

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ГИБКОМ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

**Медведев В. В.**

Показано, что дальнейшее развитие гибкого автоматизированного производства невозможно без значительного роста эффективности технологической подготовки. Предложено максимально отстранить человека от разработки технологических процессов за счёт систем на основе искусственного интеллекта. Рассмотрены вопросы автоматизированного проектирования технологий механической обработки деталей на основе искусственных нейронных сетей. Дан алгоритм построения технологического процесса с минимальной первоначальной базой знаний. Алгоритм предполагает самообучение по результатам измерений качества реально обработанных деталей.

Зазначено, що подальший розвиток гнучкого автоматизованого виробництва неможливий без значного росту ефективності технологічної підготовки. Запропоновано максимально відсторонити людину від розробки технологічних процесів за рахунок систем на основі штучного інтелекту. Розглянуто питання автоматизованого проектування технологій механічної обробки деталей на основі штучних нейронних мереж. Дано алгоритм побудови технологічного процесу з мінімальною початковою базою знань. Алгоритм передбачає самонавчання за результатами вимірювань якості реально оброблених деталей.

It is shown in the article, that the further development of a flexible automated production is impossible without the considerable increase in technological preparation efficiency. It is suggested to remove a man from technological processes development to the maximum introducing of the systems based on artificial intelligence. The issues the automated designing of technologies of mechanical processing of parts on the basis of artificial neuron networks are considered. The algorithm of construction of technological process with the minimum primary knowledge base is presented. The algorithm implies self-training based on the results of quality measuring of already machined parts.

Медведев В. В.

канд. техн. наук, доц. ДонНТУ  
vadim.medvedev@ua.fm

УДК 62-503.56

**Медведев В. В.**

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ГИБКОМ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА**

Текущее развитие промышленности, а в частности машиностроения, указывает на то, что дальнейший рост производительности, качества и возможности создавать более сложные изделия может основываться на автоматизации технологических процессов. При этом автоматизация может касаться не только серийного и массового типа производств, но и единичного и уникального типа, где традиционно считалось невозможность или малая эффективность автоматизации подготовки производства. Так широко автоматизация производства смогла охватить типы производства благодаря внедрению ряда инноваций [1]: широчайшие возможности программирования стоек ЧПУ с объединением их в локальные компьютерные сети, гибкое переналаживаемое оснащение под широкую номенклатуру обрабатываемых деталей, развитая система датчиков положения детали и т. д. Это позволяет эффективно внедрять автоматизацию технологических процессов по концепции гибкого автоматизированного производства (ГАП).

В тоже время, существует ряд факторов, сдерживающих всеобщее внедрение гибкого автоматизированного производства, которыми являются:

- значительные начальные капиталовложения;
- существенное поднятие культуры производства;
- необходимость дорогостоящего технического обслуживания;
- потребность в высококвалифицированных кадрах для программирования обрабатывающих центров;
- необходимость ручной загрузки и выгрузки заготовок, оснастки, инструмента и деталей.

Для обеспечения непрерывной работы в условиях единичного производства при большом разнообразии номенклатуры обрабатываемых изделий необходимо содержать значительный штат высококвалифицированных технологов и программистов. Это связано с непропорциональностью времени технологической подготовки производства детали и непосредственной обработки партии [2]. Обработка одной детали может занимать менее одной минуты, а её технологическая подготовка от 10 минут до 5 часов [3]. Учитывая малый объём однотипных деталей, для единичного производства непропорциональность времени вызывает необходимость выполнения больших усилий в области технологической подготовки.

Целью научных исследований является разработка концепции технологической подготовки гибкого автоматизированного производства с минимальным участием человека.

Минимизация участия человека в процессе производства требует частичное переложение мыслительной деятельности на искусственные системы. В настоящее время в технических системах для их диагностики и управления все шире начал использоваться математический аппарат «Искусственные нейронные сети» (нейросети) [4]. Это исключительно мощный метод имитации процессов, нелинейной аппроксимации с возможностью обучения. Искусственная нейронная сеть – это нелинейная картографическая система со структурой, основанной на принципах, наблюдаемых в биологических сетях. В математической модели упрощенного нейрона выделяется дендритное дерево, собирающее сигналы, тело ячейки, обобщающее информацию и генерирующее сигнал отклика, и длинный ветвящийся аксон, распределяющий сигнал отклика через контакты.

Незаменима роль систем на основе искусственных нейронных сетей в областях, предполагающих недостаток информации в условиях динамичной среды, с высоким уровнем шума, это в первую очередь космос, робототехника, пеленгация, энергетика, обработка информации,

автоматические системы, медицина и статистика. Наиболее яркий пример – работающая на алгоритмах искусственных нейронных сетей программа распознавания сканированного текста FineReader.

Традиционное автоматизированное проектирование технологических процессов (ТП) в системах типа Вертикаль предполагает лишь использование автоматизированной базы данных режущего инструмента, оснастки и станков. Примерный алгоритм построения технологического процесса в таких системах представлен на рис. 1, а.

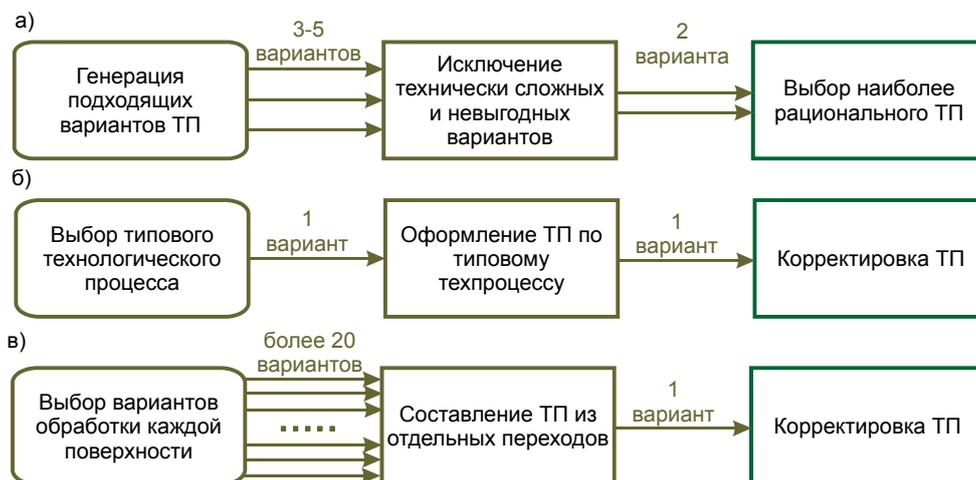


Рис. 1. Алгоритм проектирования ТП с помощью:  
 а – систем первого типа (например, Вертикаль); б – систем второго типа (например, ТехноПро); в – систем третьего типа (например, Технолог)

Указанный алгоритм практически не отличается от общего алгоритма проектирования ТП в ручном режиме. К основному недостатку алгоритма следует отнести большую вероятность пропуска рациональных вариантов ТП на первой стадии. А так же высокую зависимость рациональности ТП от опыта технолога. От последней проблемы можно избавиться использованием систем проектирования типа ТехноПро, алгоритм которых представлен на рис. 1, б.

Основным недостатком таких систем является чрезвычайно низкая гибкость построения ТП. Достаточно трудоёмкой задачей является создание ТП обработки детали, к которой нет подходящего типового технологического процесса. Избавится от этого недостатка возможно применением систем автоматического составления ТП, алгоритм работы которых представлен на рис. 1, в.

Основным недостатком этого алгоритма является высокая вероятность хаотичности построенной технологии, по которой обработка заготовки или затруднена или невозможна. Это связано с тем, что на этапе составления ТП из отдельных переходов нет чёткого алгоритма выбора метода обработки и объединения переходов в операции. Данный этап работы в системах типа Технолог перекладывается на оператора.

Проанализировав указанные выше алгоритмы, было выявлено, что во всех случаях плохо развита возможность накопления и систематизации опыта построения технологий, а так же требуется достаточно объёмная первоначальная база знаний.

На текущем этапе развития техники уже возможно исключить все вышеназванные недостатки путём введения интеллектуальных систем построения технологий и управления гибкими автоматизированными участками (ГАУ) [5, 6]. Для этого, прежде всего, необходима самообучающаяся система проектирования технологий, которая может начать работу с минимальной базы знаний.

Минимизация первоначальной базы может быть осуществлена за счёт пересмотра концепции автоматического построения ТП [7]. В отличие от человека, компьютерной

программе проще сгенерировать все возможные и невозможные варианты, а потом откинуть неверные и нерациональные, то есть использовать широко известный и хорошо зарекомендовавший себя метод полного перебора. На этой основе был построен укрупнённый алгоритм генерации ТП на основе первоначальной базе знаний с минимальным количеством информации. Для максимальной привязки получаемого ТП к оборудованию предлагается поручить создание ТП непосредственно контроллерам ЧПУ обрабатывающих центров (ОЦ) в центральную САПР. Данное решение позволяет исключить как громоздкий протокол передачи информации между САПР и ОЦ, так и необходимость его дополнения после анализа внештатных ситуаций.

Каждый ОЦ получает задание на построение одной операции по чертежу заготовки (возможно уже обработанной на других ОЦ) и чертежу необходимой детали. По этим данным и информации о собственных технологических возможностях с учётом нюансов поломок и износа ОЦ строится несколько вариантов технологической операции по ниже изложенному алгоритму.

➤ Выбор оснастки и закрепления.

1. Генерация всех вариантов базирования.
2. Сортировка по точности базирования.
3. Исключение технически невозможных схем базирования.
4. Генерация всех вариантов закрепления по схемам базирования.
5. Исключение физически невозможных схем закрепления.
6. Группировка вариантов по одинаковым приспособлениям.
7. Расчёт ухудшения качества поверхностей вследствие закрепления.
8. Сортировка по количеству открытых для обработки поверхностей.
9. Исключение вариантов со всеми закрытыми поверхностями необходимыми для обработки.

работки.

➤ Выбор режущего инструмента и переходов

1. Генерация всех вариантов обработки поверхностей заготовки.
2. Исключение вариантов обработки с обработкой недоступных поверхностей.
3. Генерация всех вариантов обработки поверхностей после первого прохода по необходимости получения нужной конфигурации или более высокого качества.
4. Генерация всех вариантов обработки поверхностей после второго прохода по необходимости получения нужной конфигурации или более высокого качества.
5. Добавление к вариантам информации о дополнительных расходных материалах (СОЖ, моечные растворы, резиновые или бумажные подкладки и т.п.)
6. Группировка вариантов обработки по вариантам закрепления.
7. Группировка вариантов по режущему инструменту.
8. Сортировка по количеству используемого инструмента.
9. Исключение вариантов с превышением количества используемого инструмента над количеством позиций инструментального магазина.

➤ Генерация вариантов построения операции.

1. Генерация всех комбинаций последовательности переходов.
2. Группировка вариантов по переходам.
3. Определение качества обработки всех сгруппированных по инструменту и оснастке вариантов с учётом жёсткости СПИД (станок – приспособление – инструмент – деталь), использованной СОЖ (смазочно-охлаждающей жидкости), образования заусенцев, изгиба заготовки и т. п.
4. Назначение приоритета каждому варианту приоритета с помощью системы искусственного интеллекта.
5. Сортировка по приоритету.
6. Сортировка по качеству обработки.
7. Исключение вариантов, в которых заготовка осталась без изменений.

8. Генерация чертежей межоперационных заготовки после выполнения каждого варианта ТП (часть карты наладки).

На последних этапах алгоритма специально не исключаются варианты ухудшающие качество некоторых поверхностей, так как они могут быть выигрышными в разрезе упрощения последующих операций и технологии в целом.

В итоге работы алгоритма генерируется не менее 20–30 вариантов операции. Каждый вариант кодируется и поступает в самообучающуюся часть программы, построенную, например, на основе искусственных нейронных сетей (нейросеть). Кодировка не должна основываться на используемых в данное время кодификаторах. Она должна позволять кодировать все, даже ещё не разработанные операции обработки. Для этого в нейросеть вводят не коды, а физические параметры операции. А на выходы нейросети в процессе обучения подается информация о выбранном варианте ТП и результатами измерений реального получаемого качества с координатно-измерительной машины и устройств замера качества поверхностного слоя. Это даёт возможность назначать приоритет каждому варианту операции.

Указанные выше варианты операции параллельно подаются в компьютерную сеть между ОЦ на межсетевой контроллер, связанный не только с ОЦ, но и моечными машинами, координатно-измерительными машинами и другим технологическим оборудованием, показанными на рис. 2. Укрупненный алгоритм работы контроллера при построении нового ТП представлен ниже.

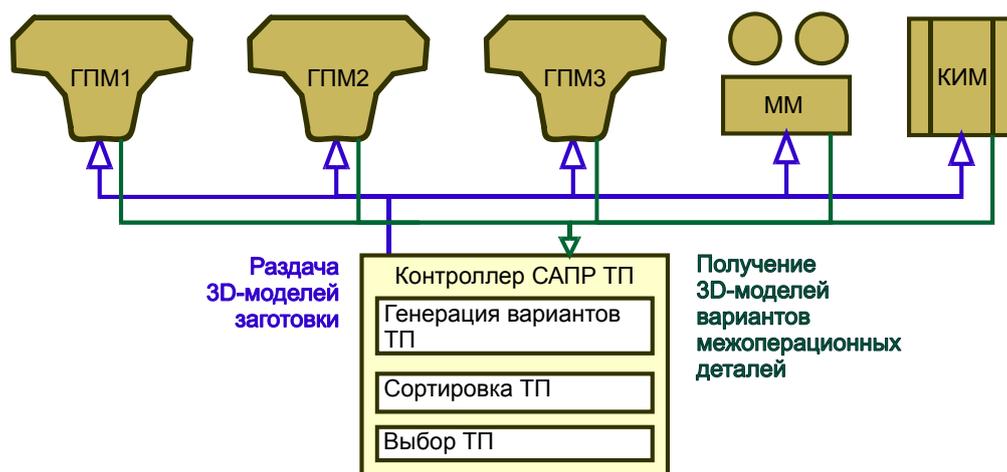


Рис. 2. Управление контроллером САПР ТП технологического оборудования: ГПМ – гибкий производственный модуль; ММ – моечная машина; КИМ – координатно-измерительная машина

➤ Генерация вариантов ТП.

1. Передача чертежа заготовки и детали на все ОЦ.
2. Получение совокупности чертежей межоперационных заготовок после обработки по вариантам операций на каждом из ОЦ.
3. Группирование одинаковых чертежей межоперационных заготовок.
4. Назначение общего приоритета недописанным ТП с помощью системы искусственного интеллекта.
5. Окончание работы с чертежами межоперационных заготовок, совпадающих или превышающих по качеству требуемую деталь.
6. Сортировка по приоритету ТП.
7. Повторение предыдущих команд передачи оставшихся чертежей межоперационных заготовок на ОЦ с контролем за цикливанием. По контролю за цикливанием исключаются варианты, в которых невозможно достичь требуемой конфигурации или качества поверхностного слоя.

8. Группирование одинаковых по конфигурации и качеству чертежей межоперационных заготовок.

➤ Сортировка ТП.

1. Сортировка ТП по качеству.
2. Исключение вариантов с превышением качества.
3. Исключение вариантов ТП с полученной и требуемой деталью с помощью системы искусственного интеллекта. При этом не исключаются варианты с незначительными отклонениями с точки зрения эксплуатации собираемой машины.
4. Расчёт припусков по каждому варианту.
5. Сортировка по коэффициенту использования материала.
6. Сортировка по времени производственного цикла без учёта дополнительной загрузки оборудования производством других деталей.
7. Сортировка ТП по приоритетам, назначенным системой искусственного интеллекта.
8. Исключение вариантов ТП с более низкими приоритетами, но одинаковыми показателями качества.

➤ Выбор ТП.

1. Группирование по приспособлениям и оборудованию.
2. Расчёт производственного цикла с учётом текущей загрузки оборудования.
3. Сортировка по времени реального производственного цикла.
4. Выбор нескольких лучших вариантов.

Если в составе ГАУ имеются различные по производительности но одинаковые по функциональности ОЦ, то по указанному алгоритму менее производительные ОЦ могут не получать загрузку, и становится так называемыми «лентяями». Такое явление будет указывать на моральное устаревание указанных ОЦ или небольшую общую загрузку всего ГАУ. Для устранения в работу могут быть приняты сразу несколько вариантов технологии под разные модели ОЦ.

Передача функций создания ТП контроллерам ОЦ позволяет обеспечить принципы модульности при возникновении поломок. Выход из строя одного ОЦ вызывает запуск контроллером сети алгоритма построения ТП заново. Поломанный ОЦ не будет участвовать в построении ТП что позволит, по возможности, построить новый ТП в обход поломки. Изменение ТП может так же быть инициализировано, если поломка незначительна и приводит к невозможности выполнения ОЦ некоторых технологических действий или потерей им точности и качества обработки. В таком случае обработка поверхностей и достижение требуемого качества перераспределяется на другие ОЦ без остановки работы всего ГАУ.

Одной из задач САПР полного прямого перебора является ускорение алгоритма перебора. Во многих случаях прямой перебор всех вариантов требует слишком большого количества машинного времени. Для примера рассмотрим временные затраты первой функции, перенесённой в ГПМ – перебор всех вариантов базирования детали.

Для полного перебора предполагаем, что каждая поверхность детали может иметь 4 связи (что соответствует снятию четырёх степеней свободы). Другими словами, предполагаем, что каждая поверхность детали может выполнять функцию двойной направляющей базы. По теории комбинаторики рассчитаем количество возможных комбинаций перестановок шести связей по поверхностям детали:

$$C = \frac{(4 \cdot N)!}{720 \cdot (4N - 6)!}, \quad (1)$$

где  $N$  – количество поверхностей детали.

Исходя из формулы (1) количество возможных комбинаций базирования для деталей основных типов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Количество комбинаций схем базирования

Тип деталей	Количество комбинаций базирования	Рациональность применения		
		ЧПУ ГПМ	Отдельного компьютера	Нейросетевого контроллера
Шпильки, болты, пресс-формы	10 <sup>4</sup>	☑	☑	☑
Валы, опорные плиты, шатуны	10 <sup>7</sup>	☒	☑	☑
Вал-шестерни, червяки, простые корпуса	10 <sup>8</sup>	☒	☒	☑
Корпуса, подушки опорные	10 <sup>9</sup>	☒	☒	☑
Сложные корпуса, картеры двигателей	10 <sup>10</sup>	☒	☒	☑

Рациональность применения оценивалась затраченным компьютером временем на подсчёт комбинаций. Считается, что это время не должно существенно превышать нескольких десятков минут. При подсчёте рациональности использования были приняты стандартные возможности многоядерных контроллеров ГПМ [8], современных 8-ми ядерных компьютеров и нейросетевых плат расширения.

ВЫВОДЫ

Таким образом, внедрение интеллектуальных систем позволит практически полностью отстранить технолога от самостоятельной разработки технологических процессов. Использование самообучающихся алгоритмов, использующих результаты измерений точности и качества изготавливаемой продукции, позволяет автоматически создавать общую технологическую базу знаний конкретного ГАУ. Разработанный алгоритм первоначального построения ТП, основывающийся на первоначальной минимальной базе знаний построен на принципах решения задачи методом прямого перебора всех вариантов, что позволяет выявлять самый рациональный технологический процесс.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Leondes C. *Computer-aided design Engineering and Manufacturing, Systems Techniques and Applications // The design of manufacturing systems.* – CRC Press LLC: 2001. – 300 p.
2. Пуховський С. С. *Проектування технологічних процесів в умовах гнучкого автоматизованого виробництва / С. С. Пуховський // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».* – Київ : НТУУ КПІ, 2010. – № 59. – С. 267–270. – (Серія «Машинобудування»).
3. Benyoucef L. *Artificial intelligence techniques for networked manufacturing enterprises management / L. Benyoucef, G. Bernard // Series springer series in advanced manufacturing.* – Hardcover, 2010. – 510 p.
4. Медведев В. В. *Особенности диагностики качества механообработки с применением интеллектуальных систем [Электронный ресурс] / В. В. Медведев, В. С. Медведев // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії.* – Краматорськ : ДДМА, 2008. – № 3E (14). – С. 131–135. – Режим доступа : <http://www.nbuiv.gov.ua/e-journals/VDDMA/2008-3e14/pdf/21.pdf>.
5. Мовшович А. Я. *Тенденции развития технологий размерной обработки изделий / А. Я. Мовшович, А. С. Котов, М. М. Буденный, Ю. Ф. Назаров // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб.* – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – Вып. 74. – С. 161–165.
6. САПР XXI века: интеллектуальная автоматизация проектирования технологических процессов / Г. Евгеньев, Б. Кузьмин, С. Лебедев, Д. Тагиев // САПР и графика. – 2000. – № 4. – С. 75–76.
7. Лаздынь С. В. *Интеллектуальная система поддержки принятия решений в управлении автоматизированными технологическими комплексами механообработки / С. В. Лаздынь, А. И. Секирин // Сборник трудов IX международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века».* – Том 2. – Донецк : ДонНТУ. – 2002. – С. 40–44.
8. *HAAS automation Europe. Горизонтальные обрабатывающие центры. Проспект оборудования.* – Belgium: HAAS, 2006. – 40 с.

Статья поступила в редакцию 10.11.2011 г.