

ТАДЖИКСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 536.46

На правах рукописи

Халимов Илхом Исломович

**СВЕРХ- И СУБАДИАБАТИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ
ФИЛЬТРАЦИОННОГО ГОРЕНИЯ ГАЗОВ
В ЭКВИВАЛЕНТНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Душанбе - 2021

Работа выполнена на кафедре вычислительной математики и механики
Таджикского национального университета

Научный руководитель:

Кабиров Маруф Махмудович
кандидат физико-математических
наук, доцент

Официальные оппоненты

Исмат Мухаммаджон,
доктор физико-математических
наук, профессор кафедры
математики и информационных
систем в экономике Института
туризма, предпринимательства и
сервиса Республики Таджикистан

**Абдукаримов Махмадсалим
Файзуллоевич,** кандидат физико-
математических наук, доцент,
заместитель исполнительного
директора Филиала МГУ имени М.В.
Ломоносова в городе Душанбе

Оппонирующая организация:

Физико-технический институт им.
С.У.Умарова НАН Таджикистана

Защита состоится 03 06 2021 г. в 10:00 часов на заседании
диссертационного совета 6D.KOA-013 на механико-математическом
факультете Таджикского национального университета по адресу: 734027, г.
Душанбе, ул. Буни-Хисорак, корпус 17, аудитория 203

С диссертацией можно ознакомиться в центральной научной библиотеке
Таджикского национального университета или на сайте: <http://www.tnu.tj>

Автореферат разослан «__»_____2021 г.

**Учёный секретарь диссертационного совета,
кандидат физико-математических наук,
доцент**

Садуллоев Р.И.

Общая характеристика работы

Актуальность темы. В настоящее время использование тепловой энергии углеводородных топлив при их сгорании в смеси с воздухом считается эффективным в сравнении с электрическим источником энергии. На этом основываются разрабатываемые горелочные устройства, которые помимо высокой эффективности обладают хорошими экологическими свойствами, например, низким уровнем выброса NO_x (оксидов азота) и отсутствием открытого пламени^{1,2}. В этих устройствах горение газов происходит в присутствии инертной пористой среды, что позволяет получать сверхадиабатические температуры продуктов горения^{3,4,5}. Подобные устройства дают возможность сжигать бедные топливом смеси, которые обычным образом (без пористой среды) невозможно сжигать. Горелочные устройства являются частью приложений фильтрационного горения газа наряду с приложениями в химической технологии, пожаро-взрывобезопасности, экологии, нефтедобычи. Под ФГГ понимается установившийся в науке горения определение, «процесс распространения зоны газофазной экзотермической реакции в инертной пористой среде при фильтрационном подводе газообразных реагентов к зоне химического превращения»⁶. Знание свойств ФГГ позволяют усовершенствовать существующие и внедрять новые технологии. В связи с этим построение адекватных математических моделей и грамотная реализация вычислительных алгоритмов позволяет избегать лишних затрат на дорогостоящее экспериментальное оборудование и многочисленные опыты.

Построенная в диссертации математическая модель ФГГ эквивалентно к существующей в научной литературе модели и её аналитические решения

¹ Палесский Ф. С. Моделирование фильтрационного горения газов в цилиндрической пористой горелке с учётом радиационного теплообмена / Ф. С. Палесский, Р. В. Фурсенко, С.С. Минаев // Физика горения и взрыва, –2014. –Т. 50. –№ 6. –С. 3-10.

² Палесский Ф. С. Моделирование горения предварительно перемешанных смесей газов в расширяющемся канале с учетом радиационных теплопотерь / Ф. С. Палесский, С. С. Минаев, Р. В. Фурсенко, В. К. Баев, А. И. Кирдяшкин, В. М. Орловский // Физика горения и взрыва. –2012. –Т. 48. –№ 1. –С. 21–27.

³ Матрос Ю.Ш. Нестационарные процессы в каталитических реакторах / Ю.Ш. Матрос // Новосибирск: Наука, –1982.

⁴ Howell J. R. Combustion of hydrocarbon fuels within porous inert media / J. R. Howell, M. J. Hall, J. L. Ellzey // Prog. Energy Combust. Sci. — 1996. — V. 22. — P. 122–145.

⁵ Kennedy L. A. Superadiabatic combustion in porous media: Wave propagation, instabilities, new type of chemical reactor / L. A. Kennedy, A. V. Saveliev // Intern. J. Fluid Mech. Res. — 1995. — V. 22, iss. 2. — P. 1–26.

⁶ Бабкин В.С. Фильтрационное горение газов / В.С. Бабкин, Ю.М. Лаевский // Физика горения и взрыва. –1987. –Т. 23. –№ 5. –С. 27–44.

описывают наблюдаемые в опытах режимов ФГГ⁷. Невозможность нахождения аналитических решений нестационарных задач ФГГ в квадратурных формулах, вынуждают исследователей прибегнуть к численным исследованиям задачи. Однако, приводя модельную систему к эквивалентной системе, можно найти аналитические решения в квадратурах, что и сделано в представляемой работе. Аналитические решения представлены в виде зависимостей температуры фаз, доли недостающего компонента от времени и координат. При этом установлены сверх- и субадиабатические режимы ФГГ и найдены скорости волны, температуры пористой среды при которой начинается израсходование недостающего компонента смеси и время реализации волны.

Объект исследования. Эквивалентная математическая модель фильтрационного горения газов (ФГГ).

Предмет исследования. Сверхадиабатические и субадиабатические режимы ФГГ.

Цель работы. Исследование сверх- и субадиабатических режимов фильтрационного горения газов посредством эквивалентной математической модели.

Задачи работы. В соответствии с поставленной целью выделяются следующие задачи:

1. Построение и обоснование эквивалентной математической модели фильтрационного горения газов;
2. Расчёт и анализ характеристик и структуры волны фильтрационного горения водорода, метано-воздушных и метанокислородных смесей;
3. Исследование особенностей субадиабатического и сверхадиабатического режимов фильтрационного горения газов;
4. Изучение разностных схем для численного исследования и разработка комплекса программ расчёта и построения графиков характеристик и структуры волны ФГГ.

Методы исследования. Диссертация носит теоретический характер. В ней используются методы алгебраического преобразования основных уравнений сохранения и нахождения решения уравнения теплопроводности. Кроме того используются методы численного исследования, подбора параметра и нахождения решения системы алгебраических уравнений.

⁷ Добрего К.В. Инженерно-физический журнал / К.В. Добрего, С.А. Жданок //, –1998, –Т. 71. –№ 3. –С. 424-432.

Научная новизна. Перечисленные ниже основные научные результаты диссертации являются новыми.

1. Найдены и обоснованы аналитические решения эквивалентной математической модели ФГГ;
2. Обосновано существование сверхадиабатических и субадиабатических режимов ФГГ в эквивалентной математической модели;
3. Выяснено существование режима самостоятельного распространения волны горения смеси газов в инертной пористой среде.
4. Разработан комплекс программ расчёта и анализа характеристик и структуры волны горения.

Положения, выносимые на защиту:

1. Составлена двухтемпературная нестационарная эквивалентная математическая модель фильтрационного горения газов;
2. Найдены аналитические решения двухтемпературной нестационарной эквивалентной математической модели фильтрационного горения газов;
3. Установлены сверхадиабатические и субадиабатические режимы ФГГ;
4. Субадиабатический режим реализуется в виде самостоятельного распространения волны горения смеси газов с пиком в профиле температуры и поддержанием температуры пористой среды до равновесного значения;
5. Проведённые расчёты подтверждают соответствие точки минимума кривых зависимостей разности равновесной и адиабатической температур и скорости волны от скорости вдува смеси стехиометрической газоздушной смеси;
6. Разработан комплекс программ в среде программирования Delphi, позволяющий автоматизированным способом провести расчёты и построить графики основных характеристик изучаемого процесса;

Теоретическая значимость работы заключается в том, что в диссертации предложена оригинальная идея нахождения аналитического решения двухтемпературной нестационарной математической модели фильтрационного горения газов (ФГГ). Аналитические решения описывают сверхадиабатические и субадиабатические режимы ФГГ и позволяют легко произвести расчёт основных характеристик волны и анализировать процесс ФГГ в зависимости от параметров системы. В диссертации также разработан комплекс программ для автоматизации и визуализации численных расчётов.

Практическая значимость работы:

1. На основе построенной математической модели найдены условия, при выполнении которых можно организовать сверхадиабатические температуры, которые дают возможность сжигать бедные топливом смеси и использовать такое горение по необходимости. А также можно создать современные горелочные устройства нового типа.

2. Усовершенствовать промышленные огнепреградители и улучшать экологии окружающей среды посредством уменьшения выбросов горения.

Достоверность результатов. Все выводы получены в результате теоретического исследования алгебраически преобразованных уравнений сохранения энергии и масс, описывающих процесс горения ФГГ. Уравнения сохранения энергии и масс являются апробированными. Некоторые результаты диссертационной работы подтверждают теоретические и экспериментальные выводы, существующие в научной литературе.

Личный вклад автора. Состоит в научном обосновании диссертационной работы, разработке комплекса программ расчёта и построения графиков основных характеристик волны горения. В работах, выполненных в соавторстве, автором сделан основной вклад, выражающийся в формулировании целей и задач исследований, обобщении и анализе результатов. Постановка основных задач принадлежит научному руководителю.

Апробация работы. Полученные диссертантом результаты обсуждались на научных докладах, конференциях и семинарах в том числе: на XII Всероссийском съезде по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики (Уфа, Республика Башкортостан, Россия 19-24 августа 2019 г.); на международной научной конференции посвящённой 70-летию профессора А.И. Филиппова «Физика конденсированного состояния и смежные проблемы» (Республика Башкортостан, Россия, г.Стерлитамак, 2-5 октября 2019 г.); на международной научной конференции посвящённой 70-летию профессора Джангибекова Гулходжа. «Сингулярные интегральные уравнения и дифференциальные уравнения с сингулярными коэффициентами»(ТНУ, г.Душанбе, 30-31 января 2020 г.); на республиканской научно-практической конференции, посвящённой двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук «Актуальные вопросы естественных наук и технологий»(РТСУ. Душанбе, 28 октября 2020 г.); на республиканской научно-практической конференции «Математическое и компьютерное моделирование физических процессов»(ТНУ. г. Душанбе, 25-октября 2019 г.); на республиканской

научно-практической конференции «Актуальные вопросы дифференциальных уравнений, математического анализа, алгебры и теории чисел и их приложения» (РТСУ. Душанбе, 17 мая 2019 г.); на XI - международной научно-теоретической конференции посвященной 70-летию образования Таджикского национального университета и 70-летию доктора физико-математических наук, профессора Юнуси Махмадюсуф Камарзода. «Компьютерный анализ проблем науки и технологии» (г. Душанбе, 27-28 декабря 2018 г.); на международной научной конференции «Дифференциальные уравнения и смежные проблемы» (Республика Башкортостан, Россия, г. Стерлитамак 25-29 июня 2018 г.); на международной научной конференции «Современные проблемы математики и её приложений» (Филиал Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова в городе Душанбе, 21-22 июня 2018 г.); IX International Voevdsy Conference «Physics and Chemistry of Elementary Chemical Processes» (June 25-30, 2017, Akademgorodok, Novosibirsk, Russia.); на международной научной конференции, посвященной 25-летию XVI сессии Верховного Совета Республики Таджикистан. «Дифференциальные уравнения, математический анализ и теория чисел» (Курган-Тюбе, 27-28 октября 2017 г.);

Публикации. По результатам исследований в открытой печати опубликовано 15 научных работ, 5 из которых статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК при Президенте РТ и 10 тезисов докладов, опубликованных в материалах международных и республиканских конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, выводов, заключения, списка литературы из 123 наименований и 4 приложения. Объем диссертации состоит из 137 страниц, в том числе 13 таблиц и 33 рисунков. 4 приложения включает 6 таблиц и 36 рисунков.

Краткое содержание работы

Во введении приводится общая характеристика работы, обосновывается актуальность темы исследования, определены цель и задачи исследования, сформулированы основные защищаемые положения, представлены научная новизна и практическая значимость полученных результатов, описывается структура диссертации, а также сведения по ее апробации, показан личный вклад автора в исследуемую проблему.

Первая глава посвящена интегральным и дифференциальным уравнениям сохранения массы, количество движения и энергии фаз. В первом пункте приведены основные понятия, связанные с введением массы

компонента в единице объёма, в объёме пористой среды, в бесконечно малом и конечном объёмах, расшифрован закон сохранения массы компонента в интегральной форме и этот закон получен в виде дифференциального уравнения. Во **втором** пункте закон сохранения массы твёрдой фазы выведены в интегральной и дифференциальной форме. В **третьем** пункте приведены понятия количество движения в единице объёма, в произвольном конечном объёме и закон сохранения количество движения компонентов газовой фазы в интегральной и дифференциальной форме. В **четвёртом** пункте выведены дифференциальные уравнения закона сохранения внутренней и полной энергии компонентов газовой фазы. В **пятом** пункте выведены дифференциальные уравнения закона сохранения внутренней энергии твёрдой фазы.

Вторая глава посвящена построению эквивалентной математической модели ФГГ. В **первом** и **втором** пунктах этой главы приводятся физическая и математическая постановка задачи соответственно. В теории ФГГ для описания воспламенения газа в инертной пористой среде используется ниже приводимая математическая модель, где пренебрегается теплопроводностью и диффузией в газе, а также градиентом давления смеси в пористом блоке³

$$\begin{aligned}
 \rho_1 c_p \frac{\partial T_1}{\partial t} + \rho_1 c_p v_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} &= -\alpha_c S_c (T_1 - T_2) + \rho_1 Q J, \quad J = \eta k_0 \exp(-E/RT_1), \\
 \rho_2 c_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} &= \alpha_2 \lambda_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} + \alpha_c S_c (T_1 - T_2) + \alpha_{0,e} (T_0 - T_2), \\
 \rho_1 \frac{\partial \eta}{\partial t} + \rho_1 v_1 \frac{\partial \eta}{\partial x} &= -\rho_1 J, \quad \frac{\partial \rho_1}{\partial t} + \frac{\partial \rho_1 v_1}{\partial x} = 0, \quad \rho_1 T_1 = \rho_{10} T_0, \\
 \alpha_c &= \frac{Nu \cdot \lambda_1}{d_{eff}}, \quad S_c = \frac{6\alpha_2}{d}, \quad \alpha_{0,e} = \frac{2\alpha_w}{R_w} \\
 Nu &= 0.395 Re^{0.64} Pr^{1/3}, \quad Re = \frac{v_1 d_{eff} \rho_1}{\mu_1 \alpha_1}, \quad Pr = \frac{c_p \mu_1}{\lambda_1}, \quad d_{eff} = \frac{2\alpha_1 d}{3\alpha_2}.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Начальные и граничные условия имеют вид

$$\begin{aligned}
 t = 0: \quad T_1 &= T_0, \quad T_2 = T_0, \quad \eta = \eta_0, \\
 x = 0: \quad T_1 &= T_{1*}(t), \quad T_2 = T_{2*}(t), \quad \eta = \eta_0, \\
 x = l: \quad \frac{\partial T_1}{\partial x} &= 0; \quad \frac{\partial T_2}{\partial x} = 0; \quad \eta = 0.
 \end{aligned} \tag{2}$$

В модели (1)-(2) приняты следующие обозначения величин: T_1, T_2 - температуры газа и пористой среды; η - массовая концентрация газового компонента; x и t - продольная координата и время соответственно; λ_1, λ_2 - коэффициенты теплопроводности газа и пористой среды; α_1, α_2 - объёмные содержания фаз; d - диаметр частиц пористой среды; d_{eff} - эффективный диаметр трубки; μ_1 - коэффициент динамической вязкости газа; Q - тепловой

эффект реакции; J - скорость химической реакции; E - энергия активации; R - универсальная газовая постоянная; k_0 - предэкспонент, α_c - поверхностный коэффициент межфазного теплообмена единицы объёма; S_c - удельная поверхность пористой среды; α_w - поверхностный коэффициент теплоотдачи в окружающее пространство; R_w - радиус трубки; v_{10} - скорость вдува смеси газов; T_0 - исходная температура смеси газов; η_0 - исходная концентрация компонента газовой фазы; c_p, c_2 - теплоёмкости смеси газов и пористой среды; ρ_{20}, ρ_{10} - приведённые плотности пористой среды и смеси газов; U - скорость волны, v_1 - скорость газа в текущем сечении пористого блока, Nu, Re, Pr - Числа Нусельта, Рейнольдса и Прандтля.

В системе (1) приведены основные уравнения баланса тепла (пористой среды и смеси газов) и массы (реагирующего компонента газа и смеси в целом), а также уравнение состояния при постоянном давлении смеси и выражения для определения коэффициента межфазного теплообмена. Поскольку толщина исследуемой волны горения l относительно узкая в сравнении с масштабом устройств, например, с толщиной огнепреградителя, то имеет место стационарный режим распространения волны горения.

Далее, в диссертации рассматривается случай отсутствия тепло потери в окружающее пространство ($\alpha_{0,e} = 0$).

В третьем пункте строится эквивалентная математическая модель ФГГ. Для построения эквивалентной модели ФГГ переходим в движущуюся с постоянной скоростью волны (U) систему координат, посредством преобразования $x = \xi + U\tau, t = \tau$, что обычно делают при изучении стационарных режимов. В такой системе, на конечном интервале времени, основные уравнения описывают нестационарный процесс распространения волны. Далее, делаем предположение о квазистационарности функции плотности, в соответствии с которой функция плотности смеси ведёт себя постоянно до ($\rho_1 \approx \rho_{10}$) и после ($\rho_1 \approx \rho_{1e}$) фронта горения. После обезразмеривания переменных и параметров уравнения (1) примет вид

$$\begin{aligned} \gamma_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial \bar{\tau}} + \gamma_1 \left(1 - \frac{1}{u_0}\right) \frac{\partial \theta_1}{\partial \bar{\xi}} &= -\alpha' \gamma_1 (\theta_1 - \theta_2) + n \exp\left(\frac{E}{RT_e} \left(1 - \frac{1}{T_0/T_e + \theta_1 RT_e/E}\right)\right), \\ \gamma_2 \frac{\partial \theta_2}{\partial \bar{\tau}} - \gamma_2 \frac{1}{u_0} \frac{\partial \theta_2}{\partial \bar{\xi}} &= \gamma_1 \chi_2 \frac{\partial^2 \theta_2}{\partial \bar{\xi}^2} + \alpha' \gamma_1 (\theta_1 - \theta_2), \\ \frac{\partial n}{\partial \bar{\tau}} + \left(1 - \frac{1}{u_0}\right) \frac{\partial n}{\partial \bar{\xi}} &= -n \exp\left(\frac{E}{RT_e} \left(1 - \frac{1}{T_0/T_e + \theta_1 RT_e/E}\right)\right), \quad T_e = T_0 + \frac{Q \eta_0}{c_p (1 - \varphi / (u_0 - 1))}. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь приняты следующие обозначения

$$T_1 - T_0 = \frac{RT_e^2}{E} \theta_1, \quad T_2 - T_0 = \frac{RT_e^2}{E} \theta_2, \quad \eta = \eta_0 n, \quad \xi = L \bar{\xi}, \quad \tau = \frac{\bar{\tau} \exp(E/RT_e)}{k_0},$$

$$\gamma_1 = \frac{c_p RT_e^2}{Q \eta_0 E}, \quad \alpha' = \frac{\alpha_c S_c}{\rho_{10} c_p k_0 \exp(-E/RT_e)}, \quad T_e = T_0 + \frac{Q \eta_0}{c_p (1 - \phi / (u_0 - 1))}, \quad u_0 = \frac{v_{10}}{U},$$

$$\gamma_2 = \gamma_1 \phi, \quad L = \frac{v_{10}}{k_0 \exp(-E/RT_e)}, \quad \chi_2 = \frac{\alpha_2 \lambda_2}{\rho_{10} c_p k_0 \exp(-E/RT_e) L^2}, \quad \alpha_c = \frac{Nu \cdot \lambda_1}{d_{eff}},$$

$$Nu = 0.395 Re^{0.64} Pr^{1/3}, \quad Re = \frac{|v_1| d_{eff} \rho_1}{\mu_1 \alpha_1}, \quad Pr = \frac{c_p \mu_1}{\lambda_1}, \quad d_{eff} = \frac{2 \alpha_1 d}{3 \alpha_2}, \quad S_c = \frac{6 \alpha_2}{d},$$

начальные и граничные условия имеют вид

$$\begin{aligned} \bar{\tau} = \tau': \quad \theta_1 &= \theta_{10}, \quad \theta_2 = \theta_{20}, \quad n = 1, \\ \bar{\xi} = 0: \quad \theta_1 &= \theta_{1*}(\bar{\tau}), \quad \theta_2 = \theta_{2*}(\bar{\tau}), \quad n = n_*(\bar{\tau}), \\ \bar{\xi} = \infty: \quad \frac{\partial \theta_1}{\partial \bar{\xi}} &= 0; \quad \frac{\partial \theta_2}{\partial \bar{\xi}} = 0; \quad n = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Проведём алгебраические преобразования над уравнениями системы (3). Суммирую первый и третий уравнений системы (3) получим первое уравнение эквивалентной системы. Второе уравнение системы (3) оставляем без изменений. Суммируя все уравнения (3) получим третье уравнение.

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\gamma_1 \theta_1 + n)}{\partial \bar{\tau}} + (1 - \frac{1}{u_0}) \frac{\partial(\gamma_1 \theta_1 + n)}{\partial \bar{\xi}} &= -\alpha' \gamma_1 (\theta_1 - \theta_2), \\ \gamma_2 \frac{\partial \theta_2}{\partial \bar{\tau}} - \gamma_2 \frac{1}{u_0} \frac{\partial \theta_2}{\partial \bar{\xi}} &= \gamma_1 \chi_2 \frac{\partial^2 \theta_2}{\partial \bar{\xi}^2} + \alpha' \gamma_1 (\theta_1 - \theta_2), \\ \frac{\partial(\gamma_1 \theta_1 + \gamma_2 \theta_2 + n)}{\partial \bar{\tau}} + \frac{\partial}{\partial \bar{\xi}} \left(\gamma_1 (1 - \frac{1}{u_0}) \theta_1 - \frac{\gamma_2}{u_0} \theta_2 + (1 - \frac{1}{u_0}) n \right) &= \gamma_1 \chi_2 \frac{\partial^2 \theta_2}{\partial \bar{\xi}^2}, \end{aligned} \quad (5)$$

Система уравнений (5) с начальными и граничными условиями (4) представляют собой эквивалентную математическую модель ФГГ.

В четвертом пункте найдены аналитические решения эквивалентной математической модели ФГГ. Для нахождения аналитического решения системы (5) предполагается постоянство выражения, находящееся под дифференциалом в частных производных по координате в третьем уравнении системы (5)

$$\gamma_1 (1 - \frac{1}{u_0}) \theta_1 - \frac{\gamma_2}{u_0} \theta_2 + (1 - \frac{1}{u_0}) n = 1 - \frac{1}{u_0}.$$

Постоянство этого выражения оправдано в случае узких пространственных и температурных интервалов в профиле температур, что является характерным предположением при исследовании процессов горения. То есть рассматривается около стационарный режим. Из этого выражения находим функцию температуры второй фазы

$$\theta_2 = \frac{u_0 - 1}{\gamma_2} (\gamma_1 \theta_1 + n - 1). \quad (6)$$

Подставляя выражение θ_2 из (6) в (5) имеем

$$\frac{\partial(\gamma_1\theta_1 + n)}{\partial\bar{\tau}} = a^2 \frac{\partial^2(\gamma_1\theta_1 + n)}{\partial\bar{\xi}^2}, \quad a^2 = \frac{\chi_2(u_0 - 1)}{\varphi \cdot u_0}. \quad (7)$$

Это уравнение имеет аналитические решения в виде

$$\gamma_1\theta_1 + n = \pm \frac{1}{2a\sqrt{\pi\bar{\tau}}} \cdot \exp\left(-\frac{\bar{\xi}^2}{4a^2\bar{\tau}}\right) + const.$$

Удовлетворяя граничные условия ($\bar{\xi} \rightarrow \infty$: $n = 0$; $\theta_1 = \theta_e$) находим

$$n = \gamma_1(\theta_e - \theta_1) \pm \frac{1}{2a\sqrt{\pi\bar{\tau}}} \exp\left(-\frac{\bar{\xi}^2}{4a^2\bar{\tau}}\right). \quad (8)$$

В итоге из (6) имеем

$$\theta_2 = \theta_e \pm \frac{u_0 - 1}{2a\gamma_2\sqrt{\pi\bar{\tau}}} \exp\left(-\frac{\bar{\xi}^2}{4a^2\bar{\tau}}\right). \quad (9)$$

Окончательно, решения системы (5) имеет вид

$$\begin{aligned} \theta_1 &= \theta_e \pm \frac{u_0 - 1}{2\gamma_2 a \sqrt{\pi\bar{\tau}}} \cdot \exp\left(-\frac{\bar{\xi}^2}{4a^2\bar{\tau}}\right) \left\{ 1 + \frac{1}{\alpha} \left(\frac{\bar{\xi}^2}{4a^2\bar{\tau}^2} - \frac{1}{2\bar{\tau}} \right) (\varphi \mp \frac{\chi_2}{a^2}) \pm \frac{\varphi\bar{\xi}}{2a^2\bar{\tau}\alpha'u_0} \right\}, \\ \theta_2 &= \theta_e \pm \frac{u_0 - 1}{2\gamma_2 a \sqrt{\pi\bar{\tau}}} \cdot \exp\left(-\frac{\bar{\xi}^2}{4a^2\bar{\tau}}\right), \quad \theta_e = \frac{1}{\gamma_1(1 + \varphi/(1 - u_0))}, \\ n &= \gamma_1(\theta_e - \theta_1) + \frac{1}{2a\sqrt{\pi\bar{\tau}}} \exp\left(-\frac{\bar{\xi}^2}{4a^2\bar{\tau}}\right), \end{aligned} \quad (10)$$

где

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{RT_e}{E}, \quad \gamma_1 = \frac{c_p T_e \beta}{Q\eta_0}, \quad \gamma_2 = \gamma_1 \varphi, \quad \varphi = \frac{\rho_2 c_2}{\rho_{10} c_p}, \quad \alpha' = \frac{\alpha}{\rho_{10} c_p k_0 \exp(-1/\beta)}, \\ a &= \sqrt{\frac{\chi_2(u_0 - 1)}{\varphi u_0}}, \quad \chi_2 = \frac{\alpha_2 \lambda_2}{\rho_{10} c_p k_0 \exp(-1/\beta) L^2}, \quad L = \frac{v_{10}}{k_0 \exp(-1/\beta)}, \quad u_0 = \frac{v_{10}}{U}. \end{aligned}$$

В **третьей** главе обоснованы сверх- и субадиабатические режимы горения смеси газов в инертной пористой среде в рамках эквивалентной математической модели ФГГ. В **первом** пункте определяются параметры и структуры волны в зависимости от механизма воспламенения. В первом подпункте этого пункта рассмотрен вопрос о воспламенении смеси газов накаливаемыми частицами пористой среды. Воспользуясь теорией воспламенения газов, при $\bar{\xi} = 0$, полагаем $\theta_2 = \theta_{2*}$, $\theta_1 = 0$, $n = 1$, $\bar{\tau} = \bar{\tau}_*$. Здесь τ_* - период времени, в течение которого устанавливается структура волны горения, то есть время реализации волны. Значения θ_{2*} , $\bar{\tau}_*$ - неизвестные, условие $\theta_1 = 0$ означает, что смесь на границе пористого блока имеет исходную, первоначальную температуру. При этих условиях из решения (10)

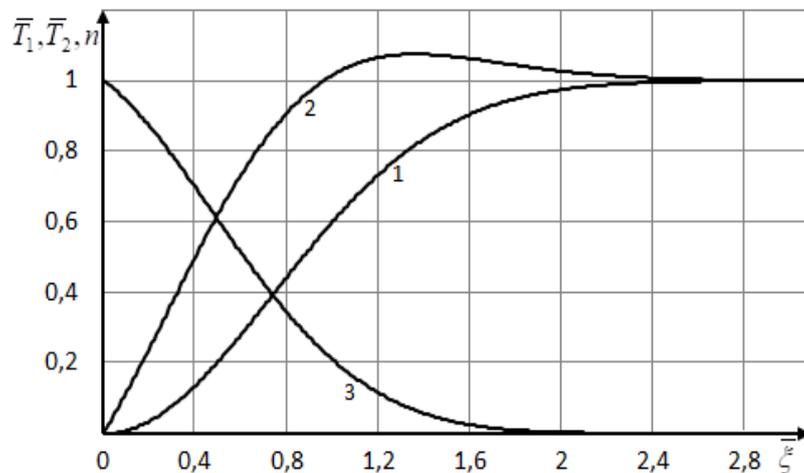
получаем следующую замкнутую алгебраическую систему с тремя неизвестными $\theta_{2*}, \bar{\tau}_*, U$

$$\begin{aligned} \theta_e + \frac{u_0 - 1}{2\gamma_2 a \sqrt{\pi \bar{\tau}_*}} \cdot \left\{ 1 - \frac{1}{2\bar{\tau}_* \alpha} \left(\varphi + \frac{\chi_2}{a^2} \right) \right\} &= 0, \\ \theta_{2*} - \theta_e + \frac{u_0 - 1}{2\gamma_2 a \sqrt{\pi \bar{\tau}_*}} &= 0, \quad \theta_e = \frac{1}{\gamma_1 (1 + \varphi / (1 - u_0))}, \\ \gamma_1 \theta_e + \frac{1}{2a \sqrt{\pi \bar{\tau}_*}} &= 1, \quad a = \sqrt{\frac{\chi_2 (u_0 - 1)}{\varphi u_0}}, \quad u_0 = \frac{v_{10}}{U}. \end{aligned} \quad (11)$$

В результате разрешения этой системы (11) получим соотношение для определения скорости волны горения U при заданных определяющих и управляющих параметрах пористой среды и смеси газов

$$\begin{aligned} \theta_e + \frac{u_0 - 1}{2\gamma_2 a \sqrt{\pi \bar{\tau}_*}} \cdot \left\{ 1 - \frac{1}{2\bar{\tau}_* \alpha} \left(\varphi + \frac{\chi_2}{a^2} \right) \right\} &= 0, \\ \tau_* &= \frac{1}{4a^2 (1 - \gamma_1 \theta_e)^2}, \quad \theta_e = \frac{1}{\gamma_1 (1 + \varphi / (1 - u_0))}, \\ \theta_{2*} &= 2\theta_e. \end{aligned}$$

Во втором подпункте рассматривается воспламенение смеси газов посредством пористой среды. В этом случае скорость распространения волны U и время реализации структуры волны τ_* определяются из положения, что распределения температуры должны выходить из одной особой точки системы (холодная граница) и входит в другую особую точку (горячая граница), а также распределение доли недостающего компонента должно выходить из единицы и монотонно убывать до нуля. Самостоятельное распространение горения по смеси рассмотрено в третьем подпункте. Такое распространение фронта ФГГ по смеси без участия пористой среды было ранее отмечено⁷. Ниже приведённый рисунок структуры волны получено по эквивалентной математической модели ФГГ, где кривая 2 соответствует профилю температуры газовой фазы



На этом рисунке наблюдаем, что тепло выделившееся в смеси тратится на поддержку распространения горения по смеси и поднятие температуры пористой среды до равновесной, которая ниже адиабатической температуры. Время реализации такой структуры волны зависит от параметров системы. Скорость волны и время реализации структуры волны определялся по схеме, приведённой в подпункте 2 первого пункта третьей главы (3.1.2). Со временем, профили температур пористой среды и смеси газов сливаются, то есть переходят в однотемпературную структуру.

Во **втором** пункте приведены результаты горения водородо-воздушных смесей в сверхадиабатических и субадиабатических режимах. В первом подпункте анализируется сверхадиабатическая температура, возникающая на некотором участке профиля температуры газовой фазы. В этом случае направления скорости распространения горения противоположно направлению вдува смеси газов, то есть равновесная температура ниже адиабатической. Во втором подпункте рассматривается сверхадиабатический однотемпературный режим горения. Характерной особенностью этого режима является то, что тепло в подлежащие слои передаётся посредством эффективной теплопроводности пористой среды и за счёт межфазного теплообмена газ в порах нагревается и происходит её воспламенение. В третьем подпункте приведены расчётные кривые зависимости параметров волны от коэффициента избытка топлива, где можно наблюдать, что минимум скорости волны горения соответствует стехиометрической смеси. В четвёртом подпункте рассмотрено субадиабатический режим горения. В этом режиме горение происходит в температурах ниже адиабатической температуры, причём в момент формирования структуры волны профили температур пористой среды и смеси газов отличаются друг от друга. Со временем происходит слияние этих профилей. Анализируется зависимости время формирования и время слияния профилей температур от скорости вдува смеси газов. В подпунктах **третьего** пункта рассмотрены особенности горения метановоздушной смеси, а именно сверхадиабатическая температура, горения метановоздушной смеси при относительно малых скоростях вдува, случай отсутствия локального максимума на профиле температуры газа, субадиабатический режим горения. В **четвёртом** пункте рассматривается горения метанокислородной смеси газов. В подпунктах этого пункта выяснены реализации сверх- и субадиабатических режимов горения, а также сравниваются параметры волны горения метанокислородной смеси с метановоздушной.

Четвёртая глава посвящена разностным уравнениям математической модели ФГГ и комплексу программ расчёта основных характеристик волны

горения. В трёх подпунктах первого пункта рассматриваются явные и явно- неявные разностные схемы. Во втором пункте объясняется интерфейс разработанного комплекса программ расчёта и анализа характеристик волны горения смеси газов. В конце каждой главы приведены выводы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Основные результаты:

1. Построена эквивалентная математическая модель фильтрационного горения газов и найдены её аналитические решения в виде функции температур и доли реагирующего компонента от координат и времени.

2. В рамках разработанной математической модели сверхадиабатический режим реализован в двух формах, первое, когда на профиле температуры газовой смеси имеется участок, где температура выше адиабатической и при этом диаметр частиц порядка 1мм, и второе, когда равновесная температура выше адиабатической, диаметр частиц порядка 10 мкм. В первом случае, волна горения распространяется навстречу вдуваемой смеси, а во втором по потоку.

3. Субадиабатический режим горения обоснован для диаметров частиц пористой среды порядка 1мм и для всех составов всех смесей. В этом режиме с момента формирования волны горения, температура смеси больше температуры пористой среды по длине волны, а затем по прохождению времени происходит выравнивание температур пористой среды и смеси газов.

4. Установлен новый вид структуры волны горения в режиме сверхадиабатической температуры: температура пористой среды на холодной границе определяется из условия воспламенения смеси и эта температура выше равновесной. То есть профиль температуры пористой среды начинается от начальной, граничной температуры и асимптотически убывает до равновесной температуры, а профиль температуры газовой фазы начинается от начальной (лабораторной) температуры и имеет локальный максимум выше адиабатической температуры и асимптотически приближается к равновесной температуре. Профиль доли недостающего компонента убывает асимптотически от единицы до нуля.

5. Рассчитанные основные параметры волны горения газов в инертной пористой среде по разработанной математической модели удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными и выводами исследователей по теории ФГГ.

6. В рамках разработанной математической модели минимум скорости волны соответствует стехиометрической смеси, как в теории горения газов.

2. Практическая значимость:

1. На основе построенной математической модели найдены условия, при выполнении которых можно организовать сверхадиабатические температуры, которые дают возможность сжигать бедные топливом смеси и использовать такое горение по необходимости. А также можно создать современные горелочные устройства нового типа.

2. Усовершенствовать промышленные огнепреградители и улучшать экологии окружающей среды посредством уменьшения выбросов горения.

Публикации автора по теме диссертации

Статьи, опубликованные в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК при Президенте РФ и ВАК Министерства образования и науки РФ:

- [1-А] Халимов И.И., Кабилов М.М., Садриддинов П.Б., Гулбоев Б.Дж. Об аналитическом решении нестационарной задачи фильтрационного горения газов // Вестник ТНУ. Серия естественных наук. 2017. №1/4. С. 94-99.
- [2-А] Халимов И.И., Кабилов М.М., Сверхадиабатический режим горения водородо-воздушной смеси в инертной пористой среде // Доклады Академии наук Республики Таджикистан 2018. Том 61, №3. С. 241-249.
- [3-А] Халимов И.И., Кабилов М.М., Особенности горения метановоздушной смеси в инертной пористой среде // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. 2019. Том 62, №3-4. С. 159-165.
- [4-А] Кабилов М.М., Халимов И.И. Комплекс программ для расчёта, анализа структур и характеристик волны фильтрационного горения газовой смеси // Вестник ТНУ. Серия естественных наук. 2019. №3. С. 138-143.
- [5-А] Халимов И.И., Кабилов М.М., Режимы фильтрационного горения газов в эквивалентной модели // XII Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики. Уфа, Республика Башкортостан, Россия 19-24 августа 2019. С. 136.

Материалы конференций, тезисы докладов:

- [6-А] Халимов И.И. Пакет программ расчёта характеристик волны фильтрационного горения газовой смеси // Материалы Республиканская научно-практическая конференция на тему

«Математическое и компьютерное моделирование физических процессов». ТНУ. г. Душанбе, 25-октября 2019. С.164-168.

- [7-А] Халимов И.И. Математическая модель горения водородо-воздушной смеси в инертной пористой среде с новыми граничными условиями // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Актуальные вопросы дифференциальных уравнений, математического анализа, алгебры и теории чисел и их приложения». РТСУ. Душанбе, 17 мая 2019. С. 306-312.
- [8-А] Халимов И.И., Кабилов М.М., Гулбоев Б.Дж., Садриддинов П. Механизм и режим горения метановоздушной смеси газов в инертной пористой среде // Материалы международной научной конференции, посвященной 25-летию XVI сессии Верховного Совета Республики Таджикистан. «Дифференциальные уравнения, математический анализ и теория чисел». Курган-Тюбе, 27-28 октября 2017. С. 52-54.
- [9-А] Халимов И.И., Кабилов М.М. Характеристики горения метановоздушной смеси в инертной пористой среде // Материалы XI - международной научно-теоретической конференции посвященной 70-летию образования Таджикского национального университета и 70-летию доктора физико-математических наук, профессора Юнуса Махмадюсуф Камарзода «Компьютерный анализ проблем науки и технологии». г. Душанбе, 27-28 декабря 2018. С. 126-130.
- [10-А] Khalimov I.N., Kabilov M.M., Sadriddinov P.B., Gulboev B.J. Analytical solution of the nonstationary problem of filtration combustion of gases // IX International Voevodsky Conference «Physics and Chemistry of Elementary Chemical Processes». June 25-30, 2017, Akademgorodok, Novosibirsk, Russia. С. 67-68.
- [11-А] Халимов И.И., Кабилов М.М. Сверхадиабатический режим фильтрационного горения водородо-воздушной смеси // Материалы международной научной конференции «Дифференциальные уравнения и смежные проблемы». Республика Башкортостан, Россия, г.Стерлитамак 25-29 июня 2018. Том II. С. 93-96.
- [12-А] Халимов И.И., Кабилов М.М. Сверхадиабатический режим горения метановоздушной смеси в инертной пористой среде // Материалы международной научной конференции «Современные проблемы математики и её приложений» Филиал Московского государственного

университета имени М.В.Ломоносова в городе Душанбе, 21-22 июня 2018. С. 50-51.

- [13-А] Халимов И.И., Кабилов М.М. Фильтрационное горение метаноокислородной смеси // Материалы международной научной конференции, посвященной 70-летию профессора А.И. Филиппова «Физика конденсированного состояния и смежные проблемы». УФА БашГУ, г.Стерлитамак, 2 -5 октября 2019. С. 170-173.
- [14-А] Халимов И.И., Кабилов М.М. Баротов А.С. Горение пропановоздушной смеси в эквивалентной модели фильтрационного горения газов // Международной научной конференции посвященной 70-летию профессора Г.Джангибекова « Сингулярные интегральные уравнения и дифференциальные уравнения с сингулярными коэффициентами ».ТНУ. г.Душанбе, 30-31 января 2020. С. 155-158.
- [15-А] Халимов И.И. Разностные уравнения процесса горения смеси газов в инертной пористой среде // Республиканской научно-практической конференции, посвящённой двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук «Актуальные вопросы естественных наук и технологий». РТСУ. Душанбе, 28 октября 2020. С. 289-291.

ДОНИШГОҶИ МИЛЛИИ ТОҶИКИСТОН

УДК 536.46

Бо ҳуқуқи дастхат

Ҳалимов Илҳом Исломович

**РЕЖИМҶОИ АЗ АДИАБАТИ БОЛО ВА ПОЁНИ СЎЗИШИ
ФИЛТРОНАИ ГАЗҶО ДАР МОДЕЛИ МАТЕМАТИКӢИ
БАРОБАРҚУВВА**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т И

диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмии номзади илмҶои физикаю
математика аз рӯи ихтисоси 05.13.18 - Амсиласозии математикӣ, усулҶои
ададӣ ва комплекси барномаҶо

Душанбе - 2021

Диссертатсия дар кафедраи математикаи ҳисоббарорӣ ва механикаи
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон иҷро шудааст

Роҳбари илмӣ:

Қобилов Маруф Маҳмудович
номзади илмҳои физикаю математика,
дотсент

Муқарризони расмӣ:

Исмти Мухаммадҷон,
доктори илмҳои физикаю математика,
профессори кафедраи математика ва
технологияҳои иттилооти дар
иқтисодиёт, Донишкадаи туризм,
соҳибкорӣ ва хизмати Ҷумҳурии
Тоҷикистон

Абдукаримов Маҳмадсалим
Файзуллоевич, номзади илмҳои
физикаю математика, дотсент,
муовини иҷрокуандаи Директори
филиали Донишгоҳи давлатии Москва ба
номи М.В. Ломоносов дар шаҳри Душанбе
Институти физикаю техникаи ба номи
С.У. Умарови Академияи миллии
илмҳои Тоҷикистон

Муассисаи пешбар:

Ҳимояи диссертатсия 3-уми июни соли 2021 соати 10:00 дар Шӯрои
диссертатсионии 6D КОА-013 дар факултети механикаю математикаи
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон аз рӯи нишони: 734027, ш. Душанбе,
кӯчаи Буни -Ҳисорак, бинои 17, синфхонаи 203 баргузор мегардад.

Бо диссертатсия дар китобхонаи марказии Донишгоҳи миллии
Тоҷикистон ва тавассути сомонаи <http://www.tnu.tj> шинос шудан мумкин
аст.

Автореферат «___»_____2021 фиристода шуд.

Котиби илмии Шӯрои диссертатсионӣ,
номзади илмҳои физикаю математика,
дотсент

Садуллоев Р.И.

Тавсифи умумии тадқиқот

Муҳимияти мавзӯи тадқиқот. Дар айни замон, истифодаи энергияи гармии сӯзишвории карбогидрид ҳангоми сӯختани онҳо дар омехта бо ҳаво дар муқоиса бо манбаи энергияи электрикӣ самаранок ҳисобида мешавад. Ин асоси оташдонҳои таҳияшуда мебошад, ки илова бар самаранокии баланд, хусусиятҳои хуби экологӣ доранд, масалан, сатҳи пасти партоби NO_x (оксиди нитроген) ва набудани шӯълаи кушод^{1,2}. Дар ин дастгоҳҳо сӯзиши газҳо дар муҳити ковоки инертӣ ба амал меоянд, ва ин муҳит имкон медиҳад, ки ҳарорати сӯзиши аз ҳарорати адиабатӣ баланд буда ба даст оварда шавад^{3,4,5}. Чунин дастгоҳҳо имкон медиҳанд, ки омехтаҳои ҳиссаи сӯзишвориашон кам сӯзонда шаванд, азбаски онҳоро ба таври маъмулӣ сӯзондан имконнопазир аст (бидуни муҳити ковок). Дастгоҳҳои сӯзонанда як ҷиҳати истифодабарии сӯзиши филтронаи газҳо мебошанд, дар қатори дигар истифодабарихо, ба монанди технологияҳои кимиёвӣ, бехатарии сӯхтор ва таркиш, экология, истеҳсоли нафт. Дар зери мафҳуми СФГ (сӯзишии филтронаи газҳо) таърифи дар илми сӯзиш муқарраршуда фаҳмида мешавад, ин «протсеси паҳншавии соҳаи реаксияи экзотермии газ дар муҳити ковоки инертӣ, ҳангоми филтрона таъмин намудани соҳаи табдилёбии химиявӣ бо реактивҳои газнок мебошад»⁶. Донишҷӯи хосиятҳои СФГ имкон медиҳад, ки технологияҳои мавҷударо такмил диҳанд ва навро ҷорӣ намоянд. Дар ин маврид, сохтани моделҳои математикии мувофиқ ва бо боварии комил татбиқ намудани алгоритмҳои ҳисоббарорӣ имкон медиҳанд, ки ҳароҷоти нолозим барои таҷҳизоти гаронарзиши таҷрибавӣ ва таҷрибаҳои сершумор пешгирӣ карда шаванд.

¹ Палесский Ф. С. Моделирование фильтрационного горения газов в цилиндрической пористой горелке с учётом радиационного теплообмена / Ф. С. Палесский, Р. В. Фурсенко, С.С. Минаев // Физика горения и взрыва, –2014. –Т. 50. –№ 6. –С. 3-10.

² Палесский Ф. С. Моделирование горения предварительно перемешанных смесей газов в расширяющемся канале с учетом радиационных тепловпотерь / Ф. С. Палесский, С. С. Минаев, Р. В. Фурсенко, В. К. Баев, А. И. Кирдяшкин, В. М. Орловский // Физика горения и взрыва. –2012. –Т. 48. –№ 1. –С. 21–27.

³ Матрос Ю.Ш. Нестационарные процессы в каталитических реакторах / Ю.Ш. Матрос // Новосибирск: Наука, –1982.

⁴ Howell J. R. Combustion of hydrocarbon fuels within porous inert media / J. R. Howell, M. J. Hall, J. L. Ellzey // Prog. Energy Combust. Sci. — 1996. — V. 22. — P. 122–145.

⁵ Kennedy L. A. Superadiabatic combustion in porous media: Wave propagation, instabilities, new type of chemical reactor / L. A. Kennedy, A. V. Saveliev // Intern. J. Fluid Mech. Res. — 1995. — V. 22, iss. 2. — P. 1–26.

⁶ Бабкин В.С. Фильтрационное горение газов / В.С. Бабкин, Ю.М. Лаевский // Физика горения и взрыва. –1987. –Т. 23. –№ 5. –С. 27–44.

Моделҳои математикии СФГ, ки дар рисола таҳия шудааст, ба модели дар адабиёти илмӣ мавҷудбуда баробарқувва аст ва ҳалҳои аналитикии он режимҳои СФГ-ро, ки дар таҷрибаҳо мушоҳида мешаванд, тавсиф мекунад⁷. Имконнопазирии пайдо кардани ҳалҳои аналитикии масъалаҳои ғайримуқаррари СФГ бо формулаҳои квадратурӣ, тадқиқотчиёнро маҷбур мекунад, ки ба таҳқиқоти адабии масъала муроҷиат кунанд. Аммо, системаи намунавиро ба системаи баробарқувва табдил дода, ҳалли аналитикии онро дар квадратураҳо пайдо кардан мумкин аст, ва ин рафтор дар рисолаи пешниҳодшуда ба амал оварда шудааст. Ҳалли аналитикӣ дар шакли вобастагиҳои ҳарорати фазаҳо, ҳиссаи таркибаи камтарин аз вақт ва координата оварда шудааст. Дар ин ҳолат, режимҳои аз адиабатӣ боло ва поёни СФГ муайян карда шудаанд ва суръати мавҷ, ҳарорати муҳити ковок, ки дар он таркибаи камтарини омехта ба сарфшавӣ мебарояд ва вақти намудгирии мавҷ ёфта шуданд.

Объекти тадқиқот. Моделҳои математикии баробарқувваи сӯзиши филтронаи газҳо.

Мавзӯи тадқиқот. Режимҳои аз адиабатӣ боло ва поёни сӯзиши филтронаи газҳо.

Мақсади кор. Тадқиқоти режимҳои аз адиабатӣ боло ва поён дар асоси модели баробарқувваи сӯзиши филтронаи газҳо

Масъалаҳои тадқиқот. Мувофиқи мақсади гузошташуда, масъалаҳои зерин гузошта шуданд:

1. Таҳия ва асосноккунии модели баробарқувваи математикии сӯзиши филтронаи газҳо;
2. Ҳисоб ва таҳлили параметрҳо ва сохтори мавҷи сӯзиши филтронаи омехтаҳои гидрогену ҳаво ва метану ҳаво;
3. Тадқиқоти хусусиятҳои режимҳои аз адиабатӣ боло ва поёни сӯзиши филтронаи газҳо;
4. Омӯзиши схемаҳои фарқӣ барои таҳқиқоти адабӣ ва таҳияи маҷмӯи барномаҳо оиди ҳисобкунӣ ва кашидани графикҳои параметрҳо ва сохтори мавҷи СФГ.

Усулҳои асосии тадқиқот. Рисола назариявӣ буда дар он усулҳои табдили алгебравии муодилаҳои асосии бақо ва ёфтани ҳалли муодилаи гармигузаронӣ истифода шудаанд. Ғайр аз ин, усулҳои тадқиқоти адабӣ, интихоби параметр ва ёфтани ҳалли системаи муодилаҳои алгебравӣ истифода мешаванд.

⁷ Доброго К.В. Инженерно-физический журнал / К.В. Доброго, С.А. Жданок //, –1998, –Т. 71. –№ 3. –С. 424-432.

Навгониҳои илми татқиқот. Натиҷаҳои асосии илми рисола, ки дар поён оварда шудаанд, нав мебошанд.

1. Ҳалҳои аналитикии модели баробарқувваи математикии сӯзиши филтронаи газҳо ёфта ва асоснок карда шудааст;

2. Мавҷудияти режимҳои аз ҳарорати адиабатӣ боло ва поён дар модели баробарқувваи математикии сӯзиши филтронаи газҳо асоснок карда шудаанд;

3. Мавҷудияти режими мустақилона паҳн шудани мавҷи сӯзиши омехтаи газҳо дар муҳити ковоки инертӣ аниқ карда шудааст.

4. Маҷмӯи барномаҳо барои ҳисоб ва таҳлили параметрҳо ва сохтори мавҷи сӯзиш таҳия шудааст.

Муқарароте, ки ба ҳимоя бароварда мешавад:

1. Модели баробарқувваи математикии ғайримуқаррарию ду ҳароратаи сӯзиши филтронаи газҳо тартиб дода шудааст.

2. Ҳалҳои аналитикии модели баробарқувваи математикии ғайримуқаррарию ду ҳароратаи сӯзиши филтронаи газҳо ёфта шудаанд.

3. Режимҳои аз ҳарорати адиабатӣ боло ва поёни сӯзиши филтронаи газҳо муайян карда шудаанд.

4. Режими аз ҳарорати адиабатӣ поён, дар намуди мустақилона паҳншавии мавҷи сӯзиши омехтаи газҳо бо нуқтаи баландтарин дар профили ҳарорати газ ва бо баланд кардани ҳарорати муҳити ковок то ҳарорати мувозинатӣ амалӣ карда мешавад.

5. Ҳисобкунии гузаронидашуда нишон медиҳанд, ки нуқтаи пастарини графикҳо (вобастагии фарқи байни ҳароратҳои мувозинатӣ ва адиабатӣ аз суръати ҳаводиҳии газ, вобастагии суръати мавҷ аз суръати ҳаводиҳӣ) ба омехтаи стехиометрӣ мувофиқат мекунад.

6. Дар муҳити барномасозии Delphi маҷмӯи барномаҳо таҳия карда шудаанд, ки ҳисобкунии параметрҳои асосӣ ва кашидани графики онҳо ба таври автоматӣ гузаронида шавад.

Арзишҳои назариявӣ. Дар рисола идеяи нави ёфтани ҳалли аналитикии модели математикии духароратаи ғайримуқаррарию СФГ пешниҳод карда шудааст. Ҳалли аналитикӣ, дар ҳолати хусусӣ, режимҳои аз адиабатӣ боло ва поёнро ифода мекунад ва имкон медиҳад, ки параметрҳои асосии мавҷро ба осонӣ ҳисоб кунем ва вобаста аз параметрҳои система раванди СФГ-ро таҳлил намоем. Дар рисола, инчунин маҷмӯи барномаҳои автоматикунонӣ ва визуализатсияи ҳисобҳои ададӣ таҳия шудааст.

Арзишҳои амалӣ:

1. Дар асоси модели математикии таҳияшуда шартҳои ёфта шуданд, ки сӯзиши ҳарораташ аз ҳарорати адиабатӣ баландро ташкил кардан мумкин аст ва чунин режим имконияти сӯзонидани омехтаҳоро ки дар онҳо ҳиссаи сӯзишворӣ кам аст дорад ва мо метавонем ин сӯзишро аз рӯи зарурият истифода барем ва инчунин, дастгоҳҳои оташдони навӣ ҳозиразамонро созем.

2. Такмил додани оташнамонаҳои саноатӣ ва беҳбуд гардонии муҳити зист бо кам намудани партобҳои сӯзиш.

Эътимоднокии натиҷаҳо. Ҳама хулосаҳо дар натиҷаи омӯзиши назариявии муодилаҳои алгебравии табдилёфтаи бақои энергия ва массаҳо, ки раванди сӯзиши филтронаи газҳоро тавсиф мекунанд, ба даст оварда шуданд. Эътимоднокии муодилаҳои бақои энергия ва массаҳо исботшуда мебошанд. Баъзе натиҷаҳои кори рисола натиҷаҳои назариявӣ ва таҷрибавӣ дар адабиёти илмӣ мавҷудбударо тасдиқ мекунанд.

Саҳми шахсии муаллиф аз асосноккунии илмии кори рисола, таҳияи маҷмӯи барномаҳои ҳисобкунии параметрҳои асосии мавҷи сӯзиш ва сохтани графикаи онҳо иборат мебошад. Дар қорҳои бо ҳаммуаллифӣ иҷро шуда, муаллиф саҳми асосиро гузоштааст, ки дар таҳияи ҳадафҳо ва вазифаҳои тадқиқот, чамбаст ва таҳлили натиҷаҳо ифода ёфтааст. Гузориши масъалаҳои асосӣ ба роҳбари илмии рисола тааллуқ дорад.

Тасвиби қор. Натиҷаҳои илмии рисола дар баромадҳо, конференсҳо ва семинарҳо муҳокима карда шудаанд: съезди XII умумирусиягӣ оид ба масъалаҳои асосии механикаи назариявӣ ва амалӣ. Уфа, Республикаи Бошқирдистон, Руссия 19-24.08.2019; конференси байналмилалӣ илмӣ "Физикаи моддаҳои конденсионӣ ва масъалаҳои марбута", бахшида ба 70-солагии профессор А.И.Филиппов. Филиали Донишгоҳи давлатии Бошқирдистон, ш.Стерлитамак, 2-5 октябри соли 2019; конференси байналмилалӣ илмӣ "Муодилаҳои интегралӣ сингулярӣ ва муодилаҳои дифференсиалӣ бо коэффисиентҳои сингулярӣ", бахшида ба 70-солагии профессор Чангибеков Гулходжа. Душанбе, 30 - 31 январи соли 2020; конференси республикавӣ илмию амалии "Масъалаҳои муҳими илмҳои табиӣ ва технологияҳо" бахшида ба бистсолагии омӯзиш ва рушди илмҳои дақиқ, риёзӣ ва табиӣ. Донишгоҳи славянии Руссияю Тоҷикистон. Душанбе, 28 октябр 2020; конференси республикавӣ илмию амалии "Моделсозии математикӣ ва компютери равандҳои физикӣ". Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, ш.Душанбе, 25 октябри соли 2019; конференси республикавӣ илмию амалии "Масъалаҳои мубрами муодилаҳои дифференсиалӣ, таҳлили математикӣ, алгебра ва назарияи ададҳо ва татбиқи онҳо". Донишгоҳи

славянии Руссияю Тоҷикистон. Душанбе, 17 май соли 2019; конфронси XI байналмилалии илмию назариявӣ “Таҳлили компютерию мушкилоти илм ва техника” бахшида ба 70 солагии ташкилҳои Донишгоҳи миллии Тоҷикистон ва 70 солагии доктори илмҳои физикаю математика, профессор Юнуси Махмадҷусуф Камарзода. Душанбе, 27-28 декабри соли 2018; конфронси байналмилалии “Муодилаҳои дифференсиалӣ ва мушкилоти марбута”, ш.Стерлитамак, Ҷумҳурии Бошқирдистон, Руссия, 25-29 июни 2018; конфронси байналмилалии илмию “Масъалаҳои муосири математика ва татбиқи он”. Филиали Донишгоҳи давлатии Москва ба номи М.В.Ломоносов дар шаҳри Душанбе, 21-22 июни соли 2018; конфронси байналмилалии “Конфронси IX байналмилалии Воеводӣ оид ба физикаи химия дар равандҳои кимиёвӣ”, ки ба садсолагии В.В. Воеводов бахшида шудааст. Новосибирск, Институти кинетикаи кимиёвӣ ва сӯзиши Шӯбаи Сибири академияи илмҳои Руссия, 25-30 июни соли 2017; конфронси илмию байналмилалии “Муодилаҳои дифференсиалӣ, анализи математикӣ ва назарияи ададҳо” бахшида ба 25 солагии XVI иҷлосияи Совети Олии Ҷумҳурии Тоҷикистон. Қўрғонтеппа, 27-28 октябри соли 2017.

Интишорот. Натиҷаҳои асосии диссертатсия дар 15 кори илмӣ ба чоп расидаанд, ки 5-тои он мақолаҳо дар маҷаллаҳои тақризшавандаи Комиссияи олии аттестатсионии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон нашр шудаанд ва 10 тезисҳои маърузаҳо дар маводҳои конфронсҳои байналмилалӣ ва ҷумҳуриявӣ нашр шудаанд.

Соҳтор ва ҳаҷми диссертатсия. Рисола аз муқаддима, чор боб, хулосаҳо, натиҷаҳо, феҳристи библиографӣ иборат аз 123 номгӯй ва 4 замима иборат аст. Ҳаҷми рисола аз 137 саҳифа, аз ҷумла 13 ҷадвал ва 33 расм иборат аст. 4 замима 6 ҷадвал ва 36 расмро дар бар мегирад.

Мазмуни мухтасари рисола

Дар муқаддима тавсифи умумии кор оварда шудааст, аҳамияти мавзӯи тадқиқот асоснок карда шудааст, мақсад ва вазифаҳои таҳқиқот муайян карда шудааст, муқарраротҳои асосии Ҳимояшаванда таҳия шудаанд, навигарии илмӣ ва аҳамияти амалии натиҷаҳои бадастомада оварда шудаанд, соҳтори рисола, инчунин маълумот дар бораи апробатсияи он тавсиф карда шудааст, саҳми шахсии муаллиф дар масъалаи таҳқиқшаванда нишон дода шудааст.

Боби аввал ба муодилаҳои интегралӣ ва дифференсиалии бақои масса, импульс ва энергияи фазаҳо бахшида шудааст. Дар сархати **аввал** мафҳумҳои асосие, ки бо муайян кардани массаи таркиба дар ҳаҷми воҳид, дар ҳаҷми муҳити ковок, дар ҳаҷми бениҳоят хурд ва маҳдуд оварда шудаанд, қонуни

бақои массаи таркиба дар шакли интегралӣ муайян шудааст ва ин қонун дар шакли муодилаи дифференсиалӣ ба даст оварда шудааст. Дар сархати **дуҷум** қонуни бақои массаи фазаи саҳт дар шакли интегралӣ ва дифференсиалӣ бароварда шудааст. Дар сархати **сеҷум**, мафҳумҳои импулс дар воҳиди ҳаҷм, дар ҳаҷми дилхоҳи охиринок ва қонуни бақои импулси таркибаҳои фазаи газӣ дар шакли интегралӣ ва дифференсиалӣ оварда шудаанд. Дар сархати **ҷорум**, муодилаҳои дифференсиалии қонуни бақои энергияи дохилӣ ва пурраи таркибаҳои фазаи газӣ ба даст оварда шудаанд. Дар сархати **панҷум**, муодилаҳои дифференсиалии қонуни бақои энергияи дохилаи фазаи саҳт оварда шудаанд.

Боби дуввум ба таҳияи модели баробарқувваи математикии СФГ бахшида шудааст. Дар сархатҳои **яҷум** ва **дуҷуми** ин боб, мувофиқан гузоришҳои масъала аз нуқтаи назари физикӣ ва математикӣ оварда шудаанд. Дар назарияи СФГ, модели зерини математикӣ барои тавсифи алангагирии газ дар муҳити ковоки ғайрифайол истифода мешавад, ки дар он гармигузаронӣ ва диффузия дар газ, инчунин градиенти фишори омехта дар блоки ковок назарногир аст³

$$\begin{aligned} \rho_1 c_p \frac{\partial T_1}{\partial t} + \rho_1 c_p v_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} &= -\alpha_c S_c (T_1 - T_2) + \rho_1 QJ, \quad J = \eta k_0 \exp(-E/RT_1), \\ \rho_2 c_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} &= \alpha_2 \lambda_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} + \alpha_c S_c (T_1 - T_2) + \alpha_{0,e} (T_0 - T_2), \\ \rho_1 \frac{\partial \eta}{\partial t} + \rho_1 v_1 \frac{\partial \eta}{\partial x} &= -\rho_1 J, \quad \frac{\partial \rho_1}{\partial t} + \frac{\partial \rho_1 v_1}{\partial x} = 0, \quad \rho_1 T_1 = \rho_{10} T_0, \\ \alpha_c &= \frac{Nu \cdot \lambda_1}{d_{eff}}, \quad S_c = \frac{6\alpha_2}{d}, \quad \alpha_{0,e} = \frac{2\alpha_w}{R_w} \\ Nu &= 0.395 Re^{0.64} Pr^{1/3}, \quad Re = \frac{v_1 d_{eff} \rho_1}{\mu_1 \alpha_1}, \quad Pr = \frac{c_p \mu_1}{\lambda_1}, \quad d_{eff} = \frac{2\alpha_1 d}{3\alpha_2}. \end{aligned} \quad (1)$$

Шартҳои ибтидоӣ ва канорӣ чунинанд:

$$\begin{aligned} t = 0: \quad T_1 &= T_0, \quad T_2 = T_0, \quad \eta = \eta_0, \\ x = 0: \quad T_1 &= T_{1*}(t), \quad T_2 = T_{2*}(t), \quad \eta = \eta_0, \\ x = l: \quad \frac{\partial T_1}{\partial x} &= 0; \quad \frac{\partial T_2}{\partial x} = 0; \quad \eta = 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Дар модели (1) - (2) чунин ишораи бузургҳо қабул шудаанд: T_1, T_2 - ҳарорати газ ва муҳити ковок; η - консентратсияи масавии таркибаи газ; x ва t - мувофиқан координатаи тӯлонӣ ва вақт; λ_1, λ_2 - коэффитсиентҳои гармигузаронии газ ва муҳити ковок; α_1, α_2 - ҳаҷмҳои нисбии газ ва муҳити ковок; d - диаметри зарраҳои муҳити ковок; d_{eff} - диаметри самаранокии найча; μ_1 - коэффитсиенти динамикии часпакии газ; Q - таъсири гармии реактсия; J -

суръати реаксияи кимиёвӣ; E - энергияи фаъолсозӣ; R - доимии газҳои универсалӣ; k_0 - предэкспонент, α_c - коэффициентҳои сатҳи интиқоли гармии байнисоҳавӣ; S_c - сатҳи хоси муҳити ковок; α_w - коэффициентҳои интиқоли гармӣ ба фазои атроф; R_w - радиуси найча; ν_{10} - суръати ҳаводиҳии омехтаи газ; T_0 - ҳарорати ибтидоии омехтаи газ; η_0 - консентратсияи ибтидоии ҷтаркибаи газ; c_p, c_2 - иқтидори гармии омехтаи газҳо ва муҳити ковок; ρ_{20}, ρ_{10} - зичии ибтидоии коҳишёфтаи муҳити ковок ва омехтаи газ; U - суръати мавҷ, ν_1 - суръати газ дар бурриши блоки ковок, Nu, Re, Pr - ададҳои Нуселт, Рейнолдс ва Прандтл.

Дар системаи (1) муодилаҳои асосии тавозуни гармӣ (нисбати муҳити ковок ва омехтаи газҳо) ва масса (нисбати таркибаи реактивиҳои газ ва омехта), инчунин муодилаи ҳолат ҳангоми доимӣ будани фишори омехта ва ифодаҳои барои муайян кардани коэффициентҳои муодилаи гармии байнифазавӣ оварда шудаанд. Азбаски дарозии мавҷи сӯзиши тадқиқшаванда l нисбатан хурд аст дар муқоиса ба андозаи дастгоҳ, масалан, бо бари оташнамонокҳо, бинобарин режими муқаррарона паҳншавии мавҷи сӯзиш ҷой дорад. Дар ин ҷо бояд қайд кард, ки дар рисола ҳолати аз соҳаи сӯзиш ба атроф талаф нашудани гармӣ дида баромада шудааст, яъне дар модели математикии (1) $\alpha_{0,e} = 0$.

Дар сарҳати **сеюм**, модели математикии баробарқувваи СФГ сохта шудааст. Барои тартиб додани модели математикии баробарқувваи СФГ ба системаи координатии бо суръати доимӣ (U) ҳаракат кунанда мегузарем. Яъне, ба воситаи табдилдиҳии $x = \xi + U\tau, t = \tau$, ки барои омехтани режимҳои статсионарӣ истифода мебаранд. Дар ин система дар интервали охири вақт муодилаҳои асосӣ раванди номунтазамона паҳншавии мавҷро тавсиф менамоянд. Дар инҷо пешниҳоди квазистатсионарии функсияи зичии омехтаро қабул мекунем. Мувофиқи ин пешниҳод функсияи зичии омехта дар ҳар ду тарафи стаҳи сӯзиш доимӣ ва гуногун мебошанд. Баъди беченаккунонии тағирёбандаҳо ва параметрҳо системаи (1) чунин намудро мегирад

$$\begin{aligned} \gamma_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial \bar{\tau}} + \gamma_1 \left(1 - \frac{1}{u_0}\right) \frac{\partial \theta_1}{\partial \bar{\xi}} &= -\alpha' \gamma_1 (\theta_1 - \theta_2) + n \exp\left(\frac{E}{RT_e} \left(1 - \frac{1}{T_0/T_e + \theta_1 RT_e/E}\right)\right), \\ \gamma_2 \frac{\partial \theta_2}{\partial \bar{\tau}} - \gamma_2 \frac{1}{u_0} \frac{\partial \theta_2}{\partial \bar{\xi}} &= \gamma_1 \chi_2 \frac{\partial^2 \theta_2}{\partial \bar{\xi}^2} + \alpha' \gamma_1 (\theta_1 - \theta_2), \\ \frac{\partial n}{\partial \bar{\tau}} + \left(1 - \frac{1}{u_0}\right) \frac{\partial n}{\partial \bar{\xi}} &= -n \exp\left(\frac{E}{RT_e} \left(1 - \frac{1}{T_0/T_e + \theta_1 RT_e/E}\right)\right), \quad T_e = T_0 + \frac{Q\eta_0}{c_p(1 - \varphi/(u_0 - 1))}. \end{aligned} \quad (3)$$

Дар инҷо чунин ишораҳо қабул шудаанд

$$T_1 - T_0 = \frac{RT_e^2}{E} \theta_1, \quad T_2 - T_0 = \frac{RT_e^2}{E} \theta_2, \quad \eta = \eta_0 n, \quad \xi = L \bar{\xi}, \quad \tau = \frac{\bar{\tau} \exp(E/RT_e)}{k_0},$$

$$\gamma_1 = \frac{c_p RT_e^2}{Q \eta_0 E}, \quad \alpha' = \frac{\alpha_c S_c}{\rho_{10} c_p k_0 \exp(-E/RT_e)}, \quad T_e = T_0 + \frac{Q \eta_0}{c_p (1 - \varphi / (u_0 - 1))}, \quad u_0 = \frac{v_{10}}{U},$$

$$\gamma_2 = \gamma_1 \varphi, \quad L = \frac{v_{10}}{k_0 \exp(-E/RT_e)}, \quad \chi_2 = \frac{\alpha_2 \lambda_2}{\rho_{10} c_p k_0 \exp(-E/RT_e) L^2}, \quad \alpha_c = \frac{Nu \cdot \lambda_1}{d_{eff}},$$

$$Nu = 0.395 Re^{0.64} Pr^{1/3}, \quad Re = \frac{|v_{10}| d_{eff} \rho_1}{\mu_1 \alpha_1}, \quad Pr = \frac{c_p \mu_1}{\lambda_1}, \quad d_{eff} = \frac{2 \alpha_1 d}{3 \alpha_2}, \quad S_c = \frac{6 \alpha_2}{d},$$

Шартҳои ибтидоӣ ва канорӣ чунин намудро мегиранд

$$\begin{aligned} \bar{\tau} = \tau': \quad \theta_1 &= \theta_{10}, \quad \theta_2 = \theta_{20}, \quad n = 1, \\ \bar{\xi} = 0: \quad \theta_1 &= \theta_{1*}(\bar{\tau}), \quad \theta_2 = \theta_{2*}(\bar{\tau}), \quad n = n_*(\bar{\tau}), \\ \bar{\xi} = \infty: \quad \frac{\partial \theta_1}{\partial \bar{\xi}} &= 0; \quad \frac{\partial \theta_2}{\partial \bar{\xi}} = 0; \quad n = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Нисбати муодилаҳои системаи (3) табдилдиҳиҳои алгебравиро мегузаронем. Муодилаҳои якум ва сеюми системаи (3)–ро ҳамчун намуда муодилаи якуми системаи баробарқувваро ҳосил мекунем. Муодилаи дуюми системаи (3)–ро бетағир мегузаронем. Ҳамаи муодилаҳои системаи (3)–ро ҳамчун намуда муодилаи сеюмро ҳосил мекунем

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\gamma_1 \theta_1 + n)}{\partial \bar{\tau}} + \left(1 - \frac{1}{u_0}\right) \frac{\partial(\gamma_1 \theta_1 + n)}{\partial \bar{\xi}} &= -\alpha' \gamma_1 (\theta_1 - \theta_2), \\ \gamma_2 \frac{\partial \theta_2}{\partial \bar{\tau}} - \gamma_2 \frac{1}{u_0} \frac{\partial \theta_2}{\partial \bar{\xi}} &= \gamma_1 \chi_2 \frac{\partial^2 \theta_2}{\partial \bar{\xi}^2} + \alpha' \gamma_1 (\theta_1 - \theta_2), \\ \frac{\partial(\gamma_1 \theta_1 + \gamma_2 \theta_2 + n)}{\partial \bar{\tau}} + \frac{\partial}{\partial \bar{\xi}} \left(\gamma_1 \left(1 - \frac{1}{u_0}\right) \theta_1 - \frac{\gamma_2}{u_0} \theta_2 + \left(1 - \frac{1}{u_0}\right) n \right) &= \gamma_1 \chi_2 \frac{\partial^2 \theta_2}{\partial \bar{\xi}^2}, \end{aligned} \quad (5)$$

Системаи муодилаҳои (5) бо шартҳои ибтидоӣ ва канорӣ (4) модели баробарқувваи математикии СФГ–ро ташкил медиҳад.

Дар сарҳати **чорум**, ҳалҳои аналитикӣ барои модели математикии баробарқувваи СФГ (5) ёфта шудаанд. Барои ёфтани ҳалли аналитикии системаи (5), пешниҳод карда мешавад, ки ифодаи зерини дифференциали хусусӣ, нисбат ба координата дар муодилаи сеюми системаи (5), доимӣ аст

$$\gamma_1 \left(1 - \frac{1}{u_0}\right) \theta_1 - \frac{\gamma_2}{u_0} \theta_2 + \left(1 - \frac{1}{u_0}\right) n = 1 - \frac{1}{u_0}$$

Доимии ин ифода дар ҳолати хурд будани бари соҳаи сӯзиш ва ҳангоми ҳарорати омехта аз ҳарорати баробарӣ кам фарқ доштани асоснок мебошад, чунки инҳо тахминҳои хоси омӯзиши равандҳои сӯзиш мебошанд⁷. Яъне, режими наздистатсионарӣ ба назар гирифта мешавад. Аз ин ифода мо функсияи ҳарорати фазаи дуҷумро пайдо мекунем

$$\theta_2 = \frac{u_0 - 1}{\gamma_2} (\gamma_1 \theta_1 + n - 1). \quad (6)$$

Ифодаи θ_2 аз (6) ба муодилаи сеюми системаи (5) гузошта ҳосил мекунем

$$\frac{\partial(\gamma_1\theta_1 + n)}{\partial\bar{\tau}} = a^2 \frac{\partial^2(\gamma_1\theta_1 + n)}{\partial\bar{\xi}^2}, \quad a^2 = \frac{\chi_2(u_0 - 1)}{\varphi \cdot u_0}. \quad (7)$$

Ин муодила дар намуди зерин ҳалҳои аналитикӣ дорад

$$\gamma_1\theta_1 + n = \pm \frac{1}{2a\sqrt{\pi\bar{\tau}}} \cdot \exp\left(-\frac{\bar{\xi}^2}{4a^2\bar{\tau}}\right) + const.$$

Шартҳои канориро ($\bar{\xi} \rightarrow \infty: n = 0; \theta_1 = \theta_e$) коней гардонида ҳосил мекунем

$$n = \gamma_1(\theta_e - \theta_1) \pm \frac{1}{2a\sqrt{\pi\bar{\tau}}} \exp\left(-\frac{\bar{\xi}^2}{4a^2\bar{\tau}}\right). \quad (8)$$

Дар охир аз (6) ноил мегардем

$$\theta_2 = \theta_e \pm \frac{u_0 - 1}{2a\gamma_2\sqrt{\pi\bar{\tau}}} \exp\left(-\frac{\bar{\xi}^2}{4a^2\bar{\tau}}\right). \quad (9)$$

Ниҳоят, ҳалли системаи (5) чунин намудро мегирад

$$\begin{aligned} \theta_1 &= \theta_e \pm \frac{u_0 - 1}{2\gamma_2 a \sqrt{\pi\bar{\tau}}} \cdot \exp\left(-\frac{\bar{\xi}^2}{4a^2\bar{\tau}}\right) \left\{ 1 + \frac{1}{\alpha} \left(\frac{\bar{\xi}^2}{4a^2\bar{\tau}^2} - \frac{1}{2\bar{\tau}} \right) \left(\varphi \mp \frac{\chi_2}{a^2} \right) \pm \frac{\varphi\bar{\xi}}{2a^2\bar{\tau}\alpha' u_0} \right\}, \\ \theta_2 &= \theta_e \pm \frac{u_0 - 1}{2\gamma_2 a \sqrt{\pi\bar{\tau}}} \cdot \exp\left(-\frac{\bar{\xi}^2}{4a^2\bar{\tau}}\right), \quad \theta_e = \frac{1}{\gamma_1(1 + \varphi/(1 - u_0))}, \\ n &= \gamma_1(\theta_e - \theta_1) + \frac{1}{2a\sqrt{\pi\bar{\tau}}} \exp\left(-\frac{\bar{\xi}^2}{4a^2\bar{\tau}}\right), \end{aligned} \quad (10)$$

Дар инҷо

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{RT_e}{E}, \quad \gamma_1 = \frac{c_p T_e \beta}{Q \eta_0}, \quad \gamma_2 = \gamma_1 \varphi, \quad \varphi = \frac{\rho_2 c_2}{\rho_{10} c_p}, \quad \alpha' = \frac{\alpha}{\rho_{10} c_p k_0 \exp(-1/\beta)}, \\ a &= \sqrt{\frac{\chi_2(u_0 - 1)}{\varphi u_0}}, \quad \chi_2 = \frac{\alpha_2 \lambda_2}{\rho_{10} c_p k_0 \exp(-1/\beta) L^2}, \quad L = \frac{v_{10}}{k_0 \exp(-1/\beta)}, \quad u_0 = \frac{v_{10}}{U}. \end{aligned}$$

Дар **боби сеюм**, ҳолатҳои аз режимҳои адиабатӣ боло ва поёни сӯзиши омехтаи газҳо дар муҳити ковоки инертӣ дар доираи модели баробарқувваи математикии СФГ асоснок карда шудаанд. Дар сархати **аввал**, параметрҳо ва сохторҳои мавҷ вобаста ба механизми оташгирӣ муайян карда мешаванд. Дар зербанди якуми ин сархат, масъалаи оташ гирифтани омехтаи газ тавассути зараҳои тафсонаи муҳити ковок баррасӣ шудааст. Бо истифода аз назарияи алангагирии газҳо, ҳангоми $\bar{\xi} = 0$, чунин қиматҳои параметрҳоро қабул мекунем $\theta_2 = \theta_{2*}$, $\theta_1 = 0$, $n = 1$, $\bar{\tau} = \bar{\tau}_*$. Дар инҷо τ_* - мурури вақте, ки дар давоми он сохти мавҷи сӯзиш муқаррар мегардад, яъне вақти ташкилёбии мавҷ.

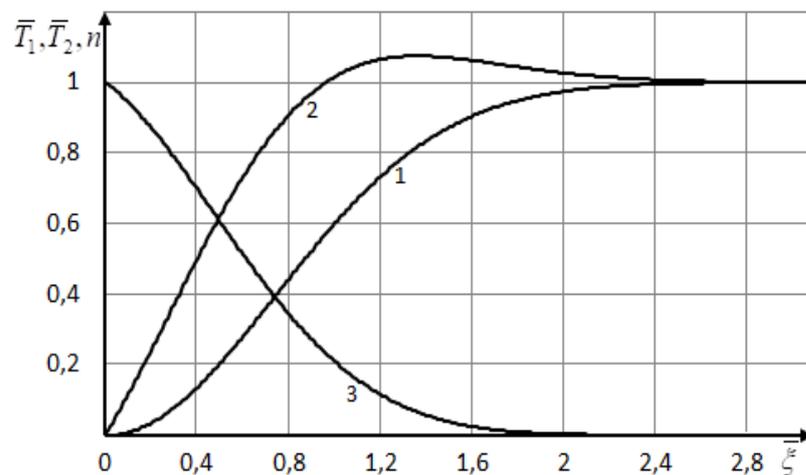
Қиматҳои θ_{2^*} , $\bar{\tau}_*$ номаълуманд, шарти $\theta_1 = 0$ маънои ҳарорати омехта ба ҳарорати аввала баробар буданро дар сарҳади блоки ковоки дорад. Бинобарин, аз (10) системаи алгебравии сарбастро нисбати се номаълум доро мешавем

$$\begin{aligned} \theta_e + \frac{u_0 - 1}{2\gamma_2 a \sqrt{\pi \bar{\tau}_*}} \cdot \left\{ 1 - \frac{1}{2\bar{\tau}_* \alpha} \cdot \left(\varphi + \frac{\chi_2}{a^2} \right) \right\} &= 0, \\ \theta_{2^*} - \theta_e + \frac{u_0 - 1}{2\gamma_2 a \sqrt{\pi \bar{\tau}_*}} &= 0, \quad \theta_e = \frac{1}{\gamma_1 (1 + \varphi / (1 - u_0))}, \\ \gamma_1 \theta_e + \frac{1}{2a \sqrt{\pi \bar{\tau}_*}} &= 1, \quad a = \sqrt{\frac{\chi_2 (u_0 - 1)}{\varphi u_0}}, \quad u_0 = \frac{v_{10}}{U}. \end{aligned} \quad (11)$$

Дар натиҷаи ҳалли ин система (11) таносубро нисбати муайян намудани суръати мавҷи сӯзиш U , хангоми маълум будани параметрҳои идоракунанда ва муайянкунандаи муҳити ковок ва омехтаи газҳо ҳосил мекунем

$$\begin{aligned} \theta_e + \frac{u_0 - 1}{2\gamma_2 a \sqrt{\pi \bar{\tau}_*}} \cdot \left\{ 1 - \frac{1}{2\bar{\tau}_* \alpha} \cdot \left(\varphi + \frac{\chi_2}{a^2} \right) \right\} &= 0, \\ \tau_* &= \frac{1}{4a^2 (1 - \gamma_1 \theta_e)^2}, \quad \theta_e = \frac{1}{\gamma_1 (1 + \varphi / (1 - u_0))}, \\ \theta_{2^*} &= 2\theta_e. \end{aligned}$$

Зербанди дуввум доир ба оташ гирифтани омехтаи газҳо тавассути муҳити ковок бахшида шудааст. Дар ин ҳолат, суръати паҳншавии мавҷҳо ва вақти амалӣ шудани сохтори мавҷи сӯзиш аз он мавқеъ муайян карда мешаванд, ки тақсимои ҳарорат бояд аз як нуқтаи мушаххаси система (сарҳади сард) сар зада, ба нуқтаи ягонаи дигар (худуди гарм) ворид шавад ва тақсимои ҳиссаи таркибаи камтарин аз адади як сар шуда яқранг ба сифр коҳиш ёбад. Худфаълкунии сӯзиш дар омехта дар зербанди сеюм муҳокима карда мешавад. Чунин паҳншавии сатҳи СФГ тавассути омехта бидуни иштироки муҳити ковок қаблан қайд карда шуда буд⁷. Тасвири зерини сохтори мавҷ бо истифода аз модели баробарқувваи математикии СФГ ба даст оварда шудааст, ки дар он хатти қачи 2 ба профили ҳарорати фазаи газ мувофиқат мекунад



Дар ин расм, мушоҳида мешавад, ки гармии дар омехта ҷудошуда барои паҳншавии сӯзиш тавассути омехта ва баланд бардоштани ҳарорати муҳити ковок то ҳарорати баробарӣ, ки аз ҳарорати адиабатӣ паст аст, сарф мешавад. Вақти татбиқи чунин сохтори мавҷӣ аз параметрҳои система вобаста аст. Суръати мавҷ ва вақти амалӣ шудани сохтори мавҷ аз рӯи нақшаи дар зербанди 2 сархати якуми боби сеюм (3.1.2) додашуда муайян карда шуданд. Бо мурури замон профилҳои ҳарорати муҳити ковок ва омехтаи газ ба ҳам меоянд, яъне ба сохтори як ҳарората мубаддал мегарданд.

Дар сархати **дуюм**, натиҷаҳои дар режимҳои аз адиабати боло ва поёни сӯзиши омехтаҳои гидроген ва ҳаво оварда шудаанд. Дар зербанди аввал ҳарорати аз ҳарорати адиабатӣ боло, ки дар қисми муайяни профили ҳарорати фазаи газ мавҷуд аст, таҳлил карда мешавад. Дар ин ҳолат, самти суръати паҳншавии сӯзиш ба самти ҳаводиҳи омехтаи газ муқобил аст, яъне ҳарорати мувозинатӣ аз ҳарорати адиабатӣ пасттар мебошад. Дар зербанди дуюм, ҳолати сӯзиши якҳароратаи, ҳарораташ аз ҳарорати адиабатӣ боло дида баромада шудааст. Хусусияти махсуси ин режим аз он иборат аст, ки гармӣ тавассути гармигузаронии самараноки муҳити ковок ба қабатҳои пеш интиқол дода мешавад ва аз ҳисоби мубодилаи гармии фазавӣ, газҳо дар ковокиҳо гарм мешаванд ва аланга мегиранд. Дар зербанди сеюм қисми ҳисобшудаи вобастагии параметрҳои мавҷ аз коэффиенти барзиёди сӯзишворӣ оварда шудаанд, ки дар онҳо мушоҳида мешавад, ки ҳадди ақали суръати мавҷи сӯзиш ба омехтаи стехиометрӣ мувофиқ мебошад. Дар зербанди чорум, режими сӯзиши ҳарораташ аз ҳарорати адиабатӣ поён дида баромада шудааст. Дар ин режим дар лаҳзаи ташаккули сохтори мавҷ профилҳои ҳарорати муҳити ковок ва омехтаи газ аз ҳам фарқ мекунанд. Бо гузашти вақт, ин профилҳо якҷоя мешаванд. Вобастагии вақти ташаккулёбӣ ва вақти якҷояшавии профилҳои ҳарорат аз суръати ҳаводиҳии омехтаи газ таҳлил карда мешавад. Дар зербандҳои сархати **сеюм**, хусусиятҳои сӯзиши омехтаи метану ҳаво, аз ҷумла ҳарорати аз ҳарорати адиабатӣ баланд, сӯзиши

омехтаи метану ҳаво ҳангоми суръати нисбатан пастӣ ҳаводиҳӣ, ҳолати дар профили ҳарорати газ мавҷуд набудани максимум ва режими сӯзиши ҳарораташ аз ҳарорати адиабатӣ паст дида баромада шудааст. Дар сархати чорум сӯзиши омехтаи газҳои метану оксиген дида баромада шудааст. Дар зербандҳои ин бахш ҳолатҳои ба вуҷуд омадани сӯзиши ҳарораташ аз ҳарорати адиабатӣ баланд ва паст муайян карда шуда, параметрҳои мавҷи сӯзиши омехтаи газҳои метану оксиген бо омехтаи метану ҳаво муқоиса карда мешаванд.

Боби **чорум** ба муодилаҳои фарқии модели математикии СФГ ва маҷмӯи барномаҳои ҳисобкунии параметрҳои асосии мавҷи сӯзиш бахшида шудааст. Дар се зербанди сархати аввали боб, нақшаҳои фарқии ошкор ва ошкору-ноошкор дида мешавад. Сархати дуюм интерфейси маҷмӯи барномаҳои таҳияшуда барои ҳисоб ва таҳлили параметрҳои мавҷи сӯзиши омехтаи газро шарҳ медиҳад. Хулосаҳо дар охири ҳар як боб оварда шудаанд.

ХУЛОСА

1. Натиҷаҳои асосӣ:

1. Модели баробаркувваи математикии сӯзиши филтронаи газҳо сохта шудааст ва ҳалли аналитикии он дар шакли функцияҳои ҳарорат ва ҳиссаи таркибаи реактивӣ аз координат ва вақт ёфта шудааст.

2. Дар доираи модели математикии таҳияшуда, режими ҳарораташ аз ҳарорати адиабатӣ баланд дар ду шакл амалӣ карда мешавад, якум, вақте ки профили ҳарорати омехтаи газ қисмате дорад, ки дар он ҳарорат аз ҳарорати адиабатӣ баланд аст ва дар ин режим тартиби диаметри зарраҳо 1 мм ва дуввум, вақте ки ҳарорати мувозинатӣ аз ҳарорати адиабатӣ баландтар аст ва тартиби диаметри зарраҳо 10 мкм ташкил медиҳад. Дар ҳолати аввал, паҳншавии мавҷи сӯзиш ба муқобили чараёни омехтаи газҳо буда, дар ҳолати дуюм ба равиши чараён ҳамсамт мебошад.

3. Режими ҳарораташ аз ҳарорати адиабатӣ паст барои зарраҳои муҳити ковок, ки диаметрашон тартибан ба 1 мм баробар ва барои ҳамаи таркиби омехтаи газҳои дида шуда асоснок карда шудааст. Дар ин режим, аз лаҳзаи ташаккул ёфтани мавҷи сӯзиш, ҳарорати омехта аз ҳарорати муҳити ковок дар дарозии мавҷ баландтар аст ва пас аз гузашти вақт, ҳароратҳои муҳити ковок ва омехтаи газ баробар мешаванд.

4. Намуди нави сохти мавҷи сӯзиш дар режими ҳарораташ аз ҳарорати адиабатӣ баланд муқаррар карда шудааст: ҳарорати муҳити ковок дар сарҳади хунук аз шартӣ алангагирии омехта муайян карда мешавад ва ин ҳарорат аз ҳарорати мувозинатӣ баландтар аст. Яъне профили ҳарорати муҳити ковок аз ҳарорати ибтидоӣ, сарҳадӣ оғоз меёбад ва асимптотикӣ то ҳарорати мувозинатӣ кам мешавад, профили ҳарорати фазаи газ бошад аз ҳарорати ибтидоӣ (лабораторӣ) оғоз ёфта, то ҳарорати максималии локалӣ, ки аз ҳарорати адиабатӣ баланд аст мебарояд, ва баъд аз он асимптотикӣ ба ҳарорати мувозинатӣ наздик мешавад. Ҳиссаи таркибаи камтарини омехта асимптотикӣ аз як ба сифр коҳиш меёбад.

5. Қиматҳои ҳисобшудаи параметрҳои асосии мавҷи сӯзиши газҳо дар муҳити ковоки кимиёвӣ ғайрифайёл аз рӯи модели математикии таҳияшуда бо натиҷаҳои таҷрибавӣ ва хулосаҳои муҳаққиқон оид ба назарияи СФГ қаноатманд мебошанд.

6. Дар ҷаҳорҷӯбаи модели математикии таҳияшуда суръати минималии мавҷ ба омехтаи стехиометрӣ мувофиқат мекунад, чуноне ки дар назарияи классикии сӯзиши газ маълум аст.

2. Арзишҳои амалӣ:

1. Дар асоси модели математикии таҳияшуда шартҳои ёфта шуданд, ки сӯзиши ҳарораташ аз ҳарорати адиабатӣ баландро ташкил кардан мумкин аст ва чунин режим имконияти сӯзонидани омехтаҳои ки дар онҳо ҳиссаи сӯзишворӣ кам аст дорад ва мо метавонем ин сӯзишро аз рӯи зарурият истифода барем ва инчунин, дастгоҳҳои оташдони навӣ ҳозиразамонро созем.

2. Такмил додани оташнамонаҳои саноатӣ ва беҳбуд гардонии муҳити зист бо кам намудани партобҳои сӯзиш.

Мақолаҳои, ки дар маҷаллаҳои расмӣ тавсиянамудаи ҚОА-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ва ҚОА-и Вазорати маориф ва илми Федератсияи Русия ба таъб расидаанд:

- [1-М] Халимов И.И., Кабилов М.М., Садриддинов П.Б., Гулбоев Б.Дж. Об аналитическом решении нестационарной задачи фильтрационного горения газов // Вестник ТНУ. Серия естественных наук. 2017. №1/4. С. 94-99.
- [2-М] Халимов И.И., Кабилов М.М. Сверхадиабатический режим горения водородо-воздушной смеси в инертной пористой среде // Доклады Академии наук Республики Таджикистан 2018. Том 61, №3. С. 241-249.
- [3-М] Халимов И.И., Кабилов М.М. Особенности горения метановоздушной смеси в инертной пористой среде // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. 2019. Том 62, №3-4. С. 159-165.
- [4-М] Халимов И.И., Кабилов М.М. Комплекс программ для расчёта, анализа структур и характеристик волны фильтрационного горения газовой смеси // Вестник ТНУ. Серия естественных наук. 2019. №3. С. 138-143.
- [5-М] Халимов И.И., Кабилов М.М. Режимы фильтрационного горения газов в эквивалентной модели // XII Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики. Уфа, Республика Башкортостан, Россия 19-24 августа 2019. С. 136.

**Маколахое, ки дар дигар мачалаҳо, нашрияҳо ва мачмӯаҳо ба таъ
расидаанд:**

- [6-М] Халимов И.И. Пакет программ расчёта характеристик волны фильтрационного горения газовой смеси // Материалы Республиканская научно-практическая конференция на тему «Математическое и компьютерное моделирование физических процессов». ТНУ. г. Душанбе, 25-октября 2019. С.164-168.
- [7-М] Халимов И.И. Математическая модель горения водородо-воздушной смеси в инертной пористой среде с новыми граничными условиями // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Актуальные вопросы дифференциальных уравнений, математического анализа, алгебры и теории чисел и их приложения». РТСУ. Душанбе, 17 мая 2019. С. 306-312.
- [8-М] Халимов И.И., Кабилов М.М., Гулбоев Б.Дж., Садриддинов П. Механизм и режим горения метановоздушной смеси газов в инертной пористой среде // Материалы международной научной конференции, посвященной 25-летию XVI сессии Верховного Совета Республики Таджикистан. «Дифференциальные уравнения, математический анализ и теория чисел». Курган-Тюбе, 27-28 октября 2017. С. 52-54.
- [9-М] Халимов И.И., Кабилов М.М. Характеристики горения метано-воздушной смеси в инертной пористой среде // Материалы XI - международной научно-теоретической конференции посвященной 70-летию образования Таджикского национального университета и 70-летию доктора физико-математических наук, профессора Юнуса Махмадюсуф Камарзода «Компьютерный анализ проблем науки и технологии». г. Душанбе, 27-28 декабря 2018. С. 126-130.
- [10-М] Khalimov I.N., Kabilov M.M., Sadriddinov P.B., Gulboev B.J. Analytical solution of the nonstationary problem of filtration combustion of gases // IX International Voevodsky Conference «Physics and Chemistry of Elementary Chemical Processes». June 25-30, 2017, Akademgorodok, Novosibirsk, Russia. С. 67-68.
- [11-М] Халимов И.И., Кабилов М.М. Сверхадиабатический режим фильтрационного горения водородо-воздушной смеси // Материалы международной научной конференции «Дифференциальные

уравнения и смежные проблемы». Республика Башкортостан, Россия, г.Стерлитамак 25-29 июня 2018. Том II. С. 93-96.

- [12-М] Халимов И.И., Кабилов М.М. Сверхадиабатический режим горения метановоздушной смеси в инертной пористой среде // Материалы международной научной конференции «Современные проблемы математики и её приложений» Филиал Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова в городе Душанбе, 21-22 июня 2018. С. 50-51.
- [13-М] Халимов И.И., Кабилов М.М. Фильтрационное горение метанокислородной смеси // Материалы международной научной конференции, посвященной 70-летию профессора А.И. Филиппова «Физика конденсированного состояния и смежные проблемы». УФА БашГУ, г.Стерлитамак, 2 -5 октября 2019. С. 170-173.
- [14-М] Халимов И.И., Кабилов М.М., Баротов А.С. Горение пропановоздушной смеси в эквивалентной модели фильтрационного горения газов // Международной научной конференции посвященной 70-летию профессора Г.Джангибекова « Сингулярные интегральные уравнения и дифференциальные уравнения с сингулярными коэффициентами ».ТНУ. г.Душанбе, 30-31 января 2020. С. 155-158.
- [15-М] Халимов И.И. Разностные уравнения процесса горения смеси газов в инертной пористой среде // Республиканской научно-практической конференции, посвящённой двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук «Актуальные вопросы естественных наук и технологий». РТСУ. Душанбе, 28 октября 2020. С. 289-291.

АННОТАЦИЯ

диссертации Халимова Илхома Ислмовича на тему «Сверх- и субадиабатические режимы фильтрационного горения газов в эквивалентной математической модели», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Ключевые слова: сверхадиабатический режим, скорость волны, равновесная температура, адиабатическая температура, распределения температур, коэффициент избытка топлива, состав смеси, концентрация.

Актуальность темы. В настоящее время использование тепловой энергии углеводородных топлив при их сгорании в смеси с воздухом считается эффективным в сравнении с электрическим источником энергии. На этом основываются разрабатываемые горелочные устройства, которые помимо высокой эффективности обладают хорошими экологическими свойствами, например, низким уровнем выброса NO_x (оксидов азота) и отсутствием открытого пламени. В этих устройствах горение газов происходит в присутствии инертной пористой среды, что позволяет получать сверхадиабатические температуры продуктов горения. Подобные устройства дают возможность сжигать бедные топливом смеси, которые обычным образом (без пористой среды) невозможно сжигать. Горелочные устройства является частью приложений фильтрационного горения газа наряду с приложениями в химической технологии, пожаро-взрывобезопасности, экологии, нефтедобычи.

Цель работы. Исследование сверх- и субадиабатических режимов фильтрационного горения газов посредством эквивалентной математической модели.

Научная новизна. Перечисленные ниже основные научные результаты диссертации являются новыми.

1. Найдены и обоснованы аналитические решения эквивалентной математической модели ФГГ;
2. Обосновано существование сверхадиабатических и субадиабатических режимов ФГГ в эквивалентной математической модели;
3. Выяснено существование режима самостоятельного распространения волны горения смеси газов в инертной пористой среде.
4. Разработан комплекс программ расчёта и анализа характеристик и структуры волны горения.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что в диссертации предложена оригинальная идея нахождения аналитического решения двухтемпературной нестационарной математической модели фильтрационного горения газов (ФГГ). Аналитические решения описывают сверхадиабатические и субадиабатические режимы ФГГ и позволяют легко произвести расчёт основных характеристик волны и анализировать процесс ФГГ в зависимости от параметров системы. В диссертации также разработан комплекс программ для автоматизации и визуализации численных расчётов.

Практическая значимость работы:

1. На основе построенной математической модели найдены условия, при выполнении которых можно организовать сверхадиабатические температуры, которые дают возможность сжигать бедные топливом смеси и использовать такое горение по необходимости. А также можно создать современные горелочные устройства нового типа.

2. Усовершенствовать промышленные огнепреградители и улучшать экологии окружающей среды посредством уменьшения выбросов горения.

ШАРҲИ МУХТАСАРИ

кори диссертационии Ҳалимов Илҳом Исломович дар мавзӯи «Режимҳои аз адиабати боло ва поёни сӯзиши филтронаи газҳо дар модели математикии баробарқувва» барои дарёфти дараҷаи илмии номзоди илмҳои физикаю математика аз рӯи ихтисоси 05.13.18 - Амсиласозии математикӣ, усулҳои ададӣ ва комплекси барномаҳо

Вожаҳои калидӣ: режими аз адиабатӣ боло, суръати мавҷ, ҳарорати мувозинатӣ, ҳарорати адиабатӣ, тақсимои ҳарорат, коэффитсиенти зиёдании сӯзишворӣ, таркиби омехта, концентратсия.

Муҳимияти мавзӯ: Дар айни замон, истифодаи энергияи гармии сӯзишвории карбогидрид ҳангоми сӯхтани онҳо дар омехта бо ҳаво дар муқоиса бо манбаи энергияи электрикӣ самаранок ҳисобида мешавад. Ин асоси оташдонҳои таҳияшуда мебошад, ки илова бар самаранокии баланд, хусусиятҳои хуби экологӣ доранд, масалан, сатҳи пасти партоби NO_x (оксиди нитроген) ва набудани шӯълаи кушод. Дар ин дастгоҳҳо сӯзиши газҳо дар муҳити ковоки инертӣ ба амал меоянд, ва ин муҳит имкон медиҳад, ки ҳарорати сӯзиши аз ҳарорати адиабатӣ баланд буда ба даст оварда шавад. Чунин дастгоҳҳо имкон медиҳанд, ки омехтаҳои ҳиссаи сӯзишвориашон кам сӯзонда шаванд, азбаски онҳоро ба таври маъмулӣ сӯзондан имконнопазир аст (бидуни муҳити ковок). Дастгоҳҳои сӯзонанда як ҷиҳати истифодабарии сӯзиши филтронаи газҳо мебошанд дар қатори дигар истифодабарӣҳо, ба монанди технологияҳои кимиёвӣ, бехатарии сӯхтор ва таркиш, экология, истеҳсоли нафт.

Мақсади тадқиқот. Тадқиқоти режимҳои аз адиабатӣ боло ва поён дар асоси модели баробарқувваи сӯзиши филтронаи газҳо

Навгониҳои илмии тадқиқот. Натиҷаҳои асосии илмии рисола, ки дар поён оварда шудаанд, нав мебошанд.

1. Ҳалҳои аналитикии модели баробарқувваи математикии сӯзиши филтронаи газҳо ёфта ва асоснок карда шудааст;

2. Мавҷудияти режимҳои аз ҳарорати адиабатӣ боло ва поён дар модели баробарқувваи математикии сӯзиши филтронаи газҳо асоснок карда шудаанд;

3. Мавҷудияти режими мустақилона паҳн шудани мавҷи сӯзиши омехтаи газҳо дар муҳити ковоки инертӣ аниқ карда шудааст.

4. Маҷмӯи барномаҳо барои ҳисоб ва таҳлили параметрҳо ва сохтори мавҷи сӯзиш таҳия шудааст.

Арзишҳои назариявӣ. Дар рисола идеяи нави ёфтани ҳалли аналитикии модели математикии духароратаи ғайримуқаррарии СФГ

пешниҳод карда шудааст. Ҳалли аналитикӣ, дар ҳолати хусусӣ, режимҳои аз адиабатӣ боло ва поёнро ифода мекунад ва имкон медиҳад, ки параметрҳои асосии мавҷро ба осонӣ ҳисоб кунем ва вобаста аз параметрҳои система раванди СФГ-ро таҳлил намоем. Дар рисола, инчунин маҷмӯи барномаҳои автоматикунонӣ ва визуализатсияи ҳисобҳои ададӣ таҳия шудааст.

Арзишҳои амалӣ:

1. Дар асоси модели математикии таҳияшуда шартҳои ёфта шуданд, ки сӯзиши ҳарораташ аз ҳарорати адиабатӣ баландро ташкил кардан мумкин аст ва чунин режим имконияти сӯзонидани омехтаҳоро ки дар онҳо ҳиссаи сӯзишворӣ кам аст дорад ва мо метавонем ин сӯзишро аз рӯи зарурият истифода барем ва инчунин, дастгоҳҳои оташдони навъи ҳозиразамонро созем.

2. Такмил додани оташнамонаҳои саноатӣ ва беҳбуд гардонии муҳити зист бо кам намудани партобҳои сӯзиш.

ANNOTATION

dissertations of Halimov Ilhom Islomovich on the topic «Super- and subadiabatic modes of filtration combustion of gases in an equivalent mathematical model» , presented for the degree of candidate of physical and mathematical sciences, specialty 05.13.18 – Mathematical modeling, numerical methods and program complexes

Key words: superadiabatic mode, wave speed, equilibrium temperature, adiabatic temperature, the temperature distribution, the coefficient of excess fuel, the composition of the mixture, concentration.

Relevance of the topic. At present, the use of thermal energy of hydrocarbon fuels during their combustion in a mixture with air is considered efficient in comparison with an electric energy source. On this is the basis of the developed burners, which, in addition to high efficiency, have good environmental properties, for example, a low level of NO_x (nitrogen oxides) emissions and no open flame. In these devices, combustion of gases occurs in the presence of an inert porous medium, which makes it possible to obtain superadiabatic temperatures of combustion products. Such devices make it possible to burn fuel-poor mixtures that cannot be burned in the usual way (without a porous medium). Burners are part of filtration gas combustion applications along with applications in chemical technology, fire and explosion safety, ecology, and oil production.

Objective. Investigation of super- and subadiabatic regimes of filtration combustion of gases using an equivalent mathematical model.

Scientific novelty. The main scientific results of the dissertation listed below are new.

1. Found and justified analytical solutions of the equivalent mathematical model of FCG;
2. The existence of superadiabatic and subadiabatic FCG modes in an equivalent mathematical model has been substantiated;
3. The existence of a regime of independent propagation of a combustion wave of a mixture of gases in an inert porous medium was found.
4. A set of programs for calculating and analyzing the characteristics and structure of the combustion wave has been developed.

The theoretical significance of the work lies in the fact that the dissertation proposes an original idea of finding an analytical solution to a two-temperature non-stationary mathematical model of filtration combustion of gases (FCG).

Analytical solutions describe the superadiabatic and subadiabatic FCG modes and make it easy to calculate the main characteristics of the wave and analyze the FCG process depending on the parameters of the system. The dissertation also developed a complex of programs for automation and visualization of numerical calculations.

The practical significance of the work:

1. On the basis of the constructed mathematical model, conditions are found under which it is possible to organize superadiabatic temperatures, which make it possible to burn fuel-poor mixtures and use such combustion as needed. And also it is possible to create modern burners of a new type.

2. Improvement of industrial flame arresters and environmental improvement.