

КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

В.С. Майоров*, С.В.Майоров*, М.Ю.Стернин ©**

* Институт проблем лазерных и информационных технологий РАН

** Институт системного анализа РАН

В мире накоплено большое количество практической информации, связанной с промышленными применениями лазеров. Оперативное использование этих знаний с применением компьютеров дает возможность быстро находить решения практических проблем в области лазерных технологий обработки материалов, а также включать в состав автоматизированных систем управления лазерными установками аппаратные и программные модули для автоматического выбора режимов обработки и поддержания стабильности процесса. Создаваемое и предлагаемое на рынок лазерное оборудование необходимо снабжать набором таких знаний и систем, которые обеспечивают гарантию качества процесса [1,2]. Эффективным средством повышения уровня информационного обеспечения руководителей, специалистов и экспертов при подготовке и принятии решений являются экспертные системы (ЭС) и системы поддержки принятия решений (СППР). СППР представляют собой новый класс человеко-машинных систем, в котором формирование, анализ и принятие решений производится человеком во взаимодействии с вычислительной системой, осуществляющей обработку значительных объемов объективной и субъективной информации. СППР помогает пользователю быстро обработать и всесторонне проанализировать большие объемы разноплановой информации, использовать её в привычной для себя манере. Описываемая структура построения СППР показывает её возможности и преимущества по сравнению с традиционными для лазерных технологов экспериментальными базами данных (БД). Приводятся практические примеры создания СППР для лазерной резки и для лазерной термической обработки материалов. Обосновывается, что в приложении к лазерным технологиям появляется новый мощный информационный инструмент.

14.1. Компьютерная поддержка принятия решений

Эффективным средством повышения уровня информационного обеспечения специалистов при подготовке и принятии решений являются экспертные системы (ЭС) и системы поддержки принятия решений (СППР) [3-7]. СППР (или DSS - Decision Support System) являются дальнейшим развитием идеологии ЭС и представляют собой новый класс человеко-машинных систем, в котором формирование, анализ и принятие решений производится человеком во взаимодействии с вычислительной системой, осуществляющей обработку значительных объемов объективной и субъективной информации. СППР помогает пользователю быстро обработать и всесторонне проанализировать большие объемы разноплановой информации, ис-

14. Компьютерные системы поддержки принятия решений
для лазерных технологических процессов обработки материалов

пользовать её в привычной для себя манере.

В СППР на общей основе объединились интересы и сфокусировались усилия таких научных дисциплин, как системный анализ и принятие решений, исследование операций, организационное управление, проектирование управленческих информационных систем и технология баз данных, искусственный интеллект и системы, основанные на знаниях. Понятие «поддержка» в названии СППР является ключевым при определении целей и критериев функционирования таких систем, разработке методов их построения. Огромный интерес к экспертным системам (ЭС) вызван по крайней мере тремя причинами. Во-первых, они ориентированы на решение широкого круга задач в неформализованных областях, т.е. на приложения, которые до недавнего времени считались мало доступными для вычислительной техники. Во-вторых, экспертные системы предназначены для работы специалистов, не имеющих навыков программирования, что дает возможность резко расширить сферу использования вычислительной техники. В-третьих, экспертные системы предназначены для решения практических задач и при этом позволяют получать результаты, сравнимые, а иногда и превосходящие те, которые может получить эксперт-человек.

Опыт применения компьютеров в задачах организационного управления и принятия решений показал, что при решении конкретных проблем люди предпочитают использовать упрощенные подходы, не требующие большого разнообразия данных и изолированных моделей. В реальных ситуациях рассматриваемая проблема описывается разнохарактерной информацией, в ней сочетаются количественные и качественные факторы, наряду с объективными данными приходится учитывать субъективные суждения руководителей, знания экспертов. Однако описание проблемы почти никогда не является полным, так как бывает достаточно трудно получить всю информацию, необходимую для анализа проблемы. И, наконец, при подготовке и принятии решений необходимо учитывать особенности и пределы человеческой системы переработки информации и специальным образом подготавливать информацию, используемую людьми. Цель исследований по экспертным системам состоит в разработке программ (устройств), которые при решении задач, трудных для эксперта-человека, получают результаты, не уступающие по качеству и эффективности решениям, получаемым экспертом. В большинстве случаев экспертные системы решают трудноформализуемые задачи или задачи, не имеющие алгоритмического решения. В настоящее время экспертные системы нашли применение в разнообразных предметных областях (медицина, вычислительная техника, геология, математика, сельское хозяйство, управление, электроника, юриспруденция и др.).

Наиболее типичны для СППР многокритериальные задачи принятия решений с объективными моделями и большими массивами количественных данных. Значительно слабее освоена область задач с субъективными моделями, особенно когда в них используются качественные данные. Еще менее разработанным является применение ЭВМ на этапе предварительного анализа и структуризации рассматриваемой проблемы — одного из принципиально важных этапов подготовки и принятия решения. Основные трудности связаны здесь, во-первых, с тем, что анализ проблемы представляет собой творческий процесс, плохо поддающийся формализации. Во-вторых, пока еще крайне недостаточен арсенал средств, которые могли бы использоваться при структуризации проблемы.

СППР возникли как естественное развитие и обобщение управленческих информационных систем (УИС), систем обработки данных (СОД) и систем, осно-

14. Компьютерные системы поддержки принятия решений
для лазерных технологических процессов обработки материалов

ванных на знаниях (СОЗ), в направлении их большей пригодности и приспособленности к задачам подготовки и принятия решений. В отличие от УИС, используемых для решения рутинных, хорошо структурированных задач, было предложено рассматривать СППР в качестве «интерактивных автоматизированных систем, которые помогают лицам, принимающим решения, использовать данные и модели, чтобы решать неструктурированные проблемы». Позднее это определение СППР было отнесено и к решению слабоструктурированных проблем.

Степень структуризации проблемы - центральный момент для СППР. Если проблема может быть полностью структурирована и окажется возможным составить алгоритм ее решения, который удовлетворит пользователя, то поддержка решения не нужна, так как этот алгоритм может заменить человека. В случае, если проблема не имеет структуры и нет никаких требований к данным, то поддержка решения невозможна, поскольку трудно определить стадии решения проблемы. Между этими двумя полюсами лежит область применения СППР. Наибольший эффект СППР могут дать при решении проблем, обладающих структурой, достаточной для использования объективных моделей и применения вычислений, но где в то же время существенными являются суждения и предпочтения человека. К подобным проблемам можно отнести и лазерные процессы обработки материалов, которые наряду с другими современными технологиями базируются как на разнообразных теоретических моделях, так и на многочисленных экспериментальных данных и практическом опыте работы квалифицированных специалистов-технологов.

14.2. Принципы функционирования и состав основных структурных элементов СППР

В системах искусственного интеллекта (ИИ) решаются, как правило, неформализованные задачи. Системы ИИ не отвергают и не заменяют традиционного подхода к разработке программ, ориентированного на решение формализованных задач. К неформализованным относятся такие задачи, которые обладают одной или несколькими из следующих характеристик: 1) задачи не могут быть заданы в числовой форме; 2) цели не могут быть выражены в терминах точно определенной целевой функции; 3) не существует алгоритмического решения задач; 4) алгоритмическое решение существует, но его нельзя использовать из-за ограниченности ресурсов (время, память). Неформализованные задачи обычно обладают следующими особенностями: 1) неоднозначностью, неполнотой и противоречивостью исходных данных; 2) неоднозначностью, неполнотой, ошибочностью и противоречивостью знаний о проблемной области и о решаемой задаче; 3) большой размерностью пространства решения, т.е. перебор при поиске решения весьма велик; 4) динамически изменяющимися данными и знаниями. Лазерные технологии в силу своей сложности и многообразия одновременно протекающих физических процессов относятся именно к такому классу задач.

Причины успешного практического использования ЭС и СППР состоят в том, что при их построении были учтены уроки предшествующих исследований в области искусственного интеллекта. Эти уроки были сформулированы в виде трех принципов.

1. Мощность экспертной системы обусловлена в первую очередь мощностью базы знаний и возможностью ее пополнения, и только во вторую очередь - используемыми ею методами (процедурами).

14. Компьютерные системы поддержки принятия решений
для лазерных технологических процессов обработки материалов

*) В исследованиях по искусственному интеллекту ранее господствовала обратная точка зрения. Источником интеллектуальности считали небольшое количество общих мощных процедур вывода. Однако опыт показал, что важнее иметь разнообразные специальные знания, а не общие процедуры вывода. Из этого следует, что создание адекватных баз знаний по лазерным технологиям (резке, термоупрочнению, сварке и проч.) – краеугольная задача при построении ЭС. Для их построения нужен комплексный подход и работа специалистов в области лазерной физики взаимодействия излучения с веществом, квантовой электроники, лазерных технологий обработки материалов.

2. Знания, позволяющие эксперту (или экспертной системе) получать качественные и эффективные решения задач, являются в основном эвристическими, экспериментальными, неопределенными, правдоподобными. Причина этого заключается в том, что решаемые задачи являются неформализованными или слабоформализованными. Необходимо также подчеркнуть, что знания экспертов имеют индивидуальный характер, т.е. свойственны конкретному человеку.

3. Учитывая неформализованность решаемых задач и эвристический, личностный характер используемых знаний, пользователь (эксперт) должен иметь возможность непосредственного взаимодействия с экспертной системой в форме диалога.

В связи с тем, что основным источником информационной мощности ЭС являются знания, ЭС должны обладать способностью приобретать знания. Процесс приобретения знаний можно разделить на: 1) получение знаний от эксперта; 2) организацию знаний, обеспечивающую эффективную работу системы; 3) представление знаний в понятном системе виде. Процесс приобретения знаний осуществляется так называемым "инженером по знаниям" (knowledge engineer) на основе анализа деятельности эксперта, решающего реальные задачи. Эвристический характер знаний делает их приобретение весьма трудоемким процессом. Трудоемкость и неформализованность этого процесса приводят к тому, что он является наиболее узким местом при создании систем искусственного интеллекта.

Системы искусственного интеллекта отличаются от систем обработки данных тем, что в них используется символичный (а не числовой) способ представления, символичный вывод и эвристический поиск решения (а не готовое решение). Большинство экспертных систем базируется на понятии "формальная продукционная система". Продукционные системы берут свое начало с работ Поста, который в 1943 г. ввел термины *продукция* и *каноническая (продукционная) система*. Пост показал, что продукционная система является логической системой, эквивалентной машине Тьюринга. Другими словами, продукционные системы универсальны, т.е. любая формальная система, оперирующая символами, может быть реализована в виде одной из продукционных систем Поста. Психологические исследования процессов принятия решений человеком показали, что, рассуждая, человек использует правила, аналогичные продукциям, т.е. правила вида "условие → действие". Ньюэлл предложил использовать продукционные системы для моделирования на ЭВМ процесса принятия решений. Формализуя предложения Ньюэлла, определим продукционную систему (PS) следующим образом: $PS = (F, P, I)$, где F - рабочая память системы (называемая также базой данных), содержащая текущие данные (элементы рабочей памяти), P - база знаний, содержащая множество продукций (правил вида: "условие → действие"), I - интерпретатор (решатель), реализующий процедуры вывода.

Итак, типичная экспертная система имеет следующие компоненты:

- база знаний, хранящая множество продукций (в общем случае правил);

14. Компьютерные системы поддержки принятия решений
для лазерных технологических процессов обработки материалов

- рабочая память, хранящая данные (база данных);
- интерпретатор, решающий на основе имеющихся в системе знаний предъявленную ему задачу;
- лингвистический процессор, осуществляющий диалоговое взаимодействие с пользователем (экспертом) на естественном для него языке;
- компонента приобретения знаний;
- объяснительная компонента, дающая объяснение действий системы и отвечающая на вопросы о том, почему некоторые заключения были сделаны или отвергнуты.

Экспертная система работает в двух режимах: в режиме приобретения знания и в режиме решения задач. В режиме приобретения знаний в общении с экспертной системой участвует эксперт (через посредство инженера по знаниям). В этом режиме эксперт наполняет систему знаниями (правилами), которые позволят ей в режиме решения самостоятельно решать задачи из области экспертизы. Отметим, что режиму приобретения знаний в традиционном подходе к разработке программ соответствуют этапы алгоритмизации, программирования и отладки, выполняемые программистом. Таким образом, в отличие от традиционного подхода, в ЭС разработку программ осуществляет не программист, а специалист в области экспертизы, не владеющий программированием.

Построенная в соответствии с описанными выше принципами блок-схема СППР представлена на рис.14.1.

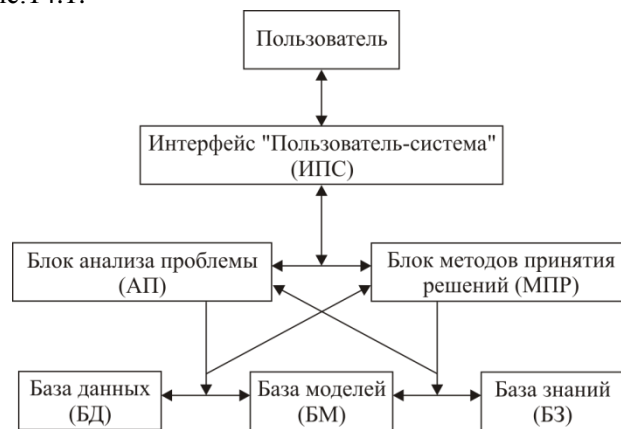


Рис.14.1. Схема концептуальной модели системы поддержки принятия решений.

Блок анализа проблем (АП). Блок анализа проблем предназначен для первичной структуризации проблемы и нахождения соответствия между проблемой и методом принятия решений.

Блок методов принятия решений (МПР). В этом блоке могут содержаться методы, принадлежащие к двум основным классам: с объективными и субъективными моделями.

База знаний (БЗ). Общим элементом для СППР и экспертных систем является база знаний. База знаний в СППР должна включать в себя знания опытных лиц, решавших ранее подобные задачи, и знания опытных консультантов по анализу проблем. Проблема построения баз знаний считается одной из наиболее сложных в области исследований, известной под названием «искусственный интеллект» [8].

База данных (БД). База данных содержит необходимый для работы СППР объективный фактический материал, структурированный необходимым образом.

14. Компьютерные системы поддержки принятия решений
для лазерных технологических процессов обработки материалов

База моделей (БМ). База объединяет в себе выраженные в математическом виде модели, закономерности, зависимости, критерии из используемых при работе СППР областей знаний.

Блок интерфейса «пользователь-система» (ИПС). Интерфейс обеспечивает эффективное взаимодействие СППР и пользователя на привычном ему языке в форме диалога.

Проектирование ЭС и СППР имеет существенные отличия от проектирования обычного программного продукта. Опыт разработки ранних ЭС показал, что использование при их проектировании методологии, принятой в традиционном программировании, либо чрезмерно затягивает процесс их создания, либо вообще приводит к отрицательному результату. Дело в том, что неформализованность задач, решаемых ЭС, отсутствие завершённой теории ЭС и методологии их проектирования приводит к необходимости модифицировать принципы и способы построения ЭС в ходе процесса проектирования по мере того, как увеличиваются знания разработчиков о проблемной области. Учитывая отмеченные сложности, при проектировании ЭС используется концепция "быстрого прототипа". Суть этой концепции состоит в том, что разработчики не пытаются сразу построить конечный продукт. На начальном этапе они создают прототип ЭС. Прототип должен удовлетворять двум противоречивым требованиям: с одной стороны, он должен решать типичные задачи конкретного приложения, а с другой - трудоёмкость его разработки должна быть весьма незначительной, для того чтобы его можно было быстро разработать. Для удовлетворения указанным требованиям, как правило, при создании прототипа используются разнообразные средства, ускоряющие процесс проектирования. Эти средства в обобщённом виде называют инструментарием.

Важным шагом в процессе формализации знаний является построение модели исследуемой проблемы, так как именно знание модели позволяет генерировать решение. Если в процессе рассуждений и аргументации эксперт использует хотя бы простейшую модель, то анализ этой модели позволяет выработать многие важные понятия и отношения. Соответственно, использование физических моделей с их математическим описанием принципиально важно при создании ЭС и СППР по лазерной обработке.

Все методы поиска, рассмотренные до сих пор, использовали при представлении проблемной области какую-то одну модель, т. е. рассматривали область с какой-то одной точки зрения. При решении сложных задач в условиях ограниченных ресурсов использование нескольких моделей может значительно повысить мощность системы. Объединение в одной системе нескольких моделей даёт возможность преодолеть следующие трудности. Во-первых, переход с одной модели на другую позволяет обходить тупики, возникающие при поиске в процессе распространения ограничений. Во-вторых, использование нескольких моделей позволяет в ряде случаев уменьшить вероятность потери хорошего решения вследствие неполного поиска, вызванного ограниченностью ресурсов. В-третьих, наличие нескольких моделей позволяет системе справляться с неточностью (ошибочностью) данных. Следует отметить, что использование нескольких моделей требует дополнительных знаний о том, как создавать и объединять различные точки зрения. Таким образом, логика построения ЭС и СППР для лазерных технологий не только не отрицает, а напротив, предполагает использование в своей структуре множества разнообразных физических моделей (с их математическим описанием), которые при обычном формализованном подходе к расчётам зачастую невозможно объединить. Использование нескольких моделей позволяет уменьшить вероятность потери хорошего решения,

14. Компьютерные системы поддержки принятия решений
для лазерных технологических процессов обработки материалов

несмотря на неполноту поиска, вызванную ограниченностью вычислительных ресурсов.

Для формализации знаний весьма важно понимать природу данных проблемной области. Необходимо определить свойства данных, которые существенно влияют на решение исходной проблемы. Перечислим эти свойства:

- 1) данные достоверны (надежны и точны) /недостоверны (ненадежны, неточны);
- 2) данные полны (достаточны), согласованы, избыточны/неполны, несогласованы, избыточны;
- 3) данные характеризуются/не характеризуются коэффициентом определенности;
- 4) интерпретация данных зависит/не зависит от порядка их появления во времени.

Большое значение имеют также способ и стоимость приобретения данных.

Важным аспектом при создании ЭС является выбор стратегии разрешения конфликтов. Примером конфликтной ситуации в случае лазерной обработки может быть необходимость выбора определённого технологического приёма (например, для повышения качества резки следует:

- увеличить скорость, или
- перейти в ИП режим, или
- сменить газ и/или повысить его давление...).

Выделим следующие классы стратегий:

- 1) стратегии упорядочивания правил;
- 2) стратегии специальных случаев;
- 3) стратегии возраста элементов;
- 4) стратегии различий;
- 5) случайные стратегии.

Последние, по нашему мнению, малопримемлемы. Интерпретатор должен избегать принятия случайных решений, т.е. выбор одного означивания из многих должен осуществляться без использования механизма случайности.

Разработка прототипа состоит в программировании его компонент (или выборе их из имеющихся инструментальных средств) и наполнении базы знаний. Обычная ошибка разработчиков при создании прототипа состоит в том, что процесс приобретения знаний откладывают до полного завершения программирования. Тем самым, во-первых, эта наиболее трудоемкая часть работы отодвигается на поздние этапы, и, во-вторых, в процессе накопления знаний приходится вносить изменения в уже готовые программы. Поэтому необходимо начинать приобретение знаний, как только составлены программы, позволяющие работать с простейшим представлением знаний и с простейшими управляющими структурами. Такой подход позволяет максимально рано начать выполнение отдельных подзадач и обнаружить, что в ряде случаев для их решения необходимы дополнительные знания. Иными словами, первый прототип экспертной системы должен появиться через несколько месяцев, а не через годы после начала работы. При его разработке основная цель состоит в том, чтобы получить решение задачи, не заботясь пока о его эффективности. И только после завершения разработки первого прототипа начинаются исследования, направленные на повышение эффективности работы системы. В заключение перечислим специализации участников группы разработчиков экспертных систем:

- эксперт в той проблемной области, задачи которой будет решать ЭС;
- инженер по знаниям – специалист по разработке ЭС;
- программист, осуществляющий модификацию и согласование инструментальных средств.

Отметим, что отсутствие среди участников инженера по знаниям (т.е. замена его

14. Компьютерные системы поддержки принятия решений
для лазерных технологических процессов обработки материалов

программистом) либо приводит к неудаче процесс разработки ЭС, либо значительно удлиняет этот процесс (пока программист не приобретёт и навыки инженера по знаниям).

14.3. Экспертная система лазерной резки материалов

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).

Экспертная система MALS, разработанная в Российской Академии Наук, представляет собой консультации по выбору параметров лазерной резки [9-11]. Экспертная система создана на основе знаний экспертов–технологов и информации из банка данных технологических процессов. Имеющаяся информация представлена в виде прецедентов [12]. В процессе работы используют алгоритмы, имеющие различное назначение: поиск ближайших прецедентов, оценка схожести задач между собой и др. [13,14].

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.

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.

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: $S_i: \{x_a, x_b, \dots, x_m\} \rightarrow x_n$, где x_a, x_b, \dots, x_m принадлежат X_1 , x_n принадлежит X_2 . Например:

1. {тип ЛТК, материал, толщина материала} → фокусное расстояние;
2. {тип ЛТК, материал, толщина материала, острые углы, малые отверстия, грат} → режим резки;
3. {тип ЛТК, материал, толщина материала, острые углы, малые отверстия, грат, шероховатость} → вид газа;
4. {тип ЛТК, материал, толщина материала, режим резки} → 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 [8]. 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 сис-

14. Компьютерные системы поддержки принятия решений
для лазерных технологических процессов обработки материалов

темы 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» [12]. 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* [13] для просмотра прецедентов, система *ReMind* использует для тех же целей индуктивный алгоритм *Cart* [12]. 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 из данных с помощью алгоритма *C4.5* [13]. Этот алгоритм построения деревьев решений реализован во многих коммерческих системах, например, в системе *KATE*. Однако автоматически построенные деревья решений должны тщательно прорабатываться с экспертом.

Система написана на Microsoft Visual C++ на основе технологии COM и имеет открытую архитектуру, что позволяет легко вносить изменения в логику ее работы. Вид интерфейса экспертной системы показан на рис.14.2. При работе с экспертной системой пользователь указывает тип ЛТК и задает требования к технологическому

14. Компьютерные системы поддержки принятия решений
для лазерных технологических процессов обработки материалов

процессу с указанием материала, его толщины, и т.д. (входные параметры). Система осуществляет проверку входных параметров между собой и начинает поиск рекомендаций, задавая при необходимости вопросы о незадаанных значениях входных параметров. Результат работы система предьявляет в окне “Рекомендации эксперта” (выходные параметры). База данных по лазерной резке 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.

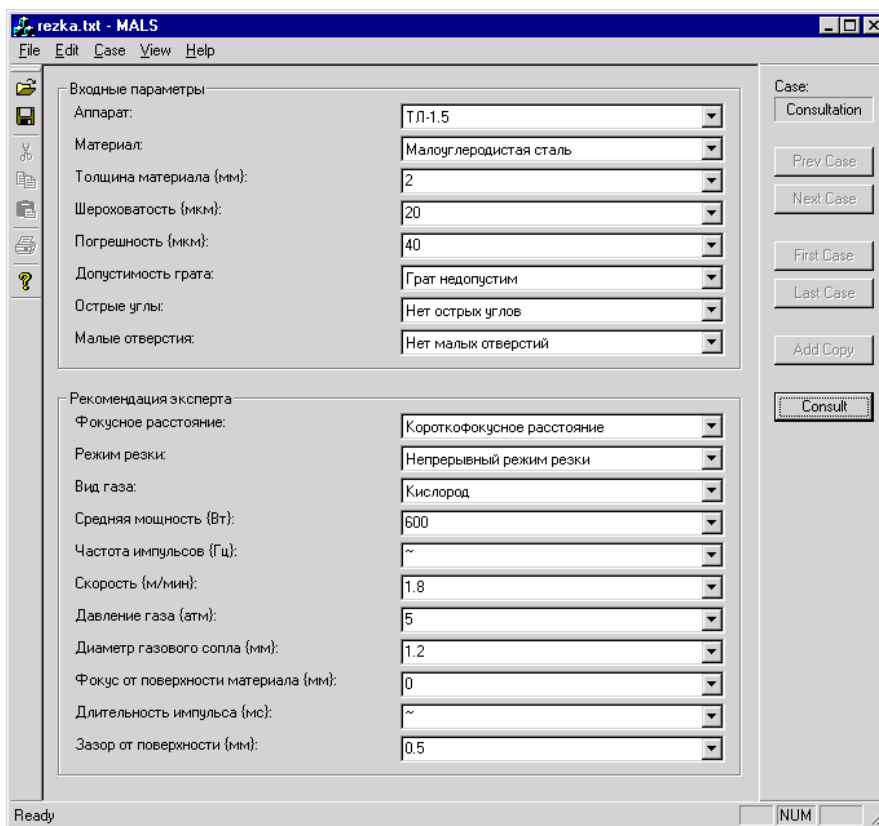


Рис.14.2. Интерфейс экспертной системы MALS по лазерной резке.

14.4. Система поддержки принятия решений для оптимизации режимов лазерной закалки

СППР служит целям структуризации знаний и умений по технологическому процессу лазерной закалки, обобщению этих данных и созданию компьютерной программы по определению оптимальных режимов лазерной закалки [14-17]. Структура данной системы близка к показанной на рис.14.1. Основные компоненты - база знаний, база моделей и база данных. Ответственность за анализ и принятие решений несут блок анализа проблемы и блок принятия решений. Работа системы поддержки принятия решений по определению оптимальных режимов лазерной закалки (Decision Support System for Laser Heat Treatment) основана на схеме рис.14.3.

Работа СППР начинается с ввода исходных данных (формулировки запроса). Необходимо задать следующие исходные параметры:

14. Компьютерные системы поддержки принятия решений
для лазерных технологических процессов обработки материалов

- мощность лазерного излучения;
- форма (мода) лазерного пучка;
- закон колебаний (при использовании сканаторов) и относительная амплитуда сканирования;
- марка металла;
- исходное состояние металла (вид предварительной термообработки);
- тип поглощающего покрытия;
- требуемая глубина закалки.

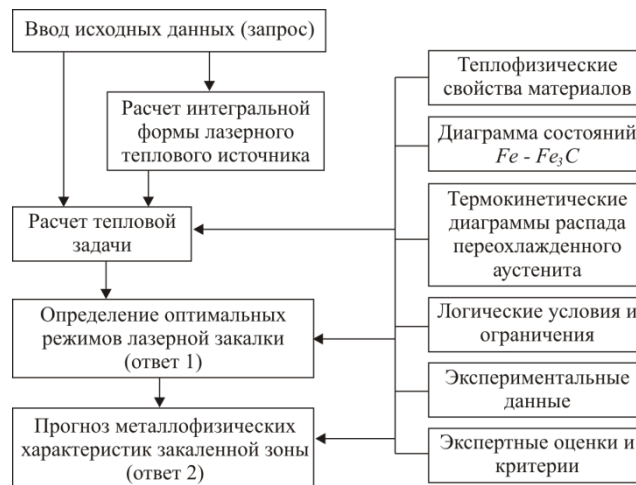


Рис.14.3. Структура и состав СППР по лазерной закалке.

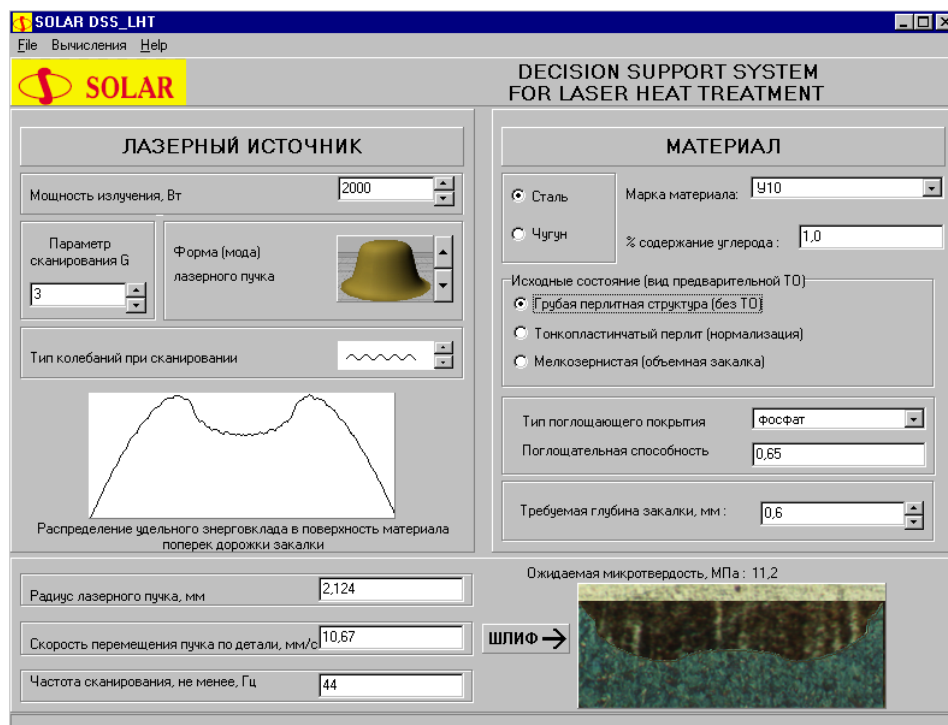


Рис.14.4. Общий вид интерфейса «пользователь-система» для СППР по лазерной закалке.

14. Компьютерные системы поддержки принятия решений
для лазерных технологических процессов обработки материалов

Далее происходит необходимая обработка данных, включающая в себя анализ поступившей информации, решение уравнений теплопроводности, экспертный анализ на основе вложенных в СППР базы экспериментальных данных и базы моделей. В результате система выдает рекомендуемый режим лазерной закалки (радиус лазерного пучка на детали; скорость перемещения пучка по детали; частоту сканирования). Кроме того, система дает оценку формы поперечного сечения закаленной дорожки (как бы вида металлографического шлифа) и ожидаемой микротвердости закаленной зоны. В качестве справочной информации показывается график интегрального тепловложения по ширине закаленной дорожки. Если набор исходных данных был в чем-то некорректным, система сообщит об этом и даст рекомендации по корректировке входных данных. Все это отображается на экране компьютера (см. рис.14.4) и может быть распечатано на принтере в виде отчета.

14.5. Заключение

Экспертные системы и системы поддержки принятия решений становятся новыми мощными средствами, помогающими технологам и менеджерам в решении организационных и технологических проблем управления. Новые средства могут подсказать ответ на вопрос, помочь разобраться в ситуации, но они не заменяют, а лишь дополняют творческие способности человека. СППР сама по себе не сможет породить качественно новый вариант решения, однако такой вариант может возникнуть в процессе диалога человека с СППР. Практикам-производственникам ЭС и СППР дают возможность выбрать оптимальные режимы обработки и лишь проверить их экспериментально на имеющемся лазерном оборудовании, позволяя кардинально сократить время и затраты на предварительные технологические исследования.

Литература

1. Aldo V. La Rocca. "Second generation laser manufacturing systems". 5th International Conference on Industrial Lasers and Laser Applications '95. Shatura, Russia, 24-26 June 1995. SPIE Proc. Vol. 2713, pp. 1-13.
2. С.А.Ильичева, В.С.Майоров, Н.М.Семёшин. "База знаний в лазерных технологиях". Автоматизация проектирования, 1998, № 2(8), с. 16-20.
3. Э.В.Попов. Экспертные системы: Решение неформализованных задач в диалоге с ЭВМ. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 288 с. – (Проблемы искусственного интеллекта).
4. А.Б.Петровский. Компьютерная поддержка принятия решений: современное состояние и перспективы развития // Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник / Под ред. Д. М. Гвишиани, В. Н. Садовского. № 24. 1995-1996. М.: Эдиториал УРСС, 1996. с. 146-178.
5. О.И.Ларичев. Наука и искусство принятия решений. М.: 1979.
6. О.И.Ларичев. Теория и методы принятия решений, а также хроника событий в Волшебных странах. Учебник. М.: Логос. 2000 г. 296 с.
7. А.Б.Петровский, М.Ю.Стернин, В.К.Моргоев, А.Н.Путинцев. Системы поддержки принятия решений для задач прогнозирования и планирования научных исследований. В сб. тез. докл. Всесоюз. конф. «Теория, методология и практика системных исследований». Москва, ВНИИСИ, 1984, секция 10, с. 50-51.
8. Feigenbaum L.A., McCorduck P., The 5-th Generation. Addison-Wesley. Mass., 1983.

14. Компьютерные системы поддержки принятия решений
для лазерных технологических процессов обработки материалов

9. *Е.В.Нарыжный, Ю.В.Низкоус, В.С.Майоров, Е.А.Боговик.* Экспертная система для лазерной обработки материалов // Искусственный Интеллект (научно-теоретический журнал). г. Донецк, Украина. 2000 г. № 2. с. 411-417.
10. *В.С. Майоров, М.Ю.Стернин.* Экспертные системы технологических лазерных процессов// VII международная конференция «Лазерные и лазерно-информационные технологии: фундаментальные проблемы и приложения». Владимир – Суздаль (22-26 июня 2001 г.). Тезисы докладов. с. 74.
11. *V.S.Maiorov, M.Yu.Stermin.* Expert Systems for the Choice of Laser Technology Processes// VII International Conference "Laser and Laser-Information Technologies: Basic Reseaches and Applications". 22-26 June 2001, Vladimir, Suzdal, Shatura. Russia. Proceedings of SPIE, V. 4644, p.p.89-94.
12. *K.D. Althoff, E. Auriol, R. Barietta, M. Manage.* «A Review of Industrial Case-Based Reasoning Tools», AI Intelligence, 1995.
13. *J. R. Quinlan.* «C4.5. Programs for Machine Learning», San Mateo, Morgan Kaufmann, 1993.
14. *С.В.Майоров.* Системы поддержки принятия решений (СППР) как средство компьютерной оптимизации лазерных технологических процессов // Труды VII Межвузовской научной школы молодых специалистов "Концентрированные потоки энергии в космической технике, электронике, экологии и медицине". Москва, 20-21 ноября 2006 г., с. 183-191.
15. *V.S.Mayorov and S.V.Mayorov.* Decision Support Systems for Optimization of Laser Materials Processing // Proceedings of the Third International Conference on Laser Technologies in Welding and Materials Processing. 29 May - 1 June 2007, Ukraine, Crimea, vil. Katsiveli. P. 110-111.
16. *В.С.Майоров.* Система поддержки принятия решений для задачи выбора оптимальных режимов лазерной закалки // Физика и химия обработки материалов. 2001. № 2. с. 91-94.
17. *В.С.Майоров, С.В.Майоров.* Система поддержки принятия решений для лазерной термической обработки // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006612156. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 21.06.2006г. (дата поступления 25.04.2006).