

## Формирование пространственного профиля интенсивности лазерных пучков зубчатыми аподизирующими диафрагмами

И.М. Устинов<sup>1,2,\*</sup>, Б.Г. Зималин<sup>1</sup>, В.В. Мурылев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики (РФЯЦ-ВНИИЭФ) Институт лазерно-физических исследований. Россия, г. Саров

<sup>2</sup>Филиал Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. Россия, г. Саров  
(Поступила в редакцию 30.05.2023; подписана в печать 19.09.2023)

Работа посвящена исследованию формирования аподизированных лазерных пучков зубчатыми диафрагмами. Рассмотрено формирование пучков диафрагмами квадратной и прямоугольной формы с различными типами зубчатой структуры. Показана возможность формирования аподизированных пучков с коэффициентом заполнения до 87% и отношением пиковой плотности энергии к средней  $\leq 1\%$ . Исследовано сохранение пространственной структуры сформированных пучков при их распространении от плоскости перестроения изображения зубчатой диафрагмы. Показана возможность применения зубчатых диафрагм прямоугольной формы в системе апертурного деления лазерного пучка.

PACS:42.30.-d.

УДК: 535.

Ключевые слова: зубчатая диафрагма, аподизация, система профилирования.

### ВВЕДЕНИЕ

Достижение предельной энергии лазерного излучения на выходе мощных лазерных установок во многом определяется возможностью формирования лазерного пучка с высоким коэффициентом заполнения пространственного профиля интенсивности (fill factor), который определяется как отношение полной энергии реального пучка к энергии пучка такой же апертуры, плотность энергии которого одинаковая по всей апертуре и равна пиковой плотности энергии реального пучка [1]. Размер апертуры пучка, как правило, определяется по уровню  $0.01I_{max}$ , где  $I_{max}$  — максимальная интенсивность пучка. Применение пучков с высоким коэффициентом заполнения позволяет снизить лучевую нагрузку на оптические элементы усилительного тракта и достичь большей энергии лазерных импульсов.

Усилительный тракт большинства лазерных установок построен по принципу ретрансляции изображения диафрагмы, определяющей форму и первоначальный размер лазерного пучка. Применение диафрагмы с резким краем приводит к появлению дифракционных возмущений интенсивности в профиле пучка вне плоскостей перестроения изображения и снижению коэффициента заполнения. Уменьшить дифракционные возмущения в пучке можно применением аподизации, суть которой заключается в формировании плавно спадающего пространственного профиля интенсивности на краях апертуры пучка.

К настоящему времени разработаны различные конструкции аподизирующих устройств, отличающихся принципом управления интенсивностью в пучке [2–4]. В тракте современных мощных лазерных установок

широко распространена система аподизации на основе зубчатой диафрагмы и пространственного фильтра [5]. Зубчатые диафрагмы могут быть изготовлены с высокой точностью и выдерживать лучевые нагрузки джоульного уровня энергии. Теоретическое обоснование и предварительные исследования данной системы аподизации подробно описаны в работе [6].

В данной работе представлены результаты расчетов формирования пространственного профиля пучка зубчатыми диафрагмами с различными параметрами зубчатой структуры. Длина волны лазерного излучения — 1054 нм. Проведен расчет превышения пиковой плотности энергии в пучке относительно средней как в плоскости перестроения изображения диафрагмы, так и при удалении пучка на различные расстояния. Также для плоскости перестроения изображения рассчитан коэффициент заполнения пучка. Рассмотрено формирование матрицы из двух прямоугольных пучков с применением зубчатых диафрагм. Расчеты проведены с применением программы Френель [7].

### 1. СХЕМА ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ

Зубчатая диафрагма представляет собой апертурную диафрагму, внутренняя граница которой содержит непрерывную зубчатую структуру с периодом  $L$  и высотой зубцов  $H$ . Оптическая схема системы аподизации пучка зубчатой диафрагмой представлена на рис. 1. При пропускании пучка, сформированного зубчатой диафрагмой, через пространственный фильтр периодическая структура сглаживается, а профиль интенсивности на краях пучка повторяет функцию пропускания промежутка между зубцами при выполнении условия  $H/L > 6$ . В соответствии с работой [6] размер селективирующей диафрагмы в пространственном фильтре необходимо выбирать из соотношения  $a < \frac{f\lambda}{2L}$ , где  $f$  — фокусное расстояние первой линзы пространственного фильтра,  $\lambda$  — длина волны излучения.

\* oefimova@otd13.vniief.ru

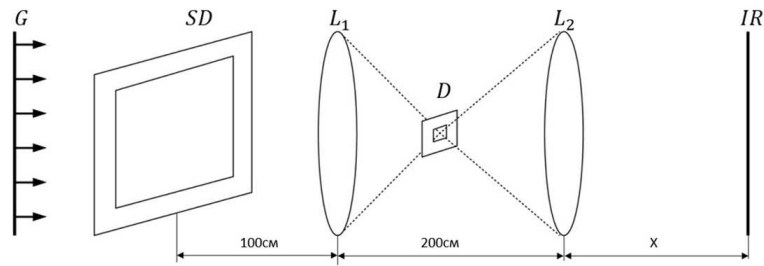


Рис. 1. Оптическая схема аподизации пучка зубчатой диафрагмой: SD — зубчатая диафрагма; L1, L2 — линзы телескопа; D — селективная диафрагма; IR — плоскость перестроения изображения диафрагмы

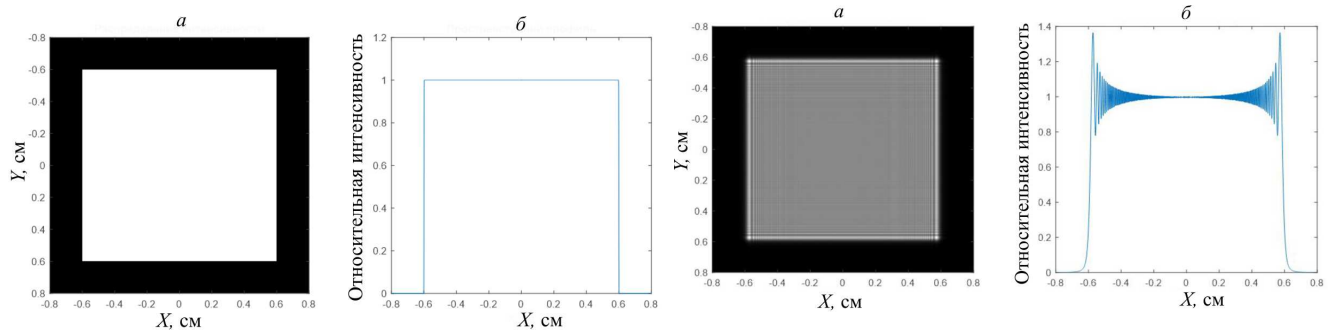


Рис. 2. Распределение интенсивности (а) в пучке с пространственным профилем (б) в плоскости перестроения изображения диафрагмы с резким краем

Рис. 3. Распределение интенсивности (а) в пучке с пространственным профилем (б) на расстоянии 10 см от плоскости перестроения изображения диафрагмы с резким краем

На входе схемы в плоскости диафрагмы задается лазерный пучок с однородным распределением интенсивности. Телескоп пространственного фильтра образован линзами с фокусными расстояниями 100 см. Зубчатая диафрагма расположена на расстоянии 100 см от первой линзы телескопа. В работе рассмотрено формирование профиля пучка как в плоскости перестроения изображения IR зубчатой диафрагмы, так и на расстояниях до 50 см от неё. Для всех рассмотренных в работе диафрагм проведены расчеты превышения пиковой плотности энергии пучков над средним значением  $\delta$  и коэффициента заполнения пучка  $K_{fill}$ . Размер селективной диафрагмы указывается в  $\theta_{diff}$ , определяемый как угол дифракционной расходимости пучка на квадратной диафрагме размером  $12 \times 12$  мм.

## 2. ДИАФРАГМА С РЕЗКИМ КРАЕМ

Лазерные установки прошлого столетия широко применяли апертурные диафрагмы с резким краем, представляющие собой отверстие заданной формы и размера в металлической пластине. Вследствие дифракции вне плоскостей перестроения изображения диафрагмы возникают быстрорастущие возмущения интенсивности, уровень которых может значительно превышать. Результаты расчетов превышения пиковой плотности энергии над средней и коэффициента заполнения пучков при различных углах селекции излучения

среднее значение интенсивности в пучке. Данные возмущения служат источником развития самофокусировки и причиной возникновения пробоя оптических элементов. На рис. 2 и рис. 3 представлены распределения интенсивности в пучке с пространственными профилями в плоскости перестроения изображения диафрагмы с резким краем размером  $12 \times 12$  мм и при удалении пучка на расстояние 10 см от данной плоскости. Видно, что в плоскости перестроения изображения пространственные возмущения в пучке отсутствуют, коэффициент заполнения близок к 100%, однако при удалении пучка на расстояние 10 см значение  $\delta$  превышает 25%.

## 3. ПРОФИЛИ ПУЧКОВ, ФОРМИРУЕМЫЕ ЗУБЧАТЫМИ ДИАФРАГМАМИ

### 3.1. Диафрагма с прямоугольной формой зубцов

В качестве первого варианта рассчитаны профили пучков, формируемые зубчатыми диафрагмами с прямоугольной формой зубцов, рис. 4. Толщина зубцов составляла 0.2 мм (тип 1) и 0.1 мм (тип 2), расстояние между зубцами 0.2 мм, высота зубцов 1.2 мм. для диафрагм с прямоугольной формой зубцов тип 1 и тип 2 представлены в табл. 1 и табл. 2 соответственно. Формируемые пространственные профили пучков

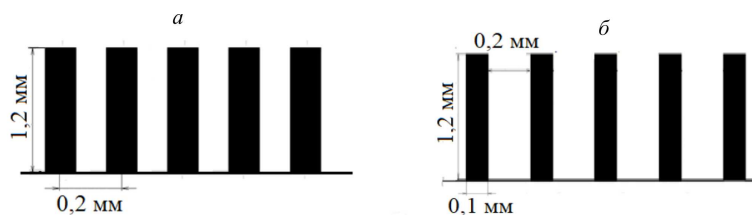


Рис. 4. Модели зубчатой структуры диафрагм с прямоугольной формой зубцов: *a* — тип 1, *б* — тип 2

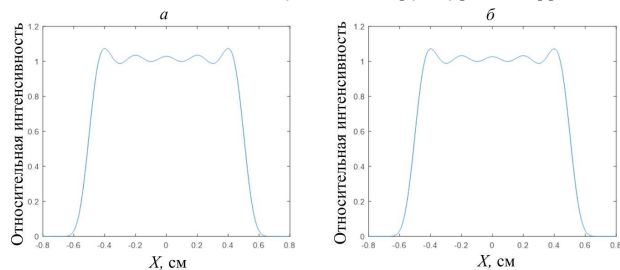


Рис. 5. Распределение интенсивности в пучке в плоскости перестроения изображения (*a*) диафрагмы с прямоугольной формой зубцов (тип 1) и на расстоянии 50 см от данной плоскости (*б*) при угле селекции  $6 \times \theta_{diff}$

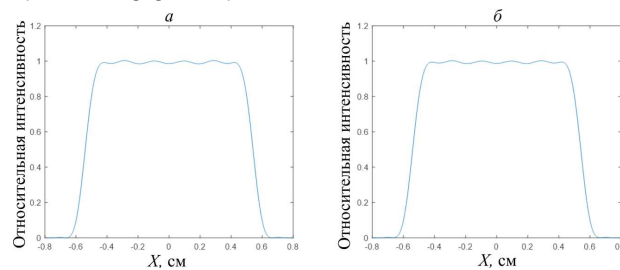


Рис. 6. Распределение интенсивности в пучке в плоскости перестроения изображения (*a*) диафрагмы с прямоугольной формой зубцов (тип 2) и на расстоянии 50 см от данной плоскости (*б*) при угле селекции  $6 \times \theta_{diff}$

Таблица 1. Результаты расчета для диафрагмы с прямоугольной формой зубцов (тип 1)

	$3 \times \theta_{diff}$	$6 \times \theta_{diff}$	$9 \times \theta_{diff}$	$12 \times \theta_{diff}$	$24 \times \theta_{diff}$	$36 \times \theta_{diff}$
<i>X</i> , см	$\delta$ , %	$\delta$ , %	$\delta$ , %	$\delta$ , %	$\delta$ , %	$\delta$ , %
0	20.27	10.62	18.53	22.88	21.73	19.12
10	20.27	10.62	18.42	33.45	16.11	20.88
30	20.39	10.59	17.54	19.32	32.25	44.57
50	20.59	10.54	15.93	15.18	32.70	47.39
$K_{fill}$ (0 см), %	51.11	61.48	56.83	55.65	58.43	60.71

Таблица 2. Результаты расчета для диафрагмы с прямоугольной формой зубцов (тип 2)

	$3 \times \theta_{diff}$	$6 \times \theta_{diff}$	$9 \times \theta_{diff}$	$12 \times \theta_{diff}$	$24 \times \theta_{diff}$	$36 \times \theta_{diff}$
<i>X</i> , см	$\delta$ , %	$\delta$ , %	$\delta$ , %	$\delta$ , %	$\delta$ , %	$\delta$ , %
0	23.18	2.01	12.67	19.29	16.34	13.59
10	23.18	2.01	12.57	18.84	11.26	12.11
30	23.17	1.94	11.76	15.55	20.23	24.25
50	23.15	1.8	10.25	11.02	16.78	33.83
$K_{fill}$ (0 см), %	52.36	70.93	65.85	64.15	68.26	70.98

в плоскости перестроения изображения диафрагмы и на расстоянии 50 см от данной плоскости приведены на рис. 5 и рис. 6.

Результаты проведенных расчетов показывают, что в рассмотренных пределах углов селекции излучения диафрагма с прямоугольной формой зубцов позволяет формировать пространственный профиль с минимальным (<2%) превышением пиковой плотности энергии над средней только при угле селекции  $6 \times \theta_{diff}$ . Формируемые пучки не обладают рекордными коэффициента-

ми заполнения ( $\approx 70\%$ ), но сохраняют пространственную структуру при распространении на значительное расстояние от плоскости перестроения изображения.

### 3.2. Диафрагма с треугольной формой зубцов

Проведены расчеты распределения интенсивности пучка в плоскости перестроения изображения диафрагмы с треугольной формой зубцов при различных углах

Таблица 3. Результаты расчета для диафрагмы с треугольной формой зубцов

	$6 \times \theta_{diff}$	$12 \times \theta_{diff}$	$24 \times \theta_{diff}$	$36 \times \theta_{diff}$	$48 \times \theta_{diff}$	$60 \times \theta_{diff}$
X, см	$\delta$ , %	$\delta$ , %	$\delta$ , %	$\delta$ , %	$\delta$ , %	$\delta$ , %
0	26.17	4.84	3.01	2	1.4	1.8
10	28.49	5.34	3.58	4.3	3.4	5.8
30	28.23	6.05	9.85	10.3	9.9	9.4
50	27.67	7.86	14.12	13.4	14.2	13.3
$K_{fill}$ (0 см), %	60.84	76.46	77.53	79.4	79.6	79

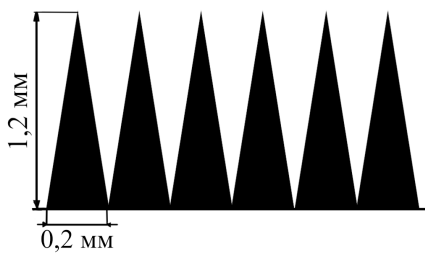


Рис. 7. Расчетная модель зубчатой структуры диафрагмы с треугольной формой зубцов

селекции излучения в пространственном фильтре. При расчётах использовалась шаблон-маска, часть зубчатого края которой, приведена на рис. 7. Период зубчатой структуры — 0.2 мм, высота зубцов — 1.2 мм.

Расчеты показывают, что в плоскости перестроения изображения зубчатой диафрагмы при углах селекции от  $36 \times \theta_{diff}$  до  $60 \times \theta_{diff}$  может быть получена  $\delta \approx 2\%$ . При удалении пучка на расстояние 50 см неоднородности профиля увеличиваются и достигают величины  $\delta \approx 14\%$ . Коэффициент заполнения не превышает 80%. Результаты расчетов параметров пучков представлены в табл. 3 и на рис. 8.

### 3.3. Диафрагма с профилированной формой зубцов

Наилучшие показатели продемонстрировали диафрагмы с так называемой гауссовой формой зубцов. Часть зубчатой структуры исследованной диафрагмы представлена на рис. 9. Профиль зубцов выбран исходя из условия формирования функции пропускания излучения прозрачными промежутками между зубцами в виде супергаусса 14-го порядка. Высота зубцов составляет 1.2 мм, период — 0.2 мм.

Представленные в табл. 4 и рис. 10 результаты расчетов показывают, что профиль пучков с минимальным  $\delta \leq 1\%$  формируется в диапазоне углов селекции от  $24 \times \theta_{diff}$  до  $48 \times \theta_{diff}$ . Коэффициенты заполнения пучков достигает 87% в плоскости перестроения изображения диафрагмы. Данные диафрагмы следует признать наилучшим вариантом среди рассмотренных для

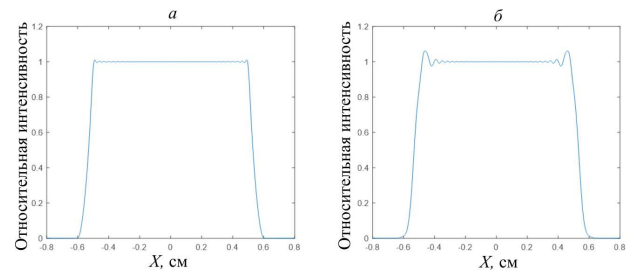


Рис. 8. Профили интенсивности пучков в плоскости перестроения изображения диафрагмы с треугольной формой зубцов (а) и на расстоянии 50 см от данной плоскости (б) при угле селекции  $48 \times \theta_{diff}$

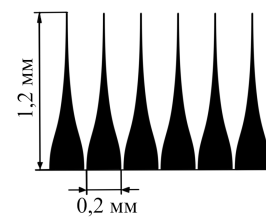


Рис. 9. Модель зубчатой структуры диафрагмы с профилированной формой зубцов

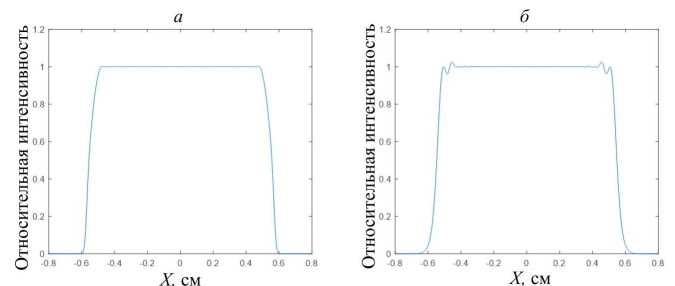


Рис. 10. Профили интенсивности пучков в плоскости перестроения изображения диафрагмы с гауссовой формой зубцов (а) и на расстоянии 50 см от данной плоскости (б) при угле селекции  $36 \times \theta_{diff}$

современных лазерных систем, работающих с плотностями энергии близкими к порогу оптического пробоя.

Таблица 4. Результаты расчета для диафрагмы с профилированной формой зубцов

	$6 \times \theta_{diff}$	$12 \times \theta_{diff}$	$24 \times \theta_{diff}$	$36 \times \theta_{diff}$	$48 \times \theta_{diff}$	$60 \times \theta_{diff}$
X, см	$\delta, \%$	$\delta, \%$	$\delta, \%$	$\delta, \%$	$\delta, \%$	$\delta, \%$
0	10.95%	4.28	0.54	0.28	0.56	0.94
10	11.92	4.45	0.43	0.42	0.71	1.15
30	11.85	2.86	1.04	1.12	1.72	2.18
50	11.72	3.01	2.65	1.52	2.07	2.11
$K_{fill}$ (0 см), %	73.83	81.24	84.18	86.70	85.52	76.87

Таблица 5. Результаты расчета для матрицы диафрагм с прямоугольной формой зубцов

	$4.8 \times \theta_{diff}$	$6 \times \theta_{diff}$	$7.2 \times \theta_{diff}$	$8.4 \times \theta_{diff}$	$9.6 \times \theta_{diff}$	$10.8 \times \theta_{diff}$
X, см	$\delta, \%$	$\delta, \%$	$\delta, \%$	$\delta, \%$	$\delta, \%$	$\delta, \%$
0	11.58	3.55	6.50	9.12	20.40	19.46
10	11.59	3.55	6.48	9.07	20.17	19.19
30	11.57	3.52	6.31	8.70	18.37	17.07
50	11.55	3.45	5.99	7.98	14.96	13.47
$K_{fill}$ (0 см), %	49.88	58.58	57.81	53.39	52.89	53.37

#### 4. ЗУБЧАТЫЕ ДИАФРАГМЫ В СИСТЕМЕ АПЕРТУРНОГО ДЕЛЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА

Система апертурного деления пучка представляет собой совокупность диафрагм, расположенных в одной плоскости и разделяющих исходный лазерный пучок на несколько параллельных пучков меньшего размера. Проведены расчеты формирования пространственного профиля пучков при делении исходного пучка матрицей из двух зубчатых диафрагм размером  $12 \times 5$  мм, разделенных непрозрачным промежутком шириной 2 мм.

Общий принцип расчета профилей пучков остается такой же, как для одной диафрагмы. Рассмотрены зубчатые диафрагмы с прямоугольной, треугольной и гауссовой формой зубцов. Параметры зубцов аналогичны применяемым при расчетах одиночной диафрагмы.

##### 4.1. Диафрагма с прямоугольной формой зубцов

Расчеты формирования профиля пучков проведены для диафрагмы с шириной зубцов 0.1 мм и периодом 0.3 мм. Рассмотрен диапазон углов селекции излучения от  $4.8 \times \theta_{diff}$  до  $1.8 \times \theta_{diff}$ , при котором данный тип диафрагм показал наименьшее значение  $\delta$  и наибольший  $K_{fill}$ . Результаты расчетов превышения пиковой плотности энергии над средней и коэффициента заполнения представлены в табл. 5 и на рис. 11. Профиль формируемых пучков несимметричный, что обусловлено взаимным влиянием профилей пучков друг на друга. Применение зубчатых диафрагм с прямоугольной формой зубцов в системе апертурного деления тре-

бует увеличения расстояния между диафрагмами, что снижает эффективность применения данной системы вследствие больших потерь энергии исходного пучка.

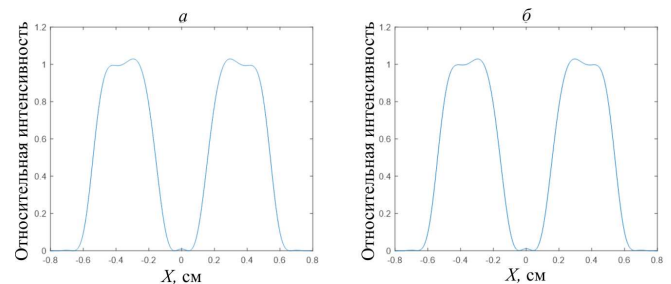


Рис. 11. Профили интенсивности пучков в плоскости перестроения изображения матрицы диафрагм с треугольной формой зубцов (а) и на расстоянии 50 см от данной плоскости (б) при угле селекции  $6 \times \theta_{diff}$

##### 1. 4.2. Диафрагма с треугольной формой зубцов

Рассмотрено формирование матрицы пучков диафрагмами с треугольной формой зубцов. Взаимного перекрытия профилей не отмечено ввиду более высокого коэффициента заполнения пучков. Результаты расчетов представлены в табл. 6 и на рис. 12. Превышение пиковой плотности энергии над средней остается на уровне 2%, что согласуется с расчетами для одиночной диафрагмы. Коэффициент заполнения отдельного прямоугольного пучка составляет не более 67%. Снижение коэффициента заполнения, по сравнению с квадрат-

Таблица 6. Результаты расчета для матрицы диафрагм с треугольной формой зубцов

	$12 \times \theta_{diff}$	$18 \times \theta_{diff}$	$24 \times \theta_{diff}$	$30 \times \theta_{diff}$	$36 \times \theta_{diff}$	$42 \times \theta_{diff}$	$48 \times \theta_{diff}$
$X, \text{ см}$	$\delta, \%$	$\delta, \%$	$\delta, \%$	$\delta, \%$	$\delta, \%$	$\delta, \%$	$\delta, \%$
0	5.27	5.84	3.27	2.91	2.15	2.06	1.48
10	5.34	5.60	3.58	3.57	4.29	5.17	5.45
30	6.04	6.75	9.84	10.04	10.36	9.79	10.01
50	7.85	11.98	14.12	13.80	13.68	13.16	13.25
$K_{fill} (0 \text{ см}), \%$	64.94	64.46	66.53	65.76	66.93	65.7	67.01

Таблица 7. Результаты расчета для матрицы диафрагм с профилированной формой зубцов

	$12 \times \theta_{diff}$	$18 \times \theta_{diff}$	$24 \times \theta_{diff}$	$30 \times \theta_{diff}$	$36 \times \theta_{diff}$	$42 \times \theta_{diff}$
$X, \text{ см}$	$\delta, \%$	$\delta, \%$	$\delta, \%$	$\delta, \%$	$\delta, \%$	$\delta, \%$
0	7.03	4.15	1.01	0.79	0.45	0.85
10	6.77	3.49	0.30	0.48	0.79	0.70
30	4.65	2.34	2.84	2.06	1.67	1.73
50	2.93	4.66	5.09	4.83	4.95	4.96
$K_{fill} (0 \text{ см}), \%$	68.79	72.98	76.28	76.77	77.34	77.08

ными пучками, обусловлено относительным увеличением площади апертуры пучка, накрываемой зубчатой структурой.

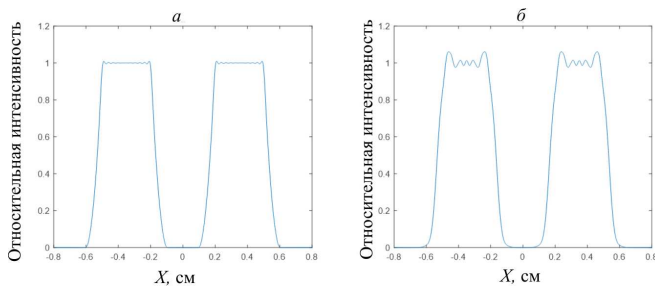


Рис. 12. Профили интенсивности пучков в плоскости перестроения изображения матрицы диафрагм с треугольной формой зубцов (а) и на расстоянии 50 см от данной плоскости (б) при угле селекции  $36 \times \theta_{diff}$

## 2. 4.3. Диафрагма с профилированной формой зубцов

Наиболее подходящими для системы апертурного деления признаны диафрагмы с гауссовой формой зубцов. Коэффициент заполнения отдельного пучка в диапазоне углов селекции от  $12 \times \theta_{diff}$  до  $60 \times \theta_{diff}$  составил 77%. Минимальное превышение пиковой плотности энергии над средней составило 0.5%. Результаты расчетов представлены в табл. 7 и на рис. 13.

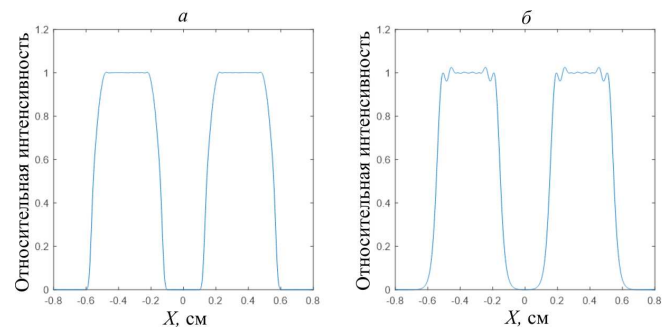


Рис. 13. Профили интенсивности пучков в плоскости перестроения изображения матрицы диафрагм с профилированной формой зубцов (а) и на расстоянии 50 см от данной плоскости (б) при угле селекции  $36 \times \theta_{diff}$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные расчеты формирования пространственного профиля пучков в системе зубчатая диафрагма – пространственный фильтр показали возможность получения аподизированных пучков при помощи зубчатых диафрагм с различными типами зубчатой структуры. Рассмотрены диафрагмы квадратной формы размером  $12 \times 12$  мм с прямоугольной, треугольной и гауссовой формой зубцов. Наилучшие результаты с точки зрения минимального превышения пиковой плотности энергии над средней ( $\leq 1\%$ ) и максимального коэффициента заполнения (87%) получены для диафрагмы с гауссовой формой зубцов. Пучки, формируемые диафрагмой с прямоугольной формой зубцов,



обладают сравнительно невысоким (70%) коэффициентом заполнения, однако сохраняют свою пространственную структуру во всем рассмотренном диапазоне распространения от плоскости перестроения изображения зубчатой диафрагмы. Показана возможность применения двух прямоугольных зубчатых диафрагм размером  $12 \times 5$  мм в качестве апертурного делителя лазерного пучка. Установлено, что взаимное влияние соседних пучков на пространственный профиль менее

проявляется для диафрагм с гауссовой формой зубцов. Коэффициент заполнения пучков составлял 77%. Проведенные расчеты найдут применение при проектировании параметров зубчатых диафрагм для любых типов лазеров. Формирование пучков прямоугольной формы может найти применение в многоканальных лазерных установках, таких как ARC NIF [8], где применяются пучки прямоугольной формы в системе прямого усиления chirпированных лазерных импульсов.

- 
- [1] *Van Wouterghem B.M., Murray J.R., Campbell J.H. et al. // Applied optics. 36, N 21. 4932. (1997).*
- [2] *Непомнящих А.И., Токарев А.Г., Фигура П.В., Черняго Б.П. Материал для аподизирующей диафрагмы и способ его изготовления / Патент Российской Федерации № 2032193. 1990.*
- [3] *Потёмкин А.К., Катин Е.В., Курсанов А.В. и др. // Квантовая электроника. 35, № 4. 302. (2005).*
- [4] *Barczys M., Bahk S.-W., Spilatro M. et al. // Proc. of SPIE. 8602. 86020F. (2013).*
- [5] *Trenholme J.B. Laser Program. Lawrence Livermore National Laboratory. P.O. Box 5508. Livermore. Calif. 94550 (personal communication, 1 March 1978).*
- [6] *Auerbach J.M., Karpenko V.M. // Applied Optics. 33, N 15. 3179. (1994).*
- [7] *Епатко И.В., Малютин А.А., Серов Р.В. и др. // Квантовая электроника. 25, № 8. 717. (1998).*
- [8] *Di Nicola J.M., Yang S.T., Boley C.D. et al. High Power Lasers for Fusion Research III. / Ed. by Abdul A.S. Awwal, Monya A. Lane. Proc. of SPIE. 9345. 93450I. (2015).*
- [9] *Bel'kov S.A., Voronich I.N., Garanin S.G. et al. // J. Opt. Technol. 82, 330. (2015).*
- [10] *Liu Liwei, Shi Lijang, Cao Axiu et al. // Applied Optics. 59. (2020).*
- [11] *Sizova I., Moskalev T., Stavrovskii D. // Applied Optics. 60. (2021).*
- [12] *Sizova I.M., Moskalev T.Yu., Mikheev LD. // Appl. Opt. 58(18). 4905. (2019); Appl. Opt. 58(18). 4910. (2019).*
- [13] *Sizova I.M., Stavrovskii D.B. // Computer Optics 46(3). 395. (2022).*

## Spatial intensity profile formation of laser beams by jagged apodizing diaphragms

I. Ustinov<sup>1,2,a</sup>, B. Zimalin<sup>1</sup>, V. Murylev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*RFNC-VNIIEF, Institute for Laser Physics Research. Sarov, Russia*

<sup>2</sup>*Branch of Lomonosov Moscow State University. Sarov, Russia*

*E-mail: <sup>a</sup>oefimova@otd13.vniief.ru*

The article is devoted to the study of the formation of apodized laser beams by jagged diaphragms. The formation of beams by square and rectangular diaphragms with different types of jagged structure is considered. The possibility of forming apodized beams with a filling factor of up to 87 and a peak to average energy density ratio of less than 1. The preservation of the spatial structure of the formed beams during their propagation from the plane of rebuilding the image of the toothed diaphragm is studied. The possibility of using toothed rectangular diaphragms in the system of aperture division of a laser beam is shown.

PACS: 42.30.-d.

*Keywords:* jagged diaphragm, apodization, profiling system.

*Received 30 May 2023.*

### Сведения об авторах

1. Устинов Иван Михайлович — мл. науч. сотрудник; e-mail: rokosoyskyt34kursk@gmail.com.
2. Зималин Борис Геннадьевич — канд. физ.-мат. наук, начальник отдела.
3. Мурылев Владислав Владимирович — инженер-исследователь; e-mail: oefimova@otd13.vniief.ru.