

УДК 535.21; 534

И. А. Тимощенко<sup>1</sup>, О. Г. Романов<sup>1</sup>, А. В. Подберезский<sup>1</sup>, Т. А. Кулагова<sup>2</sup>**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТОАКУСТИЧЕСКОГО ОТКЛИКА МНОГОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ МИКРО- И НАНОСТРУКТУР**

<sup>1</sup> *Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,  
220030 Минск, Беларусь*

*[timoshchenkoia@bsu.by](mailto:timoshchenkoia@bsu.by), [romanov@bsu.by](mailto:romanov@bsu.by)*

<sup>2</sup> *НИУ «Институт ядерных проблем БГУ», ул. Бобруйская, 11,  
220006 Минск, Беларусь*

Оптоакустический (фотоакустический) эффект – это возбуждение акустических импульсов в окружающей среде за счет быстрого нагрева и расширения поглощающей частицы или структуры при поглощении импульсного или импульсно-периодического лазерного излучения [1]. В настоящее время фотоакустический эффект широко используется в биомедицинских исследованиях, фотоакустической спектроскопии и других приложениях. Особый интерес представляет исследование взаимодействия импульсного лазерного излучения с поглощающими микро- и наноструктурами, поскольку частота возбуждаемых акустических колебаний в таких структурах может достигать гига- и терагерцовых значений [2]. В частности, устройства, основанные на уникальных физических свойствах графеноподобных структур, в настоящее время рассматриваются как наиболее перспективные для разработки новых поколений наносенсоров и нанопреобразователей.

Целью данной работы является разработка компьютерной модели оптоакустического отклика многослойных углеродных микро- и наноструктур при воздействии сверхкоротких лазерных импульсов и проведение вычислительного эксперимента для определения возможности применения многослойной углеродной наноструктуры графен-алмаз на практике.

Основу теоретического рассмотрения процесса термооптического возбуждения акустических импульсов в сплошной среде при действии на нее импульсного лазерного излучения, используемого в данной работе, составляет решение уравнений движения среды в форме Лагранжа, а также уравнения теплопроводности в геометрии, адекватной рассматриваемой задаче [3]. В качестве численного метода решения системы уравнений движения сплошной среды используется явная схема с искусственной вязкостью [4], адаптированную на случай произвольной многослойной структуры. Развита в работе компьютерная модель позволяет описать процессы термомеханического действия импульсного лазерного излучения на многослойные углеродные микро- и наноструктуры в широком диапазоне длительностей лазерных импульсов. В результате проведенного численного моделирования рассчитываются поля изменения температуры, давления, плотности, скорости среды в зависимости от параметров лазерных импульсов, оптических, акустических и теплофизических свойств многослойной структуры. Показано, что в поглощающем слое материала происходит формирование пуга высокочастотных биполярных акустических сигналов, временная форма которых определяется длительностью лазерного импульса.

Рабочее окно разработанной компьютерной программы представлено на рисунке 1. Программа написана в среде Embarcadero RAD Studio на языке C++. Предусмотрена возможность изменения количества слоев структуры и параметров материалов, энергетических и временных параметров лазерных импульсов. Графический вывод пространственно-временных зависимостей изменения температуры, давления, плотности и скорости среды происходит в процессе производимых расчетов, что позволяет визуально контролировать правильность проводимых расчетов.

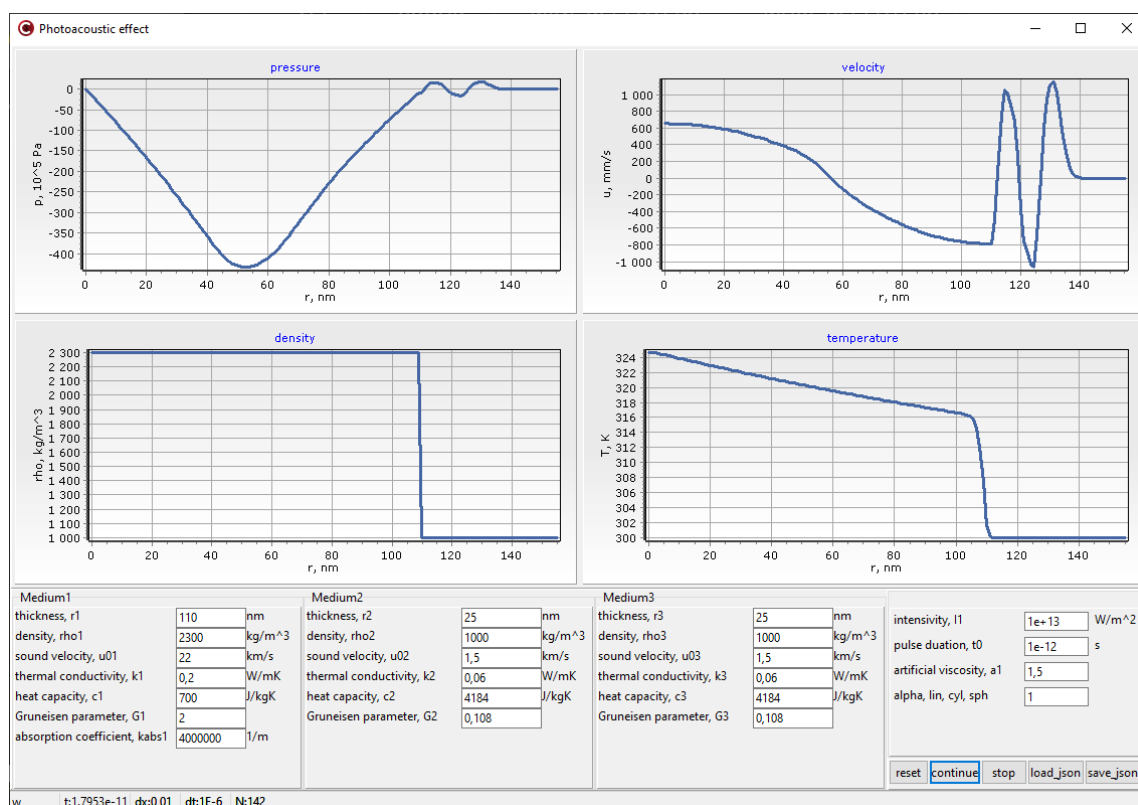


Рисунок 1 — Интерфейс компьютерной программы

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Фотоника и электроника для инноваций», задание 1.17 «Моделирование и разработка методов интегрирования графеноподобных материалов в фотонные и оптоэлектронные наноструктуры для управления оптическим излучением».

- [1] Лямшев Л. М. Лазерное термооптическое возбуждение звука. М.: Наука, 1989.
- [2] Романов О. Г. Воздействие фемтосекундных лазерных импульсов на металлические наночастицы в жидкости / О. Г. Романов, Г. И. Желтов, Г. С. Романов // Известия РАН. Серия физическая. – 2011. Т.75. – №12. – С. 1693.
- [3] Романов О. Г. Численное моделирование термомеханических процессов при поглощении лазерного излучения в пространственно-неоднородных средах / О. Г. Романов, Г. И. Желтов, Г. С. Романов // Инженерно-физический журнал – 2011. – Т.84. – №4. – С.715.
- [4] Romanov, O. Numerical simulation of photoacoustic effect in one-dimensional carbon nanostructures. / O. Romanov, I. Timoshchenko // Nonlinear Phenomena in Complex Systems. – 2022. – Vol. 25, No. 4. – P. 341.