

УДК 651.326

И.П. Хавина, В.В. Лимаренко

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков

## ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНООБРАБОТКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Выполнена постановка задачи оптимизации процессов механообработки изделий авиационной промышленности. Рассмотрены существующие аналогичные решения, методы и этапы оптимизации, обосновано применение искусственных нейронных сетей. Выбраны входные параметры системы.

**Ключевые слова:** оптимизация, механообработка, искусственные нейронные сети.

### Введение

На современном этапе развития промышленного производства около 80% изделий изготовлены с помощью обработки резаньем. Причина этой ситуации в следующем: процесс формирования поверхностей проходит на станках с числовым программным управлением (ЧПУ), которые обеспечивают сравнительно низкую себестоимость продукции, при этом геометрия режущего инструмента относительно проста, а его долговечность и себестоимость в достаточной мере сбалансированы за счет применения современных материалов и технологий производства инструмента. Другие виды производства не могут конкурировать с процессами резания, т.к. на существующем уровне технологий обработки поверхностей только обработка резанием обеспечивает требуемую геометрическую точность и шероховатость поверхности [1]. В последние годы проводится большое количество исследований, направленных на улучшение эффективности процессов резания. Основными направлениями совершенствования являются:

- непосредственное совершенствование станков с ЧПУ за счет расширения их функций и улучшения параметров;
- высокая концентрация операций на одном станке;
- улучшение свойств материалов из которых изготавливается режущий инструмент;
- широкое использование гибких производственных систем и модулей;
- применение приложений автоматизированного программирования и интеллектуальных систем управления производством.

Сегодня производители, которые используют станки с ЧПУ, хотят иметь более эффективные системы планирования и контроля технологического процесса резания. Их требования к данным системам следующие:

- станок должен уметь обрабатывать сложные поверхности;
- использование станков ЧПУ с максимальной степенью автоматизации;

- сокращение времени производства изделия и повышение производительности труда;
- обеспечение максимального качества производства;
- снижение отходов производства, в том числе и за счет снижения брака;
- использование новых компьютерных технологий для поддержки автоматизированного процесса планирования;
- оптимизация использования оборудования и более точное прогнозирование затрат времени;
- возможность создания альтернативных вариантов процесса.

Возможности современного программного обеспечения играют значительную роль в удовлетворении этих требований. CAD/CAM/CAE системы сегодня наиболее часто используются как инструменты автоматизации процесса управления технологическим процессом [2].

CAD (англ. Computer-Aided Design) или САПР (Система автоматизированного проектирования) – программный пакет, предназначенный для создания чертежей, конструкторской и (или) технологической документации и (или) трехмерных моделей. Современные САПР обычно используются совместно с другими системами автоматизации производства.

Обычно САПР охватывает создание геометрических моделей изделия (твердотельных, трехмерных, составных), а также генерацию чертежей изделия и их сопровождение. Следует отметить, что русский термин «САПР» по отношению к промышленным системам имеет более широкое толкование, чем «CAD» – он включает в себя как CAD, так и CAM, и CAE. CAE – общее название пакетов, предназначенных для инженерных расчетов, анализа и моделирования физических процессов. CAM – подготовка технологического процесса производства изделий, ориентированная на использование ЭВМ. Среди наиболее широко применяемых САПР в области машиностроения можно выделить такие: SALOME, Autodesk, AutoCAD, Cadmech, CATIA, SolidWorks, Pro/Engineer, SolidEdge [3].

В настоящее время появилась возможность предсказания свойств материалов, оценки эффективности технологических процессов и снижения затрат на экспериментальные исследования с использованием компьютерных технологий. Основными направлениями развития CAD/CAM/CAE систем является совершенствование математического аппарата, совершенствование интерфейсов пользователя и интеграция в информационную среду предприятия. Рассмотрим некоторые CAD/CAM/CAE системы, применяемые на машиностроительных предприятиях.

В системе CATIA V5 в процессе проектирования создается многопараметрическая управляемая база данных модели-шаблона. В нее входят геометрические параметры, теоретические расчеты, рекомендации, стандарты, базы данных деталей и комплектующих.

При проектировании сложных узлов и деталей можно использовать систему UNIGRAPHICS. На сегодняшний день UNIGRAPHICS является одной из самых мощных систем CAD/CAM/CAE с трехмерным моделированием. В системе UNIGRAPHICS осуществляется также сборка сложных узлов и общая сборка макета устройства в целом. Более простые задачи легко решаются с помощью "средних" САПР, таких как SolidEdge и AutoCAD. Около 60% общемашиностроительных деталей проектируются с использованием этих систем [4].

Основными недостатком данных систем является их очень высокая стоимость, сложность для использования конечным пользователем, и, зачастую, избыточный функционал.

Также высокую популярность приобрели АСУ ТП (Автоматизированная система управления технологическим процессом) – комплекс программных и технических средств, предназначенных для автоматизации управления технологическим оборудованием на предприятиях. Под АСУ ТП обычно понимается комплексное решение, обеспечивающее автоматизацию основных технологических операций на производстве в целом или каком-то его участке, выпускающем относительно завершенный продукт. Составными частями АСУ ТП могут быть отдельные системы автоматического управления (САУ) и автоматизированные устройства, связанные в единый комплекс. Как правило, АСУ ТП имеет единую систему операторского управления технологическим процессом в виде одного или нескольких пультов управления, средства обработки и архивирования информации о ходе процесса, типовые элементы автоматизации: датчики, контроллеры, исполнительные устройства. Для информационной связи всех подсистем используются промышленные локальные сети [5].

Но в большинстве случаев невозможно с достаточной полнотой смоделировать физический аспект процесса резки, например, технико-экономические параметры, описывающие эффективность процесса резания невозможно предсказать. Проблема состоит в чрезвычайной сложности процесса резания [6]. В

области теории резания была проведена значительная часть научно-исследовательской работы и представлена в виде инженерных справочников и электронных баз данных. Однако, даже наиболее широко используемые приложения не имеют базовых физических моделей. Результаты исследования еще не превратились в производственную практику. Интуиция опытных техников и операторов по-прежнему играет важную роль в процессе принятия решений [6].

Управление параметрами рабочего процесса будет успешным, если варианты операций будут созданы на этапе разработки (до начала практического производства). Синтез альтернативных решений требует компьютерного моделирования и методов моделирования. Моделирование должно включать в себя технические и геометрические аспекты обработки, а также аспект использования ресурсов и качества продукции. Одним из направлений дальнейшего совершенствования методов повышения производительности процесса резания является использование элементов искусственного интеллекта, позволяющих упростить вычисления и учесть влияние приведённых выше факторов. Постановка данной задачи и является **целью статьи**.

## Результаты исследований

В качестве элементов искусственного интеллекта целесообразно использовать искусственные нейронные сети (ИНС), обладающие способностью реализовать широкий класс функций без априорных допущений о законах их распределения. Повышенный интерес к применению ИНС в подобного рода задачах объясняется простотой и эффективностью, с которой нейронные сети выполняют функциональные преобразования. На основе их обучения может быть обеспечено более точное и оперативное получение искомым параметров в реальном масштабе времени.

Необходимо отметить, что эффективность оптимизации процесса резания целиком и полностью определяется информативностью используемых параметров. Входными параметрами для искусственных нейронных сетей могут быть, как параметры (физические явления), так и факторы, влияющие на параметры процесса резания.

В табл. 1 сведены основные физические явления и факторы, влияющие на параметры процесса резания, которые должны быть использованы в качестве входных параметров.

Благодаря обучению, ИНС могут использоваться даже в случаях, когда нет точных данных о взаимосвязях между различными параметрами процесса. Например, для определения точного значения глубины резания будет использована искусственная нейронная сеть. Входами данной нейронной сети являются: частота вращения шпинделя, продольная подача, радиальная сила в точке контакта, а выходом – мгновенная глубина резания.

Таблица 1

## Входные параметры

Явления и факторы	Зависимые параметры
Сила резания	Износ, поломка инструмента, качество и форма поверхности
Крутящий момент на шпинделе	Износ, внезапные поломки инструмента
Температура в зоне резания	Износ, внезапные поломки инструмента, качества поверхности
Вибрации, акустические сигналы	Качество поверхности, износ инструмента
Материал детали, режущего инструмента, покрытие режущего инструмента	Структура, текстура, твердость, прочность на растяжение, прочность на сжатие, прочность на разрыв, ударная вязкость и хрупкость, усталость, ползучесть, кристаллическая структура, скольжение и дислокации, химический состав, коэффициент трения, теплопроводность, склонность к адгезии, внутреннее напряжение, стоимость
Геометрия резца	Задний угол, передний угол, угол наклона режущей кромки, главный угол в плане, угол заострения, вспомогательный угол в плане, угол при вершине, угол закругления
Смазывающе-охлаждающая жидкость	Химический состав, коэффициент трения, теплопроводность, стоимость
Станок	Жесткость станка
Другие влияющие величины	Условия контакта режущего инструмента с деталью, трение в зоне контакта, механизм образования стружки, глубина резания, подача, скорость резания, стоимость операций, заготовки, инструмента

В качестве нейронной сети, определяющей мгновенную глубину резания целесообразно использовать сеть, обучающуюся с учителем, по алгоритму обратного распространения ошибки. Данная нейронная сеть не учитывает параметры инструмента и заготовки, поэтому для каждой пары «инструмент-заготовка» необходимо создать отдельную обучающую выборку. Аналогичным образом может быть решена задача получения необходимой шероховатости поверхности.

Самый простой подход при построении модели оптимизации процесса резания – это использование всех входных параметров для построения одной искусственной нейронной сети и ее обучение на основе существующей базы знаний. Для данного подхода, даже для упрощенной модели, необходим набор параметров для полного описания модели. В связи с большим объемом входных параметров целесообразно разбить модель на подмодели, использовать смешанный подход для решения задачи, создать упрощенную нейронную сеть-модель процесса, которую можно подвергнуть анализу и выявить степень влияния параметров модели на процесс резания.

### Вывод

Подчеркивая важность точности моделей процесса при контроле технологического процесса, разработке и применении моделей процесса на основе ИНС, необходимо обратить особое внимание на пол-

ноту входных данных для создания модели и строгое соблюдение взаимосвязи и влияния входных параметров, как друг на друга, так и на результат, а также учесть все технологические ограничения процессов резания для заданных материалов. В настоящее время идет работа по компьютерному моделированию нейронных сетей. Целью данного моделирования является определение наиболее оптимальной модели ИНС.

### Список литературы

1. Davim I. *Machining: fundamental and recent advanced* / I. Davim, J. Paulo. – London: Springer, 2008. – 364 p.
2. Erdélyi F. *Advanced simulation of NC turning operations* / F. Erdélyi, O. Hornyák // *Production Systems and Information Engineering, Miskolc*. – 2003. – V. 1. – P. 41-53.
3. Вейц В.Л. *Динамика и моделирование процессов резания при механической обработке* / В.Л. Вейц, В.В. Макаров, П.А. Лонцих. – Иркутск: РИО ИГИУВа, 2000. – 89 с.
4. Щербаков М.Е. *Повышение производительности процесса точения за счёт использования аппарата искусственных нейронных сетей* / М.Е. Щербаков // *Автоматизация и современные технологии*. – 2007. – № 9. – С. 3 - 7.
5. Sandford A. *Новые аргументы в пользу автоматизации производственных процессов* / A. Sandford // *Metalworking Production*. – 2003. – V. 147, № 9. – С. 17-18.
6. Рыжов Э.В. *Оптимизация технологических процессов механической обработки* / Э.В. Рыжов, В.И. Аверченков. – К.: Наук. думка, 1989. – 192 с.

Поступила в редколлегию 1.09.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. И.И. Обод, Харьковский национальный университет “ХПИ”, Харьков.

## ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ МЕХАНООБРОБКИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

І.П. Хавіна, В.В. Лимаренко

*Виконано постановку задачі оптимізації процесів механообробки виробів авіаційної промисловості. Розглянуто існуючі аналогічні рішення, методи та етапи оптимізації, обґрунтовано застосування штучних нейронних мереж. Обрані вхідні параметри системи.*

**Ключові слова:** оптимізація, механообробка, штучні нейронні мережі.

## PROCESS OPTIMIZATION MACHINING WITH THE APPLICATION OF NEURAL NETWORKS

I.P. Havina, V.V. Limarenko

*Made formulation of the problem optimization of machining products of the aviation industry. The existing similar solutions, methods and steps of optimization, justified the use of artificial neural networks. Select the input parameters of the system.*

**Keywords:** optimization, machining, artificial neural networks.