

01, март 2019

УДК 004.891

Современные экспертные САРР-системы в производстве

*Храмов А. А., магистр
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Компьютерные системы автоматизации производства»
hramov.andrey@inbox.ru*

*Серегин С. Г., магистр
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Компьютерные системы автоматизации производства»
ploombear@gmail.com*

*Научный руководитель: Петренко Е.О., к.т.н, доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
arbuzov41@mail.ru*

Аннотация: При управлении сложными многопараметрическими и сильносвязанными системами и объектами, производственными и технологическими процессами приходится сталкиваться с решением неформализуемых, либо трудноформализуемых задач. Их основными областями обычно выступает: авиация, военная промышленность, химия, энергетика, производство, металлургия. Цель статьи рассмотреть экспертные САРР-системы, применяемые в производстве для решения интеллектуальных задач, подробно разобрать существующие проблемы. В работе были рассмотрены базовые принципы построения экспертных систем, проведен анализ САРР-систем.

Ключевые слова: технологический процесс (manufacturing process), экспертные системы (expert systems), программные средства (software), автоматизированная система ТПП (САРР system), автоматизация технологических процессов (automation of business processes).

Введение

САРР-система – это автоматизированная система технологической подготовки производства или программные продукты, которые автоматизируют процесс подготовки производства. Экспертные САРР-системы получили широкое применение как в российской, так и в зарубежной промышленности, что несомненно говорит о значимости

таких систем. Для более полного понимания темы в статье рассматриваются наиболее часто применяемые программные продукты, изучаются особенности их работы.

В современное время важное значение приобретает способность манипулировать различной информацией и рационально использовать ее с помощью алгоритмов обработки, реализуемых в программном обеспечении. Как следствие, в качестве предмета научных исследований выступает разработка искусственного интеллекта (ИИ) и экспертных систем (ЭС). Наиболее полным определением ЭС является трактовка их в качестве производной формы ИИ, объединяющей возможности вычислительной работы компьютера и знания, опыт человека – эксперта. Данная форма способна на основе определенных данных дать разумный совет, предложить разумное решение, пояснить ход своих вычислений и представить это в качестве логической цепочки.

Основная цель экспертной системы – решать конкретные задачи на базе знаний специалиста в определенной предметной отрасли, которые положены в основу путем программирования, тем самым заменяя работу эксперта. Главным достоинством экспертных систем является предоставление возможности накапливать знания, сохранять их на протяжении долгого времени, а также обновлять. Это обеспечивает некоторую независимость организации от наличия того или иного квалифицированного специалиста. Существуют различные виды экспертных систем: на основе назначения, отраслевой спецификации и метода представления информации (рис. 1).



Рис. 1. Деление экспертных систем относительно их назначения

В настоящее время экспертные системы используются в различных предметных направлениях: военные, геологические, инженерные, информационные, медицинские, юридические и другие системы. Но их большее распространение сдерживает их сложность, дорогая стоимость и особенно узкий профиль созданных программ. Качество той или иной экспертной системы определяет размер базы знаний и корректное

представление правил в ней. Относительно метода предоставления знаний экспертные системы делятся на традиционные и гибридные (рис. 2).



Рис. 2. Деление экспертных систем относительно представления данных

Экспертные системы, как и любая другая компьютерная программа, обладают определенной структурой. В качестве структурных элементов выступают решатель (интерпретатор), рабочая память, компоненты приобретения знаний, объяснительный компонент и диалоговый компонент. Под рабочей памятью понимается база данных и память, задействованная под процессы программного обеспечения (рис. 3).

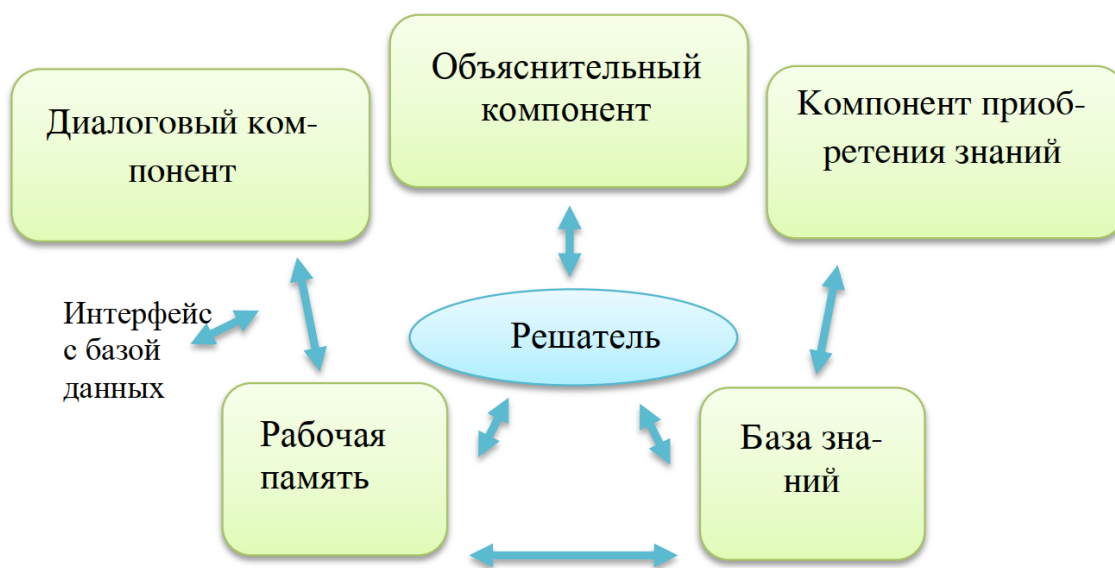


Рис. 3. Структура экспертной системы

Как видно из схемы, ядром экспертной системы является решатель. Данный элемент использует исходные данные базы данных, получает правила из базы знаний, на основе чего выполняет алгоритм получения решения. Различием между базой данных и базой знаний является то, что первая предназначена для хранения исходных и промежуточных данных, а вторая – для правил, которые описывают логику принятия решения. Компонент приобретения знаний предназначен для автоматизации процесса наполнения экспертной системы знаниями, который осуществляется пользователем –

экспертом. Объяснительный компонент предназначен для пояснения того, как система получила решение задачи, и какие знания были использованы, что повышает доверие к полученному результату.

Экспертные системы получили свое применение в машиностроительном производстве. Описание технологии производства на основе маршрутно-операционных технологических процессов (ТП) является характерной спецификой российского машиностроительного производства. Маршрутно-операционная технология традиционно стала основой для планирования всего производственного процесса, в связи с чем внедрение самых различных средств и систем для его автоматизации в обозримом будущем не приведет к отказу от разработки маршрутно-операционной технологической документации в виде различных типов технологических карт. Для этих задач разработаны CAPP-системы (Computer-Aided Process Planning), которые в большинстве случаев используют модель экспертных систем. Они обеспечивают автоматизированное проектирование технологической документации этого типа.

В настоящее время на предприятиях применяется, главным образом, диалоговый метод проектирования технологической документации, что обусловлено использованием унифицированных CAPP-систем, таких, как «Вертикаль», «Adem Технология», «Sprut Технология» и «Intermech». Среди унифицированных систем отдельно можно выделить систему «T-Flex Технология» [3, 4, 5], содержащую в себе диалоговые средства для автоматического синтеза маршрутно-операционных технологических процессов. В [1, 2, 6, 8] описана методология автоматического проектирования технологических процессов механической обработки тел вращения и корпусных деталей. Рассмотрим возможности применения данной методологии для автоматизации проектирования маршрутно-операционных технологических процессов сборки печатных плат на основе CAPP-системы «T-Flex Технология».

Типовой техпроцесс сборки печатных плат можно описать последовательностью следующих операций [7]:

1. Комплектующая операция;
2. Входной контроль ИМС и ЭРЭ;
3. Входной контроль печатной платы;
4. Формовка и обрезка выводов элементов;
5. Лужение выводов ИМС и ЭРЭ;
6. Подготовка печатной платы к монтажу;
7. Установка элементов на печатную плату;

8. Флюсование;
9. Пайка;
10. Удаление флюса;
11. Контроль качества пайки;
12. Нанесение изолирующих покрытий (лакировка).

В указанную последовательность в зависимости от серийности производства и, соответственно, большей или меньшей степени применения ручного труда монтажников или автоматизированного оборудования, возможно внесение более подробного описания технологического процесса с дополнением технологических операций. Так, например, возможно введение операций закрепления соединителей, наклейки на печатную плату изолирующих прокладок под интегральную микросхему (ИМС), закрепления (приклеивания) ИМС, введение операции по установке лепестков и др. Операции для конкретного техпроцесса сборки электронного модуля будут описываться операционной технологией, содержащей последовательность технологических переходов.

CAPP-системы предназначены для проектирования обработки изделий на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) и выдачи программ для этих станков (фрезерных, сверлильных, эрозионных, пробивных, токарных, шлифовальных и др.). CAPP-системы еще называют системами технологической подготовки производства. В настоящее время они являются практически единственным способом для изготовления сложнопрофильных деталей и сокращения цикла их производства. В CAPP-системах используется трехмерная модель детали, созданная в CAD-системе.

Традиционно существует деление CAPP-систем на системы верхнего, среднего и нижнего уровней. Следует отметить, что это деление является достаточно условным, т.к. сейчас наблюдается тенденция приближения систем среднего уровня к системам верхнего уровня. Наиболее известными CAD/CAM-системами среднего уровня на основе ядра ACIS являются «ADEM (OmegaTechnology)», «Cimatron», «Mastercam».

Любые объекты CAPP могут быть использованы для построения объемных тел, также реализованы практически все известные методы построения объемных тел: смещение, движение, вращение, по сечениям, по сетке, слияние и др. Многие виды построения в системе имеют дополнительные возможности, например, учет нормали к опорной поверхности.

Наиболее продвинутым новшеством в CAPP-системах является возможность автоматического проектирования технологических операций и переходов для обработки различных конструктивно-технологических элементов (КТЭ) детали. Для выбранного КТЭ и задания его параметров система самостоятельно предложит несколько вариантов

его обработки. В итоге, после выбора одного из них в дереве ТП создадутся все необходимые операции и переходы для обработки данного элемента с подобранными режущими, вспомогательными и измерительными инструментами. База знаний систем позволяет накапливать подобные КТЭ и создавать свои варианты их обработки. Это значительно ускоряет процесс проектирования ТП. В основе таких САРР-систем, кроме дерева самого ТП, лежит дерево КТЭ. Однако, системы могут проектировать обработку КТЭ лишь простых форм, для автоматизации обработки КТЭ сложных форм необходимо создание более прогрессивных алгоритмов.

Еще одним новшеством в САРР-системах является применение семантического подхода, который осуществляет перенос логики взаимосвязи технологических объектов из модели ТП в семантическую модель справочных данных. Это упрощает настройку и конфигурирование объектной модели и дает ряд преимуществ.

Удобной возможностью в системах является навигация в ТП по 3D-модели. Если встать курсором на переход в дереве технологического процесса, то на модели подсветятся поверхности, к которым он относится, а в соседнем окне будет выведена информация по данному КТЭ. Подобные связи двухсторонние – если выделить поверхность на 3D -модели, курсор переместится на технологический переход, соответствующий обработке данной поверхности.

Информация с 2D-чертежа детали может быть передана и использована в САРР-системе. Используется специальная настройка базы данных технологических элементов. Таким образом, для выбранной операции база данных предложит только соответствующее ей оборудование, также для конкретного перехода будет доступно соответствующее только ему оснащение.

В современных САРР-системах существует множество хороших возможностей. Одна из них проектирование ТП на основе 3D-модели, но реализация подобного проектирования встречает ряд проблем.

Проектирование ТП должно осуществляться непосредственно с 3D-модели детали, при этом большинство задач должно решаться системой самостоятельно. Ниже описаны существующие проблемы.

Структура технологической информации в российском машиностроении плохо поддается автоматизации, необходима реорганизация машиностроения. Наиболее прогрессивный метод организации машиностроения предлагает модульный принцип. Он призван связать в единую систему проектирование изделий, разработку технологических процессов, создание средств технологического оснащения и организацию производственных процессов. Для этого необходимо создание взаимосвязанных

классификаций конструктивных элементов (модулей поверхностей), технологических процессов и технологического оснащения, что в свою очередь на сегодняшний день представляет определенные трудности [1].

Несовершенство 3D-моделей представляет собой большую проблему, так как 3D - модель не содержит сведений, описывающих все ее конструктивные элементы. Проектирование 3D-моделей с использованием КТЭ возможно и сегодня, однако, во-первых, пока в системах реализованы элементы довольно простых форм, а во-вторых, для конструкторов проектирование такой модели создает дополнительные сложности. Отсутствие «продвинутых» 3D -моделей говорит и о низкой степени автоматизации САРР-систем, многие системы представляют собой простую базу данных, работающих в диалоговом режиме.

Следующей проблемой является параметризация ТП, при изменении модели должны автоматически изменяться эскизы, операции, переходы, режимы обработки, нормы времени и т.д. Данная возможность в современных системах достаточно ограничена и требует обязательного развития.

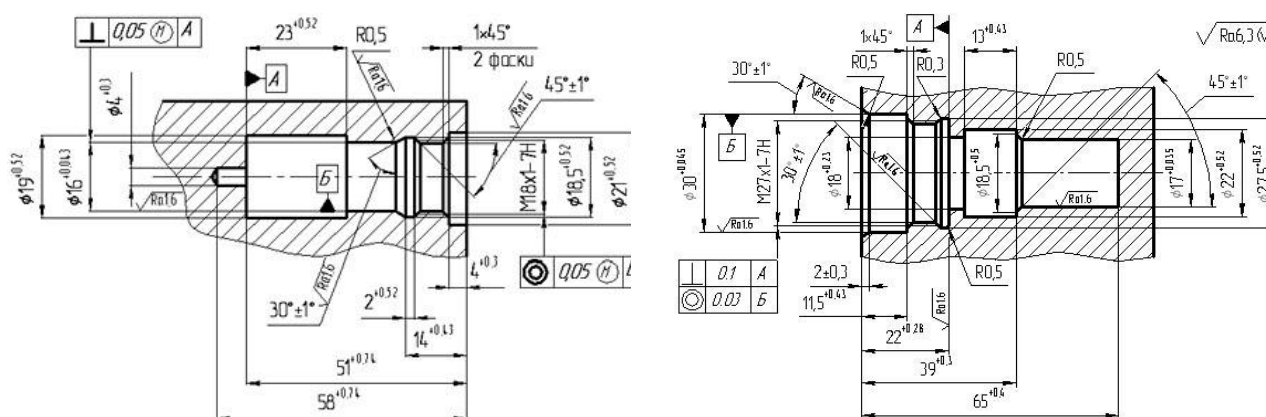
Еще одной распространенной проблемой является слабая интеграция САРР-систем с различными САД-системами. Современные САРР-системы жестко связаны с одной какой-либо САД-системой, таким образом, при использовании моделей из других САД-систем, САРР-система теряет множество возможностей и не дает максимального эффекта от ее использования. Часто появляется необходимость строить новую модель для проектирования ТП.

Также необходима интеграция САРР-системы с программным обеспечением многих других служб. САРР-система должна работать в едином информационном пространстве предприятия, в котором спроектированный ТП, представляет исходные данные для других производственных служб, занимающихся определением трудоемкости изготовления изделия, потребности в ресурсах, планированием производства и т.д. Информация из ТП должна считываться в программы производственных служб автоматически. Таким образом, в едином информационном пространстве возможно наиболее быстрое решение экономических, производственных и организационных задач предприятия.

Существует ряд и других проблем, препятствующих автоматизации технологических процессов, все они, при детальном их рассмотрении, поддаются решению различными способами.

Для решения проблем автоматизации ТП и создания действительно интеллектуальной САРР-системы необходим комплексный подход. Совершенствование

Такие алгоритмы представляют собой интегрирование решений нескольких задач в одно общее решение. Примером может служить разработанный алгоритм для проектирования обработки точных отверстий произвольных, сложных форм (рис. 4).



Алгоритм реализует взаимосвязанное решение следующих задач: назначение технологической схемы обработки отверстия, выбор режущих инструментов и расчет основных параметров обработки. Именно взаимосвязанное решение данных задач и позволило осуществить «сквозное» проектирование обработки точного отверстия произвольной сложной формы [2]. Данный алгоритм был реализован в автоматизированной системе «САПР ТПП ЧПУ» v.1.0 (рис. 5), показавшей успешные результаты проектирования точных отверстий произвольных сложных форм [3].

Такой подход значительно повышает степень автоматизации САРР-систем, и вполне соответствует закону предельной автоматизации: «Решение большинства задач должно требовать минимального количества усилий со стороны пользователя. В идеале – ни одного.».

Параметризация становится также более простой, так при изменении КТЭ на 3D-модели данный алгоритм пересмотрит всю его обработку заново, заменит все необходимые переходы, инструменты и параметры обработки в ТП автоматически.



Рис. 5. «САПР ТПП ЧПУ» v.1.0

Для решения представленных проблем сформулированы основные принципы автоматизации проектирования технологических процессов для создания интеллектуальных систем и организации виртуального производства [5].

Выводы

В развитии САРР-систем необходимо стремление к созданию интеллектуальных систем, использованию искусственного интеллекта. Существующие системы пока не соответствуют этому, но на сегодняшний день дают некоторый позитивный эффект.

В любом случае необходимо помнить, что максимальный эффект будет получен от тех САРР-систем, в которых:

1. База знаний будет наиболее полной и максимально настроенной под конкретное предприятие;
2. Интеграция с САД-системами будет наиболее развитой;
3. Параметризация будет наиболее полной. При изменении 3D-модели автоматически изменяются эскизы, операции, переходы, нормы, режимы и т.д.;
4. Степень автоматизации будет максимально возможной. Наиболее распространенные действия должны решаться минимальным числом нажатия клавиш;
5. Имеются наиболее полные функциональные возможности, которые необходимы технологам.

Заключение

Многие заводы ведут разработку комплексов экспертных систем, согласно задачам, которые стоят в их организациях. Они позволяют решить задачи экономической направленности, а также проблему нехватки квалифицированного персонала. Экспертные САРР-системы несомненно эффективны в решении проблем подготовки производства, что позволяет повысить оперативность разработки технологических процессов, уменьшить требования к квалификации специалиста и, как следствие, эта технология положительно сказывается на экономических аспектах фирмы.

Список литературы

- [1]. Базров Б.М. Модульная технология в машиностроении. М.: Машиностроение, 2001. 368 с.
- [2]. Михалев О.Н., Янющкин А.С., Попов А.Ю. Современный подход к автоматизации технологической подготовки производства // Автоматизация и современные технологии. М.: Машиностроение, 2011. № 4. С. 39-43.
- [3]. Янющкин А.С., Михалев О.Н. Система автоматизированного проектирования технологической подготовки производства на станках с ЧПУ: пат. 2008615315 Российская Федерация. 2008. 5 с.
- [4]. Михалев О.Н. Обзор систем автоматизированного проектирования технологических процессов. Режим доступа: <http://www.insoftmach.ru/CAPP.html> (дата обращения 15.10.2018).
- [5]. Михалев О.Н., Янющкин А.С. Основные принципы автоматизации проектирования технологических процессов для создания интеллектуальных CAD/CAM-систем и организации виртуального производства // Журнал БрГУ. Сер. Машины и технологии. 2011. № 3. С.171-175.
- [6]. Сазыкин В.Г., Кудряков А.Г. Принятие решений при управлении сложными системами // Сборник статей Международной научно-практической конференции. 2014. № 3: Актуальные проблемы современной науки. С. 37-39.
- [7]. Долженко Е.Н., Монич А.И., Кудряков А.Г., Сазыкин В.Г. Модель экспертной оценки в экологическом менеджменте предприятия // Международный научно-исследовательский журнал. Экономические науки. 2016. № 5-1. С. 75-78.
- [8]. Сазыкин В.Г., Кудряков А.Г., Пронь В.В. Особенности эксплуатации и мониторинга сельских районных подстанций напряжением 35-110 кВ // Символ науки. Энергетика. 2015. № 10. С. 30-32.

- [9]. Giraud G., Lockeretz W. Evropeiskie produkt v organicheskikh etiketkah[Organic and Origin-Labeled Food Products in Europe]. Boston. Tufts University Publ., 2003. 41 p.
- [10]. Фесенко Р.С. Рециклинг как механизм эколого-экономической сбалансированности регионального развития // Экономические и социальные перемены. Экономические науки. 2011. № 5. С. 161-169
- [11]. Tan C.F. Primenenie ekspertnoi sistemy[The application of expert system]. Canada. ARPN International Journal of Engineering and Applied Sciences., 2006. pp. 16-23.
- [12]. Elaakil R. Ekstraktsiia i predstavlenie tehnikeskikh dannykh v ekspertnoi sisteme CAPP [Technical Data Extraction and Representation in Expert CAPP System]. GB. Transactions on Machine Learning and Artificial Intelligence., 2017. 20 p.
- [13]. Francino P. N., Huff F. C., Foster D.G. Sistema optimizatsii s ispolzovaniem iteratsionno svyazannogo ekspertnogo dvigatelya[Optimization system using an iteratively coupled expert engine]. Patent USA, no. 8880202. 2014.
- [14]. Chtourou H., Masmoudi W., Maalej A. Ekspertnaya sistema dlia vybora stankov[An expert system for manufacturing systems machine selection]. UK. Expert Systems with Applications., 2005. pp. 16-31.
- [15]. Хабаров С.П. Интеллектуальные информационные системы. Режим доступа: http://www.habarov.spb.ru/new_es/index.htm (дата обращения 17.10.2018).
- [16]. Суменков М.С. Экспертные системы при принятии решений на предприятии. Режим доступа: http://www.bmpravo.ru/show_stat.php?stat=193 (дата обращения 16.10.2018).