

Национальный исследовательский
Томский государственный университет

Механико-математический факультет
Кафедра физической и вычислительной механики



Материалы

XXII Всероссийской научной конференции
с международным участием

"Сопряженные задачи механики реагирующих сред,
информатики и экологии", посвященной 100-летию
со дня рождения академика Н.Н. Яненко

12 – 14 октября 2021 г.
г. Томск

поверхности грунта qRn из простого соотношения $AhPb-214 = AhBi-214 = qRn/\lambda Rn$, где λRn – постоянная радиоактивного распада радона $Rn-222$.

В периоды выпадения осадков интегральные значения активности радионуклидов в столбе высотой h можно определить, решив систему уравнений баланса концентраций рассматриваемых радионуклидов в атмосфере, которые учитывают процессы рождения и удаления радионуклидов за счет радиоактивного распада, удаления из атмосферы осадками, а также поступление материнского радионуклида радона из грунта, определяемое величиной qRn . В начальный момент выпадения жидких атмосферных осадков все активности радионуклидов на земной поверхности равны нулю. Совместное решение систем уравнений переноса радионуклидов в атмосфере и на земной поверхности реализовано в среде Wolfram Mathematica.

Для проверки модели было использовано несколько случаев осадков, зарегистрированных в г. Томске на территории геофизической обсерватории ИМКЭС СО РАН. Получена высокая согласованность расчетных и экспериментальных данных. Коэффициент детерминации составил $R^2 = 0,81-0,99$ для рассмотренных случаев сильных ливней между измеренными и восстановленными по разработанной модели значениями мощности AMBIENTНОГО ЭКВИВАЛЕНТА ДОЗЫ.

Анализ результатов работы позволил сделать следующие выводы. Предложенная математическая модель для восстановления мощности AMBIENTНОГО ЭКВИВАЛЕНТА ДОЗЫ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ВО ВРЕМЯ ЖИДКИХ

атмосферных осадков удовлетворительно согласуется с экспериментальными наблюдениями гамма-фона.

Автор выражает благодарность научному руководителю профессору ТПУ Яковлевой В.С., а также сотрудникам ИМКЭС СО РАН, предоставившим аппаратуру и условия для проведения экспериментов, и ценные консультации.

Литература

1. Takeuchi N., Katase A. Rainout-washout model for variation of environmental gamma-ray intensity by precipitation //Journal of Nuclear Science and Technology. – 1982. Т. 19. №. 5. С. 393-409.
2. Bottardi C. et al. Rain rate and radon daughters' activity //Atmospheric Environment. 2020. Т. 238. С. 117728.
3. Liu H. et al. On the characteristics of the wet deposition process using radon as a tracer gas //Radiation protection dosimetry. 2014. Т. 160. №. 1-3. С. 83-86.
4. Livesay R. J. et al. Rain-induced increase in background radiation detected by Radiation Portal Monitors //Journal of environmental radioactivity. 2014. Т. 137. С. 137-141.
5. Takeyasu M. et al. Concentrations and their ratio of ^{222}Rn decay products in rainwater measured by gamma-ray spectrometry using a low-background Ge detector //Journal of environmental radioactivity. 2006. Т. 88. №. 1. С. 74-89.
6. Яковлева В. С., Паровик Р. И. Численное решение уравнения диффузии – адвекции радона в многослойных геологических средах //Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. 2011. №. 1 (2). С. 44-54.
7. Яковлева В. С. Полевой метод измерения коэффициента диффузии радона и торона в грунте //Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. 2014. №. 1 (8). С. 81-85.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫБРОСОВ ГАЗООБРАЗНЫХ ПРОДУКТОВ ОТ МОДЕЛЬНОГО ОЧАГА ПРИРОДНОГО ПОЖАРА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ТУРБУЛЕНТНОСТЬ

Е.Л. Лобода^{1,2}, Д.П. Касымов^{1,2}, М.В. Агафонцев^{1,2}, В.В. Рейно¹, А.В. Луценко^{1,2},
К.Е. Орлов², П.С. Мартынов^{1,2}, Е.В. Гордеев¹, М.Ю. Аршинов¹, А.Л. Афанасьев¹,
Д.А. Маракасов¹, Ю.А. Лобода^{1,2}, А.С. Климентьев²

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия
E-mail: e-mail: loboda@mail.tsu.ru, denkasymov@gmail.com, kim75_mvva@gmail.com, reyno@iao.ru,
michael@ioa.ru, afanasiev@ioa.ru, mda@ioa.ru

Ежегодно во время пожароопасного периода на различных территориях нашей планеты возникают природные. Их причинами зачастую являются как хозяйственная деятельность человека, так и природные факторы (грозы, сухие грозы). При определенных условиях природные пожары могут приводить к чрезвычайным ситуациям, в том числе и к катастрофическим последствиям. Для успешной борьбы с природными пожарами особое значение имеет их раннее обнаружение, что крайне затруднено в незаселенных районах. Поэтому представляет

особый интерес исследование природных пожаров в контексте их влияния на атмосферу, что позволит производить раннее удаленное обнаружение очага горения.

Исследования природных пожаров проводились на территории Базового экспериментального комплекса (БЭК) Института оптики атмосферы СО РАН. Эксперименты проводились на участках растительности длиной 10 м и шириной 2 м. Измерение полей температуры в пламени производилось с применением методов ИК

термографии, а оценка характеристик турбулентности – по оригинальной методике [1]. Регистрация метеопараметров и оценка флуктуаций показателя преломления осуществлялись при помощи метеостанции АМК-03, расположенные на 3 и 10 метровых мачтах в окрестности очага горения. Анализ газового и аэрозольного составов атмосферы производился с применением мобильных измерительных комплексов [2], а параметры турбулентности в конвективной колонке над зоной горения регистрировались при помощи пассивной системы оптического мониторинга [3].

Установлено, что интенсивное тепловыделение во фронте пожара и развитая турбулентность в пламени в результате диссипации турбулентных структур, выделения энергии и выброса горячих аэрозольных и газовых компонент оказывает влияние на окружающую атмосферу в непосредственной близости от фронта горения. В следствие упомянутых факторов происходит изменение температуры воздуха на высоте 3 м и 10 м (рис. 1а). Необходимо отметить, что расположение метеостанции на высоте 10 м было по направлению ветра и распространения фронта пожара, а метеостанция на высоте 3 м была расположена сбоку от экспериментального участка. Также во время проведения эксперимента за счет конвекции продуктов горения наблюдались флуктуации вертикальной составляющей скорости ветра (рис. 1с, 1d). Очевидно, что на высоте 3 м они имеют большую амплитуду несмотря на то, что метеостанция находилась сбоку от направления распространения фронта пожара. При этом максимум соответствует прохождению фронта пожара в непосредственной близости от места измерения. Установлено существенное изменение флуктуаций показателя преломления атмосферы Cn_2 (рис. 1е, 1f). Необходимо сказать, что ультразвуковая метеостанция АМК-03 рассчитывает Cn_2 по флуктуациям скорости звука между ультразвуковыми датчиками. Поэтому флуктуации Cn_2 являются отражением турбулентных процессов, протекающих в воздухе, находящемся между датчиками метеостанции. Особое внимание необходимо обратить на рост концентрации метана (рис. 1b), который вызван тем фактом, что не весь образовавшийся в зоне пиролиза метан успевает вступить в химическую реакцию во фронте пожара.

Пассивный метод оценки турбулентности в атмосфере по дрожанию центра тяжести пучка позволил зарегистрировать, что в окрестности очага пожара в приземном слое атмосферы формируются крупные турбулентные структуры с достаточной для регистрации пожара интенсивностью.

В результате проведенных исследований можно сделать следующий вывод, что для разработки новой системы раннего обнаружения природных пожаров [4] необходимо использовать анализ газового и аэрозольного состава атмосферы, учитывающий перенос характерных продуктов пиролиза и горения, а также необходимо развивать пассивные методы

оценки турбулентности, которые позволят с достаточной достоверностью обнаруживать очаги горения на большом расстоянии, в том числе с применением авиации.

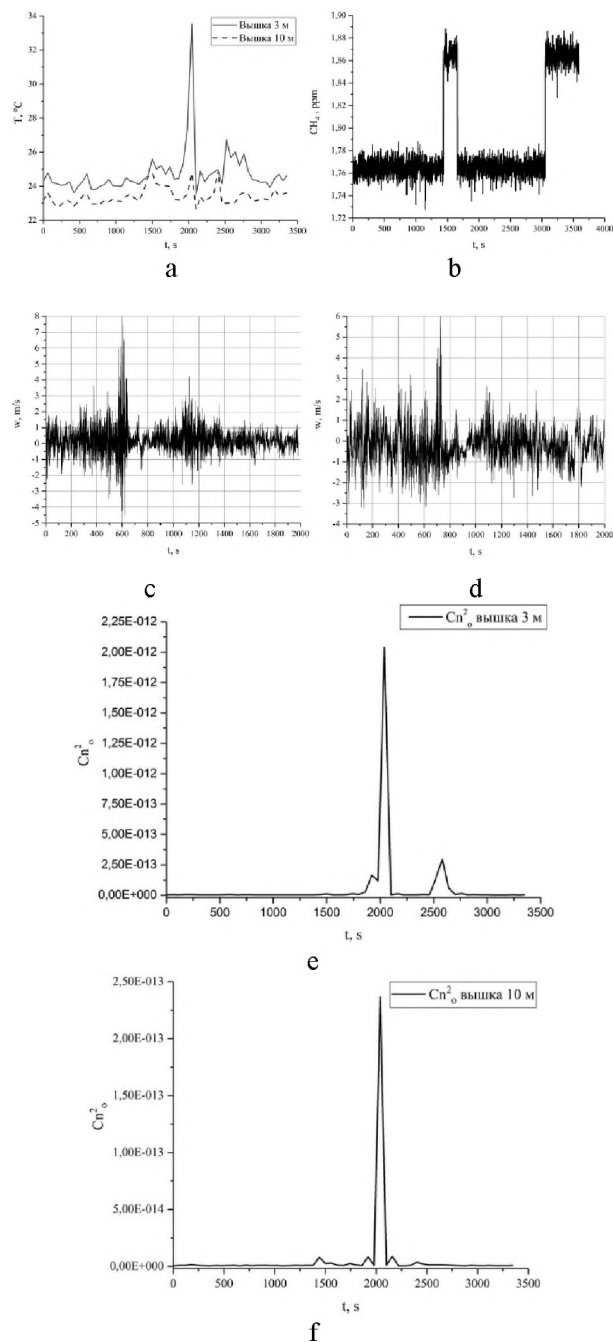


Рис. 1. Изменение метеопараметров во время проведения экспериментов а – температура воздуха вблизи экспериментальной площадки (2019 г.), б – изменение концентрации метана в атмосфере, в – изменение вертикальной компоненты скорости ветра на высоте 3 м, д – изменение вертикальной компоненты скорости ветра на высоте 10 м, е – изменение флуктуаций показателя преломления Cn_2 на высоте 3, ф – м изменение флуктуаций показателя преломления Cn_2 на высоте 10 м

Исследование выполнено за счет гранта
Российского научного фонда (проект № 20-71-
10068).

Литература

1. Loboda E.L., Matvienko O.V., Vavilov V.P., Reyno V.V. Infrared thermographic evaluation of flame turbulence scale // *Infrared physics and technology*. 2015. Vol. 72. P. 1–7.
2. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Ивлев Г.А., Козлов А.В., Пестунов Д.А., Покровский Е.В., Толмачев Г.Н., Фофанов А.В. Посты для мониторинга парниковых и

окисляющих атмосферу газов // *Оптика атмосф. и океана*. 2007. Т. 20, № 1. С. 53–61.

3. A.L. Afanasiev, V.A. Banakh, D.A. Marakasov *Passive Optical Monitoring of Wind Conditions and Indication of Aircraft Wakes Near Airport Runways // Atmospheric and Oceanic Optics*, 2019, Vol. 32, No. 5, pp. 506–510.

4. Лобода Е.Л., Касымов Д.П., Агафонцев М.В., Рейно В.В. О принципах построения системы раннего загоризонтного обнаружения природных пожаров с использованием существующих объектов инфраструктуры // *Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXXII Международной научно-практической конференции*. М.: ВНИИПО, 2020. С. 389-396.

ИЗУЧЕНИЕ ХИМИИ ОБРАЗОВАНИЯ КАТИОНОВ В ПЛАМЕНИ ЭТИЛЕНА

А.В. Черепанов, Д.А. Князьков, И.Е. Герасимов, А.Г. Шмаков

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химической кинетики и горения
им. В.В. Воеводского СО РАН
630090, Новосибирск, Институтская ул., 3
E-mail: a.cherepanov1@g.nsu.ru

Известно, что во фронте пламени образуются заряженные частицы. Благодаря этому внешнее электромагнитное поле может существенно влиять на процесс горения. Образование ионов в пламени являлось предметом исследований многих десятилетий. В последнее время интерес к ионам в пламени снова возрос в связи с необходимостью усовершенствования систем управления горением с применением ионсенситивных технологий. Кроме того, понимание кинетики образования ионов в пламени позволяет создать основы для развития новых диагностических методов.

Представленные в литературе кинетические модели с участием заряженных частиц в пламени несовершенны в связи с отсутствием, надежных экспериментальных данных, на которых можно провести их проверку. Целью данной работы являлась экспериментальная проверка и усовершенствование представленной в литературе химико-кинетической модели горения этилена, включающей реакции с заряженными частицами. Методом молекулярно-пучковой масс-спектрометрии измерена катионная структура бедного предварительно перемешанного пламени этилена, стабилизированного на плоскопламенной горелке. Получены профили относительной мольной доли катионов в диапазоне $m/z=1-300$. Кроме того, измерена зависимость тока насыщения в пламенах этилена от коэффициента избытка горючего смеси в интервале $\phi=0.6-2.4$. Проведены численные расчеты

химической структуры исследованных пламен, используя библиотеки Cantera (v.2.4.0)[1] для языка программирования Python и детальный механизм реакций с участием заряженных частиц, построенный на основе предложенного в литературе механизма для описания ионной химии в пламенах метана [2]. Указанный механизм расширен добавлением реакций, описывающих образование иона $C_3H_5^+$, наличие которого установлено в экспериментах. Сопоставление экспериментальных и численных данных показало, что использованный механизм хорошо предсказывает относительные мольные доли основных катионов пламени ($C_2H_3O^+$, CH_5O^+ , HCO^+), но неудовлетворительно описывает новые экспериментальные данные по концентрациям таких катионов, как $C_3H_3^+$ и $C_3H_5^+$. Проведенный анализ основных путей образования и расхода катионов в пламени этилена позволил установить каналы реакций, требующие дальнейшего детального изучения для разработки модели, адекватно описывающей ионную химию в пламенах этилена.

Литература

1. David G. Goodwin, Raymond L. Speth, Harry K. Moffat, and Bryan W. Weber. Cantera: An object-oriented software toolkit for chemical kinetics, thermodynamics, and transport processes.

2. Chen B. et al. Ion chemistry in premixed rich methane flames, *Combustion and Flame*. – 2019. – Т. 202. – С. 208-218.