

На правах рукописи

Попович Алексей Владимирович

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ
ОБРАБОТКИ ТИПОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ДЕТАЛЯХ**

Специальность 05.13.12 – Системы автоматизации проектирования
(промышленность)

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ульяновск 2012

Работа выполнена на кафедре «Основы проектирования машин» Ульяновского государственного технического университета

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Дьяков Иван Федорович

Официальные оппоненты: **Соснин Петр Иванович**
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Вычислительная
техника» ФГБОУ ВПО УлГТУ

Ларин Сергей Николаевич

кандидат технических наук, доцент,
начальник комплексно-технологического
отдела НПО «МАРС»

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО Ульяновский Государственный университет

Защита состоится **«21» ноября 2012 г. в 15 часов** на заседании диссертационного совета Д212.277.01 при Ульяновском государственном техническом университете по адресу: 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32 (ауд. 211, Главный корпус).

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Ульяновского государственного технического университета

Автореферат разослан **«18» октября 2012 г.**

Ученый секретарь
диссертационного совета
д.т.н., профессор

_____ В.И. Смирнов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В современном машиностроении одной из важнейших задач, является повышения конкурентоспособности и качества выпускаемой продукции. В широкой номенклатуре деталей, представленных в различных отраслях отечественной промышленности, присутствует такое понятие, как типовые элементы. Типовые элементы дифференцированы по трем основным группам: отверстия, пазы и карманы. Каждому элементу соответствует свой вид, метод и стратегия механической обработки.

При описании процесса механической обработки, необходимо использование технологических знаний и опыта пользователя САПР с целью формирования специальных команд по управлению перемещением режущего инструмента. Данный набор команд является управляющей программой для используемого станка, оснащенного системой ЧПУ. В настоящее время, процесс формирования такой управляющей программы, в которой подробно описываются все операции и технологические переходы в процессе механической обработки деталей, обладает элементами автоматизации посредством использования САПР. Существующие системы моделирования и конструирования твердотельных моделей деталей, позволяют изначально задавать наборы параметров типовым элементам, которые могут быть использованы САПР для автоматических процедур, например, таких, как подбор режущего инструмента.

Постоянное развитие и повсеместное распространение высокоскоростных и производительных обрабатывающих центров, оснащенных системами ЧПУ, вынуждает человека обеспечивать снижение временных затрат на проектирование управляющих программ. Сегодня решение этой задачи является приоритетным и однозначно актуальным явлением, а перед исследователем формализуется цель в разработке перспективной и максимально эффективной системы. В качестве первоначального объекта исследований была выбрана технология механической обработки типовых элементов в деталях различных отраслей отечественного машиностроения.

По результатам проведенного обзора, наглядно отобразилась определенная динамика роста использования и внедрения систем искусственного интеллекта и подобных им алгоритмов, в САПР, системы ЧПУ металлорежущего оборудования и различные производственные процессы. Такие системы способны решать поставленные автором задачи, а в связи с низким процентом их использования в САПР, можно уверенно заявить об уникальности их применения в выбранной тематике исследований.

Разрабатываемая автором интеллектуальная система автоматизированного проектирования управляющих программ должна обладать возможностями автоматизации процессов проектирования программ с использованием интеграции опыта пользователя в САПР, а также способностью самообучения для последующего автоматизированного

пополнения собственной базы данных новыми методиками, и расширением опыта, применяемого программистами на предприятиях страны.

На основании вышеизложенного, диссертационная работа на тему «Интеллектуальная система автоматизированного проектирования управляющих программ для САМ-систем» является актуальной и своевременной.

Цель и задачи исследования. По результатам формулирования области, объекта и предмета исследований вытекает основная цель исследований – это разработка интеллектуальной системы автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки типовых элементов деталей на основе нейронных сетей для сокращения времени проектирования управляющих программ.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие основные задачи:

1. Разработать методику взаимодействия параметров, получаемых из элементов деталей, и параметрами, вводимых пользователем.
2. Разработать средства классификации данных параметров, с дальнейшим обеспечением использования их в среде САПР;
3. Выбрать нейронную сеть с учетом необходимого набора входных и выходных данных, требуемых для успешной механической обработки основных представителей типовых элементов деталей;
4. Описать принцип формирования управляющей программы и принятия решений программистом, с целью реализации процессов обучения и переобучения выбранной нейронной сети;
5. Определить точки интеграции в САМ-модули САПР Unigraphics NX разработанных методик.

Область исследований – разработка и исследование моделей, алгоритмов и методов синтеза и анализа проектных решений, включая конструкторские и технологические решения в САПР/АСТПП, [из паспорта специальности 05.13.12 – «Системы автоматизации проектирования (по техническим наукам – промышленность)»].

Объект исследований – технология проектирования управляющих программ для обработки типовых элементов в современных САД/САМ-системах.

Предмет исследований – технологический процесс обработки типовых элементов в деталях различных отраслей машиностроения с целью снижения временных и человеческих затрат в области проектирования управляющих программ для станков с ЧПУ.

Методы исследования в настоящей работе:

1. Методология функционально-стоимостной инженерии, включающая в своем составе технико-экономические, экономико-математические и физико-математические методы исследований;
2. Методы теоретического исследования, обуславливающие идеализацию процедур с созданием гипотетическим САПР, формализацию процессов

и процедур с составлением и уточнением математического описания процессов испытаний, а также использование теоретического расчета экономической эффективности САПР ТПП.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Получены методики для взаимодействия между параметрами существующих элементов и параметрами, вводимыми пользователями для создания системы автоматизации механической обработки типовых элементов деталей, в рамках выбранной САПР;

2. В разработанной САПР используется интеллектуальная система в виде нейронной сети – многослойного персептрона, с обучением учителем по алгоритму обратного распространения ошибки и возможностью дообучения в процессе дальнейшей работы;

3. Определены точки интеграции разработанных методик в САПР. Определены основные объекты классов и классы, необходимые для взаимодействия между параметрами распознанных элементов и требуемыми критериями механической обработки.

Теоретическая значимость исследований заключается в:

1. Характеристике и структурировании параметров типовых элементов, необходимых для их механической обработки;

2. Обосновании наличия производственно-технологического потенциала комплексной интегрированной САПР ТПП и внедрения её в процессы проектирования управляющих программ для станков с ЧПУ.

3. Раскрытии возможностей применения интеллектуальных систем для автоматизации процессов проектирования управляющих программ и сокращение итераций в процессах принятия решений со стороны человека.

Практическая значимость работы заключается в использовании разработок в сфере САПР ТПП на основе:

1. Совершенствования процедур ручного проектирования управляющих программ для станков с ЧПУ в средах современных САПР;

2. Уменьшение количества итераций, выполняемых человеком в процессе проектирования операций механической обработки в САПР;

3. Опциональная возможность самостоятельного принятия решений по утверждению полученных стратегий механической обработки со стороны разработанной системы;

4. Снижение вероятности возникновения ошибки в процессе принятия решений со стороны человека, что особенно актуально при однотипности и цикличности выполняемых действий.

Базой исследования и верификации послужили производственно-технологические процессы, осуществляемые на площадках предприятия (ООО ИПК «ХАЛТЕК»). В работе рассмотрены примеры использования интеллектуальных систем при обработке трех видов типовых элементов в деталях.

Апробация и внедрение результатов исследований. Основные результаты исследований и экспериментов докладывались на научно-технических

конференциях профессорско-преподавательского состава Ульяновского государственного технического университета (УлГТУ) в 2011 году; на научно-технических конференциях в 2009 году в УВАУГА г. Ульяновск, в 2009 году «Наука-будущее Литвы» г. Вильнюс; получен диплом конкурса инновационных проектов «У.М.Н.И.К.-2010» в 2010 году; получен грант Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере: программа «СТАРТ-2012», направление Н1.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 научных работ, в том числе 2 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 4 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав основного текста, выводов, списка литературы, включающего 127 наименований, содержит 163 страницы машинописного текста, 72 иллюстрации, 28 таблиц и 8 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, дана ее краткая характеристика, сформулированы цель и задачи исследования, изложены основные научные положения и результаты, выносимые на защиту.

В первой главе проводится анализ состояния вопроса и обзор литературы, постановка целей и задач исследования. Включает в себя анализ существующих современных средств и систем автоматизированного проектирования для обработки типовых элементов деталей. В качестве рассматриваемых систем были выбраны САПР Tebis (компании Tebis), Unigraphics NX (компании Siemens), SolidCAM (компании SolidCAM), Feature CAM (компания Delcam), HyperMill (компании OpenMind), Master-Cam (компании MasterCam), Pro/ENGINEER (компании PTC), Catia (компании Dassault Systemes, S.A. и IBM), ESPRIT (компании DP Technology Corp.) Рассматриваются общие принципы и механизмы обработки типовых элементов на примере системы MasterCam, а также использование нейронных сетей и интеллектуальных алгоритмов при описании процессов механической обработки деталей.

Рассмотрена классификация нейронных сетей по типам применимости в области решения различного рода задач. Выбрана нейронная сеть персептронного вида по причине того, что в рамках данной работы решается задача классификации.

При оценке достоинств и недостатков, указанных выше решений, была выбрана библиотека Fast Artificial Neural Network Library (FANN). FANN – бесплатная нейросетевая библиотека, способная реализовать многослойные структуры средствами языка программирования Си, при поддержке кросс-платформенного исполнения с фиксированной или плавающей точкой. FANN включает в себя framework удобный в плане обращения с наборами данных

для обучения. Глобально рассмотрено развитие САМ-технологий с момента появления до настоящего времени.

Представлена классификация доступных типовых элементов, отображенная на рис. 1.



Рис. 1. Классификация типовых элементов

По итогам обзора разработана схема диссертационного исследования, коррелирующая с задачами исследования.

Во второй главе рассмотрены разработанные теоретические методики повышения эффективности и производительности процесса проектирования управляющих программ для станков с числовым программным управлением в САД/САМ-системах путем использования интеллектуальных самообучающихся систем на основе нейронных сетей.

Описывается распознавание типовых элементов как извлечение формы элемента из существующей твердотельной модели детали. При рассмотрении основных подходов при распознавании элементов – был выделен вариант «hint-based», который наиболее эффективно взаимодействует с такими элементами.

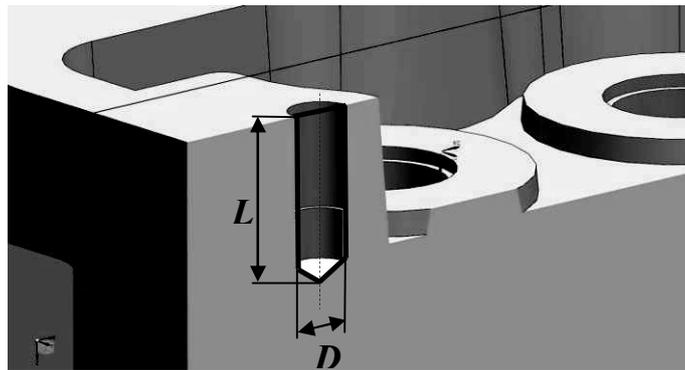


Рис. 2. Эскиз элементарного отверстия

Стандартные типовые элементы имеют ряд параметров, описывающих их геометрию и особенности. В качестве первого объекта для анализа и описания будущей нейронной сети, выбран простой типовой элемент - элементарное отверстие (рис. 2).

Элементарное отверстие описывается следующими параметрами: D – диаметр отверстия; L – его глубина; T – тип дна; M – материал детали.

Основной целью функционирования интеллектуальной системы автоматизированного проектирования является применение и аккумуляция опыта инженера-программиста, выступающего в роли учителя, а также постоянное самосовершенствование и возможность использования любым пользователем. Интеллектуальная составляющая на основе нейронной сети, единожды обученной учителем, позволит использовать его знания и опыт в процессах принятия решений, а также параллельно самообучаться на новых примерах, и решениях задач производства. Реализация такого алгоритма, осуществляющую механическую обработку типовых элементов интеллектуальной системой, в рамках данной научной работы получила название «i-feature» (рис. 3).



Рис. 3. Принцип работы предлагаемой системы «i-feature»

Опыт пользователя в данной системе играет ключевую роль. Разработанными средствами, пользовательский опыт подвергается аккумуляции и актуализации, тем самым, подстраиваясь под условия производства.

В САПР при работе с функциями описания механической обработки деталей, пользователь взаимодействует с рядом параметров. Существуют параметры, которые относятся к обрабатываемым элементам в детали, и параметры – к режущему инструменту, необходимому для их обработки. Часть этих параметров напрямую связана друг с другом, например, диаметр отверстия и диаметр сверла, необходимого для его получения, а часть вводится пользователем и подвергается классификации внутри разработанной системы.

Интеллектуальная система автоматизированного проектирования управляющих программ объединяет в себе средства обработки обеих категорий описанных параметров, передавая необходимый набор переменных в следующие функциональные разделы САПР, а по результатам их работы – пользователю для завершающего утверждения.

Интеллектуальная составляющая системы включает в себя нейронную сеть персептронного вида, а общая логика её работы представлена следующим образом:

- существуют данные об элементах в модели детали, которые сформированы на стадии её конструирования. Эти данные считываются при распознавании элементов в детали или вводятся вручную и являются входными для нейронной сети;

- существуют данные, которые вводятся пользователем в САМ-систему во время его работы в ней, отражая полноценно его опыт и навыки. Эти данные являются выходными для нейронной сети;

- пользовательский опыт в автономном режиме перманентно собирается специальным сборщиком для постоянного самосовершенствования подсистемы и повышение качества решений, которые она впоследствии предлагает;

- входные и выходные параметры формируют обучающие выборки, необходимые для обучения нейронной сети и дальнейшей обработки и выдачи результатов во время работы подсистемы.

В результате работы системы осуществляется соотнесение данных пользователя с данными обрабатываемого типового элемента, после чего необходимый набор значений переменных передается в диалоговое окно на апробацию пользователю. В данном окне пользователь может внести коррективы в предлагаемое системой решение. Далее после утверждения им предложенных результатов – переменные передаются в разделы САПР, отвечающие за генерацию траектории перемещения режущего инструмента и средства пост-процессирования для соответствующей системы ЧПУ.

При работе с интеллектуальной системой, стоит отметить необходимость добавления опыта инженера-программиста нейронной сети после ее первого обучения. В таком случае система «i-feature» в перспективе сможет

предлагать решения по механической обработке нового типового элемента, с отсутствующими геометрическими параметрами в исходной обучающей выборке, но относящегося к представленной в выборке группе. Качество первоначального обучения напрямую сказывается на верности результата, полученного на выходе нейронной сети. В системе реализована возможность дообучения нейронной сети по актуализированным обучающим выборкам. В данном случае, интеллектуальная система обладает преимущественной возможностью адаптации к параметрам, используемыми пользователями на предприятии.

Искусственные нейронные сети (ИНС) строятся по принципам организации и функционирования их биологических аналогов. Очевидно, что процесс функционирования нейронной сети – сущность действий, которые она способна выполнять, зависит от величин синаптических связей. В процессе функционирования нейронная сеть формирует выходной сигнал Y в соответствии с входным сигналом X , реализуя некоторую функцию g :

$$Y = g(X).$$

В качестве примера, создается нейронная сеть для обработки элементарного отверстия в детали. При этом структура сети представляет собой сеть с тремя парами входов-выходов и пятью скрытыми слоями. Количество скрытых слоев определялось по формуле $2n-1$. В качестве входа были выбраны параметры: $L_{\text{отв}}$ – глубина отверстия; $M_{\text{детали}}$ – материал детали; $Mat_{\text{сверла}}$ – материал сверла.

В качестве выходов были выбраны следующие параметры механической обработки: $N_{\text{проходов}}$ – количество проходов; $V_{\text{резания}}$ – скорость резания (м/мин); $F_{\text{подача}}$ – подача (мм/об). Необходимая нейронная сеть для автоматического описания параметров механической обработки элементарного отверстия состоит из двух входных нейронов, трех выходных нейронов, одного скрытого слоя с девятью нейронами и показана на рис. 4.

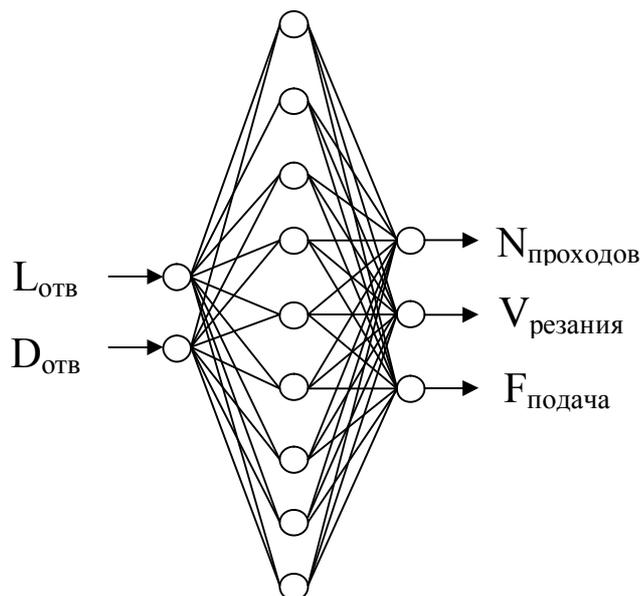


Рис. 4. Структура нейронной сети для элементарного отверстия

Важно отметить, что вся информация, которую сеть приобретает о задаче, содержится в наборе примеров. Поэтому качество обучения сети зависит от количества примеров в обучающей выборке, а также от того, насколько полно эти примеры описывают задачу. Для расчета необходимого количества примеров для обучения сети используют следующую зависимость:

$$E_o \geq \sqrt{\frac{d}{P}};$$

где E_o – ошибка обобщения нейронной сети; d – размерность входов; P – количество примеров в обучающей выборке.

Учитывая, что данные для обучения представлены в целочисленном виде, а нейронная сеть оперирует либо с двоичными, либо с вещественными числами – то необходимо осуществить перевод данных в соответствующую форму. Приведение к единому масштабу обеспечивается нормировкой каждой переменной на диапазон разброса ее значений, а осуществляется это с помощью линейного преобразования:

$$\tilde{x}_i = \frac{x_i - x_{i,\min}}{x_{i,\max} - x_{i,\min}};$$

в единичный отрезок $\tilde{x}_i \in [0, 1]$, где \tilde{x}_i – произвольная компонента нормированных (предобработанных) данных. Среднее количество информации, приносимой каждым примером \tilde{x}_i^α , равно энтропии распределения значений этой компоненты $H(\tilde{x}_i^\alpha)$.

После успешного обучения, необходима проверка работы нейронной сети и верности выдаваемых ей результатов. Для этого формируется тестовая выборка данных. Она отличается от обучающей выборки тем, что ряды данных в ней иные. После работы нейронной сети по тестовой выборке, оценивается результат и принимается решение о возможном переобучении сети, для чего обучающую выборку расширяют, представляя сети большее количество примеров.

При успешном обучении полученные выходы нейронной сети переводят обратно, в понятный пользователю вид по формуле:

$$x_i = \tilde{x}_i \cdot (x_{i,\max} - x_{i,\min}) + x_{i,\min}$$

Интеллектуальная система проектирования способна прогнозировать не только параметры работы инструмента и режимы резания, но и обучаться на основе примеров по стратегиям обработки деталей, что в свою очередь говорит о доступности к передаче ряда параметров, используемых при генерации траекторий перемещения режущего инструмента. В таком случае – нейронная сеть будет обладать дополнительным набором входов и выходов.

Учитывая широкую номенклатуру обрабатываемых материалов и режущего инструмента, было принято решение для каждого сочетания этих параметров создавать собственную нейронную сеть. Т.к. при обучении нейрон-

ной сети все входные параметры должны быть отличными, а при одинаковом типе инструмента или материала, различны лишь режимы резания и параметры траектории. Составление подборки данных для обучения возможно и в автоматическом режиме перед эксплуатацией системы «i-feature». Это реализуется при обычной рядовой работе пользователя в САПР. Все необходимые параметры для нейронной сети, в фоновом режиме собираются специальной подпрограммой, встроенной в «i-feature». Таким же образом осуществляется сбор данных при успешной эксплуатации нейронной сети во время работы САПР и «i-feature». После сбора – данные добавляются к предыдущей обучающей выборке, после чего сеть автоматически переобучается.

Также во второй главе предложен алгоритм интеграции нейронной сети в качестве подпрограммы для САПР NX. Приводится стандартный алгоритм действий при описании механической обработки элементарного отверстия, в пункты которого органично вписывается разработанная система «i-feature».

В третьей главе приводится методика проведения исследований по разработанной подпрограмме, ее назначение, структуры и дается краткое описание работы с ней. На основе теоретических предпосылок по оптимизации процесса программирования типовых элементов в современных САПР были определены основные моменты для проведения экспериментальных исследований:

- взаимодействие с типовыми элементами в САПР UG NX и модуль Feature Based Machining;
- механизм разложения твердотельной модели на объемы, необходимые для механической обработки;
- точки интеграции системы «i-feature» в работу модуля Feature Based Machining;
- взаимодействие классов библиотек Fast Artificial Network с классами UG Open C++;
- рассмотрена общая интеграция в САПР UG NX;
- выбрано соответствующее оборудование и рассмотрены его основные характеристики.

Представлена общая схема взаимодействия между распознанными типовыми элементами и модулями САМ для их механической обработки. Основными объектами приложения механической обработки в UG являются операции, обрабатываемые геометрии, режущие инструменты и параметры обработки. Представлена высокоуровневая модель таких объектов на языке EXPRESS-G.

Действия по механической обработке типовых элементов логически структурированы по группам использования инструмента так, чтобы подбор режущего инструмента осуществлялся наиболее быстрым и оптимальным методом. Также здесь представляется необходимая информация о режущем инструменте и основные параметры механической обработки, такие как скорость резания, величина подачи или подача охлаждения.

Также рассмотрены основные операции механической обработки типовых элементов: операции сверления, торцового и контурного фрезерования с определением необходимых параметров и фрезерование по-уровням.

Представлены основные возможности Open API интерфейса в NX. Приложения NX Open C++ могут быть созданы и скомпилированы в среде Visual Studio, где весь процесс написания такого рода приложений аналогичен обычному программированию в среде разработки. При запуске NX, автоматически загружаются необходимые библиотеки и файлы меню, содержащиеся в директориях Startup и Udo. При загрузке системой NX каждой библиотеки, немедленно исполняются стандартные точки входа. Затем приложение может инициализировать любые события, которые необходимы для содержания меню, диалогов и Udo-действий.

CAD/CAM модули позволяют произвести предварительную обработку и получение данных из твердотельной модели детали. Интерфейс UG CAM инициирует окружение для создания механической обработки, в котором указываются все эти необходимые данные. Система «i-feature» реализована в виде подпрограммы встроенной в UG и написанной на Visual C++ с использованием открытых библиотек UG/Open, которые открывают полный доступ ко всем объектам среды UG, и средств создания интерфейса UG GRIP (GGraphics Interactive Programming).

Для реализации подпрограммы в среде САПР UG NX, необходимо рассмотреть группу классов NXOpen::CAM::NXObject, куда входят следующие группы классов:

- NXOpen::CAM::CAMSetup (Основной класс по обработке событий в САМ-модулях программы, из которого вызываются все процедуры);
- NXOpen::CAM::NCGroup (группы раздела проектирования управляющих программ);
 - NXOpen::CAM::FeatureGeometry (класс для описания геометрии распознанных типовых элементов);
 - NXOpen::CAM::Method (методы механической обработки);
 - NXOpen::CAM::OrientGeometry (установка систем координат);
 - NXOpen::CAM::Tool (описание режущего инструмента);
- NXOpen::CAM::Operation (механообработка деталей).
-

Структура классов NXOpen::CAM::Operation для описания операций механической обработки типовых элементов представлена в виде:

- NXOpen::CAM::HoleMaking (обработка отверстий);
- NXOpen::CAM::MillOperation (обработка карманов, пазов, отверстий);
- NXOpen::CAM::ThreadMilling (фрезерование резьбы).

Для проведения экспериментальных исследований использован металлорежущий станок – пятикоординатный обрабатывающий центр MAZAK VARIAXIS 730-5X II.

Многоцелевые 5–осевые станки серии VARIAXIS оснащаются системой числового программного управления MAZATROL MATRIX.

В четвертой главе рассмотрены результаты работы интеллектуального и линейного алгоритмов. Принцип действия разработанной системы экспериментально подтверждается при обработке элементарного отверстия сверлением. На примере одной операции отображается суть обучения нейронной сети, формирование входящих и выходящих данных, а также графическое отображение процесса обучения и подбор весов для наиболее эффективного результата обучения.

Для работы интеллектуального алгоритма системы «i-feature», выбраны необходимые прогнозируемые параметры, соответствующие входным и выходным переменным (табл. 1). Были выбраны обрабатываемые материалы и материал, из которого изготовлен режущий инструмент.

Таблица 1. Переменные входов и выходов нейронной сети

Параметр	Вход	Выход
Глубина	$L_{\text{отв}}$	$N_{\text{проходов}}$
Диаметр отверстия	$D_{\text{отв}}$	$V_{\text{резания}}$
		$F_{\text{подача}}$

Для обучения также подготовлена обучающая выборка с используемыми программистом режимами и параметрами механической обработки (табл. 2).

Таблица 2. Таблица данных для обучения нейронной сети

№	Вход	Вход	Выход	Выход	Выход
1	diam	depth	npro	speed	feed
2	1	7	2	80	0.1
3	1.5	6	2	80	0.1
4	2	4	1	80	0.1
5	2.5	8	3	80	0.1
...					
196	13.5	6	4	60	0.12
197	14	6	4	60	0.12
198	14.5	5	3	60	0.12
199	15	24	15	60	0.12
200	15.5	28	17	60	0.12

При обучении нейронной сети использовалась сигмоида, показанная на рис. 10. Условием окончания обучения было поставлена средняя величина ошибки не более 0.05 и максимальная величина ошибки не более 0.05, также задано 100000 эпох обучения. Разбиение исходного множества составило 95% для обучающего и 5% для тестового множеств.

Сеть была обучена успешно, показав высокую результативность процесса прогнозирования, а результаты обучения отображены в приложении к диссертации.

Для обработки типовых элементов в среде САПР Unigraphics NX 7.5 была выбрана модель корпусной детали с отрасли приборостроения. Данная модель детали представляет собой планку, с большим количеством типовых элементов в виде карманов, пазов и отверстий (рис. 5).

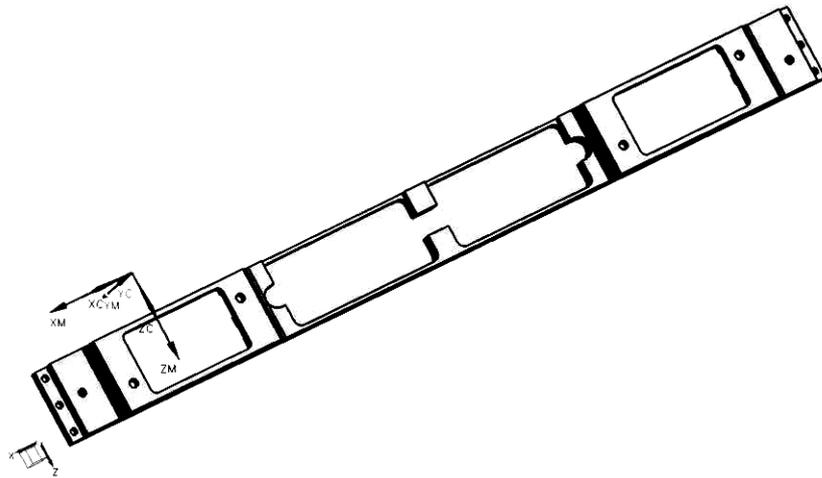


Рис. 5. Загруженная в САПР UG NX модель детали

Финальной стадией описания механической обработки в любой САПР является ее проверка в виртуальной среде. Для этого в Unigraphics NX присутствуют средства, позволяющие в трехмерном режиме наглядно отобразить полученный результат. По факту успешной проверки полученных траекторий, осуществляется завершающая стадия – процесс генерирования управляющей программы для определенной модели системы ЧПУ станка. Полный цикл механической обработки с четырьмя установками производился на станке VARIAXIS 730-II 5X японской компании Yamazaki MAZAK.

После обработки на всех четырех установках была получена годная деталь, показанная на рис. 6.

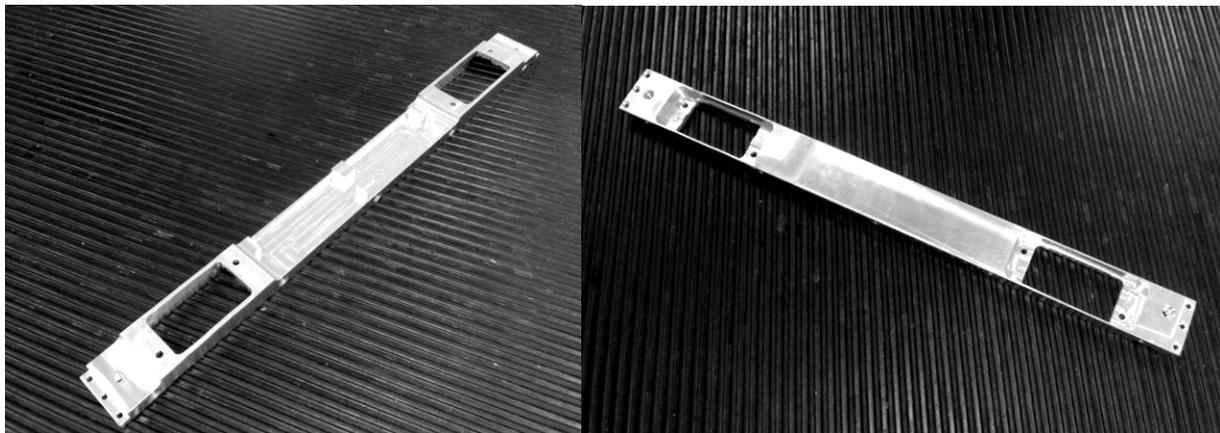


Рис. 6. Полученная годная деталь

Была осуществлена оценка эффективности создания функционирования САПР ТП. Рассматривается время, затраченное на ручное программирование каждой операции механической обработки программистом и время, затраченное на использовании технологии распознавания элементов и применение шаблонов обработки, для проведения наиболее адекватной оценки экономической эффективности.

Время, затраченное на ручное программирование операций, необходимых для получения годной детали, показанной на рис. 6 опытным инженером-программистом составило 11 часов 35 минут.

Время, затраченное на использование средств NX по распознаванию и использованию шаблонов составило 2 минуты, однако изначально было потрачено 2 часа 37 минут на создание шаблонов механической и описание используемых режущих инструментов.

Время, затраченное системой «i-feature» на обработку распознанных элементов составило 2 минуты, при этом скорость исполнения подпрограммы ограничена лишь аппаратными возможностями персонального компьютера, на котором используется выбранная САПР. Время на утверждение и внесение корректив в решения, предложенные разработанной системой составило 47 минут.

Из чего следует вывод о повышении производительности работы инженера-программиста в 3 раза, в сравнении с методом работы в САПР при использовании заранее созданных шаблонов механической обработки, и в 6 раз выше в сравнении с ручным последовательным созданием операций для каждого типового элемента.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Подводя обобщающий итог диссертационному исследованию и практическим разработкам, реализованным на их базе, можно утверждать следующее:

Цель исследований, направленная на разработку интеллектуальной системы автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки типовых элементов деталей на основе нейронных сетей для сокращения времени проектирования управляющей программы, достигнута.

Получены новые научные результаты:

1. Предложена методика использования параметров типовых элементов и, параметров введенных пользователем для автоматизации процессов проектирования управляющих программ при механической обработке деталей в САПР на станках с ЧПУ.

2. Разработана система классификации параметров, введенных пользователем средствами нейронной сети перцептронного вида, которое необхо-

димо для автоматизации и ускорения процесса ввода данных параметров, с целью сокращения времени на проектирование управляющих программ.

3. Показаны точки интеграции разработанных методик в любые САПР на примере CAD/CAM-системы от Siemens PLM Software – Unigraphics NX 7.5.

4. Предложено развитие исследований в области интеллектуализации процессов генерации траекторий перемещения режущего инструмента на основе использования параметров траектории в рамках инженерного потенциала предприятия. Данные исследования позволят в 3 раза эффективнее использовать САПР при описании механической обработки большого количества различных деталей производства.

5. Обозначены перспективы использования разработанных методик в разрезе сокращения количества программистов на предприятии, требуемого для написания управляющих программ. Также предложены перспективные диалоговые решения для сокращения действий пользователем, оставляя интеллектуальной системе принятие ряда решений.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Попович, А.В. Влияние механической обработки деталей на усталостную прочность / Попович А.В, Дьяков И.Ф. // Автоматизация и современные технологии.– 2011.– №9.– С. 8-10.

2. Попович, А.В. Применение нейросетевых алгоритмов в методах автоматизированной обработки деталей в CAD/CAM-системах / Попович А.В., Дьяков И.Ф. // Автоматизация и современные технологии.– 2010.– №6.– С. 34-36.

Статьи и материалы конференций:

3. Попович, А.В. К вопросу оптимизации режимов резания червячной фрезой методом трехмерного моделирования / Дьяков И.Ф., Попович А.В. // Сб. научных трудов 4-й международной научно-технической конференции «Современные научно-технические проблемы транспорта».– Ульяновск, УлГТУ, 2007.– С. 234-235.

4. Попович, А.В. Loosen machine for manufacture winter ground works in transport building / Дьяков И.Ф., Попович А.В. // Вильнюс, Транспорт.– 2007.– №11.– С. 45-48.

5. Попович, А.В. Математическое моделирование технологического процесса обработки зубчатых изделий / Попович А.В., Дьяков И.Ф. // Сб. научных трудов 5-й международной научно-технической конференции «Современные научно-технические проблемы транспорта» – Ульяновск, УлГТУ, 2009.– С. 156-161.

6. Попович, А.В. Использование ЧМФ с модифицированным профилем при изготовлении зубчатых колес / Дьяков И.Ф., Попович А.В. // Могилев, 2009.– №3.– С. 65-69.

7. Попович, А.В. Нейросетевые алгоритмы в описании обработки типовых элементов твердотельных моделей деталей / Дьяков И.Ф., Попович А.В. // Вильнюс, Транспорт.– 2010.– №7.– С. 32-36.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ, авторские свидетельства на изобретения:

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2008612202. Подпрограмма для моделирования процесса зубофрезерования червячной фрезой в рабочей среде пакета Unigraphics NX 4.0 / Попович А.В., Демидов В.В.; заявитель и правообладатель УлГТУ.– №2008611127; заявл. 18.03.2008; зарегистрир. 30.04.2008.– Москва, Роспатент, 2008.

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008612765. Программа для определения аппроксимирующей эвольвенты профиля зуба долбяков с наклонной осью вращения / Попович А.В., Демидов В.В.; заявитель и правообладатель УлГТУ.– № 2008611832; заявл. 25.04.2008; зарегистрир. 5.06.2008.– Москва, Роспатент, 2008.

10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008612763. Программа для определения аппроксимирующей дуги окружности профиля зуба долбяков с наклонной осью вращения / Попович А.В., Демидов В.В.; заявитель и правообладатель УлГТУ.– №2008611830; заявл. 25.04.2008; зарегистрир. 5.06.2008.– Москва, Роспатент, 2008.

11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008612762. Программа для определения аппроксимирующей архимедовой спирали профиля зуба долбяков с наклонной осью вращения / Попович А.В., Демидов В.В.; заявитель и правообладатель УлГТУ.– № 2008611829; заявл. 25.04.2008; зарегистрир. 5.06.2008.– Москва, Роспатент, 2008.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АИТ	–	автоматизированные информационные технологии
АСТПП	–	автоматизированная система технологической подготовки производства
ИНС	–	искусственная нейронная сеть
ИС	–	информационные системы
САПР	–	система автоматизированного проектирования
ТПП	–	технологическая подготовка производства
ТЭ	–	типовой элемент (типовые элементы)
ТП	–	технологический процесс
ТИ	–	траектории инструмента
ЧПУ	–	числовое программное управление
УП	–	управляющая программа
2D	–	2 dimensional (двухмерный)
3D	–	3 dimensional (трехмерный)
3I-PP	–	intelligent integrated incremental process planning (интегрированно-интеллектуальное инкрементальное планирование процессов)
API	–	application programming interface (интерфейс прикладного программирования)
FANN	–	fast artificial neural network (быстрые нейронные сети)
FBM	–	feature based modelling (конструирование на основе типовых элементов)
CAD	–	computer aided design (конструирование)
CAM	–	computer aided manufacturing (подготовка производства изделий)
CAPP	–	computer aided process planning (планирование производства)
CIM	–	computer-integrated manufacturing (компьютерно-интегрированное производство)
IMS	–	intelligent manufacturing systems (интеллектуальные системы в производстве)
MCS	–	machine coordinate system (система координат станка)
MF	–	manufacturing features (механо-обрабатываемые типовые элементы)
NC	–	numeric control (числовое управление)
UDO	–	user defined objects (объекты описанные пользователем)
UG	–	Unigraphics

Подписано в печать 15.10.2012. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 1,00. Тираж 100 экз. Заказ 893

Типография УлГТУ, 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32