

–Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 1 (2024)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и информационных
систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/KOTB8442>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.

к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,

д.т.н., профессор

Новожилов А. Н.,

д.т.н., профессор

Никитин К. И.,

д.т.н., профессор (Россия)

Никифоров А. С.,

д.т.н., профессор

Новожилов Т. А.,

д.т.н., профессор

Алиферов А.И.,

д.т.н., профессор (Россия)

Кошкеков К.Т.,

д.т.н., профессор

Приходько Е.В.,

к.т.н., профессор

Оспанова Н. Н.,

к.п.н., доцент

Нефтисов А. В.,

доктор PhD

Омарова А.Р.,

технический редактор

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

МРНТИ 44.31.35

<https://doi.org/10.48081/RXEE7826>***А. Н. Сапаргалиева, К. Т. Баубеков, Б. А. Биахметов**Казахский агротехнический исследовательский университет имени
С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана*e-mail: ms.lady.aigerima@bk.ru

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ФРОНТОВОГО УСТРОЙСТВА ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА

Как известно переход от традиционного сжигания топлива к микрофакельному приводит к повышению эффективности сжигания топлива. Фронтное устройство является ключевым элементом теплогенератора, отвечающим за передачу тепла от горящего топлива к нагревательной поверхности.

С целью дальнейшего совершенствования фронтного устройства теплогенератора было выполнено численное моделирование теплогенератора в программе Comsol Multiphysics.

Численное моделирование теплогенератора позволяет анализировать и оптимизировать работу фронтного устройства. В программе можно создать трехмерную модель теплогенератора, включая все его компоненты, такие как топливную емкость, регулирующий орган, систему подачи воздуха и систему удаления продуктов сгорания.

Таким образом, численное моделирование аэродинамических процессов является важным инструментом при исследовании эффективности конструкции фронтного устройства теплогенератора. В дальнейшем численная модель должна подтвердиться при проведении опытов на экспериментальной установке полной картиной процессов горения и образования

полных и не полных продуктов сгорания, оптимизацией аэродинамики и смесеобразования топлива и воздуха, а также влияния различных параметров в этих процессах на работу фронтального устройства. В связи с этим ожидается повышение характеристики теплогенератора за счет выравнивания температурных полей пламени и нежелательных полей недожога топлива в отдельных зонах факела с низкими скоростями смесеобразования.

Ключевые слова: фронтальное устройство, теплогенератор, COMSOL Multiphysics, численное моделирование, камера сгорания, газотурбинная установка ГТУ, ТВС.

Введение

Повысить эффективность сжигания топлива и снизить образование вредных выбросов можно путем оптимизации фронтального устройства теплогенератора.

Одним из основных способов достижения этой цели является улучшение системы подачи топлива и воздуха. Это может быть достигнуто путем использования более точной системы регулирования подачи топлива и воздуха, а также более эффективного смешивания топлива и воздуха перед подачей в камеру сгорания. Это позволяет улучшить аэродинамику и диффузионные процессы смесеобразования и увеличить скорость сгорания, что в свою очередь влияет на образование вредных выбросов.

До настоящего времени для отопления жилых домов в Казахстане используется централизованная система водяного отопления. Однако сегодня теплогенераторы широко используются для воздушного отопления [1; 2].

В целом, оптимизация фронтального устройства теплогенератора является важным шагом для повышения эффективности сжигания топлива и снижения образования вредных выбросов. Это может быть достигнуто путем улучшения системы подачи топлива и воздуха, использования новых материалов с высокой теплопроводностью и применения фронтальных устройств с множеством маленьких отверстий или регулируемые отверстиями.

При проектировании фронтального устройства теплогенератора особое внимание уделяется интенсификации сгорания топлива, снижению образования вредных выбросов в процессе сгорания, формированию оптимальных значений температур на выходе из камеры сгорания.

Фронтальное устройство камеры сгорания теплогенератора работает следующим образом. Воздух для подготовки топливовоздушной смеси

поступает через входной завихритель, а основное топливо поступает через топливную трубку, далее в смеситель для перемешивания. Полученная ТВС поступает в выходной завихритель. Недостающий для полного сгорания воздух подается через щелевые патрубки веерно равноудаленные друг от друга. Таким образом, в смесителе происходит интенсивное перемешивание воздуха и основного топлива (газа или жидкого топлива). После выходного завихрителя обеспечиваются вторичное перемешивание. Далее в зону горения, ограниченной жаровой трубой, поступает срезающие факел на части воздух через щелевые патрубки. Наличие множества мелких факелов предотвращает образование высокотемпературной зоны, а также подача вторичного воздуха обеспечивает затягивание процесса горения и снижение оксидов азота.

В результате проведен обзор различных способов сжигания топлива. при исследовании образования NOx в различных устройствах было показано, что традиционные способы сжигания топлива не обеспечивают необходимых параметров для фронтных устройств и камер сгорания теплогенератора [2; 3; 4; 5; 6; 7; 8].

Материалы и методы

Поскольку в камере сгорания реализуется весь комплекс аэродинамических и термохимических явлений, очевидна сложность теоретического анализа процессов и опытного исследования параметров в закрученном потоке с горением. В связи с этим было принято решение использовать программный пакет для численного моделирования физических процессов и устройств COMSOL Multiphysics [10]. Он содержит множество модулей расширения для моделирования процессов и явлений в различных областях, включая аэродинамику. Построение модели исследуемой горелки в трехмерном пространстве производилось в программном комплексе SolidWorks. Результат моделирования представлен построением модели в двухмерном пространстве realizable k-ε модели турбулентности. На рисунке 1 а и 1 б изображена область моделирования.

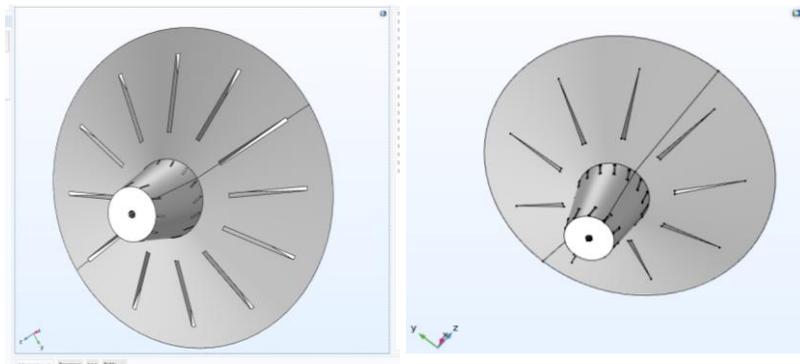


Рисунок 1, а – Фронтное устройство теплогенератора с прямоугольными узкими радиальными щелями

Рисунок 1, б - Фронтное устройство теплогенератора с треугольными узкими радиальными щелями

Область моделирования состоит из топливной трубки, трубы Вентури и входной и выходной завихрителями. Целью моделирования является определение контуров давления и скоростей, определение рециркуляционных зон, а также влияние их на аэродинамику течения воздуха.

На рисунке 2 показана тетраэдральная адаптивная расчетная сетка моделируемой области. Количество элементов в области на рис. 2, а – 590931, рис.2, б – 778609. Сетка состоит из группы тетраэдров, что позволяет эффективно рассчитывать различные вариации поля напряжений и получить высокоточный результат.

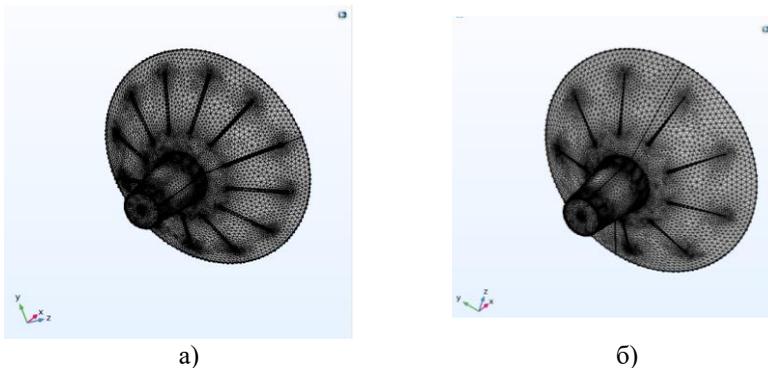


Рисунок 2 – Тетраэдральная адаптивная расчетная сетка моделируемой области

Результаты и обсуждение

Скоростные контуры. В таблице 1 представлены рисунки контуров скоростей при различных начальных скоростях воздуха (10, 20, 30 м/с) и двумя вариантами щелей.

Скоростные контуры фронтального устройства теплогенератора – это системы управления, которые отвечают за поддержание стабильной скорости вращения ТВС в фронтальном устройстве теплогенератора.

Для обеспечения стабильной работы теплогенератора необходимо поддерживать определенную скорость вращения ТВС в фронтальном устройстве. Для этого применяются скоростные контуры, которые могут быть реализованы с использованием различных типов входных выходных завихрителей в виде щелей.

На рисунке начальная скорость воздуха, поступающего в горелку, характеризуется ускорением в трубке Вентури, а затем уменьшением, когда речь идет о расширяющейся части топливной трубки

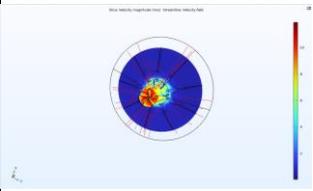
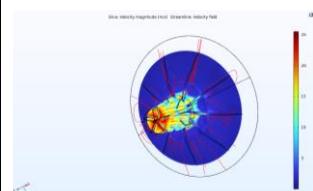
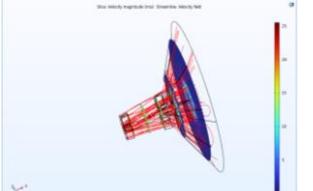
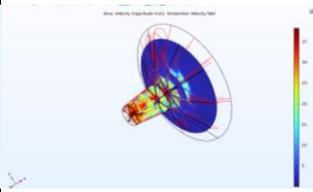
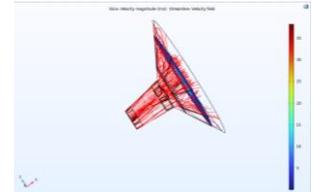
Видно, что при значениях начальной скорости воздуха 10 м/с и во всех завихрителях щелей образуется неравномерная зона завихрения. При начальных значениях скорости 20, 30 м/с видно, что образуется стабильная зона завихрения.

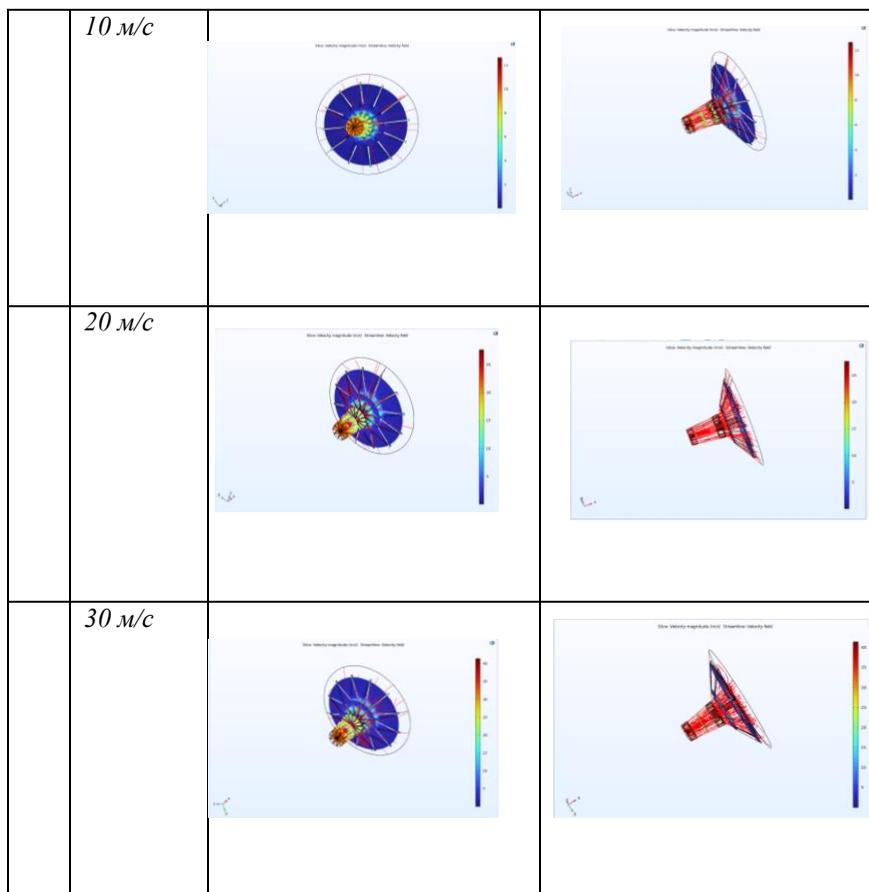
Как видно из модели зона скоростей весьма неравномерна, а именно во входной конической части в отдельных зонах большие скорости (~ 40 м/с), что показано красным цветом которые за фронтальным устройством внезапно падают (до ~ 5 м/с), показано синим цветом. На выходе из конической части до фронтального устройства с прямоугольными щелями, также наблюдается относительное выравнивание скоростей (до ~ 15 м/с), показано голубым цветом. При этом также наблюдается отдельные зоны полей со скоростями от 35 м/с (показано красным цветом) 15 м/с. В целом по всему полю наблюдается усредненные скорости до 5 м/с (показано синим цветом).

Из рассмотрение модели выполненных по программе COMSOL Multiphysics можно полагать, что выравнивание скоростей воздуха будут наблюдаться на конце расширяющейся части стенки установки, зона смесеобразования с низкими скоростями будет служить для выгорания ТВС до полного сгорания топлива, что подтвердится выравниванием температурных полей пламени и равномерностью полей недожога топлива.

Переход от прямоугольных щелей к треугольным не дал существенных изменений картины эйор скоростей и давлений, хотя треугольные щели представляются предпочтительными (см. табл. 1).

Таблица 1 – Скоростные контуры

№ n/ n	Скорост ь воздуха	Треугольный	
		3	4
1	10 м/с		
2	20 м/с		
3	30 м/с		
Прямоугольный			



Контуры давлений. В таблице 1 представлены рисунки контуров давлений при различных начальных скоростях воздуха (10, 20, 30 м/с) и двумя вариантами щелей.

Контуры давлений фронтного устройства теплогенератора – это системы управления, которые отвечают за поддержание стабильного давления внутри фронтного устройства.

Для обеспечения оптимальной работы теплогенератора необходимо поддерживать определенное давление внутри фронтного устройства. Для этого применяются контуры давлений, которые могут быть реализованы с использованием различных типов щелей.

Здесь квадратные радиальные щели фронтного устройства теплогенератора находятся под высоким давлением со скоростью 30 м/с, что показано красным в верхней области.

Встречая препятствие в виде завихрителя, воздух теряет скорость и растекается, тем самым замедляя поток и увеличивая время, необходимое для полного смешивания ТВС, что приводит к эффективному сгоранию.

Как видно из модели зона давления весьма неравномерна, а именно во входной конической части в отдельных зонах большие давления (~ 1600 Па), что показано красным цветом которые за фронтальным устройством внезапно падают (до разрежения примерно -700 Па), показано синим цветом. На выходе из конической части до фронтального устройства, также наблюдается относительное выравнивание давления (около ~ 300 Па), показано голубым цветом. В целом по всему полю наблюдается усредненные давления до атмосферного.

Из рассмотрение модели выполненных по программе *COMSOL Multiphysics* можно полагать, что эпюры давления соответствует эпюрам скоростей, выравнивание давления воздуха будут наблюдаться на конце расширяющейся части стенки установки. Это даст такую же картину выгорания топлива, как и в выше приведенном случае.

Таблица 2 – Контуры давлений

Скорость воздуха/угол	10 м/с	20 м/с	30 м/с
Треугольный			
Прямоугольный			

Выводы

С целью совершенствования смесеобразования во фронтальном устройстве было выполнено моделирование аэродинамических процессов

по программе *COMSOL Multiphysics*. Результаты моделирования показали следующее.

Как видно из модели зона скоростей весьма неравномерна, а именно во входной конической части в отдельных зонах большие скорости (~ 40 м/с), которые за фронтным устройством внезапно падают (до ~ 5 м/с). На выходе из конической части до фронтного устройства с прямоугольными щелями, также наблюдается относительное выравнивание скоростей (до ~ 15 м/с). При этом также наблюдается отдельные зоны полей со скоростями от 35 м/с до 15 м/с. В целом по всему полю наблюдается усреднение скорости до 5 м/с.

Из рассмотрения модели, выполненных по программе *COMSOL Multiphysics* можно полагать, что выравнивание скоростей воздуха будут наблюдаться в конце расширяющейся части стенки установки, зона смесеобразования с низкими скоростями будет способствовать выгоранию ТВС до полного сгорания топлива, что подтвердится (во время следующей серии экспериментов) выравниванием температурных полей пламени и равномерностью полей недожога топлива.

Как видно из модели зона давления весьма неравномерна, а именно во входной конической части в отдельных зонах большие значения давления (~ 1600 Па), которые за фронтным устройством внезапно падают (до разрежения примерно -700 Па). На выходе из конической части до фронтного устройства, также наблюдается относительное выравнивание давления (около ~ 300 Па). В целом по всему полю наблюдается усреднение давления до атмосферного.

Переход от прямоугольных щелей к треугольным не дал существенных изменений картины эпюр скоростей и давлений, хотя треугольные щели представляются предпочтительными.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Достяров, А. М., Мусабеков, Р. А., Яманбекова, А. К.** Возможности использования микрофакельной воздушной горелки для теплогенератора [Текст] // Вестник АУЭС. – 2018. – №4 (6). – С. 32–39.

2 **Достяров, А. М.** Микрофакельное горение в топливосжигающих устройствах [Текст]. – Шымкент, ЮКГУ, 1999. – 181 с.

3 **Гардинер, У., Диксон-Льюис, Г. И др.** Химия горения [Текст]. – М.: Мир, 1988. – 464 с.

4 **Лавров, В. А.** Процессы горения топлива и защита окружающей среды [Текст]. – М.: Машиностроение, 1981. – 373 с.

5 **Ахмедов, Р. Б., Циркульников, Л. М.** Технология сжигания горючих газов и жидких топлив [Текст]. – М.: Недра, 1984. – 238 с.

6 **Хзмалян, Д. Я., Каган, Я. Н.** Теория горения и топочные устройства [Текст]. – М. : Энергия, 1976. – 488 с.

7 **Померанцев, В. В. и др.** Основы практической теории горения [Текст]. – М. : Энергия, 1986. – 312 с.

8 **Михеев, В. П., Медников, Ю. П.** Сжигание природного газа [Текст]. – Л. : Недра, 1975. – 391 с.

9 **Jianbin Luo, Song Xu, Hongxiang Xu, Zhiqing Zhang, Xiaofeng Chen, Mingsen Li, Yuanhao Tie, Haiguo Zhang, Guiguang Chen, Chunmei Jiang.** Overview of mechanisms of Fe-based catalysts for the selective catalytic reduction of NO_x with NH₃ at low temperature. Environmental Science and Pollution Research [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32113-7>. (Date conversion: 26.01.2024).

10 Руководство по пользованию. Введение в COMSOL Multiphysics, [Электронный ресурс]. – www.comsol.ru.

REFERENCES

1 **Dostiyarov, A. M., Musabekov, R. A., Yamanbekova, A. K.** Vozmozhnosti ispol'zovaniya mikrofael'noj vozdushnoj gorelki dlya teplogeneratora [Possibility of using a micro-torch air burner for a heat generator] [Text]. // Vestnik AUES. – 2018. – №4 (6). – P. 32–39.

2 **Dostiyarov, A. M.** Mikrofael'noe gorenje v toplivoszhigayushchih ustrojstvah [Microflare combustion in fuel-burning devices] [Text]. – Shymkent, YuKGU, 1999. – 181 p.

3 **Gardiner U., Dikson-L'yuis G. I dr.** Himiya goreniya [Chemistry of combustion] [Text]. – Moscow : Mir, 1988. – 464 p.

4 **Lavrov, V. A.** Processy goreniya topliva i zashchita okruzhayushchej sredy [Fuel combustion processes and environmental protection] [Text]. – Moscow : Mashinostroenie, 1981. – 373 p.

5 **Ahmedov, R. B., Cirkul'nikov, L. M.** Tekhnologiya szhiganiya goryuchih gazov i zhidkih topliv [Technology of combustion of flammable gases and liquid fuels] [Text]. – Moscow : Nedra, 1984. – 238 p.

6 **Hzmalyan D. Ya., Kagan, Ya. N.** Teoriya goreniya i topochnye ustrojstva [Combustion theory and combustion devices] [Text]. – Moscow : Energiya, 1976. – 488 p.

7 **Pomerancev, V. V. i dr.** Osnovy prakticheskoy teorii goreniya [Fundamentals of practical combustion theory] [Text]. – Moscow : Energiya, 1986. – 312 p.

8 **Miheev, V. P., Mednikov, Yu. P.** Szhiganie prirodnogo gaza [Combustion of natural gas] [Text]. – L. : Nedra, 1975. – 391 p.

9 **Jianbin Luo, Song Xu, Hongxiang Xu, Zhiqing Zhang, Xiaofeng Chen, Mingsen Li, Yuanhao Tie, Haiguo Zhang, Guiguang Chen, Chunmei Jiang.** Overview of mechanisms of Fe-based catalysts for the selective catalytic reduction of NO_x with NH_3 at low temperature. Environmental Science and Pollution Research [Electronic resource]. URL: <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32113-7>. (Date conversion: 26.01.2024).

10 User manual. Introduction to COMSOL Multiphysics, [Electronic resource]. – www.comsol.ru.

Поступило в редакцию 01.02.24.

Поступило с исправлениями 05.02.24.

Принято в печать 01.03.24.

**А. Н. Сапарғалиева, К. Т. Баубеков, Б. А. Биахметов*

С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,
Қазақстан Республикасы, Астана қ.

01.02.24 ж. баспаға түсті.

05.02.24 ж. түзетулерімен түсті.

01.03.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

ЖЫЛУГЕНЕРАТОРДЫҢ АЛДЫҢҒЫ ҚҰРЫЛҒЫСЫ ҚҰРЫЛЫМЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ КЕЗІНДЕГІ АЭРОДИНАМИКАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕРДІ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛДЕУДІ ҚОЛДАНУ

Белгілі болғандай, дәстүрлі отынды жағудан микро алауларға көшу отынның жану тиімділігін арттыруға әкеледі. Алдыңғы құрылғы жылу генераторының негізгі элементі болып табылады, ол жылуды жанатын тұрған отыннан қыздыру бетіне беру үшін жауап береді.

Жылу генераторының алдыңғы құрылғысын одан әрі жетілдіру мақсатында Comsol Multiphysics бағдарламасында жылу генераторын сандық модельдеу орындалды.

Жылу генераторын сандық модельдеу алдыңғы құрылғының жұмысын талдауға және оңтайландыруға мүмкіндік береді. Бағдарлама отын бағы, реттегіш, ауа беру жүйесі және жану

өнімдерін кетіру жүйесі сияқты барлық компоненттерін қамтитын жылу генераторының үш өлшемді моделін жасай алады.

Осылайша, аэродинамикалық процестерді сандық модельдеу алдыңғы жылу генераторы құрылғысының конструкциясының тиімділігін зерттеудің маңызды құралы болып табылады. Болашақта жану процестерінің толық суреті және толық және толық емес жану өнімдерінің түзілуі, аэродинамика және отын мен ауа қоспасының түзілуін оңтайландыру, сонымен қатар жану процестерінің толық бейнесі бар тәжірибелік қондырғыдағы тәжірибелер кезінде сандық модель расталуы керек. Осыған байланысты жылу генераторының сипаттамалары қоспа түзілу қарқыны төмен алаудың жекелеген аймақтарында жалынның температуралық өрістерін және жанармайдың төмен жануының жағымсыз өрістерін теңестіру есебінен жақсарады деп күтілуде.

Кілтті сөздер: алдыңғы құрылғы, жылу генераторы, COMSOL Multiphysics, сандық модельдеу, жану камерасы, газтурбиналық қондырғы ГТҚ, ОАҚ, COMSOL Multiphysics.

*A. N. Sapargaliyeva², K. T. Baubekov², B. A. Biakhmetov²

²S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,

Republic of Kazakhstan, Astana

Received 01.02.24.

Received in revised form 05.02.24.

Accepted for publication 01.03.24.

APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELING OF AERODYNAMIC PROCESSES IN STUDYING THE EFFICIENCY OF A DESIGN FRONT HEAT GENERATOR DEVICE

As is known, the transition from traditional fuel combustion to micro-flares leads to an increase in the efficiency of fuel combustion. The front device is a key element of the heat generator, responsible for transferring heat from the burning fuel to the heating surface.

In order to further improve the front design of the heat generator, numerical simulation of the heat generator was performed in the Comsol Multiphysics program.

Numerical modeling of the heat generator allows one to analyze and optimize the operation of the front-end device. The program can create a three-dimensional model of a heat generator, including all its components, such as a fuel tank, a regulator, an air supply system and a combustion product removal system.

Thus, numerical modeling of aerodynamic processes is an important tool in studying the efficiency of the design of the front heat generator device. In the future, the numerical model should be confirmed during experiments on an experimental installation with a complete picture of combustion processes and the formation of complete and incomplete combustion products, optimization of aerodynamics and mixture formation of fuel and air, as well as the influence of various parameters in these processes on the operation of the front device. In this regard, it is expected that the characteristics of the heat generator will be improved due to the equalization of the temperature fields of the flame and undesirable fields of underburning of fuel in individual zones of the torch with low mixture formation rates.

Keywords: front device, heat generator, COMSOL Multiphysics, numerical modeling, combustion chamber, gas turbine unit, fuel assembly, COMSOL Multiphysics.

Теруге 06.03.2024 ж. жіберілді. Басуға 29.03.2024 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс №4204

Сдано в набор 06.03.2024 г. Подписано в печать 29.03.2024 г.

Электронное издание

29.9 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 4204

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz