

УДК 004.3

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ В КОТЕЛЬНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Ш.С. ЙУЛДАШЕВ¹, Ш.Ш. САВРИЕВ²

¹ доцент кафедры «Информационные
и коммуникационные технологии»

² докторант кафедры «Информационные
и коммуникационные технологии»

Бухарский инженерно технологический институт
г. Бухара, Республика Узбекистан

Аннотация. В статье рассматривается разработана новая математическая модель распространения сферического пламени («огненного шара») при аварийном выбросе и зажигании смесей углеводородных газов в открытом пространстве. Установлена адекватность модели реальным условиям горения газозоудушных смесей в широком диапазоне изменения объемов аварийных емкостей и расстояния до объекта облучения. Предлагаемая модель может быть использована для прогнозирования геометрических и энергетических характеристик горения газов в структуре огненного шара при техногенных катастрофах.

Ключевые слова: природный газ, математическое моделирование, процессов горения, этапы моделирования

MATHEMATICAL MODELING OF THE PROCESS OF COMBUSTION OF HYDROCARBON GASES IN BOILER ROOMS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

SH.S. YULDASHEV¹, SH.SH. SAVRIYEV²

¹Associate Professor of the Department of Information and
Communication Technologies,

² Doctoral Student of the Department
«Information and Communication Technologies
Bukhara Institute of Engineering and Technology
Bukhara, Republic of Uzbekistan

Annotation. The article discusses the development of a new mathematical model of the propagation of a spherical flame («fireball») during an emergency release and ignition of hydrocarbon gas mixtures in open space. The adequacy of the model to real conditions of combustion of gas-air mixtures in a wide range of changes in the volumes of emergency containers and the distance to the irradiated object is established. The proposed model can be used to predict the geometric and energy characteristics of gas combustion in the structure of a fireball during man-made disasters.

Key words: natural gas, mathematical modeling, combustion processes, modeling stages

Природный газ содержит больше углеводородов с небольшой молекулярной массой. К группе природных газов, как правило, относятся попутные газы, растворенные в нефти и выделяющиеся при ее добыче. Сопутствующие газы содержат меньше метана, но больше метана, пропана, бутана и высших углеводородов. Природные газы являются важным ресурсом для жизни человека, и их регулярно добывают.

Математическое моделирование процесса горения углеводородных газов представляет собой сложную задачу, объединяющую области химии, физики и математики. Этот процесс включает в себя многостадийные химические реакции, тепломассоперенос и газодинамические процессы. Моделирование включает в себя следующие основные этапы.

При объяснении природы процессов горения следует обратить внимание на следующее, и оно основано на следующем:

- **Сущность процесса горения.** Горение – это процесс, в котором углеводородные газы (такие как метан, пропан и т. д.) вступают в химическую реакцию с кислородом с образованием тепла и углекислого газа (CO_2). В промышленных котельных этот процесс является основным источником энергии.

- **Значение математической модели.** Математическое моделирование рассчитывает следующие важные факторы процесса горения, при котором изучается динамика выделения тепла в процессе горения в количестве топлива и кислоты. Оценка объемов газовых выбросов и разработка стратегий по их снижению.

- **Основные уравнения процесса горения.** При моделировании процесса горения используется уравнение химической реакции и в нем $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + Q$

Здесь Q - означает количество выделяемого тепла.

- **При моделировании используются следующие методы:** Компьютерное моделирование: такие программы, как ANSYS Fluent, MATLAB и COMSOL Multiphysical. Эмпирические методы: Использование данных предыдущих экспериментов. Численные решения: Решение дифференциальных уравнений, связанных с тепломассопереносом.

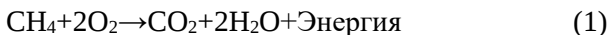
- **Результаты моделирования** помогают определить оптимальные условия повышения эффективности сгорания и снижения энергопотребления. Кроме того, она заключается в минимизации экологически вредных выбросов газов.

- **Повышение энергоэффективности** промышленных котлов, имеющих практическое значение. Для защиты окружающей среды необходимо внедрять экологически безопасные технологии и вырабатывать максимум тепла при минимальном расходе углеводородного топлива.

Математическое моделирование процесса сгорания углеводородных газов в котельных промышленных предприятий сегодня является актуальной задачей для обеспечения требований энергоэффективности, безопасности и экологии. С помощью математического моделирования можно глубоко проанализировать процесс сгорания, повысить его эффективность и снизить вредные выбросы.

Процесс горения и его характеристики

Углеводородные газы, такие как метан (CH_4), пропан (C_3H_8) или бутан (C_4H_{10}), сжигаются в котлах для производства тепловой энергии. Процесс горения происходит посредством следующей химической реакции (формула 1):



Основная цель в этом процессе:

1. Обеспечить полное сгорание топлива.
2. Обеспечение максимальной эффективности процесса производства тепла.
3. Минимизация вредных выбросов (CO , NO_x , SO_x).

Основные цели математического моделирования



Рисунок 1 – Задачи моделирования процессов горения

Уравнения, используемые при моделировании

- Уравнение баланса масс: Количество топлива и окислителей должно быть равным во входном и выходном потоках (формула 2):

$$\dot{m}_{kirish} = \dot{m}_{chiqish} \quad (2)$$

- Уравнение энергетического баланса: Тепловая энергия, образующаяся при сгорании, распределяется внутри котла (формула 3):

$$Q = \dot{m}_{yonilg'i} \cdot LHV \quad (3)$$

Здесь HV – низкая теплота сгорания топлива.

- Уравнение химической кинетики: Скорость реакции горения выражается уравнением Аррениуса:

$$R = A \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}} \quad (4)$$

где R – скорость реакции,

A – ранее экспериментально определенный коэффициент,

E_a – энергия активации,

R – газовая постоянная,

T – температура.

- Уравнения теплопередачи: Теплообмен внутри котла моделируется уравнениями конвекции и излучения (формула 5):

$$q = h \cdot A \cdot (T_{gaz} - T_{devor}) \quad (5)$$

- Расчет выбросов: для моделирования выбросов вредных газов (CO, NO_x) используются эмпирические уравнения или уравнения переноса (формула 6):

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \cdot \nabla C = D \nabla^2 C + R(C) \quad (6)$$

где C – концентрация вредных веществ,

u – скорость газа,

D – коэффициент диффузии,

R(C) – скорость химических реакций.

Этапы моделирования:

- **Сбор входящих данных:**
 - Состав и свойства топлива.
 - Геометрические параметры котла.
 - Условия эксплуатации (давление, температура, расход газа).
- **Создание математической модели:**
 - Создание уравнений процесса горения.
 - Интеграция газодинамики и процессов теплообмена.
- **Расчет модели:**

- Использование компьютерных программ (COMSOL, ANSYS Fluent, MATLAB).
- Решение уравнений разветвленными и итерационными методами.
 - **Проверка модели:**
 - Сравнение с экспериментальными данными.
 - Анализ результатов моделирования.
 - **Оптимизация:**
 - Повышайте эффективность за счет изменения параметров работы.
 - • Подбор оптимальных условий сокращения отходов.

Практическая значимость представлена на рисунке 2.

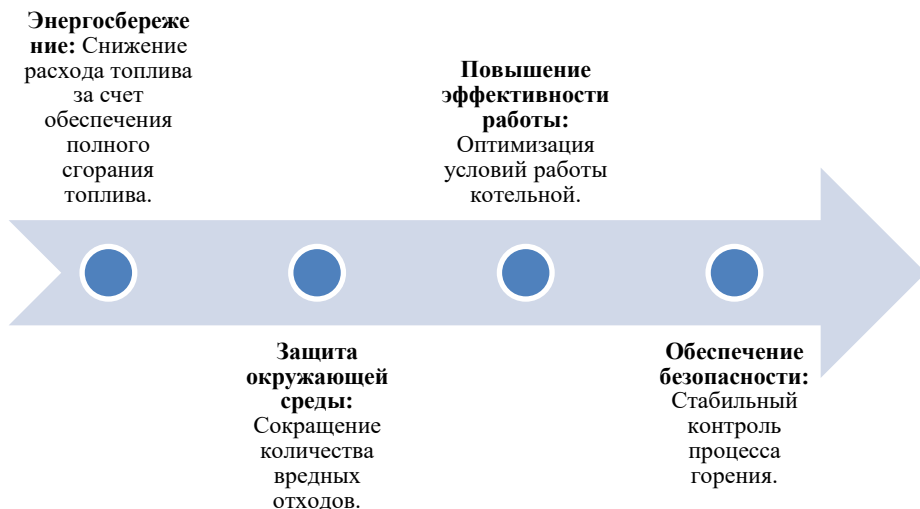


Рисунок 2 – Практическая значимость математического моделирования процессов горения

ЛИТЕРАТУРА

1. Кулиев А.М., Алекперов Г.З., Тагиев В.Г. Технология и моделирование процессов подготовки природного газа. - М.: Недра, 1978. - 232 с.

2. Тараненко Б.Ф., Герман В.Т. Автоматическое управление газопромышленными объектами. - М.: Недра, 1976. - 213 с.
3. Iguchi Manabu, Ilegbusi Olusegun J. Modeling Multiphase Materials Processes: Gas-Liquid Systems. - Springer, 2010.
5. Seborg D.E., Mellichamp D.A., Edgar T.F., Doyle III F.J. Process Dynamics and Control, International Student Version - 3rd ed. - Wiley, 2011.
6. Абрамкин С.Е., Душин С.Е., Кузьмин Н.Н. Математические модели управляемых массо- и теплообменных процессов в комплексе технологических систем «Абсорбция- Десорбция» // Известия ЮФУ. Технические науки. - 2011. - № 6 (119). - С. 255-264.
7. Шукурова О.П. Алгоритмы адаптивного оценивания состояния установок комплексной подготовки газа // Кимёвий технология. Назорат ва бошқарув. Халқаро илмий-техникавий журнал. 2013, № 3, 86-89 бет
8. Филимонов Н.Б. Концепция многорежимного регулирования // Автоматическое управление объектами с переменными характеристиками: Межвуз. сб. науч. тр. - Новосибирск: НЭТИ, 1988. - С. 88-92.

REFERENCE

1. Kuliev A.M., Alekperov G.Z., Tagiev V.G. Technology and modeling of natural gas preparation processes. - М.: Nedra, 1978. - 232 p.
2. Taranenko B.F., German V.T. Automatic control of gas field facilities. - М.: Nedra, 1976. - 213 p.
3. Iguchi Manabu, Ilegbusi Olusegun J. Modeling Multiphase Materials Processes: Gas-Liquid Systems. - Springer, 2010.
5. Seborg D.E., Mellichamp D.A., Edgar T.F., Doyle III F.J. Process Dynamics and Control, International Student Version - 3rd ed. - Wiley, 2011.
6. Abramkin S.E., Dushin S.E., Kuzmin N.N. Mathematical models of controlled mass and heat exchange processes in the complex of technological systems «Absorption-Desorption» // Bulletin of SFedU. Technical sciences. - 2011. - No. 6 (119). - P. 255-264.
7. Shukurova O.P. Algorithms for adaptive assessment of the state of complex gas treatment units // Kimyoviy technology. Knowledge and knowledge. Technical journal. 2013, No. 3, 86-89 bet

8. Filimonov N.B. Concept of multi-mode regulation // Automatic control of objects with variable characteristics: Interuniversity. collection of scientific papers. - Novosibirsk: NETI, 1988. - P. 88-92.