

# Система автоматизированной технологической подготовки производства, основанная на принципах модульной технологии

В. А. Скворцов<sup>1</sup>, М. А. Скворцова<sup>2</sup>

МГТУ им. Н.Э. Баумана

<sup>1</sup>skvaal@bmstu.ru, <sup>2</sup>magavrilova@bmstu.ru

**Аннотация.** Основная проблема, которая обсуждается в статье это повышение эффективности планирования процесса обработки деталей. Для решения этой задачи авторы предложили метод разработки системы автоматизированной технологической подготовки производства, основанный на принципах модульной технологии. Первая задача заключалась в изменении предмета производства и использовании специальных элементов деталей, называемых модули поверхности. Предполагается, что на такие элементы возможно декомпозировать любую деталь. Вторая задача заключалась в выборе основных параметров для проверки наиболее эффективной технологической операции. В результате этой работы авторы получили автоматизацию планирования процесса обработки деталей для производства модулей поверхностей.

**Ключевые слова:** CAPP система; модульная технология; модули поверхностей; конструкторско-технологические элементы детали; производство; обработка; экспертная система.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день процесс технологической подготовки производства занимает от 50 до 70% времени всего производственного цикла изделия. Столь значительные временные затраты обусловлены высоким уровнем трудоёмкости и низким уровнем автоматизации планирования технологических процессов. Первая причина заключается в большом разнообразии средств технической поддержки, частей и других подразделений в нынешней машиностроительной отрасли. Отсутствие единой классификации, позволяющей однозначно определять и систематизировать работу с этими элементами приводят к значительному дублированию операций. Такое дублирование работ в производстве наблюдается очень часто. Несмотря на это подготовка производства по-прежнему рассматривается как часть всей системы и не изучается в подробностях и деталях. На рынке не хватает решения, позволяющего оптимизировать и сократить в несколько раз временные затраты именно на этот этап производственного цикла изделия, повысить уровень автоматизации. Это также связано в первую очередь с большим объёмом неструктурированной информации, которая хранится в справочниках,

электронных базах поставщиков, ГОСТ, ОСТ и других нормативных документах. Существующие попытки перевести эту информацию в электронный вид не дают видимого результата, предлагая принимать решения самостоятельно, опираясь на свой личный опыт. Кроме того, желательно, чтобы предлагаемая система была универсальна, а именно, не зависела от специализации производства. Все это сказывается на себестоимости, производительности и качестве выпускаемого изделия.

Процесс технологической подготовки производства можно разделить на пять этапов. Общий уровень их автоматизации в настоящее время не превышает 20%. [1] Нет никаких сомнений в том, что трудоёмкость и время технологической подготовки производства могут быть сокращены. Один из современных подходов к решению этой проблемы основан на принципах модульной технологии. В основе модульной технологии лежит представление изделия совокупностью модулей поверхностей (МП) и модулей соединения (МС). Фундаментальная идея этого метода заключается в классификации и возможности декомпозиции каждой детали на функциональные модули поверхности. Такая классификация включает в себя три различные категории: базовые, рабочие и связующие модули. [2] Подход позволяет организовывать на предприятии элементную базу технологических переходов, методов обработки, деталей, оборудования и оснастки на модульном уровне и методом компоновки строить из них технологические процессы и операции. Модульный технологический процесс объединяет в себе достоинства единичной, типовой и групповой технологий, поскольку учитывает все особенности конкретного изделия так же, как и единичный процесс. [3] Идея типизации реализуется на уровне модулей технологического процесса и так же, как и при групповой технологии, изделия объединяются в группы по общности содержащихся в них модулей.

Система автоматизированного планирования процессов (CAPP) является связующим звеном между системой автоматизированного проектирования (CAD – Computer-Aided Design) и компиляции кода для станков с числовым программным управлением (CAM – Computer-Aided Manufacturing).[4] В этом программном обеспечении должны быть выбраны наиболее подходящие станки,

параметры резания и другую необходимую информацию для технологических процессов и операций. Решения, принятые на этом этапе, оказывают большое влияние на стоимость, качество и эффективность получения детали. Большая часть работы на сегодняшний день не автоматизирована и выполняется инженером вручную. Например, анализ детали на технологичность и определение возможности обработки элементов на основе таких параметров, как размеры, геометрия детали, допуски и др.

Идея создания программного обеспечения для автоматической разработки технологических процессов и планирования производства в течение длительного времени. Но как было сказано ранее, решение проблемы связано с некоторыми трудностями. Одно из них — это большое разнообразие деталей. Невозможно выстроить базу данных для всех деталей, так как их неограниченное количество. Очевидным выходом является переход на уровень элементов деталей, которые в настоящий момент четко структурированы, ограничены и не изменяются во времени. Результатом стало большое количество данных, которые необходимо учитывать при разработке технологического процесса. Для обработки всех условий авторами использовались базовые принципы искусственного интеллекта и экспертных систем. Время разработки технологических процессов изготовления деталей может сократиться с нескольких месяцев до нескольких часов и минут, появится возможность создать базу знаний предприятия.

## ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ

### *А. Подходы к построению CAPP систем*

Стоит отметить, что существуют различные подходы к методу проектирования технологического процесса. В частности, есть существенные различия между российскими и иностранными стандартами оформления документов. В России эти стандарты закреплены в соответствующих ГОСТ – на федеральном уровне и ОСТ – на уровне предприятия. Входными параметрами является информация о детали, объеме производства, имеющемся оборудовании на предприятии. Получение исходных данных возможно тремя способами:

- Распознавание поверхностей на основе ранее созданной библиотеки с определенными критериями оценки (DBF – Design by feature method).
- Интерактивный метод распознавания поверхностей (IFR – Interactive design feature recognition).
- Автоматизированное распознавание поверхностей (AFR – Automated design feature recognition). [5]

На основе этих данных формируется матрица с информацией о параметрах детали. Затем подгружается библиотека материалов с известными данными о твердости и хрупкости материалов. Следующим этапом формируются операции, режимы резания, выбирается станок и инструмент для операций. Для определения

наиболее эффективных комбинаций авторами была разработана экспертная система с заранее заданными правилами.

### *В. Декомпозиция деталей на элементы*

Большое разнообразие деталей не позволяет создать хорошую и надежную классификацию. Мы можем наблюдать разные подходы к классификации деталей и их поверхностей, большинство из них зависят от времени. Это означает, что они будут изменяться и дополняться. Если рассмотреть элементы поверхностей, то обнаружится большое количество возможностей их сочетаний. Стоит отметить некоторые подходы для автоматизации работы с такими поверхностями:

- Профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана А.Н. Кондаков работает над гибридной CAPP системой. Суть исследования заключается в определении связей между проектными и технологическими решениями, сочетании этих шагов. Предметом производства является так называемый «Т-комплекс» – комплекс поверхностей, объединенных общей технологией формирования. [8]
- Профессор Ю. Бочкарев проводит исследования по созданию автоматизированной системы планирования много номенклатурных технологических процессов, основными принципами которой являются полная формализация процедур проектирования, проектирование параллельных технологических процессов для всех деталей, запланированных для обработки. В соответствии с этим методом обработка отдельных поверхностей идет параллельно.
- Профессор О. Новиков проводит научные исследования для системы комплексной автоматизации проектирования ТП. Система основана на формализации описания деталей путем построения конструкторско-технологических элементов деталей.

Среди международных ученых и разработчиков самые интересные работы из таких стран, как Китай и Соединенные Штаты. В течение 2014–2017 гг. Было опубликовано более 30 000 работ, описывающих различные подходы к возможному решению проблемы. Но ни одно из них не позволяет исключить участие человека в разработке технологических процессов. [6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14]

Одной из основных причин является неограниченное количество конструктивных и технологических элементов. Эта проблема может быть решена путем использования модульной технологии, где эти элементы ограничены и их структура на верхнем уровне изначально определена: рабочие, базисные и связующие.

Модульная технология в производстве была разработана Институтом машиностроения Российской академии наук. В настоящее время работа проводится командой из Московского государственного технического

университета им. Н.Э. Баумана и Московским государственным техническим университет «Станкин». Пример декомпозиции детали представлен на рис. 1.

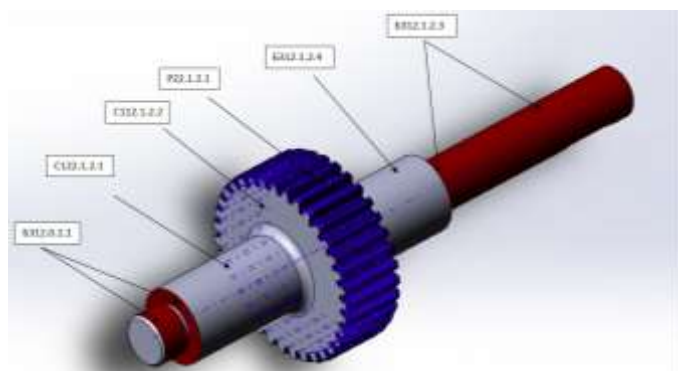


Рис. 1. Трехмерная модель вала, декомпозированная на модули поверхностей

Выбор модуля поверхностей как основного элемента детали, обосновано тем, что:

- МП – «элементарная частица», из которой состоит любая деталь.
- МП не зависит от цели и конструкции детали.
- МП имеет ограниченное разнообразие.

### С. САРР система, основанная на модульной технологии

При планировании производственных операций используется не деталь, а модуль поверхности как предмет производства. В этом случае для разработки технологической операции необходимо разложить деталь на элементы. Каждому элементу детали присваивается своя технология обработки. Для идентификации этого термина будет использоваться выражение: модульная технология обработки (МТО). Для автоматизации выбора МТО инженеру предлагается использовать разработанную экспертную систему на основе модульной технологии. Экспертная система позволяет проектировать модульный процесс, выбирая наиболее подходящие МТО на основе нескольких критериев. Такой подход позволяет значительно сократить этап проектирования технологического процесса.



Рис. 2. Схема процесса работы с экспертной системой

Общая схема процесса работы экспертной системы представлена на рис. 2. На первом этапе необходимо получить информацию о детали и разделить модули поверхностей в соответствии с разработанным классификатором. В случае интерактивного ввода технолог работает с интерфейсом САРР системы и вводит данные при помощи клавиатуры и компьютерной мыши. Иногда данные могут быть введены неверно. Например, это может быть результатом человеческой ошибки. Для решения этой проблемы добавлены необходимые проверки добавлены в систему. Кроме того, технолог должен хорошо разбираться в модульной технологии и уметь правильно декомпозировать деталь. К сожалению, это трудно себе представить, так как требуется обработать вручную большое количество информации. Для ускорения этого процесса, интерфейс программы был упрощен и разбит на несколько шагов. Интерфейс выбора модуля поверхности представлен на рис. 3.

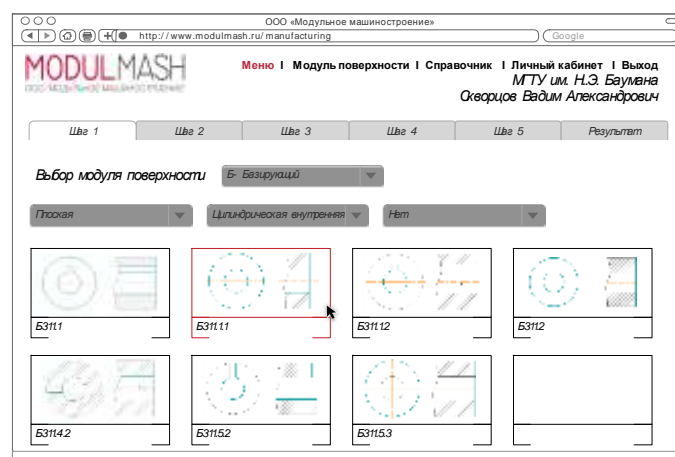


Рис. 3. Схема процесса работы с экспертной системы

После того, как технолог ввел исходные данные модуля поверхности, система выполняет поиск по имеющимся данным и предлагает различные конструкции. Количество типов поверхностей в базирующем модуле может быть от одного до трех. Для примера, возьмем две поверхности. Это внутренняя цилиндрическая и плоская поверхность. Рассмотрим, для примера, модуль B311.1.1. Модульная технология подразумевает, что для каждого модуля поверхности присваивается определенный код. Числа ограничены точками для более легкого восприятия. Кроме того, это упрощает создание дерева базы знаний. На рисунке 3 показан интерфейс программного обеспечения, в котором пользователь выбирает этот тип модуля поверхности. В процессе работы с базой знаний количество модулей будет увеличиваться. Подсчитано, что приблизительное количество возможных подтипов модулей поверхностей для каждого типа будет составлять около 8 миллионов подтипов. Затем спрашиваем пользователя о размерах, допусках и шероховатости каждой поверхности. Это важно для назначения режимов резания, выбора инструмента и метода обработки поверхностей. Далее добавляем необходимую информацию, такую как объем производства,

Экспертная система хранит информацию об инструментах, станках и другом оборудовании. Для этого изначально задаётся информация о станках на производстве, их стоимости и методе расчета амортизации.

## II. ПРЕИМУЩЕСТВА РАЗРАБОТАННОЙ CAPP СИСТЕМЫ

Основным преимуществом разработанной системы CAPP является автоматизация принятия решений при проектировании технологических процессов. Модульный подход позволяет сократить время, необходимое для поиска технологических решений, и снизить сложность задачи разработки технологического процесса в несколько раз по сравнению с другими существующими технологиями, а также позволяет улучшить качество технологической подготовки производства. Таким образом, разрабатывается «хранилище» для всех технологических решений, которое позволяет наполнять и распространять информацию в рамках предприятий.

Другим применением системы CAPP является работа с поставщиками оборудования – машин, инструментов, оборудования (продажи, реклама и продвижение).

Еще одним преимуществом использования CAPP системы является учебная программа, которая позволит молодым технологам получить необходимые знания и опыт предыдущих поколений: существующих технологиях, оборудовании, инструментах и процессах, которые когда-либо использовались.

## III. РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Модульная технология появилась в начале 80-х годов, и ее теоретические принципы все еще развиваются. Несмотря на довольно длительное существование технологии, возможность ее применения появилась только в последние десятилетия, так как программное обеспечение достигло требуемого уровня и позволяет интегрироваться в систему CAPP.

Основная цель разработанной экспертной системы - это упростить работу технолога и скрыть сложный алгоритм расчета, который находится внутри системы. Разработанная CAPP системы показывает различную комбинацию станков и другого оборудования, основанную на геометрических характеристиках, материале режущей части пластины и рекомендуемым режимам резания. Основная часть информации скрыта в базе знаний.

Также хотели бы упомянуть о том, что для получения более реалистичных цифр необходимо получить множество дополнительных входных параметров. В некоторых случаях авторы встретились с неточностями данных в справочниках. Например, были замечены различия между сталью, произведенной в России и других странах. Они характеризуются химическим составом,

указанным в справочниках. Допустимые пределы этих элементов в разных странах могут быть различны. Эти границы могут быть в пределах одного процента, твердость материала может значительно отличаться и это повлияет на срок службы инструмента.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Дежина И.Г., Пономарев А.К., Фролов А.С., Зорин Д.Н., Псахье С.Г., Гурдал З., Азаров А.В., Абаймов С.Г., Белов М.В., Данилин И.В., Ефимов А.Р., Куракова Н.Г., Зинов В.Г., Цветкова Л.А., Еремченко О.А., Новые производственные технологии: публичный аналитический доклад. М. : Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2015. 272 с.
- [2] B.M. Bazrov, A.G. Suslov, O.V. Taratynov, A.N. Shoyev, "Quality of Surface Modules in Machine Parts", Russian Engineering Research, 2013, Vol. 33, No. 11, pp. 651–654.
- [3] А.М. Арзыбаев, В. А. Скворцов, Способ определения области применения метода обработки // Главный механик. 2015. № 1. pp. 66-73;
- [4] Chao Liang, Xu Zhang, Qing Zhang, 3D Machining Process Planning Based On Machining Feature Recognition Technique, Advanced Materials Research Vols. 945-949 (2014) pp 127-136.
- [5] G. Cezary, Ć. Grzegorz, J. Witold, The New Approach to Design Features Identification, Applied Mechanics and Materials Vol. 657 (2014) pp 750-754.
- [6] C. Grabowik, K. Kalinowski, W. Kempa, I. Paprocka, A methodology of CAPP/CAP systems integration based on a product intermediate state representation, Advanced Materials Research, 2014, Issue 1033-1036, p915-920, 6p. Publisher: Trans Tech Publications, Ltd.
- [7] S. Kafashi, M. Shakeri, V. Abedini, Automated setup planning in CAPP: a modified particle swarm optimisation-based approach // International Journal of Production Research. Aug 2012, Vol. 50 Issue 15, p4127-4140. 14p.
- [8] Кондаков А.И. CAPP технологических процессов, / 3-е изд., стер. М.: Академия, 2010. 267 с.: ил. (Высшее профессиональное образование. Машиностроение). Библиогр.: с. 266. ISBN 978-5-7695-6635-6.
- [9] Guowei Lan; Yong Zhuo; Junfa Chen; Huixian Zhan, Research on Aviation Aluminum Alloy Technology CAPP System Based on the Part Similarity, Applied Mechanics & Materials , 2014, Issue 536-537, p1447-1451, 5p. Publisher: Trans Tech Publications, Ltd.
- [10] Jong, Wen-Ren; Lai, Po-Jung; Chen, Yu-Wei; Ting, Yu-Hung, Automatic process planning of mold components with integration of feature recognition and group technology, International Journal of Advanced Manufacturing Technology. May2015, Vol. 78 Issue 5-8, p 807-824. 18 p.
- [11] Liyan Zhang, Machining feature-based CAD/CAPP for STEP-NC, Applied Mechanics & Materials, 2014, Issue 598, p591-594, 4p. Publisher: Trans Tech Publications, Ltd.
- [12] Meseguer A., Gonzalez, F.A., Methodology for cutting-tool management through the integration of CAPP and scheduling, International Journal of Production Research. Mar2008, Vol. 46 Issue 6, p1685-1706. 22p.
- [13] Sunil, V.B.; Pande, S.S., Automatic recognition of machining features using artificial neural networks // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Jul 2009, Vol. 41 Issue 9/10, p 932-947. 16 p.
- [14] Zhao, Hong Zhi; Yuan, Zhi Hua, The Research of CAPP System Based on Knowledge Integration, Advanced Materials Research, October 2014, Vol. 1048 Issue: 1 p571-574, 4p.