

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Казанский государственный энергетический университет»**

**ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ И МОДЕЛИ:
ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ,
РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ**

Национальная (с международным участием)
научно-практическая конференция
(Казань, 10 – 11 апреля 2024 г.)

Электронный сборник статей по материалам конференции

Казань
2024

УДК 004.02+004.9
ББК 32.813 + 32.973
Ц75

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Автоматизированные системы сбора и обработки информации» ФГБОУ ВО «КНИТУ» Р.Н. Гайнуллин;

д-р техн. наук, профессор кафедры «Системы информационной безопасности» ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ» А.С. Катасёв

Редакционная коллегия:

И.Г. Ахметова (гл. редактор); Ю.Н. Смирнов (зам. гл. редактора); Р.С. Зарипова, О.А. Пырнова, Г.А. Овсеенко, О.Ю. Янова

Ц75 Цифровые системы и модели: теория и практика проектирования, разработки и применения: материалы национальной (с международным участием) научно-практической конференции (Казань, 10-11 апреля 2024 г.) / под общ. ред. И.Г. Ахметовой. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2024. 1636 с.

ISBN 978-5-89873-660-6

В электронном сборнике представлены статьи по материалам национальной (с международным участием) научно-практической конференции «Цифровые системы и модели: теория и практика проектирования, разработки и применения» по следующим направлениям:

1. Цифровые технологии и решение прикладных задач. Программная инженерия.
2. Технологии искусственного интеллекта.
3. Информационная безопасность.
4. Цифровая экосистема в образовании и в формировании личности человека.

Предназначен для научных работников, преподавателей, студентов, магистрантов, аспирантов и специалистов, работающих в сфере информационных технологий, а также для всех интересующихся цифровыми технологиями.

Статьи публикуются в авторской редакции. Ответственность за содержание статей возлагается на авторов.

УДК 004.02+004.9
ББК 32.813 + 32.973

ISBN 978-5-89873-660-6

© ФГБОУ «Казанский государственный энергетический университет», 2024

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ

Салихова Гузель Рамилевна, Шарипов Ильнар Ильдарович
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия
guzzelka.sal@gmail.com

Аннотация. В данной статье рассмотрена тема горения с использованием научных терминов и понятий. Определен и объяснен процесс горения, подробно изучены принципы его функционирования. Определена роль математического моделирования в области инженерии. Исследовано воздействие различных параметров на горение, рассмотрены современные математические модели, применяемые в инженерных науках, представлены примеры их применения. Также выявлены перспективы развития математического моделирования процесса горения.

Ключевые слова: горение, математическое моделирование, топливо, окисление, инженерия, технологии.

MATHEMATICAL MODELING OF THE COMBUSTION PROCESS

Guzel R. Salikhova, Ilnar I. Sharipov
KSPEU, Kazan, Russia
guzzelka.sal@gmail.com

Abstract. This article discusses the topic of combustion using scientific terms and concepts. The combustion process is defined and explained, the principles of its functioning are studied in detail. The role of mathematical modeling in the field of engineering is defined. The influence of various parameters on combustion is studied, modern mathematical models used in engineering sciences are considered, and examples of their application are presented. Prospects for the development of mathematical modeling of the combustion process have also been identified.

Keywords: combustion, mathematical modeling, fuel, oxidation, engineering, technology.

Процесс горения – это химическая реакция окисления, при которой топливо сгорает при взаимодействии с окислителем, обычно кислородом. В результате этой реакции происходит окисление топлива, обычно при наличии кислорода, и выделяются тепло и свет. Однако, помимо этих основных результатов, горение также может приводить к образованию различных продуктов, включая газы, пары и дым.

В основе процессов горения лежат химические реакции окисления, то есть соединения исходных горючих веществ с кислородом.

Горение происходит в несколько стадий:

1. Зажигание: в этой стадии топливо нагревается до температуры воспламенения, при которой начинается реакция горения. Это зависит от характеристик топлива и окислителя, а также условий окружающей среды.

2. Пламя и распространение: после зажигания формируется пламя, которое испускает тепло и видимый свет. Процесс горения распространяется по топливу, идет каскадный процесс перехода одного слоя в другой.

3. Сгорание: топливо полностью сгорает, взаимодействуя с окислителем и образуя конечные продукты сгорания – диоксид углерода (CO_2), вода (H_2O) и другие вещества в зависимости от состава топлива [1].

Математическое моделирование играет значительную роль в современной инженерии, также в процессе горения. Рассмотрим важность математического моделирования в инженерии на примере процесса горения:

1. Понимание процесса: понимание физических и химических процессов, происходящих во время горения, помогает инженерам в разработке эффективных и безопасных технологий, например, в области энергетики.

2. Оптимизация процесса: моделирование позволяет оптимизировать параметры горения (температура, скорость реакции, расход топлива и окислителя). Это помогает улучшить производительность и эффективность технических систем, а также снизить расходы на ресурсы.

3. Прогнозирование поведения системы: позволяет инженерам предсказать поведение системы в различных условиях. На основе этих прогнозов можно принимать обоснованные решения при проектировании и эксплуатации технических устройств.

4. Снижение риска: моделирование позволяет проводить эксперименты удаленно без необходимости строить физические прототипы. Это снижает риски при разработке новых технологий и уменьшает затраты на необходимые исследования.

5. Инновации: математическое моделирование стимулирует инженеров искать новые и более эффективные подходы к решению технических задач. Это способствует развитию инноваций и совершенствованию инженерных наук [2].

Основные принципы процесса горения:

1. Необходимость топлива и окислителя: для того, чтобы произошло горение, необходимо наличие топлива (вещество, которое горит) и окислителя (вещество, обеспечивающее окисление топлива).

2. Треугольник горения: горение возможно только при наличии трех компонентов – топлива, окислителя и тепла (энергии активации).

3. Температура воспламенения: для начала процесса горения необходимо достичь температуры воспламенения – минимальной температуры, при которой топливо начинает гореть самостоятельно [3].

4. Химические реакции: процесс горения основан на химических реакциях, в результате которых происходит окисление топлива. В зависимости от состава топлива и окислителя могут образовываться различные конечные продукты сгорания [4].

Влияние различных параметров на процесс горения:

1. Тип топлива: различные виды топлива имеют разные физико-химические свойства, что влияет на скорость горения, энергетическую эффективность и виды конечных продуктов сгорания.

2. Концентрация кислорода: может влиять на скорость горения, уровень тепловыделения и эмиссии вредных веществ.

3. Температура окружающей среды: влияет на процесс горения, в результате воздействия на температуру воспламенения, скорость реакции и распределение тепла.

4. Температура топлива: оказывает влияние на скорость горения, в результате воздействия на энергию активации реакции.

5. Размер и форма частиц топлива: могут влиять на поверхность взаимодействия с окислителем, что влияет на скорость горения и эффективность процесса [5].

Примеры использования математического моделирования в различных областях инженерии:

1. Авиация: математическое моделирование процесса горения используется для оптимизации конструкции двигателей, расчета эффективности работы турбинных установок.

2. Энергетика: математическое моделирование позволяет симулировать процессы горения в энергетических установках, таких как электростанции и котельные, для повышения эффективности и снижения выбросов вредных веществ.

3. Химическая промышленность: математическое моделирование используется для разработки новых методов сжигания и обработки химических веществ, а также для оптимизации производственных процессов.

4. Автомобилестроение: в автомобилестроении моделирование горения применяется для улучшения работы двигателей внутреннего сгорания, снижения выбросов и повышения мощности.

5. Аэродинамика: математическое моделирование процесса горения используется для оптимизации работы реактивных двигателей и повышения тяги у крылатых аппаратов [6].

Перспективы развития математического моделирования процесса горения связаны с использованием современных вычислительных технологий, включая искусственный интеллект и машинное обучение [7]. Это позволит создавать более точные и быстрые модели, а также улучшить понимание физических

процессов, происходящих во время горения [8]. В результате, это поможет разработать эффективные технологии сжигания топлива, сократить выбросы вредных веществ и улучшить экологическую обстановку.

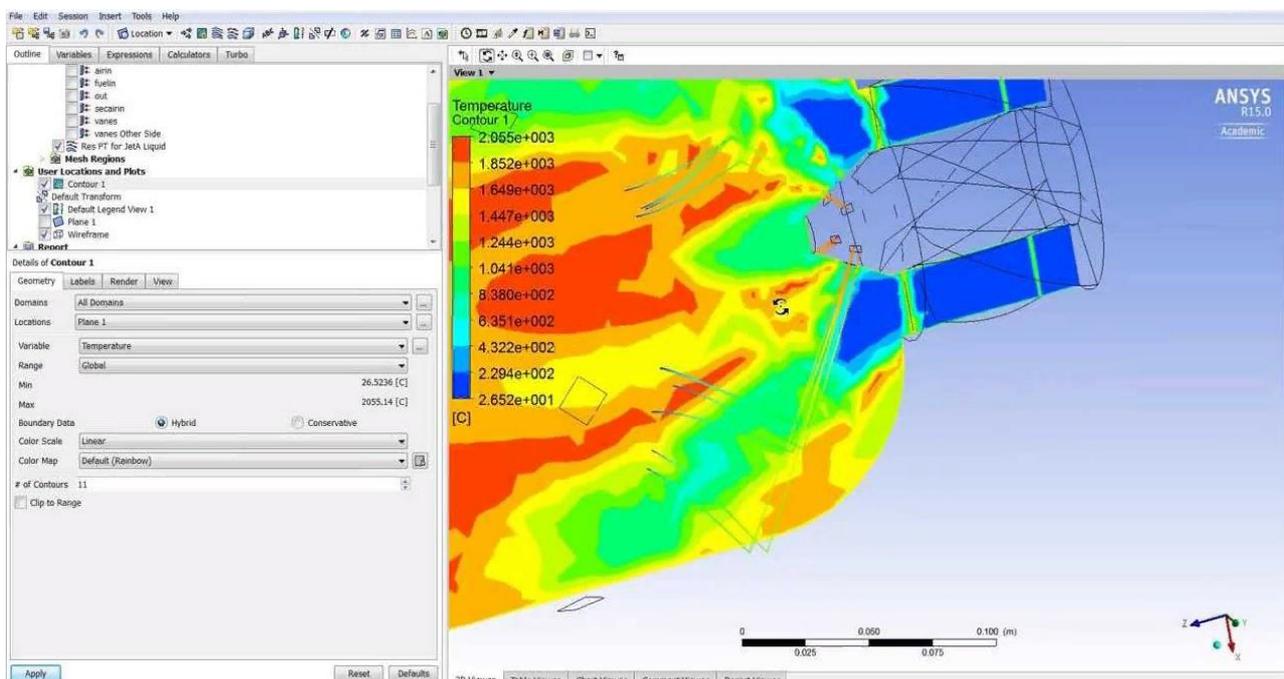


Рис. 1. Моделирование процесса горения в программном обеспечении ANSYS Fluent

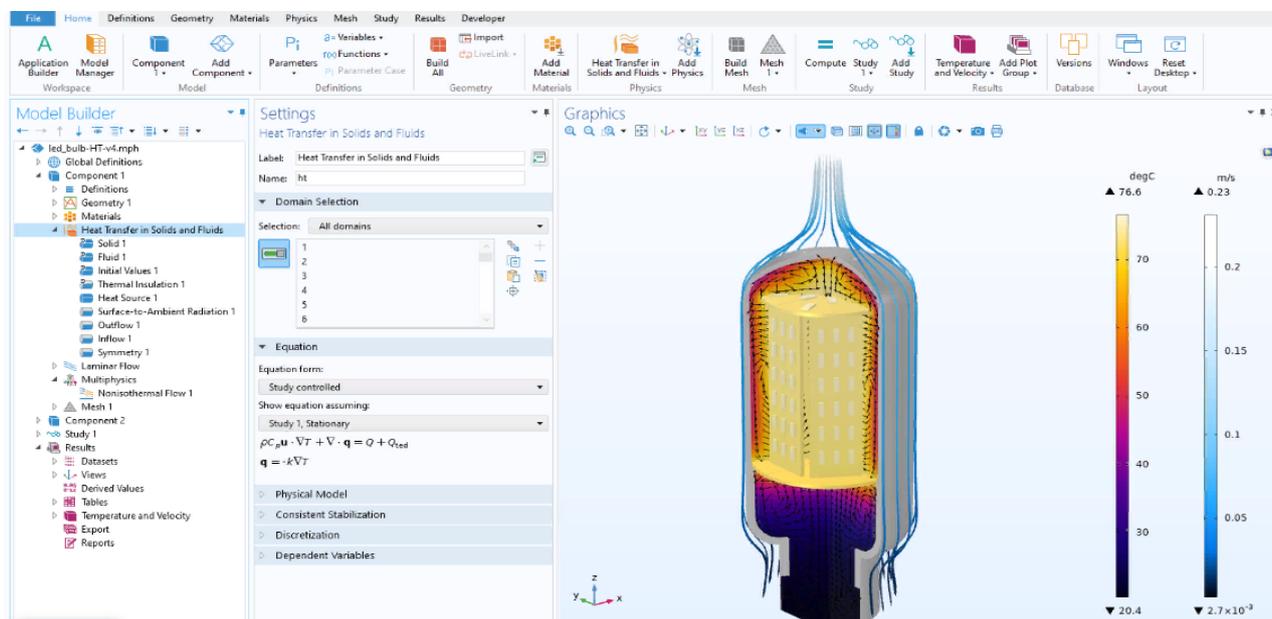


Рис. 2. Моделирование процесса горения в программном обеспечении COMSOL Multiphysics

Таким образом, математическое моделирование играет ключевую роль в современной инженерии, в том числе в развитии процесса горения. Его постоянное совершенствование и применение новых технологий позволят создавать более эффективные и экологически чистые технологии.

Источники

1. Я. Б. Зельдович, Г. И. Баренблатт, В. Б. Либрович, Г. М. Махвиладзе. Математическая теория горения и взрыва. М.: Наука, 1980.
2. Я. Б. Зельдович. Теория горения и детонации газов. М., JL: Из-во АН СССР, 1944.
3. Иванов И.И. Математическое моделирование процесса горения в инженерных науках. Москва: Наука, 2005. 240 с.
4. Петров П.П. Термодинамические и кинетические аспекты горения. Санкт-Петербург: Политехника, 2010. 180 с.
5. Сидоров С.С. Методы численного моделирования горения в реакционно-диффузионных системах. Новосибирск: Издательство НГТУ, 2012. 160 с.
6. Козлов К.К. Моделирование физических и химических процессов при горении топлива. Казань: КГТУ, 2014. 200 с.
7. Григорьев Г.Г. Современные методы математического моделирования процессов горения в инженерных науках. Минск: БГТУ, 2016. 220 с.
8. Особенности горения твердотопливной смеси на основе углей разной степени метаморфизма регионов Енисейской Сибири / А. В. Жуйков, А. И. Матюшенко, В. А. Кулагин, Д. А. Логинов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24, № 5. С. 136-146. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-5-136-146.