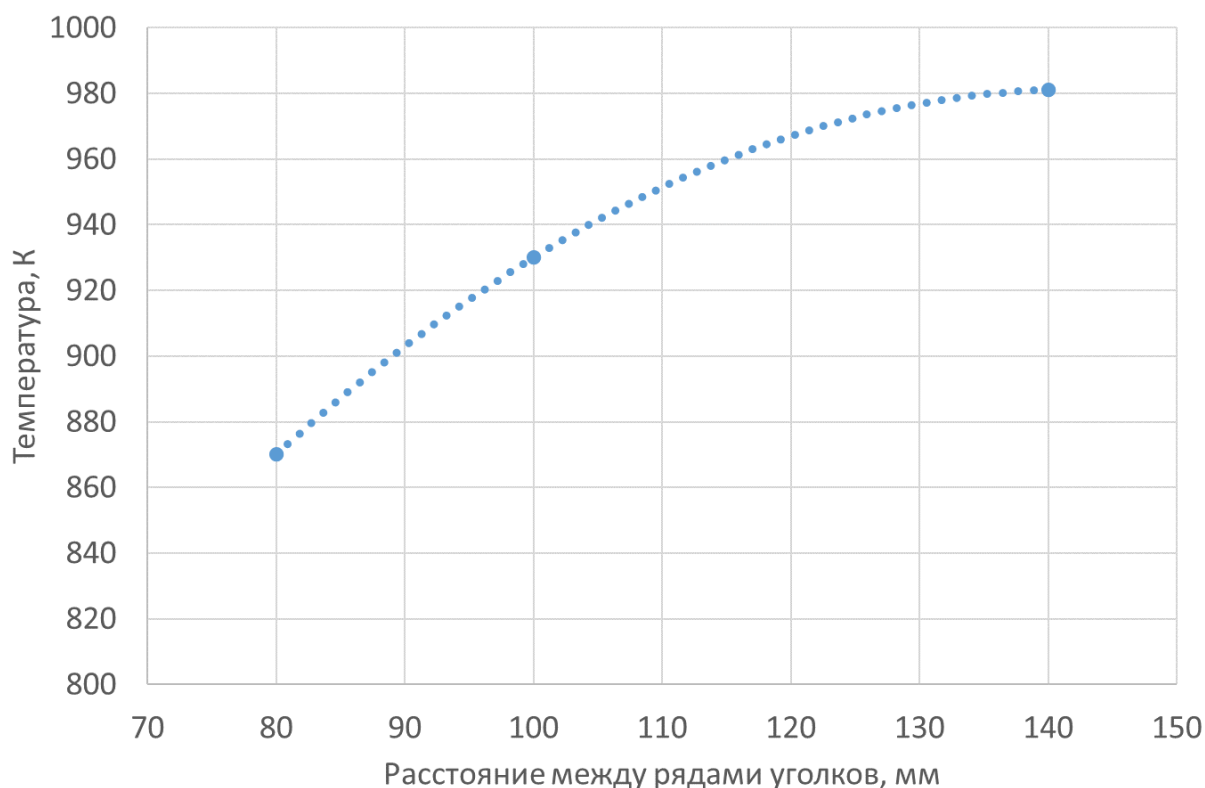


Рисунок 7 – Концентрации оксидов азота на выходе из зоны моделирования

Заключение.

Проведенное исследование показывает, что уголкового профили являются эффективным способом стабилизации горения. Проведенные исследования также показывают, что добавление забалластированных газов в эшелонированное горелочное устройство позволяет значительно сократить концентрации оксидов азота. Результаты исследования показали, что с точки зрения снижения оксидов азота наиболее оптимальным расстоянием для забалластированных газов является 80 мм. По результатам моделирования эмиссии оксидов азота установлено, что наиболее высокие концентрации оксидов азота образуются при расстоянии 140 мм. Для вариантов $L=80$ мм, $L=100$ мм, $L=140$ мм концентрации оксидов при расходе $0,1$ кг/с были равны 18, 21, 24 ppm соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А. Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электрических станций. - М.: Изд-во МЭИ, 2002. - 584 с.
- [2] Достияров А.М., Кибарин А.А., Тютеебаева Г.М., Катранова Г.С., Ожикенова Ж.Ф., Садыкова С.Б. Камеры сгорания и микрофакельные устройства. – Алматы: АУЭС им. Г.Даукеева, 2020. – 195 с.
- [3] Лефевр А. Процессы в камерах сгорания ГТД. - М.: Изд-во Мир, 1986. – 566 с.
- [4] Пчелкин Ю.М. Камеры сгорания газотурбинных двигателей. – М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.

[5] Патент на изобретение РК №34766 от 24.11.2019. Горелочное устройство котла-утилизатора парогазовой установки // Достияров А.М., Ожикенова Ж.Ф., Наурыз Б.К.

[6] Anthony J. Morales, Ian M. Lasky, Marissa K. Geikie, Christian A. Engelmann, Kareem A. Ahmed, Mechanisms of flame extinction and lean blowout of bluff body stabilized flames, Combustion and Flame, Volume 203, 2019, Pages 31-45.

[7] Dias R. UMYSHEV, Abay M. DOSTIYAROV, Andrey A. KIBARIN, Galya M. TYUTEBAEVA, Gaziza S. KATRANOVA and Darkhan B. AKPANBETOV/ Experimental investigation of distance between v-gutters on flame stabilization and NOx emissions/ THERMAL SCIENCE: Year 2019, Vol. 23, No. 5B, p. 2971-2981.

[8] ANSYS FLUENT 12.0 Theory Guide: «ANSYS» <http://ansys.com> 2009.

REFERENCES*

[1] Canev S.V., Burov V.D., Remezov A. N. Gazoturbinnye i parogazovye ustanovki teplovyh jelektricheskikh stancij. - M.: Izd-vo MJeI, 2002. - 584 s.

[2] Dostijarov A.M., Kibarin A.A., Tjutebaeva G.M., Katranova G.S., Ozhikenova Zh.F., Sadykova S.B. Kamery sgoranija i mikrofael'nye ustrojstva. – Almaty: AUJeS im. G.Daukeeva, 2020. – 195 s.

[3] Lefevr A. Processy v kamerah sgoranija GTD. - M.: Izd-vo Mir, 1986. – 566 s.

[4] Pchelkin Ju.M. Kamery sgoranija gazoturbinnih dvigatelej. – M.: Mashinostroenie, 1984. – 280 s.

[5] Patent na izobretenie RK №34766 ot 24.11.2019. Gorelochnoe ustrojstvo kotla-utilizatora parogazovoj ustanovki // Dostijarov A.M., Ozhikenova Zh.F., Nauryz B.K.

[6] Anthony J. Morales, Ian M. Lasky, Marissa K. Geikie, Christian A. Engelmann, Kareem A. Ahmed, Mechanisms of flame extinction and lean blowout of bluff body stabilized flames, Combustion and Flame, Volume 203, 2019, Pages 31-45.

[7] Dias R. UMYSHEV, Abay M. DOSTIYAROV, Andrey A. KIBARIN, Galya M. TYUTEBAEVA, Gaziza S. KATRANOVA and Darkhan B. AKPANBETOV/ Experimental investigation of distance between v-gutters on flame stabilization and NOx emissions/ THERMAL SCIENCE: Year 2019, Vol. 23, No. 5B, p. 2971-2981.

[8] ANSYS FLUENT 12.0 Theory Guide: «ANSYS» <http://ansys.com> 2009.

Абай Достияров, т.ғ.д., профессор, Ғ. Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан, a.m.dost1951@gmail.com

Жанат Ожикенова, PhD, м.а. қауымдастырылған профессор, Yessenov University, Ақтау, Қазақстан, zhanat.ozhikenova@yu.edu.kz

Айгуль Амренова, аға оқытушы, Ғ. Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан, a.amrenova@aues.kz

Аяулым Яманбекова, PhD, доцент, Ғ. Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан, a.yamanbekova@aues.kz

БҰРЫШТЫ ТҰРАҚТАНДЫРУШЫЛАРДЫҢ АРТЫНДА БАЛАСТТЫ ГАЗДАРДЫҢ ЖАНУЫН ТЕОРИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУ

Андатпа. Мақалада эшелонда орналасқан бұрыштық тұрақтандырғыштардың артындағы балластталған газдардың жану процестерін сандық модельдеу қарастырылады. Уытты заттардың түзілуіне арналған бұрыштық тұрақтандырғыштардың оңтайлы қашықтығы зерттелуде. Жүргізілген зерттеулер эшелондық оттық құрылғысына балластталған газдарды қосу азот оксидтерінің концентрациясын айтарлықтай төмендетуі

мүмкін екенін көрсетеді. Модельдеу нәтижелері бойынша азот оксидтерінің максималды концентрациясына бұрыштардың қатарлары арасындағы максималды қашықтықта қол жеткізіледі. Бұл жану аймағындағы температураның жоғарылауына әкелетін бірінші және екінші қатарлардың рециркуляциялық аймақтарының қосылуы есебінен күшті рециркуляция аймағының құрылуымен түсіндіріледі. Бұрыштардың қатарлары арасындағы қашықтықты азайту жану аймағында газдардың тұру уақытын азайту арқылы азот оксидтерінің концентрациясының төмендеуіне әкеледі. Сандық зерттеуге сәйкес, азот оксидтерінің концентрациясы 18-24 ppm болды.

Түйінді сөздер. Балласталған газдар, бұрыштық тұрақтандырғыштар, рециркуляция аймағы, азот оксидтері, бұрыштарды бөлу.

Abay Dostiyarov, doctor of technical sciences, professor, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeyev, Almaty, Kazakhstan, a.m.dost1951@gmail.com

Zhanat Ozhikenova, PhD, acting associate professor, Yessenov University, Aktau, Kazakhstan, zhanat.ozhikenova@yu.edu.kz

Aigul Amrenova, senior lecturer, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeyev, Almaty, Kazakhstan, a.amrenova@aes.kz

Ayaulym Yamanbekova, PhD, docent, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeyev, Almaty, Kazakhstan, a.yamanbekova@aes.kz

THEORETICAL STUDY OF COMBUSTION OF BALLASTED GASES BEHIND CORNER STABILIZERS

Abstract. The article discusses the numerical modeling of combustion processes of ballasted gases behind corner stabilizers located in echelon. The optimal distance of corner stabilizers for the formation of toxic substances is being studied. Conducted studies show that the addition of ballasted gases to an echelon burner device can significantly reduce the concentration of nitrogen oxides. According to the modeling results, the maximum concentrations of nitrogen oxides are achieved at the maximum distance between the rows of corners. This is explained by the fact that a strong recirculation zone is created due to the combination of the recirculation zones of the first and second rows, which leads to an increase in the temperature in the combustion zone. Reducing the distance between rows of corners leads to a decrease in the concentration of nitrogen oxides by reducing the residence time of gases in the combustion zone. According to a numerical study, the concentration of nitrogen oxides was 18-24 ppm.

Keywords. Ballasted gases, corner stabilizers, recirculation zone, nitrogen oxides, separation of corners.
