

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Базовая кафедра компьютерной  
физики и метаматериалов  
в Саратовском филиале  
Института радиотехники и электроники  
им. В.А. Котельников РАН

# **НЕЛИНЕЙНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ СФОКУСИРОВАННОГО НЕСТАЦИОНАРНОГО ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА В ОПТИЧЕСКОМ СТЕКЛЕ**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ ДИПЛОМНОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 431 группы

Направления 011200 «Физика» физического факультета

Рамазанова Тимура Гаджиабдуллаховича

Научный руководитель

Профессор, д.ф.-м.н.

Зав. кафедрой

Профессор, д.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_ Е.А.Романова

\_\_\_\_\_ В.М.Аникин

Саратов 2016

## **ВВЕДЕНИЕ**

Цель данной квалификационной работы: определить особенности нагрева оптического стекла сверхкороткими лазерными импульсами в зависимости от условий фокусировки и самофокусировки лазерного пучка.

Задачи работы:

1. Изучить метод ABCD матриц для расчета преобразования параметров лазерного пучка в оптической системе
2. Провести расчет энергии сфокусированного лазерного пучка, поглощенной в образце оптического стекла, в зависимости от фокусного расстояния линзы.
3. Исследовать процесс поглощения энергии сфокусированного лазерного пучка в зависимости от значения пороговой интенсивности двухфотонного поглощения.
4. Провести расчет изменения температуры в образце стекла в результате поглощения энергии сфокусированного лазерного пучка с учетом его самофокусировки.
5. Исследовать зависимость формы и размеров нагретой области от условий фокусировки и самофокусировки лазерного пучка.

## **СОДЕРЖАНИЕ**

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>3</b>
<b>Глава 1. НЕЛИНЕЙНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ТРЕТЬЕГО</b>	
<b>ПОРЯДКА .....</b>	<b>7</b>
1.1 Эффект самофокусировки .....	7
1.2 Двухфотонное поглощение .....	11
<b>Глава 2. РАСПРОСТРАНЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО</b>	
<b>ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА В СРЕДЕ С НЕЛИНЕЙНЫМ ПОГЛОЩЕНИЕМ.....</b>	<b>16</b>
<b>Глава 3. НЕЛИНЕЙНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО</b>	
<b>ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ</b>	
<b>ФОКУСИРОВКИ .....</b>	<b>21</b>
3.1 Преобразование параметров гауссова пучка тонкой линзой.....	21
3.2 Расчёт поглощённой энергии в зависимости от условий	
фокусировки нестационарного гауссова пучка.....	23
3.3 Расчет пространственного распределения температуры в образце	
Стекла .....	24
3.4 Расчёт поглощённой энергии и пространственного распределения	
температуры в образце стекла $As_2S_3$ с учетом самофокусировки лазерного	
пучка .....	31
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>39</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>40</b>

# Глава 1 НЕЛИНЕЙНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА

## Эффект самофокусировки

Эффект самофокусировки является частным случаем явления самоиндуцированной рефракции и обусловлен тем, что в сильном световом поле ограниченного в пространстве лазерного пучка изменяется показатель преломления среды. Если знак нелинейного изменения показателя преломления таков, что в области, занятой пучком, показатель преломления возрастает, эта область становится оптически более плотной, и периферийные лучи отклоняются к центру пучка.

## 1.2 Двухфотонное поглощение

Поглощение - уменьшение интенсивности оптического излучения, проходящего через материальную среду, за счёт процессов его взаимодействия со средой.

При этом один или несколько фотонов падающего излучения поглощаются частицами среды, так что энергия излучения передается среде. В терминах квантовой теории электроны в поглощающих атомах, ионах, молекулах или твёрдых телах переходят с более низких уровней энергии на более высокие.

## Глава 2 РАСПРОСТРАНЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА В СРЕДЕ С НЕЛИНЕЙНЫМ ПОГЛОЩЕНИЕМ

Рассмотрим взаимодействие нестационарного лазерного пучка с веществом, когда нелинейное поглощение является доминирующим нелинейным механизмом. Аппроксимируем нелинейное поглощение ступенчатой функцией с порогом по интенсивности  $I_h$  (Рисунок 7).

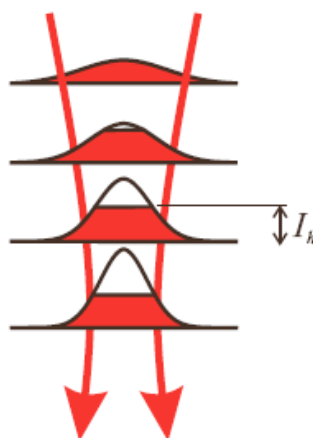
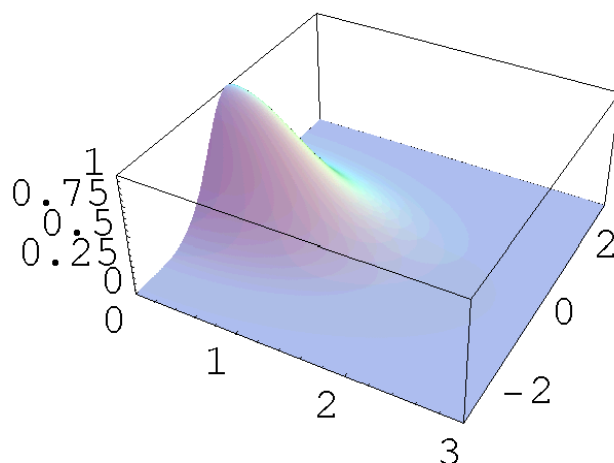


Рисунок 7.

В результате нелинейного поглощения пространственно-временное распределение импульса изменяется, как показано на рисунке 8.



а)  $\frac{I}{I_0}$   $r, \text{мкм}$   $t, \text{фс}$

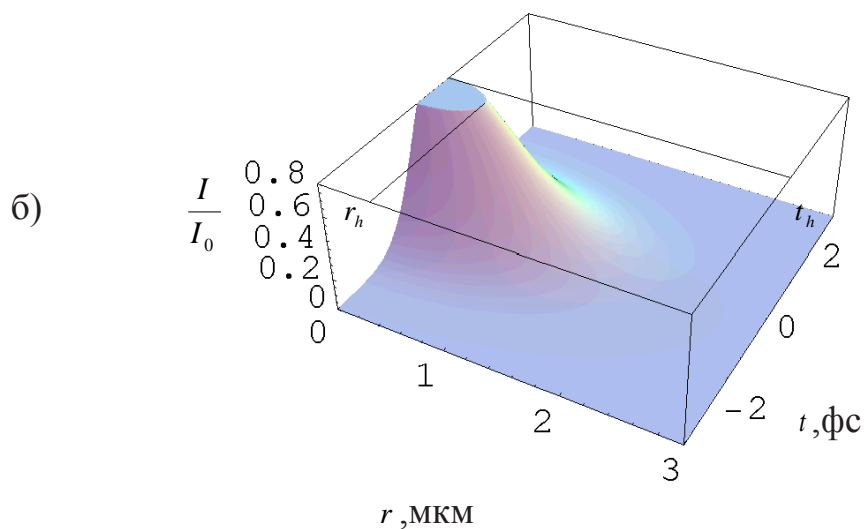


Рисунок 8.

Пространственно-временное распределение лазерного пучка в перетяжке: а) начальное, б) после поглощения энергии выше порогового значения интенсивности  $I_h$

Вершина распределения становится плоской, причём интенсивность в пике импульса, которая росла бы при приближении к фокусу вследствие уменьшения радиуса пучка, непрерывно уменьшается до величины пороговой интенсивности  $I_h$ .

## Глава 3. НЕЛИНЕЙНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ФОКУСИРОВКИ

### 3.1 Преобразование параметров гауссова пучка тонкой линзой

Рассмотрим более детально условия фокусировки пучка, а именно, представим, что пучок перед попаданием в поглощающий материал проходит через тонкую линзу

(Рисунок 12 ). Будем считать, что падающий на линзу пучок является квазиплоским, т.е. его радиус кривизны  $R_0 \rightarrow \infty$ .

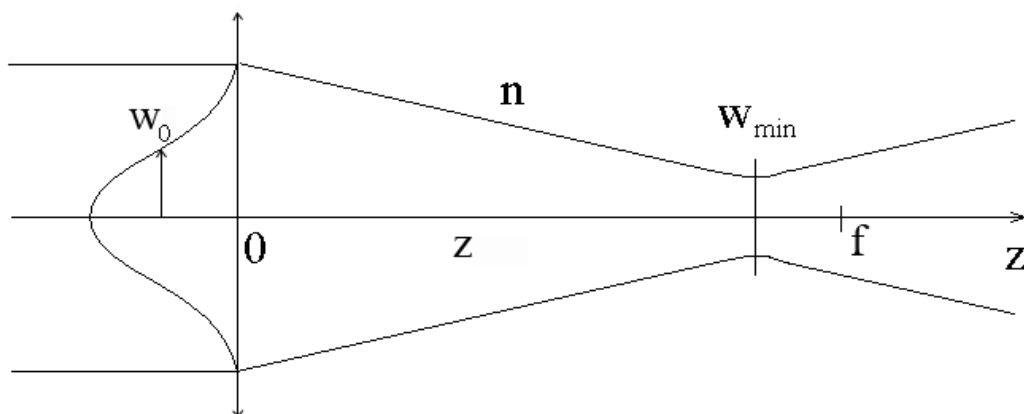


Рисунок 12. Фокусировка квазиплоского гауссова пучка тонкой линзой.

$f$  – фокусное расстояние линзы,  $w_0$  – ширина пучка перед линзой,  $n$  – показатель преломления поглощающего материала.

Для расчета преобразования реальных параметров пучка, таких как радиус кривизны волнового фронта  $R$  и радиус пучка  $w$ , используется комплексный параметр пучка  $q$ .

### 3.2 Расчёт поглощённой энергии в зависимости от условий фокусировки нестационарного гауссова пучка

Используя результаты Главы 1, полагая что поглощение происходит в области перетяжки пучка определим полную поглощённую энергию:

$$E_A = \pi^{3/2} \tau I_0 \omega_{\min} \left\{ \operatorname{erf} \left( \sqrt{\ln \frac{I_0}{I_h}} \right) - \frac{2I_h}{\sqrt{\pi} I_0} \left( 1 + \frac{2}{3} \ln \frac{I_0}{I_h} \right) \sqrt{\ln \frac{I_0}{I_h}} \right\}$$

где  $\omega_{\min}$  - значение ширины пучка в перетяжке (2.2)

При начальной ширине пучка  $\varpi = 1$  мм, пороговом значении интенсивности  $I_h = 9,8 \times 10^{12}$  Вт/см<sup>2</sup>, длине волны  $\lambda = 1,5$  мкм и длительности импульса  $\tau = 10$  фс графики зависимости величин поглощенной энергии от начальной энергии для разных значений фокусного расстояния линзы показаны на рисунке 13

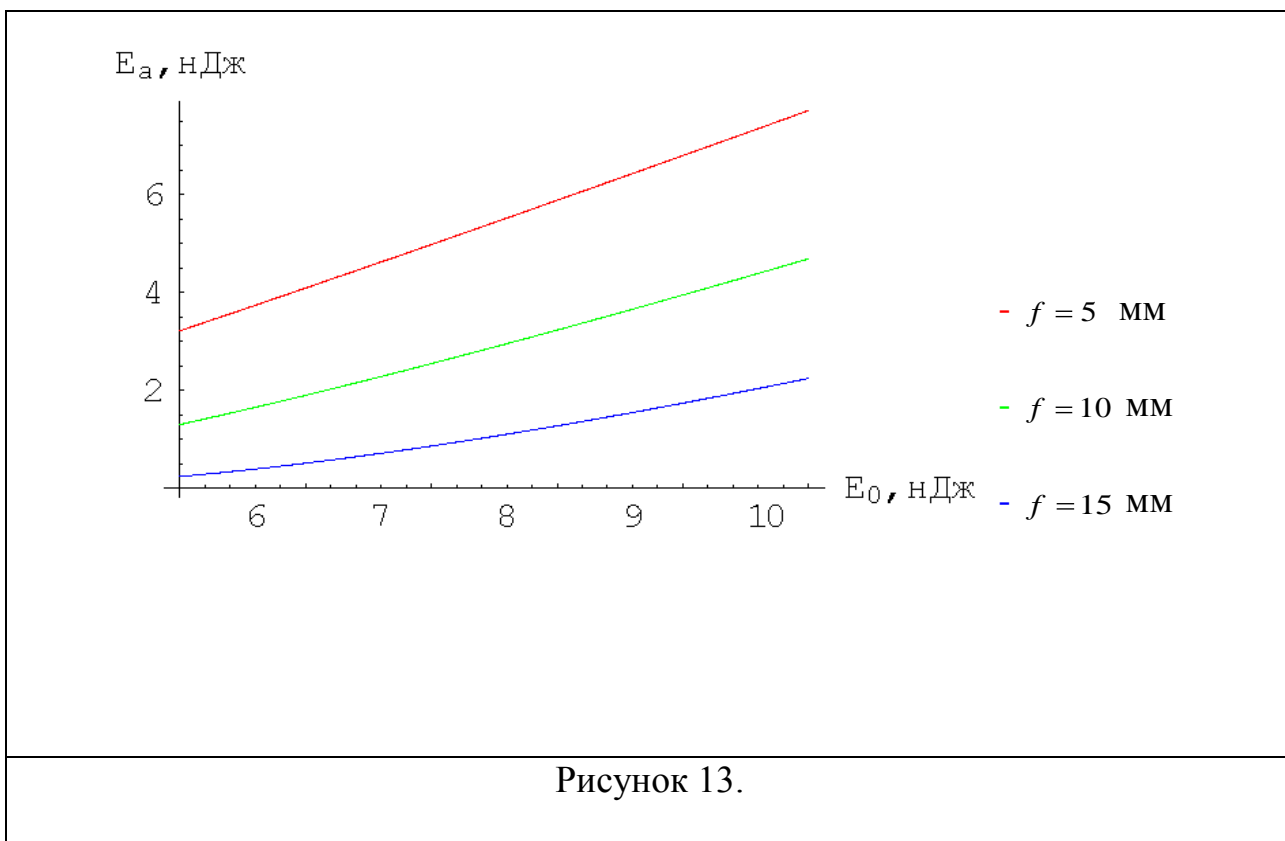


Рисунок 13.



Зависимость поглощенной энергии от начальной энергии, при разном фокусном расстоянии
---

Из рисунка видно, что при заданной начальной энергии импульса увеличение значения фокусного расстояния линзы приводит к уменьшению поглощённой энергии. Это связано с тем, что при увеличении фокусного расстояния возрастает радиус пучка в перетяжке, что сопровождается уменьшением его интенсивности в пике  $I_0$ . Поэтому, в соответствии с рисунком 5, коэффициент поглощения уменьшается

### **3.3 Расчет пространственного распределения температуры в образце стекла**

Согласно тепловой модели модификаций оптических свойств стекла, для локального изменения показателя преломления надо нагреть стекло до температуры, превышающей температуру плавления стекла [7-9]. Проведем расчет пространственного распределения температуры в области фокусировки лазерного пучка. Для этого вначале проведем расчет пространственного распределения поглощенной энергии.

### **3.4 Расчёт поглощённой энергии и пространственного распределения температуры в образце стекла $As_2S_3$ с учетом самофокусировки лазерного пучка.**

Температура окружающей среды  $T_0k = 20$ ;

Теплоемкость при постоянном давлении  $C_p = 460$ ;

Плотность  $\rho = 3.20 \cdot 10^{-3}$ ;

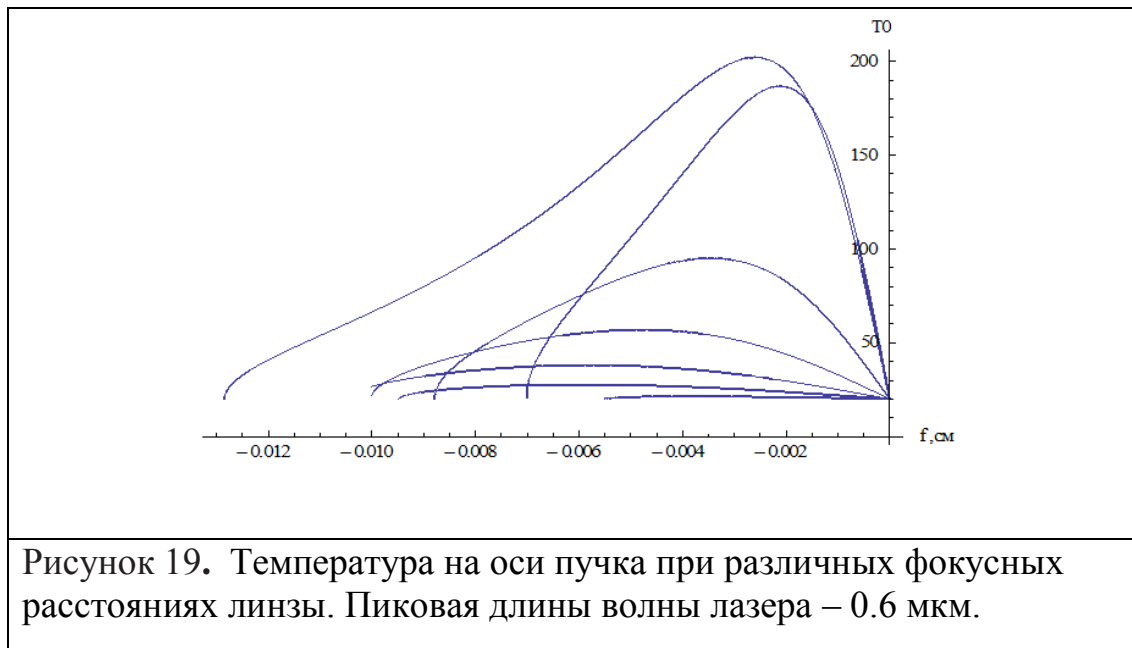
Исследуем зависимость нагрева стекла от условий фокусировки лазерного пучка с различной пиковой длиной волны  $\lambda^p$ .

Построим пространственные распределения температуры на оси пучка по формуле (3.15). Значения нелинейных коэффициентов приведены в Таблице 1

Таблица 1

Л	В	$n_2$
0.6	$1.6 \cdot 10^{-9}$	$2.8 \cdot 10^{-15}$
0.8	$2.0 \cdot 10^{-9}$	$2.7 \cdot 10^{-14}$
1	$6.6 \cdot 10^{-10}$	$4.2 \cdot 10^{-15}$

Построим пространственные распределения температуры на оси пучка по формуле (3.15).



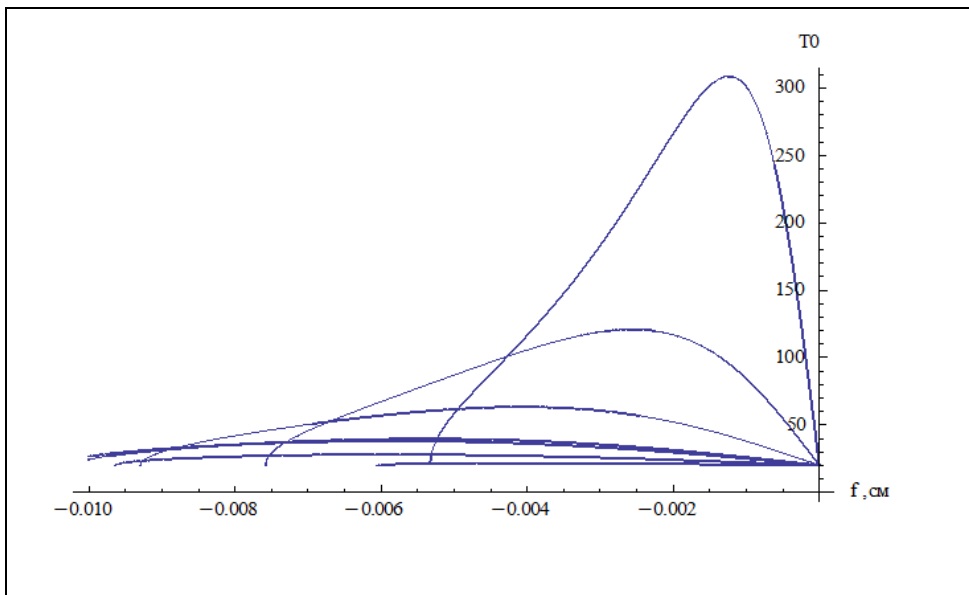


Рисунок 20. Температура на оси пучка при различных фокусных расстояниях линзы. Пиковая длины волны лазера – 0.8 мкм.

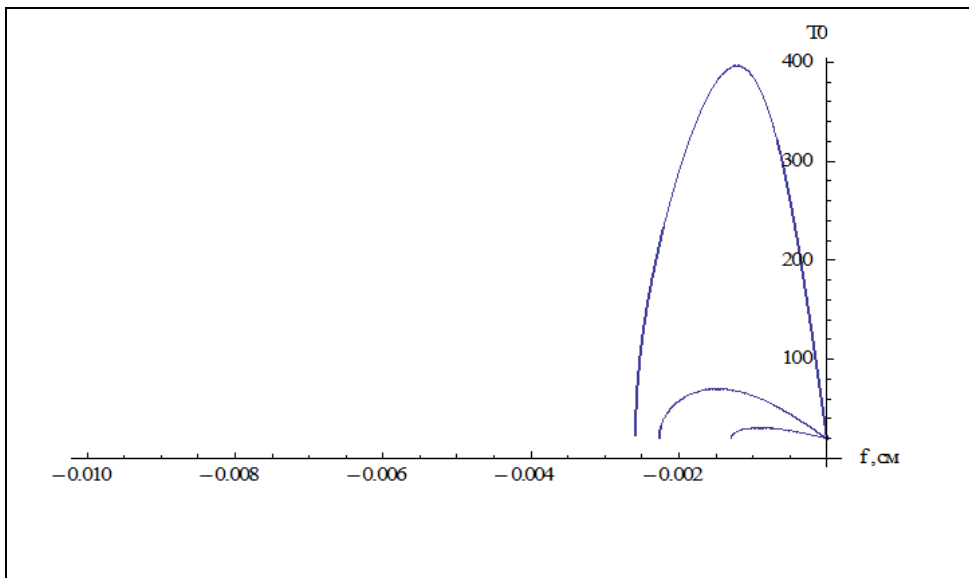


Рисунок 21. Температура на оси пучка при различных фокусных расстояниях линзы. Пиковая длины волны лазера – 1.0 мкм.

Разным длинам волн соответствуют разные значения нелинейных оптических коэффициентов  $n_2$  и  $\beta$ . Видно, что при уменьшении  $\beta$  нагрев стекла происходит только при острой фокусировке пучка ( $f=2-4$  см, рисунок 21). При этом значительно уменьшаются размеры нагретой области в продольном направлении. При достаточно большом  $\beta$  и  $n_2$  (рисунок 20) продольный размер

нагретой области при заданном  $f$  увеличивается по сравнению со случаем меньших значений  $n_2$  и  $\beta$  (рисунок 19).

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В ходе выполнения дипломной работы были получены следующие основные результаты:

1. Детально исследован процесс поглощения энергии сверхкороткого импульса в предположении, что нелинейное поглощение имеет порог по интенсивности в виде ступенчатой функции. Определены следующие закономерности: зависимость поглощённой энергии от начальной энергии импульса при различных значениях длительности импульса, зависимость положения максимума нелинейного поглощения от превышения интенсивности над пороговым значением. Показано, что при заданной энергии импульса увеличение его длительности приводит к уменьшению поглощённой энергии.
2. Проведены оценки пространственного распределения температуры в области фокусировки лазерного пучка при различных значениях фокусного расстояния линзы. Были получены изотермы в облученной области для различной пиковой длины волны лазерного импульса и, соответственно, различных значений керровской постоянной и коэффициента двухфотонного поглощения.
3. Установлено, что меняя длину волны лазерного излучения, можно управлять размерами и формой области нагрева стела, а следовательно, и области модификаций оптических свойств стекла.