

В. Н. Кодолов
V. N. Kodolov
vitalykodolov@yandex.ru

С. В. Анахов
S. V. Anakhov
sergej.anahov@rsvpu.ru

ФГАОУ ВО «Российский государственный
профессионально-педагогический университет», г. Екатеринбург
Russian State Vocational Pedagogical University, Ekaterinburg

**О ВИЗУАЛИЗАЦИИ РАСЧЕТНЫХ ДАННЫХ ПО ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПЛАЗМЕННОГО ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ
ON VISUALIZATION OF CALCULATED DATA ON THE EFFECTIVENESS OF PLASMA
NEUTRALIZATION**

Аннотация. Представлены результаты исследований метода плазменного дожигания газообразных продуктов в технологиях термической переработки отходов. Рассмотрен способ визуализации расчетных газодинамических и теплофизических параметров воздушно-плазменного потока в процессе теплового нагрева азотсодержащих газов плазменной струей. Обоснована эффективность рассматриваемой технологии плазменного обезвреживания и применимость метода визуализации данных для анализа полученных результатов САД и САЕ-проектирования в плоскостном и объемном представлении.

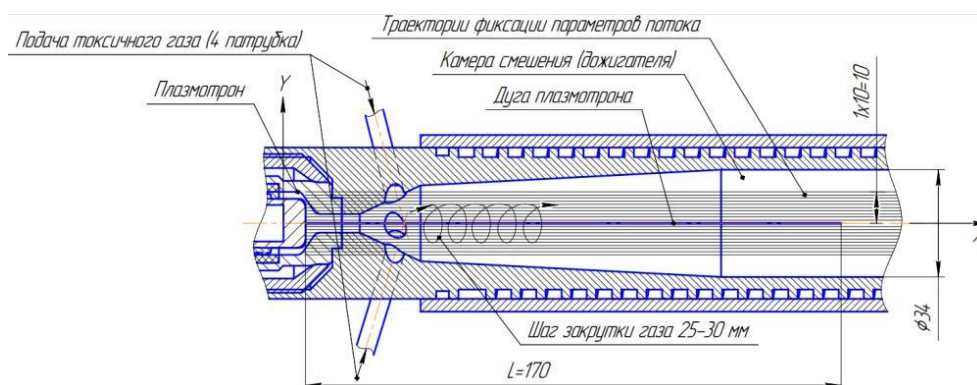
Abstract. The research results of plasma afterburning method in the technologies of thermal waste processing are presented. The method of visualization for the calculated gas-dynamic and thermophysical parameters of the air-plasma flow in the process of thermal plasma heating is considered. The effectiveness of the plasma neutralization technology under consideration and the applicability of the data visualization method for analyzing the results of CAD and CAE design in planar and volumetric representation are substantiated.

Ключевые слова: визуализация, плазмотрон, электроплазменные технологии, проектирование, эффективность, экологическая безопасность, утилизация, обезвреживание, инсинерация, переработка отходов, математическое моделирование.

Keywords: visualization, plasmatron, electroplasma technologies, design, efficiency, environmental safety, disposal, neutralization, incineration, waste recycling, mathematical modeling.

Переработка отходов различной степени опасности – одна из наиболее актуальных инженерно-экологических задач. В рамках данной статьи рассмотрены возможности визуализации больших данных для оценки эффективности электроплазменных технологий

для термической обработки токсичных азотсодержащих газообразных соединений. Электроплазменные технологии, как известно, используют плазмотроны для плазменной инсинерации («сжигания») – высокотемпературного ($T > 2000$ К) воздействия на материалы, позволяющего подвергнуть глубокому разложению соединения, входящие в состав данного вещества [1]. Например, одним из рациональных методов плазменного обезвреживания является внедрение плазмотронов на стадии дожигания газообразных продуктов переработки опасных отходов. Для этих целей можно использовать разработанную ранее оригинальную конструкцию плазмотрона с камерой смешения (КС), в которой конструктивными и технологическими способами организуется взаимодействие 2-х газовых потоков –



формирующего плазменную дугу (струю) и вторичного потока токсичного газа (рис. 1) [2].

Рис. 1. Плазмотрон для обезвреживания токсичных газовых отходов
(схема экспериментальной модели)

Для оценки эффективности данной конструкции и технологии были проведены расчетные исследования процессов плазменной инсинерации азотсодержащих соединений, чье присутствие в газовых выбросах представляет наибольшую опасность для окружающей среды. С этой целью методами математического моделирования в программной среде SolidWorks были определены газодинамические параметры воздушно-плазменного потока в камере смешения разработанного плазмотрона для обезвреживания токсичных газовых выбросов – рис. 2, а. Для анализа полученного массива данных была использована схема, представленная на рис. 2, б, подразумевающая анализ результатов расчета скоростей и температур нагрева вдоль линейных траекторий, взятых параллельно оси камеры смешения с одинаковым шагом отступа в 1,5 мм.

При оценке эффективности инсинерации были использованы представленные в таблице 1 известные данные по времени разложения аммиака [3]. Как видно из таблицы, при температурах от 700 до 1000 К это разложение происходит медленно и требует большого количества времени, однако при температуре свыше 1500 К аммиак уже разлагается практически полностью за время порядка миллисекунд. Данные условия вполне достижимы при плазменном нагреве и существенно превосходят параметры разложения, достигаемые при использовании каталитических систем.

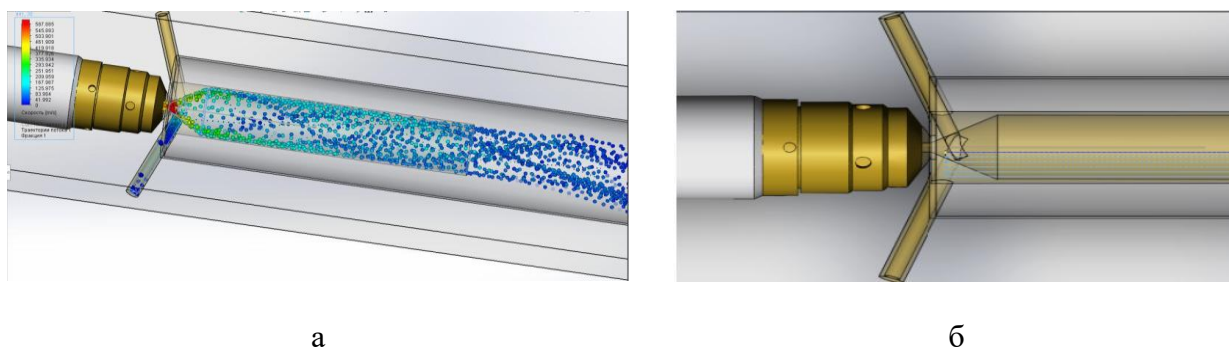


Рис. 2. Результаты расчета (а) и схема анализа (б) газодинамических параметров в плазматроне-утилизаторе

Таблица 1. – Расчетное время установления химического равновесия τ и коэффициент полноты завершения реакции разложения аммиака X как функции температуры T [3]

T, K	700	1000	1200	1500
τ, c	$3,54 \cdot 10^{12}$	$1,11 \cdot 10^4$	6,31	$5,02 \cdot 10^{-3}$
X	0,822	0,9856	0,9951	0,9999

X – доля разложившегося аммиака

Очевидно, что при оценке эффективности обезвреживания необходимо использовать 2 параметра – время и температуру нагрева, сочетание которых и дает необходимый эффект. Для решения данной задачи в данной статье был использован интерактивный инструмент визуализации больших данных в виде графиков с окрашиванием определенных графических площадей по определенному критерию.

В качестве иллюстрации метода рассмотрим обработку десяти групп данных: пять групп – это температурные данные и пять – данные расчета скорости, преобразованные в параметры времени нагрева вдоль определенной траектории. Исходные табличные данные были отсортированы при помощи библиотек с открытым исходным кодом для языка программирования Python – `numpy` (для работы с большими данными и массивами) и `pandas` (для работы с таблицами). Для визуализации данных использовалась библиотека `matplotlib`, позволяющая строить графики по определенным критериям и наносить на них дополнительные элементы.

При анализе температурных зависимостей графики температуры были разделены на определенные участки с закраской их определенным цветом в соответствии с правилом, представленным на рис. 3 и 4, с учетом параметров, представленных в табл. 1. При построении графиков времени использовались расчетные данные по распределениям скоростей вдоль линий анализа, по которым интегральным методом были получены результаты по времени нагрева вдоль линии (рис.5) и визуализированы по такому же правилу, что и графики температуры, с учетом параметров табл.1.

После визуализации графиков был проведен их анализ, по результатам которого можно сделать ряд выводов.

На всех графиках температуры видно, что на большей части анализируемых траекторий показатели температура превышает 1500 К. Наиболее характерный график представлен на рис.3, на котором мы видим высокие температуры как в самом начале камеры смешения, так и на большей части её длины. По мере удаления от оси температуры начинают закономерно снижаться, возрастает и динамика их изменения вдоль исследуемой линейной траектории (рис. 4). В результате на отдельных участках траектории температура может оказаться менее 1500 К, однако, и в данных объемах КС можно ожидать существенной доли распадающегося объема аммиака.

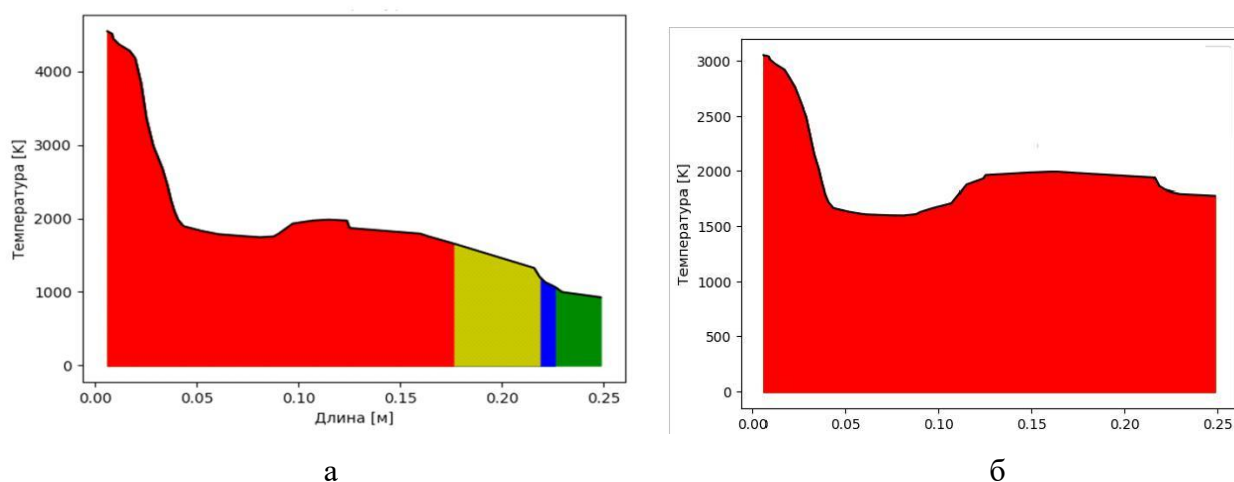


Рис. 3. График температуры вдоль линий на удалении 1,5 мм (а) и 3 мм (б) от оси камеры смешения плазмотрона-утилизатора. Области графика: красная – $T > 1500$ К, желтая – $1000 < T < 1200$ К, голубая – $700 < T < 1000$ К, зеленая – $T < 700$ К.

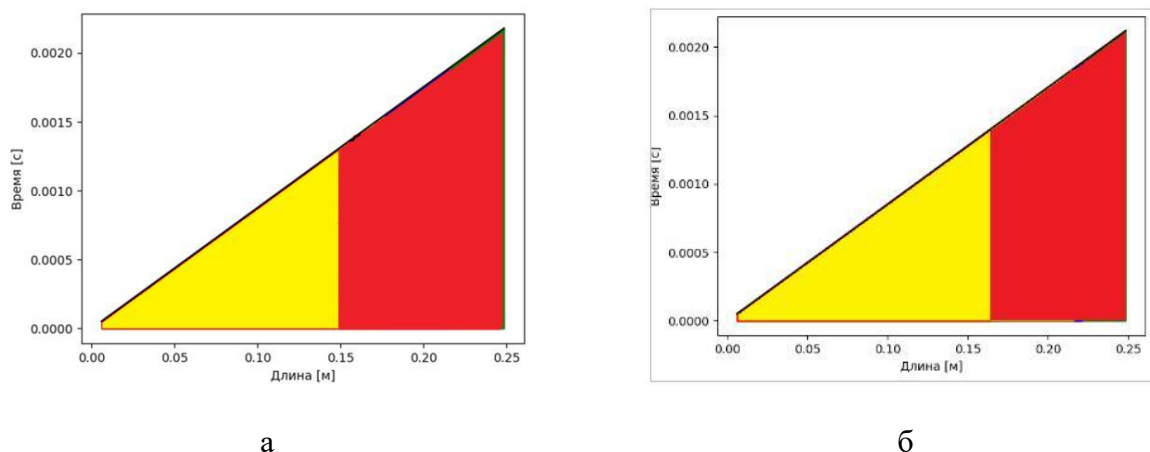


Рис. 4 График времени нагрева вдоль линий на удалении 1,5 мм (а) и 3 мм (б) от оси камеры смешения плазмотрона-утилизатора. Области графика: красная – $t > 0,001$ с, желтая – $t < 0,001$ с.

При рассмотрении графиков времени (рис.4) можно сделать вывод, что время нагрева на протяжении КС по порядку величин соответствуют параметрам таблицы 1, соответствующим максимальной эффективности распада аммиака. Следует при этом учесть, что характер движения газовых потоков в КС носит вихревой характер, из-за чего расчетное время нагрева вдоль линейных траекторий в несколько раз меньше реального времени

пребывания газа в КС. Окончательные выводы можно сделать при сравнении графиков рисунков 3 и 4 для линий, взятых на одинаковом удалении от оси плазмотрона-утилизатора.

Анализ представленных результатов показывает, что данная технологическая схема утилизации токсичных азотсодержащих компонент обеспечивает высокую эффективность инсинерации опасных газовых выбросов. Представленный метод визуализации данных позволяет сделать по этому поводу достаточно наглядные обоснования и может быть применен для анализа полученных результатов САД и САЕ-проектирования в плоскостном и объемном представлении.

Список литературы:

1. Анахов С. В. Принципы и методы проектирования плазмотронов. Екатеринбург : Издательство Российского государственного профессионально-педагогического университета, 2018. 163 с.

2. Об эффективности обезвреживания азотсодержащих компонент в технологии плазменного дожигания газообразных отходов / С. В. Анахов, Г. В. Харина, Ю. А. Пыкин, А. В. Матушкин // Безопасность жизнедеятельности. 2021. № 4 (244). С. 29–36.

3. Дорофеев А. А., Ягодников Д. А. Термодинамическое моделирование неравновесного состава продуктов сгорания и разложения жидких ракетных топлив на основе гидразина // Наука и образование. МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2016. № 5. С. 29-40. DOI: 10.7463/0516.0841540.