

ИССЛЕДОВАНИЯ РЕАГИРУЮЩИХ ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ТОМОГРАФИИ

Н.В. Денисова

*Институт Теоретической и Прикладной Механики им. С.А.Христиановича,
630090, Новосибирск, Россия*

Введение Томография является современным диагностическим методом, в основе которого лежит свойство исследуемых систем излучать, поглощать или рассеивать излучение в определенной области спектра. Томографический подход позволяет «увидеть невидимое», поскольку в большинстве таких исследований наибольший интерес представляет установление связи между полученными макроскопическими спектральными характеристиками и процессами, протекающими на атомно-молекулярном квантовом уровне, а для живых систем – на клеточном уровне. В данной работе представлены томографические исследования различных физических объектов, таких как пламена, газоразрядная плазма, а также исследования биологического объекта – человека. На определенном уровне исследований все эти объекты могут быть отнесены к реагирующим гетерогенным системам. Плазма представляет собой реагирующую систему, в которой активно взаимодействуют газовая среда, заряженные частицы и излучение. Человек представляет собой сложную непрерывно реагирующую систему, включающую жидкую, твердую и газообразную среды, а также различного рода пористости (легкие, кости).

Томографические исследования физических систем

Плазмо-химический реактор. Представлены результаты исследований, выполненных в ИТПМ [1]. Исследовалось взаимодействие высокоэнтальпийного сгустка метановой плазмы с метаном, находящемся в плазмохимическом реакторе. На основе фоторегистрации течения плазмы с помощью фоторазверток и использования методов компьютерной томографии, была получена визуализация взаимодействия потока плазмы с покоящимся газом. Полученные результаты позволили идентифицировать пространственно-временную структуру возникающих реагентных зон и установить их взаимосвязь с ударно-волновой картиной течения.

Диффузионное пламя. Представлены результаты исследований, выполненных в ИТПМ [2]. Отношения концентраций $\text{OH}/\text{CN}/\text{C}_2$ могут использоваться для мониторинга таких характеристик горения, как соотношение топливо-воздух, оценка полноты сгорания, скорость горения. Точная количественная реконструкция коэффициентов эмиссии OH , CN и C_2 в пламенах представляет достаточно сложную задачу. В работе была разработана надежная методика реконструкции на основе концепции максимальной энтропии, применимая как к осесимметричным, так и несимметричным пламенам. Был предложен новый метод, основанный на использовании метода локальной регуляризации для достижения более точного воспроизведения интенсивностей пиков и толщин хемилюминесцентных зон в пламени. Разработанный подход был протестирован в реконструкции пространственного распределения коэффициентов эмиссии $\text{OH}/\text{CN}/\text{C}_2$ в воздушно-пропановом пламени в горелке Бунзена.

Микроволновой разряд. Представлены предварительные результаты, которые продолжают предыдущие исследования микроволнового разряда, выполненные в сотрудничестве ИОФАН и ИТПМ [3]. Для исследования процессов, протекающих в плазме микроволнового разряда, был развит подход на основе спектральных оптических измерений и метода реконструктивной томографии. Измерялось свечение плазмы микроволнового

разряда в узких выделенных спектральных диапазонах, соответствующих излучению линий ртути 546.07нм и аргона 462.8нм, при давлении аргона 5Па и разных значениях тока магнетрона. Полученные изображения обрабатывались с использованием метода оптической томографии, что позволило получить пространственные распределения коэффициентов эмиссии указанных линий. Результаты анализа позволили получить пространственные изображения распределения плотности высокоэнергетичных «активных» электронов (рис.1). Получение подобных данных другими экспериментальными методами представляет большую сложность.

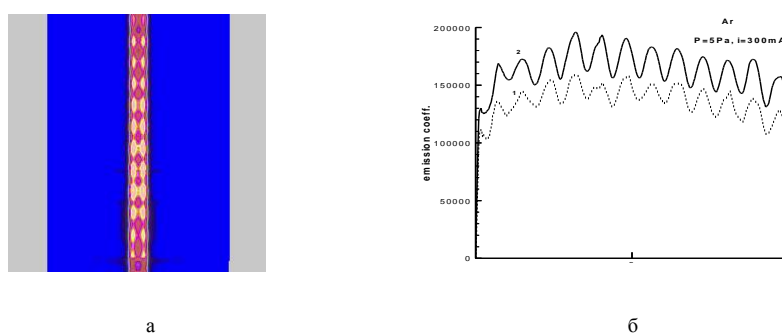


Рис.1. Распределение коэффициента эмиссии линии аргона 462.8нм в центральном сечении разряда (а), кривая 1 – распределение по оси, кривая 2 –распределение вдоль оси ближе к стенке разряда (б). Представленное на данном рисунке распределение коэффициента эмиссии соответствует пространственному распределению «активных» электронов с большой энергией, которые определяют излучательные характеристики разряда.

Томографические исследования биологических систем

Представлены результаты исследований, выполненных в сотрудничестве ИТПМ и Новосибирского НИИ патологии кровообращения им.академика Е.Н.Мешалкина [4]. Методы однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ) относятся к современным технологиям обследования перфузии миокарда. Процедура ОФЭКТ диагностики начинается с внутривенного введения пациенту определенного вещества, которое «метится» радиоактивной меткой. Это вещество – «трейсер» – разносится кровью по организму и распределяется в определенных органах пациента в соответствии с его участием в метаболических реакциях. Поскольку «метка» является источником гамма-излучения, это излучение регистрируется с помощью гамма-камеры. Алгоритмы реконструкции позволяют получить 3D «молекулярное изображение» распределения трейсера в организме человека. При оценке перфузии миокарда методом ОФЭКТ широко используется препарат $^{99m}\text{Tc-MIBI}$, тропный к кардиомиоцитам миокарда, который накапливается преимущественно в стенках левого желудочка сердца. В данной работе представлены исследования, направленные на численное моделирование процедуры обследования пациентов методом однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ) в кардиологии. На рис.2а представлен первый отечественный математический фантом, разработанный в ИТПМ, который моделирует распределение радионуклида $^{99m}\text{Tc-MIBI}$ в органах грудной клетки среднестатистического пациента. На рис.2б показана та часть торса, которая охватывается гамма-камерой при съеме данных. При моделировании планарных изображений учитывалась стохастическая природа излучения фотонов радионуклидом, поглощение гамма-излучения в биологических тканях, а также эффекты, связанные с прохождением гамма-квантов через коллиматор и детектор в гамма-камере. Выполнен расчет планарных изображений для математического фантома, моделирующего распределение радио-

нуклида ^{99m}Tc -MIBI в органах грудной клетки пациента, и представлено сравнение рассчитанных планарных изображений с данными, полученными при клинических исследованиях перфузии миокарда методом ОФЭКТ (рис.3).

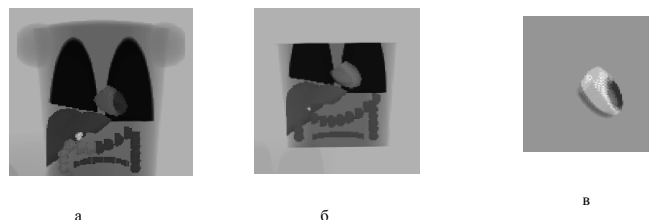


Рис.2. Математический фантом, который моделирует распределение радионуклида ^{99m}Tc -MIBI в органах грудной клетки среднестатистического пациента (а); часть торса, которая захватывается при съеме данных (б); 3D математическая модель, соответствующая распределению радионуклида ^{99m}Tc -MIBI в миокарде, представлен также дефект, соответствующий ишемическому поражению (в).



Рис.3. Планарные изображения (левая передняя косая - left anterior oblique LAO):
а – изображение получено методом численного моделирования с использованием фантома, представленного на рис.3в.
б – изображению получено на установке Infinia при кардиологическом обследовании пациента в Новосибирском НИИ патологии кровообращения им. академика Е.Н.Мешалкина.
в – упрощенная модель, которая использовалась для моделирования проекционных данных.

Как видно из рис.3, положение миокарда в модели соответствует клиническим данным.

Настоящие исследования выполнены при частичной поддержке грантов РФФИ № 14-02-00403-а, 14-01-00255-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Н.В. Денисова, С.С. Кацнельсон, Г.А. Поздняков** Визуализация быстротекающих плазмохимических процессов на основе метода компьютерной томографии. Физика плазмы 2007 33 №11 1042-1047.
2. **N. Denisova, P. Tretyakov, A. Tupikin** Emission tomography in flame diagnostics Combustion and Flame 2013 160 577-588
3. **Бархударов Э.М., Денисова Н.В., Косый И.А., Мисакян М.А.** Резонансный микроволновой разряд как источник ультрафиолетового излучения Физика плазмы 2009 т.35.№7 с. 611-618.
4. **Денисова Н.В., Курбатов В.П., Терехов И.Н.** Развитие математического фантома для моделирования процедуры обследования пациентов методом ОФЭКТ в кардиологии Медицинская физика №2 2014 с. 55-62.