

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННО-ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ, ОБЛУЧАЕМЫХ ЛАЗЕРОМ, МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аникина А.С.

Челябинский государственный университет, г. Челябинск

Челябинский государственный институт лазерной хирургии, г. Челябинск

Настоящая работа посвящена исследованию особенностей взаимодействия лазерного излучения с различными биологическими тканями с помощью созданного программного комплекса для расчета радиационных и тепловых характеристик лазерного излучения. В программном комплексе реализованы: двумерная осесимметричная гетерогенная модель среды; метод Монте-Карло для расчета радиационных полей; метод конечных элементов и метод Кранка-Николсона для расчета нестационарных тепловых полей (Lappa A.V., Anikina A.S., Kamalov V.A., A new computer code for calculation of radiation and heat fields in laser-irradiated tissues. In: SPIE Proc., v.3911, 2000, p.502-511).

Некоторые возможности нашего комплекса демонстрируются на рис. 1, где приведены результаты моделирования теплового воздействия He-Ne лазера (633 нм) на кожу в двух режимах облучения (непрерывный и импульсный). Моделирование такого рода позволяют не только найти предварительные параметры поля лазерного излучения, но и изучать, выявлять эффекты лазерного воздействия на различные биологические ткани. В частности, представленные расчеты демонстрируют эффект тепловой локализации для импульсного режима облучения в сравнении с непрерывным. Необходимо также отметить, что локализация не сопровождается увеличением температуры.

На рис.2 приведены результаты моделирования тепловых полей в белом веществе головного мозга человека для различных длин волн лазерного излучения: 1064 нм (Nd:YAG лазер) и 805 нм (диодный лазер). Полученные оценки температуры позволяют определить параметры лазерного излучения для достижения необходимых эффектов при проведении нейрохирургических лазерных операций.

Созданный программный комплекс может быть использован для разработки и оптимизации лазерных хирургических операций, методов лазерной термотерапии и биостимуляции, может служить основой математического обеспечения экспериментального определения оптических и теплофизических параметров биотканей.

| Слой | Толщина, мм | μ_a , 1/см | μ_s , 1/см | g | n | k , 10^{-3} Вт/см·К | ρ , г/см ³ | c , Дж/(г·К) |
|-------------|-------------|----------------|----------------|------|------|-------------------------|----------------------------|----------------|
| 1.Эпидермис | 0.065 | 4.3 | 107.0 | 0.79 | 1.5 | 2.66 | 1.6 | 3.7 |
| 2. Дерма | 0.565 | 2.7 | 187.0 | 0.82 | 1.4 | 4.98 | 1.0 | 3.2 |
| 3. Кровь | 0.09 | 25.0 | 400.0 | 0.98 | 1.35 | 5.30 | 1.0 | 3.6 |

| | | | | | | | | |
|----------|-------|-----|-------|------|-----|------|-----|-----|
| 4. Дерма | 0.565 | 2.7 | 187.0 | 0.82 | 1.4 | 4.98 | 1.0 | 3.2 |
|----------|-------|-----|-------|------|-----|------|-----|-----|

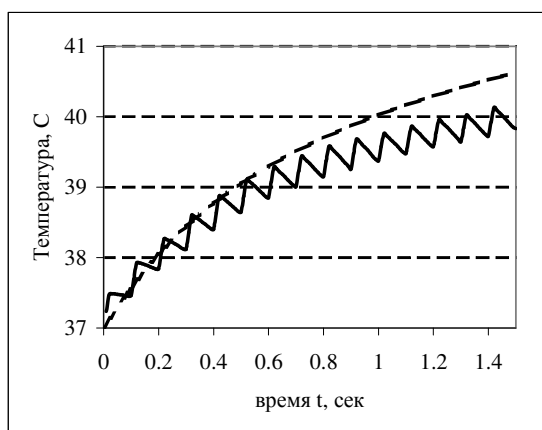


Рис.1. Зависимость температуры от времени на поверхности кожи на оси пучка. Профиль лазерного пучка – прямоугольный, диаметр равен 0.1 см, средняя мощность равна 0.25 Вт для обоих режимов, длительность импульса 0.02 сек, частота 10 Гц. Начальная температура равна 37 °С. Теплообмен кожи с окружающей средой не учитывается. Параметры 4-слойной модели кожи приведены в таблице для каждого слоя. Сплошная линия – результаты расчетов для импульсного режима, пунктирная – для непрерывного режима облучения.

| Биологическая ткань | μ_a , 1/см | μ_s , 1/см | g | n | k , 10^{-3} Вт/см·К | ρ , г/см ³ | c , Дж/(г·К) |
|--|-------------------|-------------------|------|------|----------------------------|-------------------------------|-------------------|
| Белое вещество мозга человека (1064 нм) | 3.2 | 469.0 | 0.87 | 1.45 | 6.48 | 10^{-6} | 4.18 |
| Белое вещество мозга человека (805 нм) | 0.2 | 400.0 | 0.9 | 1.38 | 6.48 | 10^{-6} | 4.18 |

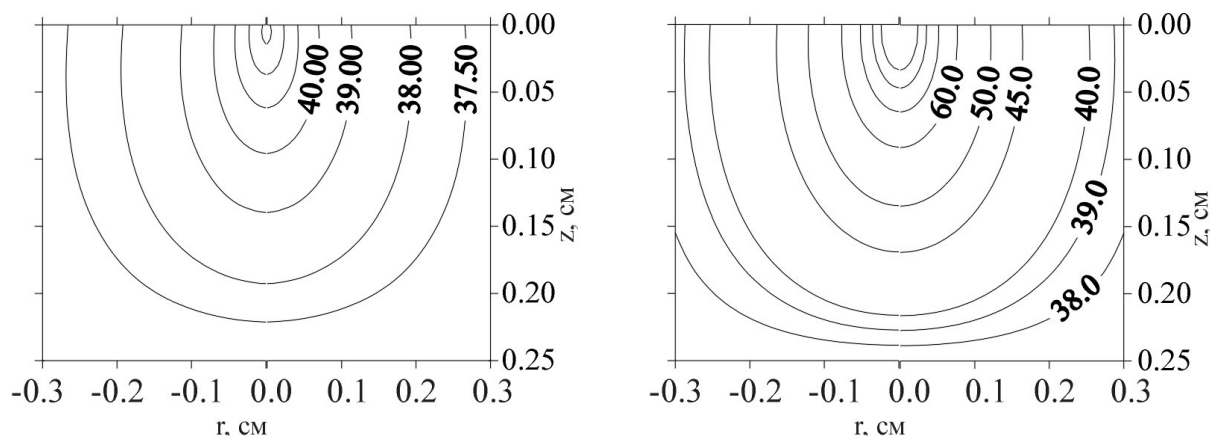


Рис. 2. Стационарные изотермы в белом веществе головного мозга человека, облучаемого лазерным пучком различной длины волны (слева – 805 нм, справа – 1064 нм). Лазерный пучок: гауссов профиля, радиус - 0.02 см, мощность - 1Вт. Теплообмен кожи с окружающей средой, температура которой равна 37 °С, осуществляется на верхней и боковой поверхностях (коэффициент теплоотдачи равен 0.09 Вт/(см² К)), температура нижней поверхности предполагается постоянной и равной 37°С. Соответствующие оптические и теплофизические параметры тканей приведены в таблице выше.

Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук, профессор Лаппа А.В.