

УДК 621.7.681.31

В.Д. Цветков

ТЕОРИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ САПР

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Проектирование технических систем и технологических процессов относится к числу сложных и малоизученных задач системно-структурного анализа и синтеза, постановка которых в общем виде сводится к следующему. По заданной технической функции F и множеству Z значений эксплуатационных характеристик системы необходимо синтезировать наиболее рациональные при установленных ограничениях структуру и конструкцию системы, определить оптимальные размерно-точностные параметры ее конструктивных элементов.

Основные особенности проектных задач сводятся к следующему. Недостаточность исходных данных для получения проектных решений требуемой степени детализации. Например, по описанию технической функции и параметров изделия невозможно непосредственно получить рабочие чертежи. Для этого необходимо выполнить несколько стадий проектирования. Обобщенный и неконкретных характер технических ограничений и критерия оптимальности, не позволяющий выразить их в явном виде через структуру и параметры проектируемого изделия.

Исследовательский характер основных проектных задач, связанный с тем, что сложные комбинации в пространстве из известных конструктивных элементов и варьирование их параметрами могут привести к непредвиденным результатам функционирования. Кроме того, необходимо учитывать многовариантность проектных задач, не допускающих их решения переборными методами. Указанные особенности позволяют отнести проектирование к особому классу интеллектуальных задач, основу которых составляет функциональный синтез и преобразование моделей пространственных образов конструкций, состоящий из большого числа взаимосвязанных конструктивных элементов.

Интеллектуальными будем считать программно-информационные комплексы, осуществляющие выбор решений на основе эвристического моделирования творческой деятельности инженера-проектировщика. Интеллект специалиста многогранен в своих проявлениях. В наших системах реализованы некоторые из них:

- представление алгоритмов выбора решений плохо формализуемых задач в виде правил продукции "ЕСЛИ ... ТО ...";
- создание более универсальной базы данных и знаний на основе различных форм представления информации (табличной, текстовой, графической и др.), как это характерно для интеллекта проектировщика;
- взаимодействие (интерфейс) проектировщика с ЭВМ осуществляется на ограниченном естественном языке технической прозы;
- адаптивность программно-информационного комплекса достигается путем замены нормативно-справочных данных и содержания правил выбора конструкторских решений без изменения принятых форм их представления и программ обработки.

За последние годы основу большинства интеллектуальных систем выбора решений составлял экспертный подход. Считалось, что знания, которыми пользуется проектировщик, можно выделить и систематизировать в виде структур “ЕСЛИ ... ТО ...”, а затем построить инструментальную оболочку, которая работала бы с этими правилами.

Первые экспертные системы, построенные для узких предметных областей (диагностика заболеваний, геология, химия и др.), породили иллюзию, что ключ к построению интеллектуальных компьютерных систем найден и что сейчас необходимо массовое производство экспертных систем для различных областей народного хозяйства. Однако, на этом пути разработчиков ожидали большие трудности. Оказалось, что необходимые знания у специалиста получить либо невозможно, либо очень трудно. Специфика творческой работы такова, что специалист может решить задачу, но объяснить то, как он это сделал, не может. Решение пришло на уровне подсознания. И, чем специалист более творческий, тем меньше всего он способен объяснить и описать творческий акт порождения инженерного решения.

Вторая трудность связана с тем, что для реальных систем требовались разнообразные формы представления знаний: структурно-сложные записи, фреймы, графы и отношения, правила продукций, вычислительные алгоритмы и др. Экспертные системы с их преимущественно продукционным подходом к представлению знаний не отвечали этим требованиям. Кроме того, упускалось из вида, что любая интеллектуальная система включает в себя формализованную часть, решаемую по строгим алгоритмам, эвристическую компоненту, справочно-нормативную базу данных и знаний. Интеллектуальные системы должны иметь средства для представления разнообразных по форме данных и знаний, алгоритмов построения и выбора проектных решений. Экспертные системы на это также не были рассчитаны.

Существенным недостатком экспертного подхода является узость применения выявленных знаний и пригодность их для решения небольшой группы проектных задач в определенной предметной области. Для дальнейшего развития САПР, особенно в области синтеза проектных решений, требовалось теоретическое осмысление накопленного опыта и знаний и построение на этой основе теории автоматизированного проектирования (ТАП) как научного фундамента для построения высоко эффективных программно информационных комплексов автоматизированных систем конструирования и технологического проектирования.

В виду системного характера объектов и процессов проектирования основной метод теории проектирования – системно-структурное моделирование. Оно включает в себя две взаимосвязанных ветви: аналитическую и синтетическую. Первая направлена на изучение и анализ структур и функций Т-систем, на выявление закономерностей преобразования в многоуровневой структуре свойств и функций отдельных конструктивных элементов в функции и свойства целостной системы. Синтетическая ветвь теории связана с изучением методов синтеза по заданной технической функции и набору информационных характеристик наиболее эффективных реализующих ее структур и конструкций.

В методологическом плане системно-структурное моделирование опирается на системный подход и математические методы общей теории систем. При этом другие виды моделирования (операционное, ситуационное, имитационное) широко используются как его компоненты. Однако системно-структурное моделирование не сводится ни к одному из указанных видов, ни к их совокупности. Оно призвано решать новые классы проектных задач многоуровневого функционально структурного анализа и синтеза технических систем.

Теория проектирования строится в два этапа. Вначале на базе системного обобщения имеющихся знаний и опыта проектирования формулируется и обосновывается множество исходных посылок и принципов. Они представляют собой наиболее общие

и фундаментальные закономерности технических систем и процессов их проектирования.

На втором этапе, на базе полученных исходных посылок и принципов “сверху вниз”, т.е. от абстрактного к конкретному, разворачивается целостная система более частных утверждений и следствий, определяющих формирование и выбор рациональных проектных решений в выбранной предметной области. Этот вывод осуществляется путем интерпретации и детализации общих принципов и утверждений в более конкретные на основе знаний и опыта проектирования.

Построенная таким образом теория автоматизированного проектирования имеет иерархическое строение. В ней можно выделить четыре слоя: общесистемный, проблемный, объектный и программно-информационный. Общесистемные принципы и утверждения определяют инвариантные закономерности процесса проектирования, справедливые для различных классов технических систем (принцип многоуровневой декомпозиции процессов проектирования, принцип совместимости взаимодействующих систем и их компонентов и др.).

Исходные посылки и утверждения проблемного слоя и теории отражают закономерности проблемной области и их влияние на структуру и содержание проектных процессов. В связи с этим проблемные теории проектирования станков, автомобилей, зубчатых механизмов, технологических процессов будут отличаться друг от друга. Объектные закономерности характеризуют прогрессивные традиции проектирования и производства объектов определенного типа на конкретных предприятиях. Так, конструирование малолитражных автомобилей или гражданских самолетов на каждом предприятии имеет свои особенности, не учитывать которые нельзя. Программно-информационный слой теории содержит закономерности теории программирования, хранения и поиска конструкторско-технологических данных и знаний в памяти ЭВМ и др. Этот слой теории разрабатывается на основе закономерностей и правил, выявленных в проблемном и объектном ее слоях.

Принципы и утверждения первых двух слоев теории не зависят от конкретного предприятия и типа проектируемого объекта, т.е. являются инвариантной основой программно-информационного комплекса САПР. В то время как объектный слой теории подвергается настройке при переходе от одного предприятия к другому и составляет изменяемую адаптируемую часть системы.

При хорошо разработанной теории проектирования утверждения проблемного и объектных слоев определяет не только оптимальное решение проектной задачи, но наиболее эффективный (с минимальным перебором) путь его получения.

В качестве примера, иллюстрирующего предложенный подход к построению теории проектирования, рассмотрим ее фрагмент, основанный на принципе системной совместимости. Этот принцип относится к системному слою теории и формулируется следующим образом.

Совокупность объектов может быть объединена в систему, если их функции взаимно дополняют друг друга и направлены на выполнение общих функций всей системы, а структурные, конструктивные и размерно-точностные связи и отношения объектов обладают такой общностью, благодаря которой обеспечивается их совместное функционирование как единого целого в соответствии с заданными техническими требованиями.

Естественно, что объекты, совместимые между собой, могут быть выбраны в качестве допустимых при синтезе Т-систем. На основе этого принципа в проблемной области технологического проектирования сформулированы и обоснованы важные исходные посылки и утверждения, определяющие выбор допустимых методов обработки, технологических баз, станочного оборудования, инструмента и др. Так, выбор допус-

тимых методов обработки поверхностей детали производится на основе следующего утверждения.

Утверждение 1. Метод обработки μ технологически совместим с обрабатываемой поверхностью и может быть выбран в качестве допустимого, если выполняются следующие условия:

а) форма поверхности является элементом множества форм, получаемых с помощью данного метода $\Phi_k \in \{\Phi_i\}$

б) точность размеров ТР и взаимного положения ТВ, шероховатость RA должны находиться в пределах от экономически целесообразных до технически допустимых для данного метода обработки

$$TP = (TP_{эк} \div TP_{дон})\mu,$$

$$TB = (TB_{эк} \div TB_{дон})\mu,$$

$$RA = (RA_{эк} \div RA_{дон})\mu;$$

с) твердость HRC, полученная на предшествующих операциях, обеспечивает нормальные условия резания выбранным методом

$$HRC \leq HRC_{дон}$$

соотношения а), б) и с) образуют модель выбора методов обработки в проблемном слое теории технологического проектирования. В объектном слое теории с помощью экспертных знаний данное утверждение преобразуется в совокупность правил выбора различных методов обработки (точение, фрезерование и др.). Они отражают специфику обрабатываемых деталей и условия конкретного производства. Так, правила назначения чистового фрезерования будут представлять следующую интерпретацию утверждения 1:

ЕСЛИ :

ОП – плоскость, уступ, паз

ТР \geq 8-9 кв.

ТВ $>$ 0.15 \div 0.1

HRC \leq 36

ТО : метод обработки – фрезерование.

В конкретных САПР могут быть десятки правил выбора методов обработки поверхностей. Все они являются конкретной интерпретацией утверждения 1. Сравнивая структуру и форму представления правил выбора решений в объектном слое теории проектирования и в экспертных системах, видно, что они аналогичны. Вначале следует конъюнкция условий, определяющих выбор решений, а затем соответствующие им решения (метод обработки, станок, инструмент и др.).

Таким образом, правила продукции, посредством которых описывается значительная часть базы знаний в САПР, могут быть отнесены к объектному слою теории проектирования. Это связано с тем, что они обобщают опыт работы специалистов-экспертов в определенной предметной области и учитывают особенности конкретных предприятий. Однако правила выбора решений объектного слоя теории по сравнению с правилами - продукции более обоснованы и полны, т.к. они являются конкретной интерпретацией теоретических утверждений, а не только отражают мнения экспертов, которые часто бывают противоречивыми и неточными. В этом плане знания, закладываемые в САПР, на основе теории проектирования научно обоснованы и более стабильны, чем знания в экспертных системах.

Из изложенного выше вытекает: в современных условиях теория проектирования технических систем необходима как рабочий аппарат для создания и развития высокоэффективных методов как традиционного, так и автоматизированного проектирования. Она позволяет преодолеть существующий эмпиризм в проектировании и дает возмож-

ность создавать научно обоснованные методики и программные информационные комплексы САПР.

Литература. Цветков В.Д. Системные основы теории автоматизированного проектирования. //Весті АН БССР Сер. Фіз-тэхн.наук., 1986, № 1, с.110-116.

УДК 621.7.681.31

И.С. Кузьмин, В.Н. Ражиков

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ УСТРОЙСТВ ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ АВТОМАТИКИ

*Балтийский государственный технический университет
Санкт-Петербург, Россия*

Электромеханические привода устройств исполнительной автоматики могут входить в состав изделий различного назначения; авиационно-космического, радиолокационного, спутниковой связи и др. Выбор конструктивного решения каждого элемента привода предполагает учет эксплуатационных и специальных требований, технологических возможностей производства, стоимости материалов и изготовления и др. Эти требования часто носят противоречивый характер, поэтому выбор оптимального варианта целесообразно производить на основе конструкторской проработки нескольких решений. Учитывая это весьма актуальным является создание системы автоматизированного проектирования (САПР), которая может значительно облегчить поставленную задачу.

Созданная система автоматизированного проектирования базируется на нескольких моделях, описывающих процессы, сопровождающие функционирование элементов привода и выход их из строя. К таким моделям относятся: модель колебательных процессов и расчета действующей нагрузки между сопряженными поверхностями звеньев; модель описывающая процессы смазывания трущихся поверхностей и изменения этих процессов при длительной эксплуатации привода; модель теплового состояния звеньев привода и модель изнашивания. Рассмотрим модели более подробно.

Известно, что колебательные процессы, сопровождающие эксплуатацию приводов исполнительной автоматики являются одним из важнейших факторов, оказывающих влияние на надежность и долговечность, так как эти процессы определяют величины действующих нагрузок и характер их приложения зубчатых зацеплениях, подшипниках, муфтах и других элементах кинематических цепей. Интенсивность колебательных процессов зависит от большого числа параметров, среди которых следует выделить погрешности изготовления и монтажа звеньев, параметры связанные с конструктивным выполнением, режимы эксплуатации, характеристика электродвигателя и др. Для учета этих факторов в САПР вводится модуль расчета многозначной функции кинематической погрешности простейшей кинематической цепи, который определяет погрешности нарезания зубчатых колес, учитывает погрешности монтажа, погрешности выбранных подшипников качения и другие.

Для расчета колебательных процессов вводится модуль расчета, построенный для простейшей кинематической цепи на базе четырехмассовой колебательной модели, учитывающей, помимо многозначной функции кинематической погрешности, внешние источники возмущения от соседних кинематических пар, а также крутильные жесткости валов, жесткости зубчатых пар, подшипников. Кроме этого в модуль вводятся па-