

# ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Нарыжный Е.В., Низкоус Ю.В.

Институт системного анализа РАН,  
Россия, 117312, г. Москва, Проспект 60-летия Октября, 9.  
E-mail: [oil@isa.ac.ru](mailto:oil@isa.ac.ru).

Майоров В.С., Боговик Е.А.  
Институт проблем лазерных и информационных технологий РАН,  
Россия, 140700 г. Шатура Московской области, Светозерская, 1.

## ABSTRACT

In this paper we consider the main principals of the expert system constructing to determine optimal work parameters of technological process for industrial lasers.

## ВВЕДЕНИЕ

Для промышленности в последние десятилетия лазеры и лазерная обработка перестали быть экзотикой и превратились в привычный инструмент. Более того, многие предприятия уже не мыслят своей производственной базы без лазеров и лазерных технологических комплексов (ЛТК), используя их для столь различных технологических процессов как резка, закалка, наплавка и т.д. Вместе с тем лишь немногие из них умеют эффективно реализовывать все возможности этого оборудования (это в первую очередь те предприятия, где длительное время существовали подразделения, занимавшиеся лазерной обработкой материалов и накопившие большой собственный опыт), а ведь экономическая эффективность и рентабельность – главный конечный критерий целесообразности использования новой техники. При этом успех использования ЛТК во многом определяется опытом инженеров-технологов, для выработки которого необходимы годы напряженной работы. Поэтому актуальной задачей [1] является обеспечение выпускаемых ЛТК современными экспертными системами, которые путем имитации знаний и умений высококвалифицированных технологов могут предоставлять консультации менее опытным специалистам для выбора наиболее оптимальных режимов лазерной обработки.

В докладе изложены основные принципы построения экспертной системы, предоставляющей консультации по выбору режимов лазерной резки, разрабатываемой сотрудниками Института проблем лазерных и информационных технологий (ИПЛИТ) и Института системного анализа (ИСА) Российской академии наук. Далее будут раскрыты роль экспертных систем в задачах лазерной обработки материалов, описаны структуризация предметной области, декомпозиция задачи на подзадачи и построение диаграммы влияния параметров технологического процесса лазерной резки.

## РОЛЬ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

В открытой печати обычно не публикуют полные данные для воспроизводства технологии, поэтому почерпнуть эти сведения из литературы невозможно. Одним из путей обеспечения необходимой полноты технологической информации является формирование базы данных, заполненной собственными данными организации-разработчика. Эти данные получены на конкретных образцах лазерного технологического оборудования, созданного в ИПЛИТ и характеризуются необходимой полнотой и достоверностью [2]. Вместе с тем

при практической работе на конкретном ЛТК пользоваться общей базой данных не очень удобно.

Более предпочтительным видится другой путь – создание отдельных экспертных систем по базовым технологическим процессам обработки материалов. Экспертная система создается на основе знаний экспертов технологов и информации из банка данных технологических процессов. Разработанная экспертная система вначале получает от пользователя, в данном случае – начинающего инженера-технолога, исходную информацию о материале, геометрических характеристиках изготавливаемых деталей, требованиях к качеству обработки, и т.д. (входные параметры), и затем предоставляет рекомендации о выборе наиболее важных параметров технологического процесса, например, скорости резки, режима генерации лазера, вида газа, фокусного расстояния, и др. (выходные параметры).

## **СТРУКТУРИЗАЦИЯ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

Совместно с экспертами – опытными специалистами по технологии лазерной резки была проведена структуризация рассматриваемой предметной области и выработаны основные качественные и количественные критерии, описывающие входные и выходные параметры процесса лазерной резки.

В качестве входных были выбраны следующие 8 параметров:

1. Тип ЛТК;
2. Материал;
3. Толщина материала (мм);
4. Допустимая шероховатость реза (мкм);
5. Допустимая погрешность реза (мкм);
6. Допустим ли грат при резе;
7. Есть ли у изготавливаемой детали острые углы;
8. Есть ли у изготавливаемой детали мелкие отверстия (менее  $\frac{1}{2}$  толщины материала);

В качестве выходных параметров выбраны следующие 11 параметров:

1. Фокусное расстояние;
2. Режим резки;
3. Средняя мощность (Вт);
4. Частота импульсов (Гц);
5. Длительность импульса (мс);
6. Скорость (м/мин);
7. Вид газа;
8. Давление газа;
9. Диаметр газового сопла (мм);
10. Положение фокуса относительно поверхности материала (мм);
11. Зазор между соплом и поверхностью материала (мм);

Перечисленные параметры можно рассматривать как имена полей таблицы базы данных, каждая запись которой рассматривается как набор основных параметров технологического процесса (табл.1).

Таким образом, рекомендации, предоставляемые опытным технологом, а значит и экспертной системой, должны охватывать 11 выходных параметров.

Входные параметры	Запись <i>n</i>
Тип ЛТК	ТЛ – 1.5
Материал	Нержавеющая сталь
Толщина материала (мм)	2
Шероховатость (мкм)	5
Погрешность (мкм)	5
Грат	нет
Острые углы	да
Малые отверстия	да
Выходные параметры	
Фокусное расстояние	короткофокусное
Режим резки	импульсно-периодический
Средняя мощность (Вт)	650
Частота импульсов (Гц)	2000
Длительность импульса (мс)	0.22
Скорость (м/мин)	1
Вид газа	азот
Давление газа	10
Диаметр газов. сопла (мм)	1.4
Фокус от поверхности (мм)	-2
Зазор от поверхности (мм)	0.7

Таблица 1: Пример записей базы данных по технологическому процессу лазерной резки.

## ДИАГРАММА ВЛИЯНИЯ

Наблюдения за процессом выработки рекомендаций экспертом-технологом показали, что принятие решений по каждому из перечисленных параметров проходит последовательно, с учетом зависимости параметров. Был построен ациклический граф (диаграмма влияния), отражающий зависимость между основными параметрами рассматриваемого технологического процесса (Рис.1). На Рис.1 темным цветом выделены входные параметры; дуги отражают зависимость параметров и направлены от зависимых параметров; все выходные параметры зависят от типа ЛТК, вида материала и его толщины; на рисунке видно, что имеются зависимости также и между выходными параметрами.

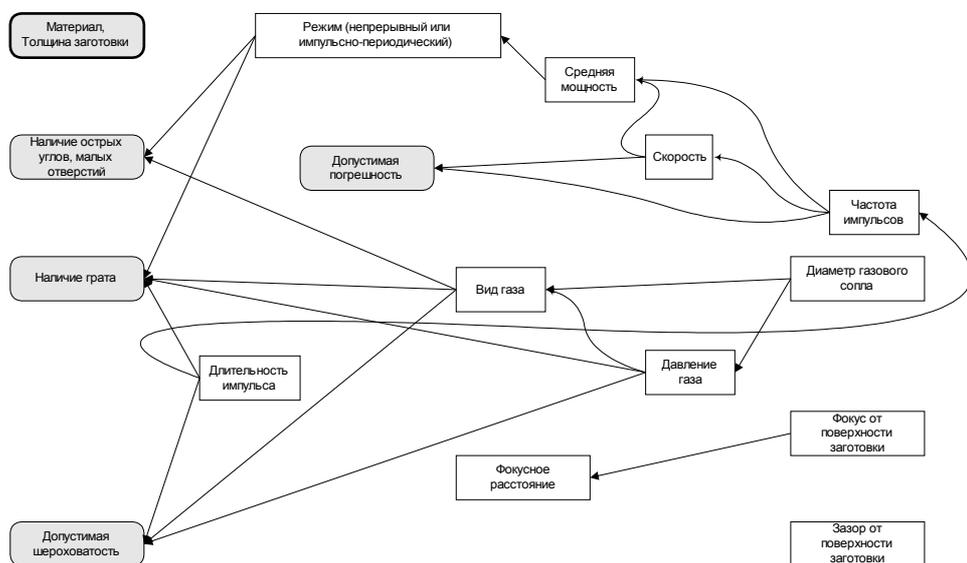


Рис.1 Диаграмма влияния параметров технологического процесса лазерной резки (некоторые дуги не показаны)

## ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ СХЕМА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Пусть  $X_1$  – множество входных параметров,  $X_2$  – множество выходных параметров и  $X = X_1 \cup X_2$  – множество всех параметров. Тогда на основе построенной диаграммы влияния можно сформулировать последовательную схему принятия решений по каждому из выходных параметров, каждый  $i$ -ый шаг которой можно записать следующим образом:  $S_i: \{x_k, x_b, \dots, x_m\} \rightarrow x_n$ , где  $x_k, x_b, \dots, x_m$  принадлежат  $X$ ,  $x_n$  принадлежит  $X_2$ . Например:

1. {тип ЛТК, материал, толщина материала}  $\rightarrow$  фокусное расстояние;
2. { тип ЛТК, материал, толщина материала, острые углы, малые отверстия, грат}  $\rightarrow$  режим резки;
3. { тип ЛТК, материал, толщина материала, острые углы, малые отверстия, грат, шероховатость}  $\rightarrow$  вид газа;
4. {тип ЛТК, материал, толщина материала, режим резки}  $\rightarrow$  средняя мощность;
5. ... и т.д.

Как отмечают многие исследователи в области искусственного интеллекта, построение базы знаний, отражающей процедуральные знания эксперта, является важным этапом разработки экспертных систем [3]. В условиях данной задачи база данных по технологическому процессу лазерной резки строилась на основе опроса опытного технолога.

В качестве основного метода построения системы логического вывода был выбран подход суждения по прецедентам – Case-Based Reasoning (CBR). Такой выбор не является случайным, поскольку от проектируемой экспертной системы наравне с рекомендацией по технологическому процессу, требуется также адаптация к конкретному ЛТК.

## CBR ТЕХНОЛОГИИ

CBR - это технология решения проблем путем анализа прецедентов (задач ранее встречавшихся и успешно решенных). CBR система может выполнять различные функции: адаптировать и использовать существующие решения для новых задач, давать объяснения, основываясь на существующих описаниях подобных ситуаций, критиковать новые решения, полученные из анализа предыдущих задач, классифицировать новую ситуацию по имеющимся прецедентам.

Цикл работы CBR в самом общем виде может быть описан следующими шагами:

1. Нахождение наиболее близкого по отношению к новой задаче прецедента или прецедентов.
2. Адаптация найденного ранее решения для близкого прецедента по отношению к новой задаче.
3. Проверка на практике и сохранение полученного опыта для работы с новыми задачами.

Для того чтобы CBR система смогла осуществить эти 3 шага необходимо представлять имеющуюся информацию в виде прецедентов, определять меру их схожести между собой и при необходимости «забывать» [4].

В соответствии с приведенным выше описанием предметной области, для поставленной задачи в качестве прецедентов можно использовать записи базы данных по технологическому процессу лазерной резки.

В процессе работы CBR технологии используют алгоритмы, имеющие различное назначение: поиск ближайших прецедентов, оценка схожести задач между собой и др. Например, CBR система *KATE* использует индуктивный алгоритм *ID3* [5] для просмотра прецедентов, система *ReMind* использует для тех же целей индуктивный алгоритм *Cart* [4].

Одним из простых, эффективных и хорошо зарекомендовавших себя алгоритмов является алгоритм принятия решений по прецедентам – метод  $k$  ближайших соседей ( $k$ -NN). Именно этот алгоритм лежит в основе разработанной экспертной системы.

## МЕТОД $k$ БЛИЖАЙШИХ СОСЕДЕЙ

На каждом шаге, в соответствии с последовательной схемой принятия решений по каждому выходному параметру, осуществляется поиск близких, по отношению к новой задаче прецедентов. В процессе поиска определяется функция полной схожести  $SIM(A, B)$  двух прецедентов  $A$  и  $B$ , описанных  $p$  параметрами, так что ее значение принадлежит отрезку  $[0, 1]$ :

$$SIM(A, B) = \frac{\sum_i sim_i(a_i, b_i)}{p},$$

где,  $sim_i(a_i, b_i)$  – локальные функции схожести по отдельным параметрам.

$a_i, b_i$  - множество возможных значений параметра  $i$  прецедентов  $A$  и  $B$  соответственно.

В некоторых простых случаях вместо метода  $k$  ближайших соседей можно использовать заранее проработанное с экспертом дерево решений. Такие деревья могут строиться на данных с помощью алгоритма  $C4.5$  [5]. Этот алгоритм построения деревьев решений реализован во многих коммерческих системах, например, в системе *KATE*. Однако, автоматически построенные деревья решений должны тщательно прорабатываться с экспертом.

## ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Экспертная система MALS, предоставляющая консультации по выбору параметров лазерной резки, представляет собой 32-разрядное приложение, функционирующее под управлением Microsoft Windows NT/95. Сама система написана на Microsoft Visual C++ на основе технологии COM и имеет открытую архитектуру, что позволяет легко вносить изменения в логику работы системы. База данных, схемы логического вывода и параметры применяемых алгоритмов записываются на декларативном языке OrScript, разработанном в ИСА РАН.

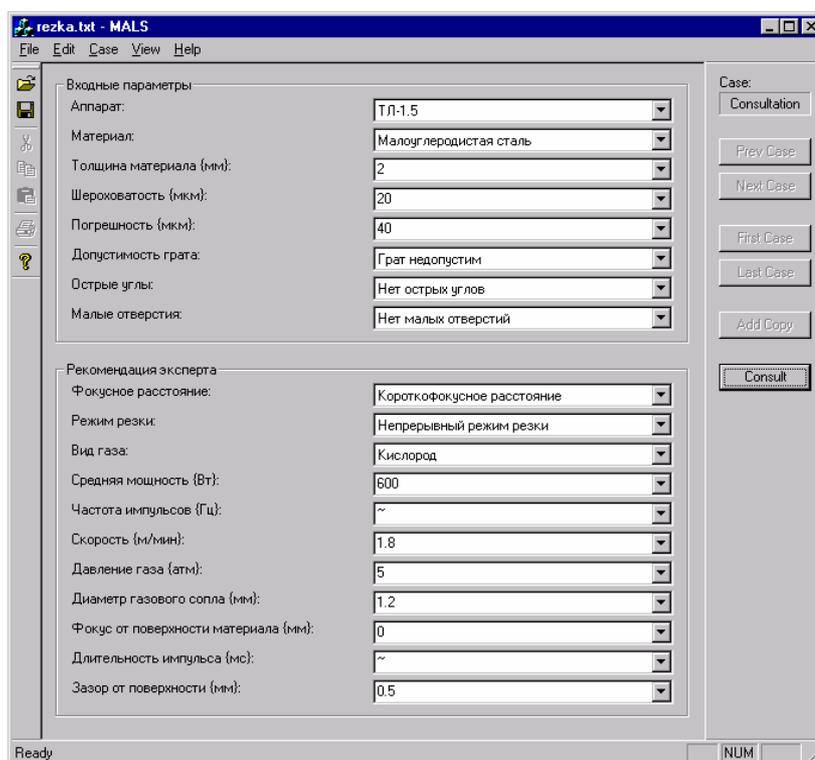


Рис.2: Внешний вид экспертной системы по лазерной резке

При работе с экспертной системой пользователь указывает тип ЛТК и задает требования к технологическому процессу (входные параметры, см Рис.2), с указанием материала, его толщины, и т.д. Система осуществляет проверку соответствия заданных требований возможностям ЛТК, совместимость входных параметров между собой, и начинает поиск рекомендаций, задавая при необходимости вопросы о незадаанных значениях входных параметров. Результат работы система предьявляет в окне «Рекомендация эксперта».

База данных по лазерной обработке интегрирована с оболочкой экспертной системы и используется при получении решений. Эта база может пополняться новыми экспериментальными данными непосредственно в процессе работы экспертной системы, позволяя увеличить качество работы системы в целом.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Оснащение выпускаемых ЛТК современными средствами сбора и анализа данных, основанных на экспертных знаниях, позволяет предоставить начинающим инженерам-технологам консультации по выбору основных параметров технологических процессов лазерной обработки, что позволит более эффективно использовать имеющееся оборудование и создать условия для воспроизводства технологических процессов.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. A. V. La Rocca. LARA Consultant S. r. l. Viale dei Castogni, 4 Revigliasco (Turin), ITALY 10020, "Industrial Laser and Laser Application'95", 1995.
2. Ильичева С. А., Майоров В. С. Семешин Н. М., "База знаний в лазерных технологиях", Автоматизация проектирования, № 2, 1998.
3. Feigenbaum I. A., McCorduck P., The 5-th Generation. Addison-Wesley. Mass., 1983.
4. K.D. Althoff, E. Auriol, R. Barletta, M. Manago, "A Review of Industrial Case-Based Reasoning Tools", AI Intelligence, 1995.
5. J. R. Quinlan, "C4.5. Programs for Machine Learning", San Mateo. Morgan Kaufmann, 1993.