

Институт проблем лазерных и  
информационных технологий РАН

**Лаборатория  
лазерных процессов  
и систем**

Заведующий лабораторией  
Карасев Владимир Анатольевич, к.ф-м.н.

г. Шатура

## ***Направления деятельности лаборатории***

- 1. Исследование воздействия сфокусированного лазерного излучения, интенсивностью  $10^5 \dots 10^7$  Вт/см<sup>2</sup> на различные материалы (металлы, стекло, пластик, дерево и т.д.)
- 2. Разработка лазерных систем транспортировки и фокусировки излучения; систем слежения за профилем листа, создание лазерных комплексов на этой основе
- 3. Разработка интеллектуальной обучающей системы для пользователей лазерных технологических комплексов.

***1. Исследование воздействия сфокусированного лазерного излучения, интенсивностью  $10^5 \dots 10^7$  Вт/см<sup>2</sup> на различные материалы (металлы, стекло, пластик, дерево и т.д.)***

**Тема 1: «Исследование физического механизма образования микрорельефа поверхности реза, при газолазерном разделении сплавов со специальными свойствами».**

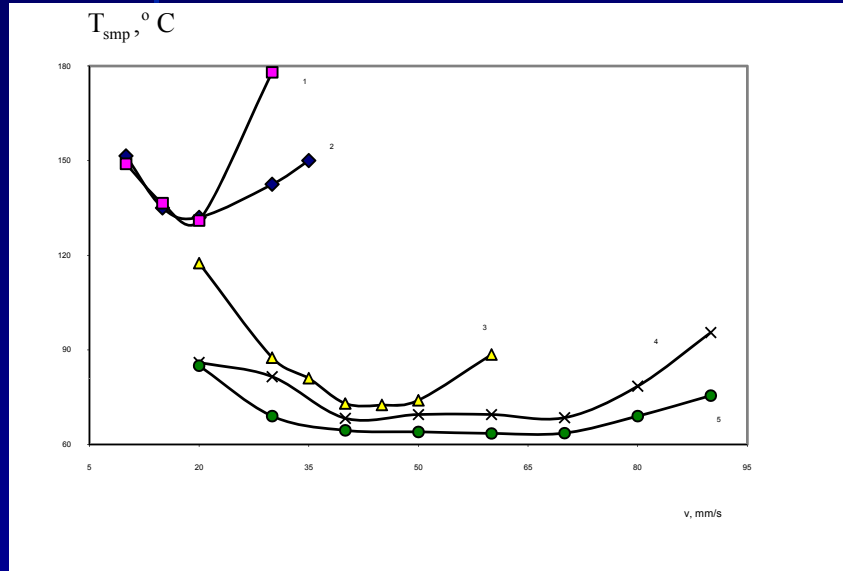
- Измерение и анализ параметров микрорельефа поверхности реза при газолазерной резке металла (2003 г.).
- Исследование особенностей бороздообразования при лазерной резке тонколистовых сплавов содержащих кремний (2004 г.).
- Исследование особенностей бороздообразования при лазерной резке малоуглеродистых и нержавеющей сплавов (2005 г.).
- Разработка и исследование режимов газолазерной резки специальных сплавов с пониженной шероховатостью поверхности реза (2006 г.).

**Тема 2: «Исследование и разработка методов стабилизации и энергетической оптимизации физических процессов при лазерном разделении металлических материалов в атмосфере активных и нейтральных газов».**

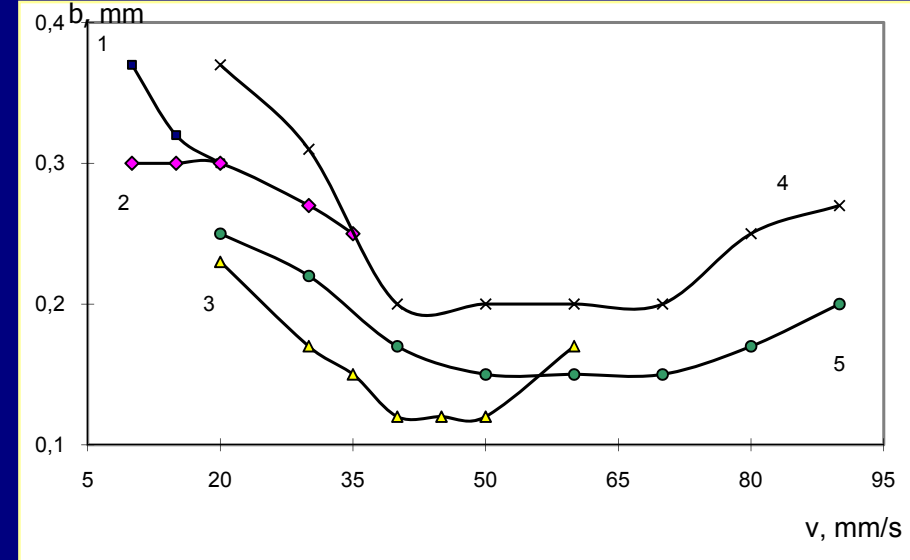
- Исследование влияния интенсивности излучения CO<sub>2</sub>-лазера на стабильность физических процессов при лазерном разделении металлических материалов в атмосфере активных и нейтральных газов» (2007 г.).

# 1. Исследование воздействия сфокусированного лазерного излучения, интенсивностью $10^5 \dots 10^7$ Вт/см<sup>2</sup> на различные материалы (металлы, стекло, пластик, дерево и т.д.)

## Основные результаты



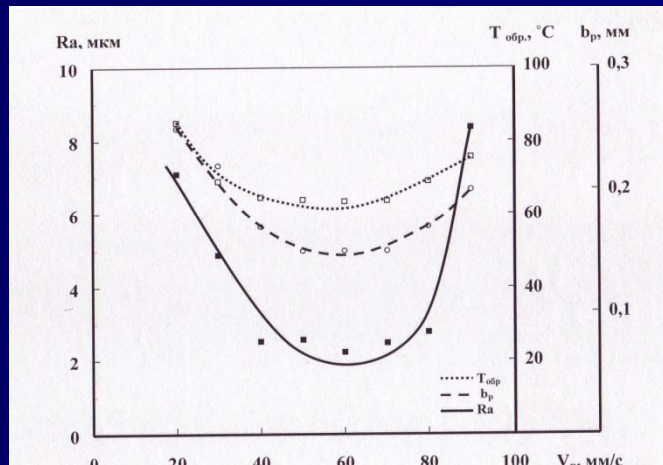
Измеренная зависимость температуры образца от скорости в момент окончания резки заданного контура. 1 – P=1000 W, технологический газ – nitrogen (N<sub>2</sub>); 2 – P=1000 W, технологический газ – air (O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>); 3 – P=518 W, технологический газ – oxygen (O<sub>2</sub>); 4 – P=1000 W, технологический газ – oxygen (O<sub>2</sub>); 5 – P=737 W, технологический газ – oxygen (O<sub>2</sub>)



Графики зависимости ширины прорези от скорости резки (давление технологического газа 0.5 бар). 1 – P=1000 W, технологический газ – nitrogen (N<sub>2</sub>); 2 – P=1000 W, технологический газ – air (O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>); 3 – P=518 W, технологический газ – oxygen (O<sub>2</sub>); 4 – P=1000 W, технологический газ – oxygen (O<sub>2</sub>); 5 – P=737 W, технологический газ – oxygen (O<sub>2</sub>).  
W, технологический газ – oxygen (O<sub>2</sub>).

# 1. Исследование воздействия сфокусированного лазерного излучения, интенсивностью $10^5 \dots 10^7$ Вт/см<sup>2</sup> на различные материалы (металлы, стекло, пластик, дерево и т.д.)

## Основные результаты



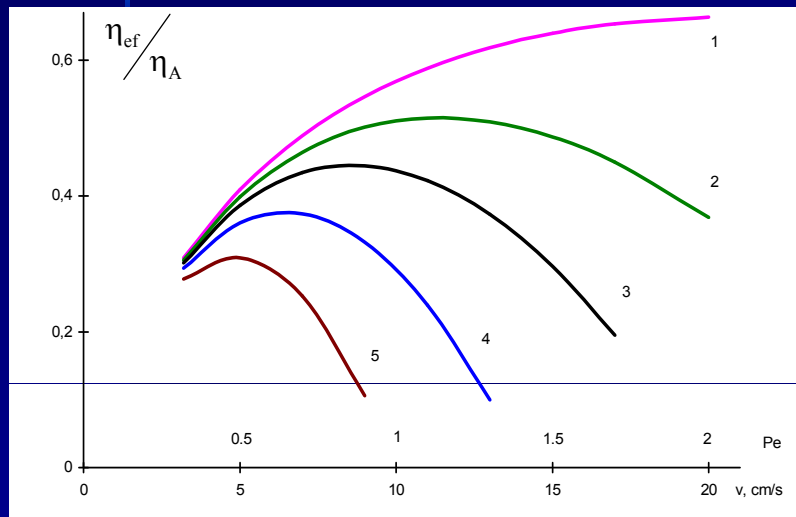
– Зависимость от скорости резки ( $V_p$ ) величины шероховатости ( $Ra$ ) поверхности реза (—■—), ширины реза ( $b_p$ ) (---) и температуры образца  $T_{обр}$  (—□—) после резки по внутреннему контуру.

– Мощность лазера  $P_l=750$  Вт, сопутствующий газ – кислород  $O_2$  при давлении  $0,05$  МПа. Образец – сталь, толщиной  $2$  мм, размерами

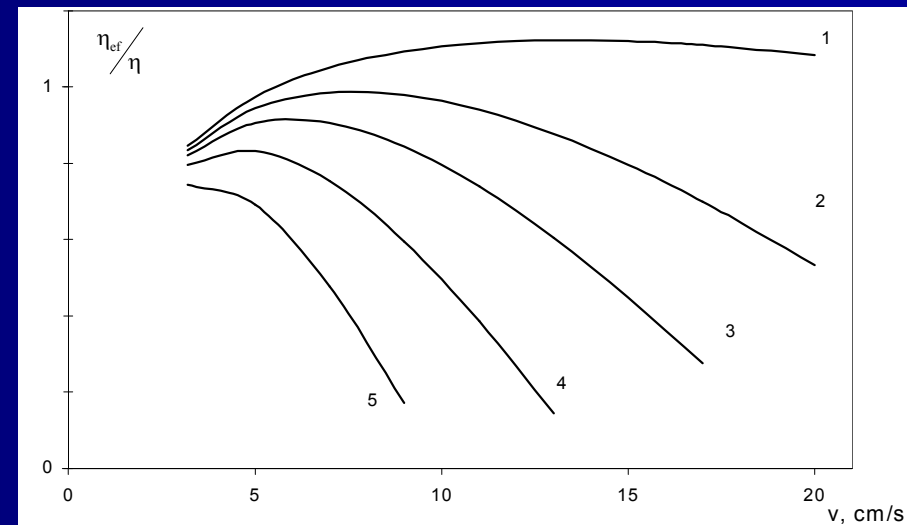
$110 \times 70$  мм.

# 1. Исследование воздействия сфокусированного лазерного излучения, интенсивностью $10^5 \dots 10^7$ Вт/см<sup>2</sup> на различные материалы (металлы, стекло, пластик, дерево и т.д.)

## Основные результаты



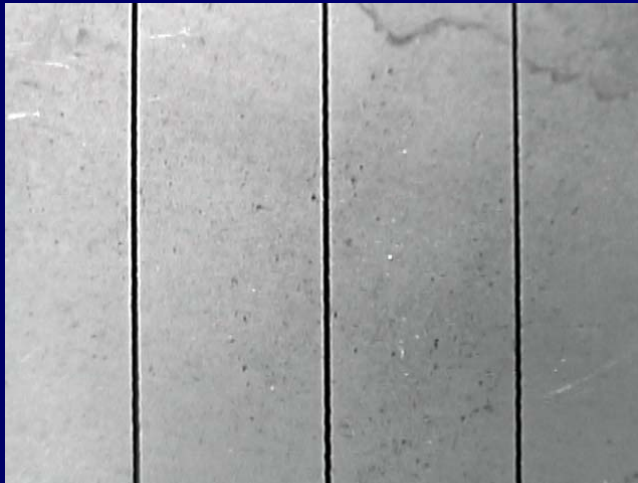
Графики зависимости ГЛР с нейтральным технологическим газом от скорости резания и числа Пекле. Для железа  $\chi = 0.3 \text{ cm}^2/\text{s}$ ;  $Em = 6000 \text{ J/cm}^3$ ;  $Hm = 2400 \text{ J/cm}^3$ ;  $b = 0.02 \text{ cm}$ .  
 Время выноса расплава из зоны реза : 1 –  $ts = 10^{-4} \text{ s}$ ; 2 –  $ts = 5 \cdot 10^{-4} \text{ s}$ ; 3 –  $ts = 10^{-3} \text{ s}$ ; 4 –  $ts = 2 \cdot 10^{-3} \text{ s}$ ; 5 –  $ts = 3 \cdot 10^{-3} \text{ s}$ .



Графики зависимости ГЛР с окисляющим технологическим газом от скорости резания и числа Пекле для разных значений времени выноса расплава из зоны реза . 1 –  $ts = 10^{-4} \text{ s}$ ; 2 –  $ts = 5 \cdot 10^{-4} \text{ s}$ ; 3 –  $ts = 10^{-3} \text{ s}$ ; 4 –  $ts = 2 \cdot 10^{-3} \text{ s}$ ; 5 –  $ts = 3 \cdot 10^{-3} \text{ s}$ .

**1. Исследование воздействия сфокусированного лазерного излучения, интенсивностью  $10^5 \dots 10^7$  Вт/см<sup>2</sup> на различные материалы (металлы, стекло, пластик, дерево и т.д.)**

**Основные результаты**



а)



б)

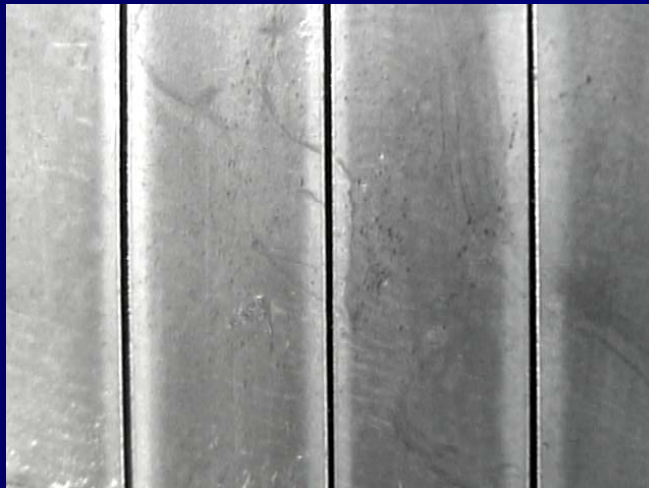
**Фрагмент образца после кислородной резки,  $P_n=737$  Вт.**

Оптимальный режим лазерной резки позволяет разделять Малоуглеродистую листовую сталь без дефектов .

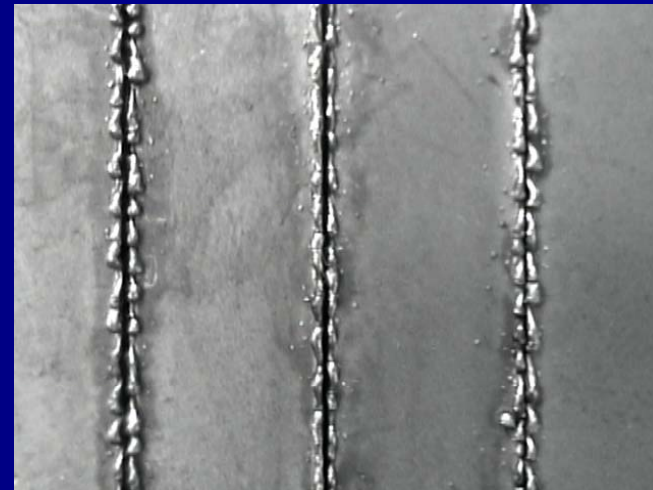
а) – вид сверху; б) – вид снизу.

**1. Исследование воздействия сфокусированного лазерного излучения, интенсивностью  $10^5 \dots 10^7$  Вт/см<sup>2</sup> на различные материалы (металлы, стекло, пластик, дерево и т.д.)**

**Основные результаты**



а)



б)

**Фрагмент образца после резки с поддувом азота,  $P_n=1000$ Вт.**

В отсутствие кислорода расплавленный металл выдувается из прорези, но остается на нижней кромке в виде регулярно расположенных капель.

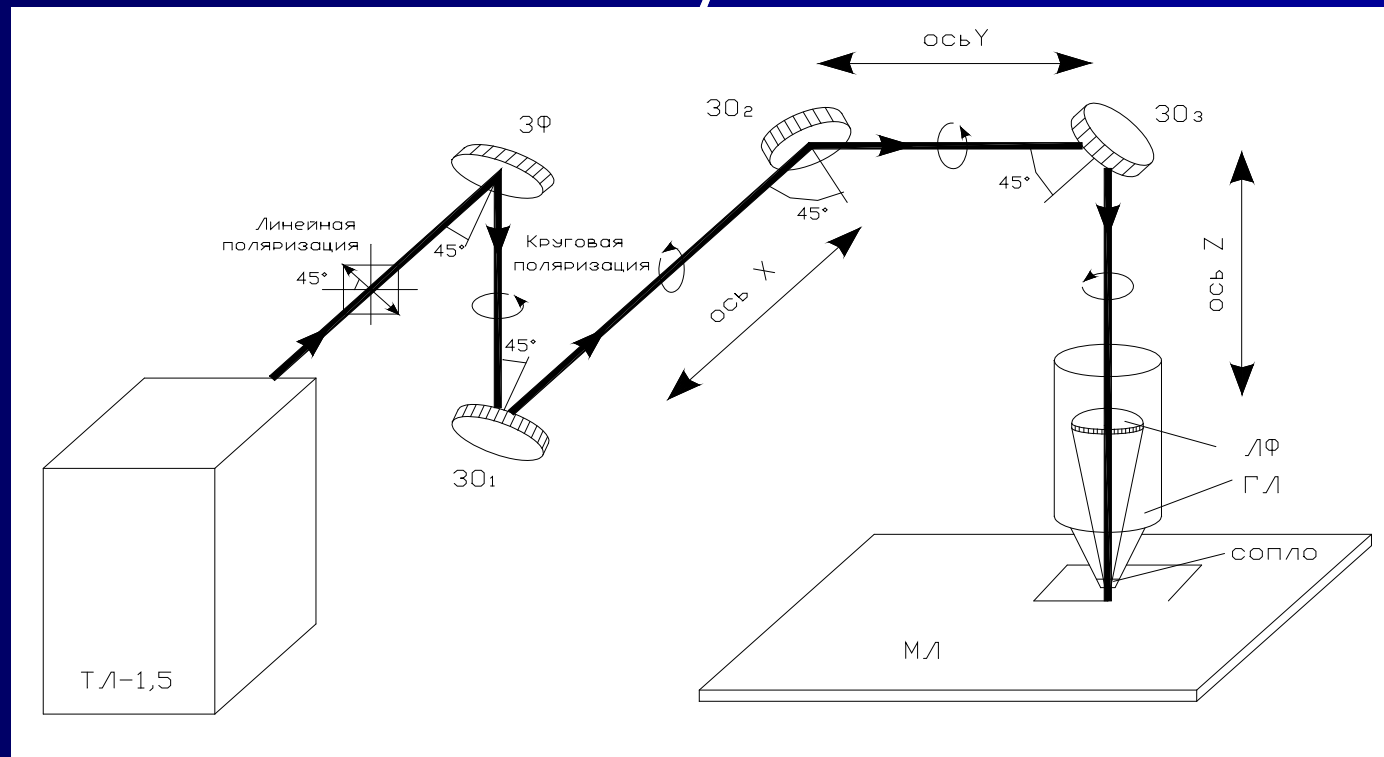
а) – вид сверху; б) – вид снизу.

***2. Разработка лазерных систем транспортировки и фокусировки излучения; систем слежения за профилем листа, и создание лазерных комплексов на этой основе***

- Тракт транспортировки и фокусировки излучения
- Фокусирующий объектив
- Система слежения за профилем листового материала
- Система управления технологическим процессом
- Универсальный лазерный комплекс УЛК-1
- Высокоскоростной лазерный комплекс КЛР-1

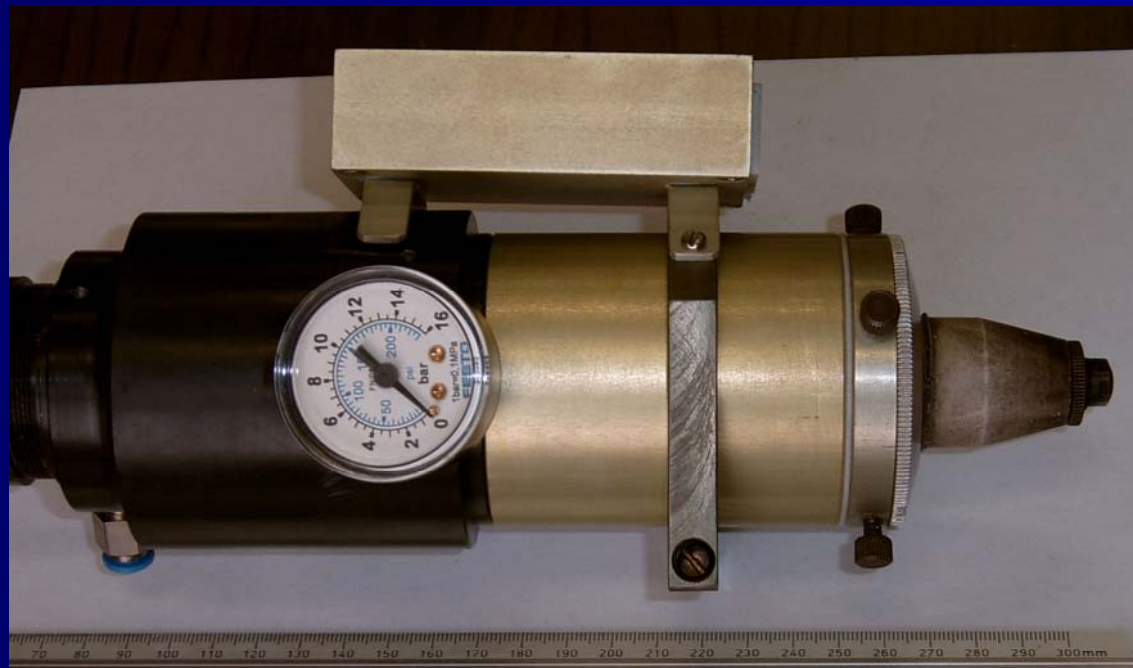
## 2. Разработка лазерных систем транспортировки и фокусировки излучения; систем слежения за профилем листа, и создание лазерных комплексов на этой основе

### ■ Тракт транспортировки и фокусировки излучения

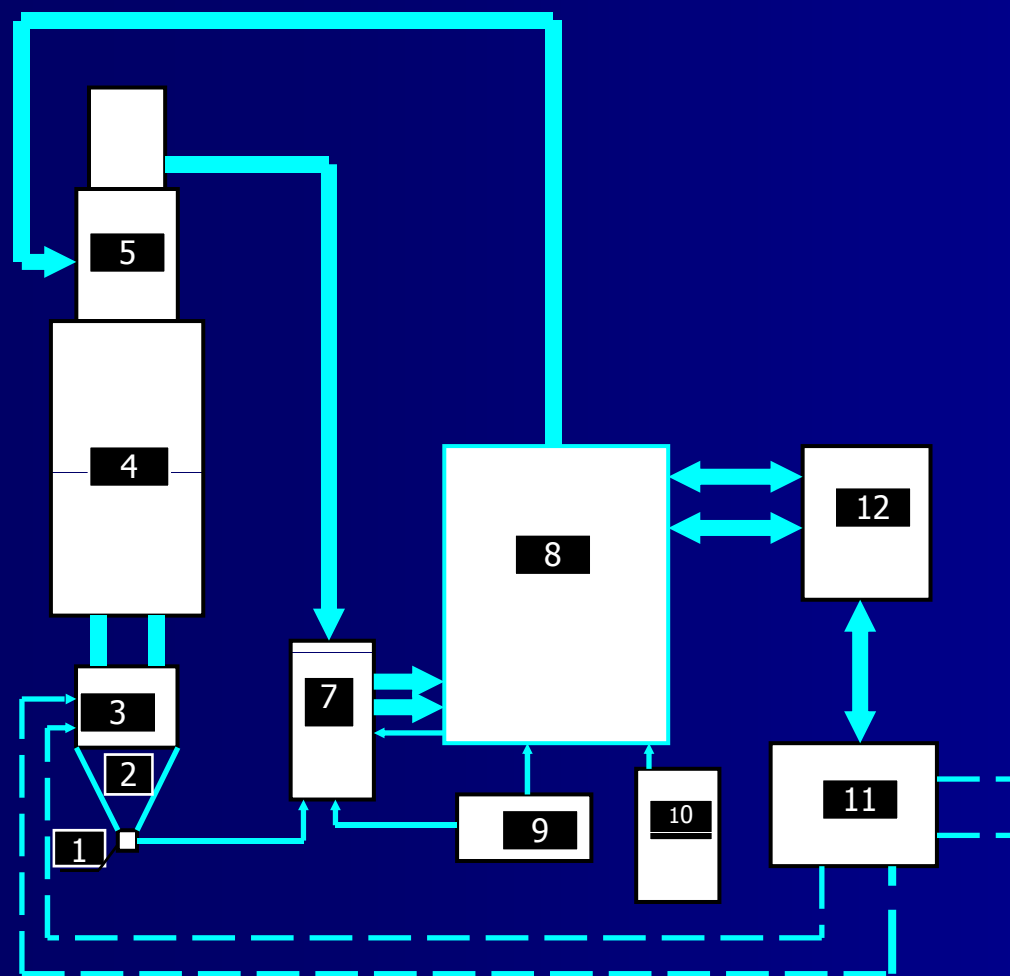


***2. Разработка лазерных систем транспортировки и фокусировки излучения; систем слежения за профилем листа, и создание лазерных комплексов на этой основе***

■ **Фокусирующий объектив**



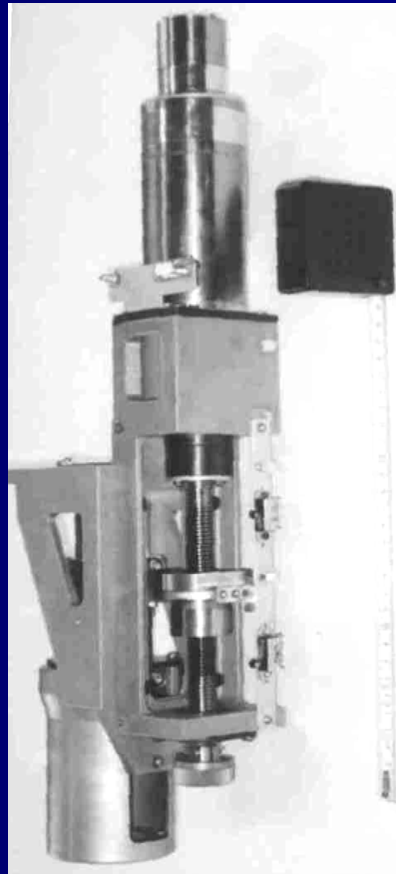
**2. Разработка лазерных систем транспортировки и фокусировки излучения; систем слежения за профилем листа, и создание лазерных комплексов на этой основе**



**Блок-схема системы слежения за профилем листового материала**

1. Сопло-электрод
2. Керамическая проставка
3. Объектив
4. Привод
5. Электродвигатель
6. Тахогенератор
7. Датчик
8. Система управления
9. Источник питания
10. Ручной пульт управления
11. Блок пневматики
12. УЧПУ

***2. Разработка лазерных систем транспортировки и фокусировки излучения; систем слежения за профилем листа, и создание лазерных комплексов на этой основе***



**Электропривод ССП**

***2. Разработка лазерных систем транспортировки и фокусировки излучения; систем слежения за профилем листа, и создание лазерных комплексов на этой основе***



Раскройный стол закрытого типа.  
Рабочее место оператора, управляющий компьютер

***2. Разработка лазерных систем транспортировки и фокусировки излучения; систем слежения за профилем листа, и создание лазерных комплексов на этой основе***



Общий вид технологического CO<sub>2</sub> - лазера.

**2. Разработка лазерных систем транспортировки и фокусировки излучения;  
систем слежения за профилем листа, и создание лазерных комплексов на  
этой основе**

***Универсальный лазерный комплекс УЛК-1***

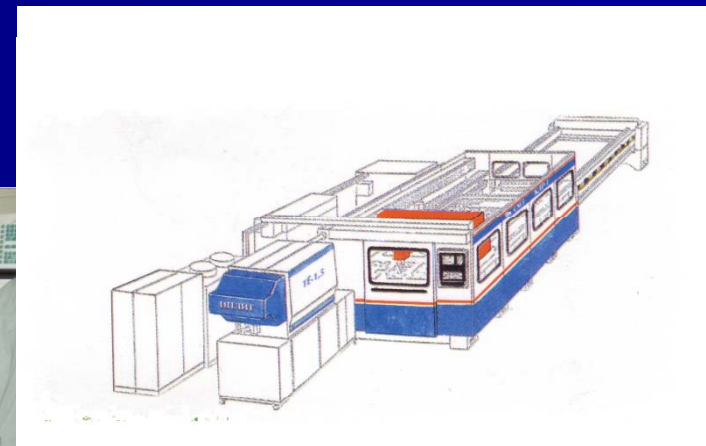
Диапазон изменения мощности излучения CO <sub>2</sub> - лазера, Вт	200–1500
Максимальный размер обрабатываемых листов, мм	2000x1450
Максимальная толщина резания, мм:	
низкоуглеродистая сталь	8
нержавеющая сталь	6
кварцевое стекло	6
стеклотекстолит	5
оргстекло	40
массив сосны	40
ДСП	25
МДФ	20
фанера	24
Диапазон регулирования скорости перемещения резака, по координатам X,Y, м /мин, не более: рабочего хода, холостого хода,	до 10 до 20
Точность воспроизведения заданного контура, мм	±0,1
Максимальная величина поддержания заданного расстояния резака от поверхности листа, мм	10
Максимальная нагрузка на стол, кг	500
Питание установки: трёхфазная четырёхпроводная сеть потребляемая энергетическая мощность, кВт	3x380 В,50 Гц 30
Расход охлаждающей воды, м <sup>3</sup> /ч	3
Управление стола	ЧПУ и ПК
Программное обеспечение на русском и английском языках	MS-DOS
Подготовка управляющих программ	ACAD 2005

## ***2. Разработка лазерных систем транспортировки и фокусировки излучения; систем слежения за профилем листа, и создание лазерных комплексов на этой основе***

- Институт проблем лазерных и информационных технологий (ИПЛИТ РАН), Национальный институт авиационных технологий (ОАО НИАТ), Савеловское машиностроительное открытое акционерное общество (ОАО САВМА), заключили 3-х сторонний договор-соглашение. Предметом договора являлась "Разработка, изготовление и испытания опытного образца высокоскоростного лазерного комплекса для прецизионного раскроя листовых заготовок модели КЛР-1".
- Базой для создания КЛР-1 послужил разработанный в лаборатории комплекс УЛК1.
- Впервые КЛР-1 демонстрировал свои возможности на 8-ой международной выставке оборудования, приборов и инструментов для металлообрабатывающей промышленности «Металлообработка 2004» в г. Москве. На выставке были представлены почти все зарубежные и отечественные образцы лазерного металлообрабатывающего оборудования, но только операторы трех лазерных станков раздавали посетителям образцы резки металла, изготовленные на их глазах. Среди них были операторы КЛР-1.

## 2. Высокоскоростной лазерный комплекс КЛР-1

«Металлообработка 2004» г. Москва



8-ая международная выставка оборудования, приборов и инструментов для металлообрабатывающей промышленности «Металлообработка 2004» г. Москва

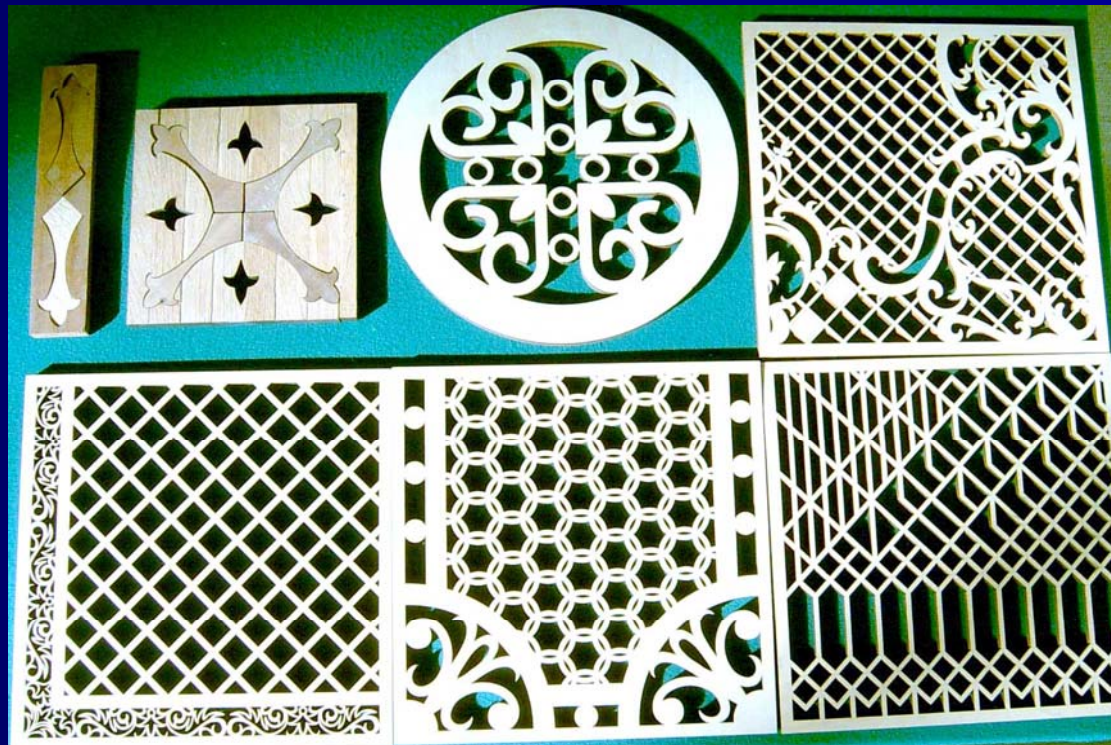


## 2. . Высокоскоростной лазерный комплекс КЛР-1



Образцы резки керамики, толщиной от 5 до 20 мм.

## 2. . Высокоскоростной лазерный комплекс КЛР-1



Образцы резки дерева, толщиной от 8 до 30 мм.

***3. Разработка интеллектуальной обучающей  
системы***

***для пользователей лазерных  
технологических комплексов.***

***ИПЛИТ РАН-ИСА РАН***

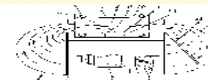


## Интеллектуальная Обучающая Система ИОС-ЛТК

### Демонстрационный вариант

Предлагается двухуровневая Интеллектуальная Обучающая Система для пользователей Лазерных Технологических Комплексов (ИОС-ЛТК). Первый уровень предназначен для обучения *декларативным* знаниям, то есть знаниям о фактах, явлениях и закономерностях, происходящих в изучаемых процессах. Второй уровень ИОС предназначен для обучения *процедурным* знаниям, представляющим собой умение решать задачи, возникающие при эксплуатации сложных технологических комплексов.

- Декларативная обучающая система
- Процедурная обучающая система
- Возможности системы
- Основные понятия (Глоссарий)
- Помощь (Инструкции по работе)
- Вводная лекция (Звуковой файл)



### Демонстрация Экзамена

Я хочу продолжить работу с ИОС

Лучше почитаю Стауна

Говори

MENU

# Обучающая система ИОС-ЛТК

# Интерфейс обучающей системы

The screenshot shows a window titled "IESLaser" with a menu bar containing "File", "Edit", "View", "Go", "Text", and "Help". The main content area has a blue header with the text "ИНТОКС-ЛТК" and an "Exit" button on the right. Below the header, the text reads: "Интеллектуальная Обучающая Система для пользователей Лазерных Технологических Комплексов". The main text describes the system's goals and levels of training. At the bottom, there are two buttons: a red one labeled "Декларативная Обучающая Система" and a white one labeled "Процедурная Обучающая Система". A large play button icon is visible in the background.

**ИНТОКС-ЛТК** Exit

*Интеллектуальная Обучающая Система для пользователей Лазерных Технологических Комплексов*

Целью ИОС-ЛТК является использование знаний о сфере обучения, обучаемом пользователе и о стратегиях обучения для обеспечения гибкой индивидуализированной поддержки процессов обучения.

Для сложных технологических комплексов предлагается строить двухуровневые ИОС. Первый уровень предназначен для обучения декларативным знаниям, то есть знаниям о фактах, явлениях и закономерностях, происходящих в изучаемых процессах.

Второй уровень ИОС предназначен для обучения процедурным знаниям, представляющим собой умение решать практические проблемы, возникающие при эксплуатации сложных систем.

**Декларативная Обучающая Система**

**Процедурная Обучающая Система**

# Интерфейс ДОС

The screenshot shows a software window titled "IESLaser" with a menu bar containing "File", "Edit", "View", "Go", "Text", and "Help". The main content area has a blue header with the text "ИНТОКС-ЛТК" and a navigation bar with buttons for "Previous", "Next", "Menu", and "Exit". Below this is the title "Декларативная Обучающая Система (ДОС)". A paragraph of text describes the learning scenario. A large play button icon is centered on the screen, with two buttons below it: a green one labeled "Блок Базовых Знаний" and a grey one labeled "Блоки Профессиональных Знаний".

IESLaser

File Edit View Go Text Help

**ИНТОКС-ЛТК**

Previous Next Menu Exit

**Декларативная Обучающая Система (ДОС)**

Сценарий обучения предусматривает овладение базовыми знаниями студентами всех профессиональных направлений. После изучения материала базового блока и успешной сдачи промежуточного экзамена, студенты приступают к изучению дополнительных модулей, отражающих выбранные профессиональные интересы.

**Блок Базовых Знаний**

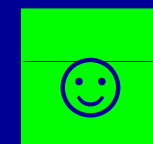
**Блоки Профессиональных Знаний**

Сценарий изучения курса специальных знаний:

Проверка уровня профессиональной подготовленности

Выбор рекомендованных системой маршрутов

Изучение теоретического материала



Контроль текущих знаний

Сдача квалификационного экзамена

Переход к обучению процедурным знаниям и навыкам

**ИПЛИТ РАН - ИСА РАН ИНТОКС – ЛТК**

## **Обучение процедурным знаниям**

**Процедурные знания используются в ИНТОКС-ЛТК в качестве основы построения математических моделей физических и технических процессов, экономических оценок, систем принятия решений и систем, основанных на знаниях.**

**Интеллектуальный интерфейс дает возможность общения с системой на профессиональном языке, а наличие базы знаний позволяет обучаемому найти ответ, когда прямого ответа в базе данных нет.**

# Архитектура ИНТОКС



## ***Конференции 1998-2009 гг.***

- VI Международная конференция "Лазерные технологии'98": фундаментальные проблемы и приложения. VI International Conference Industrial Lasers & Laser Applications'98, ILLA'98
- VII Междунар. конф. «Лазерные и лазерно-информационные технологии: фундаментальные проблемы и приложения» 22-26 июня 2001 г., Владимир – Суздаль
- VIII International Conference Laser and Laser- Information Technologies: Fundamental Problems and Applications. III International Symposium Laser Technologies and Lasers. ILLA / LTL'2003 INTERNATIONAL CONFERENCE AND SYMPOSIUM September 27 – October 1, 2003, Plovdiv - Smolyan, Bulgaria.
- XV International Symposium on Gas Flow and Chemical Lasers & High-Power Lasers Conference, GCL/HPL, Prague, Czech Republic. 30 August - 3 September 2004.
- ILLA '2006. IX International Conference LASER AND LASER-INFORMATION TECHNOLOGIES: FUNDAMENTAL PROBLEMS AND APPLICATIONS October 4–7, 2006 Smolyan, Bulgaria.
- ILLA '2009. X International Conference LASER & LASER INFORMATION TECHNOLOGIES FUNDAMENTAL PROBLEMS & APPLICATIONS October 18–22, 2009 Smolyan, Bulgaria.

## Список публикаций 1998-2009гг.

- В.И.Леденев, В.А.Карасев, В.П.Якунин. О связи капиллярных явлений и дефектообразования при газолазерном разделении металлов. Известия РАН. Серия физ. Т.63, № 10. С. 2047-2052. 1999
- V.I. Ledenev, V.A.Karasev, V.P.Yakunin. On cyclical mechanism of kerf formation under gas assisted laser cutting of metals. In: VI International Conference on Industrial Lasers and Laser Applications'98 (ILLA-98), Vladislav Ya. Panchenko, Vladimir S. Golubev, Editors, Proceedings of SPIE. Vol. 3688, pp. 157-162 (1999).
- V.I. Ledenev, V.A.Karasev, V.P.Yakunin. On capillary phenomenon during melt removal under gas assisted laser cutting. In: VI International Conference on Industrial Lasers and Laser Applications'98 (ILLA-98), Vladislav Ya. Panchenko, Vladimir S. Golubev, Editors, Proceedings of SPIE. Vol. 3688, pp. 163-168 (1999).
- I.O.Bazyleva, M.G.Galushkin, V.S.Golubev, E.A.Dubrovina, V.A.Karasev. Thermal losses in process of gas assisted laser cutting of metals. Proceedings SPIE, Series P.V.4644. PP.73-82. 2001
- О.И.Ларичев, М.Ю.Стернин, С.С.Маломуж, В.Я.Панченко, В.С.Голубев, В.А. Карасев. Интеллектуальные обучающие системы для пользователей лазерных технологических комплексов. Новости искусственного интеллекта. №4 (58), стр. 4-11, 2003 г.
- V.A.Karasev, M.G.Galushkin, V.S.Golubev, V.Ya.Panchenko, E.O.Filippova. Influence of basic parameters of metal cutting with gas laser on process energy efficiency. In: XV International Symposium on Gas Flow, Chemical Lasers, and High-Power Lasers, edited by Jarmila Kodymova. Proceedings of SPIE. Vol. 5777(2) (SPIE, Bellingham, WA, 2005). Pp. 864-873.
- И.О.Базылева, М.Г.Галушкин, В.С.Голубев, Е.А.Дубровина, В.А. Карасев. Термические потери в процессе газолазерной резки металлов. Современные лазерно-информационные и лазерные технологии. Сб. трудов ИГЛИТ РАН. Интерконтакт. Наука. 2005. Сс. 221-227.
- В.А. Карасев, С.С. Маломуж, М.Ю. Стернин. Концептуальная модель интеллектуальной обучающей системы для пользователей лазерных технологических комплексов. «Методы поддержки принятия решений»: Т.12.- М.: Едиториал УРСС, 2005, стр. 131-145.
- M.G.Galushkin, V.S.Golubev, V.A.Karasev, E.O.Filippova. Energy efficiency of cutting low-carbon steel with laser in atmosphere of oxidizing gas. Proceedings of international conference and symposium ILLA '2006 IX International Conference LASER AND LASER-INFORMATION TECHNOLOGIES: FUNDAMENTAL PROBLEMS AND APPLICATIONS. LTL 2006, V International Symposium Laser technologies and Lasers October 4-7, 2006 Smolyan, Bulgaria, p.107-113, 2007.
- M.Yu.Sternin, S.S.Malomuj, V.Ya.Panchenko, V.S.Golubev, V.A. Karasev, E.O. Filippova. Intelligent Tutoring System for Users of Laser Machining Units. Proceedings of international conference and symposium ILLA '2006. IX International Conference LASER AND LASER-INFORMATION TECHNOLOGIES: FUNDAMENTAL PROBLEMS AND APPLICATIONS. LTL 2006, V International Symposium Laser technologies and Lasers October 4-7, 2006 Smolyan, Bulgaria, p. 113-121, 2007.
- В.И.Леденев, В.А.Карасев, В.П.Якунин. «О циклическом механизме образования реза при газолазерном разделении металлов.» В кн.: Глубокое каналирование и филаментация мощного лазерного излучения в веществе. Под ред. академика В.Я.Панченко. М.:Интерконтакт. Наука. 2009. Сс. 144-148.
- В.И.Леденев, В.А.Карасев, В.П.Якунин. «О капиллярных явлениях при удалении расплава в процессе газолазерного разделения металлов.» с. 149-153 в кн.: Глубокое каналирование и филаментация мощного лазерного излучения в веществе. Под ред. академика В.Я.Панченко. М.:Интерконтакт. Наука. 2009. 266 с.
- V.A. Karasev, V.S. Golubev, E.O. Filippova. Thermal efficiency and effective coefficient of laser radiation energy absorption in gas-assisted laser cutting of low-carbon steel in atmosphere of nitrogen and air. PROCEEDINGS OF X International Conference LASER AND LASER-INFORMATION TECHNOLOGIES: FUNDAMENTAL PROBLEMS AND APPLICATIONS ILLA '2009, LASER TECHNOLOGIES AND LASERS, LTL '2009, VI International Symposium, Sesion 1, 53, October 18-22, 2009, Smolyan, Bulgaria.
- V.A. Karasev, V.S. Golubev, E.O. Filippova. Investigation of microrelief structure of cut surface in gas-assisted laser separation of materials. PROCEEDINGS OF X International Conference LASER AND LASER-INFORMATION TECHNOLOGIES: FUNDAMENTAL PROBLEMS AND APPLICATIONS ILLA '2009, LASER TECHNOLOGIES AND LASERS, LTL '2009, VI International Symposium, Sesion 1, 415, October 18-22, 2009, Smolyan, Bulgaria.
- В.А.Карасев, В.С.Голубев, Е.О.Филиппова. Термический КПД и эффективный коэффициент поглощения энергии лазерного излучения при газолазерной резке низкоуглеродистой стали в атмосфере азота и воздуха. *Физика и химия обработки материалов*. 2009, №6, с.18-25.

# ИПЛИТ РАН

Лаборатория лазерных процессов и систем

