

ГРУЗИНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

на правах рукописи

Шармазанашвили Александр Николаевич

Компьютерное Проектирование
Технологических Операции на Базе
Конструкторско-Технологических Модулей

Специальность 05.13.06 - Системы автоматизации
проектирования

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой
степени доктора технических наук

Тбилиси 2004 г

АКТУАЛЬНОСТЬ

В настоящее время основным средством достижения конкурентоспособности продукции является создание и применение Компьютеризованных Производственных Систем (КПС), которые концептуально объединяют компьютеризованное технологическое оборудование - станки с ЧПУ, системы DNC, FMC, FMS и т.д. и компьютеризованные системы обеспечения - системы автоматизированного проектирования CAD, CAM, CAD/CAM, CAPP и т.д.

Наиболее важными задачами КПС являются обеспечение быстрой переналаживаемости и малолюдности производства. Об этом свидетельствуют - исследования Гарвардского университета, заключения экспертов из ассоциации National Machine Tool Builder's (США), ассоциации Manufacturing Engineers (США), а также многочисленные высказывания Европейских и Японских производителей.

Достижение вышеописанных задач непосредственно связано с обеспечением работоспособности и надежности технологических процессов и управляющих программ (УП) для станков с ЧПУ. Как обычно, работоспособность УП обеспечиваются отладочными процедурами, которые выполняются технологами-программистами непосредственно в цеху, у станка. Эти процедуры являются наиболее длительными и дорогостоящими и требуют "вмешательства" со стороны высококвалифицированных специалистов. Об этом свидетельствуют результаты производственных наблюдений и данные приведенные в работах Т.Н.Лоладзе, Fruhwald, Colin, Beckert и др.

Следовательно, современные компьютеризованные технологии производства ставят новые требования к задачам технологической подготовки производства и в частности перед системами автоматизированного проектирования технологических процессов и УП, которые должны обеспечить:

- 1) Оперативность процесса проектирования, что подразумевает как быструю формализацию исходной информации, так и быструю подготовку проекта, апробацию и внедрение.
- 2) Работоспособность принятых проектных решений с первого предъявления, что устраняет необходимость с одной стороны, идентификации ошибок и с другой стороны, проведения дополнительных процедур по их устранению.

Таким образом, усовершенствование технологии процесса автоматизированного проектирования технологических процессов и УП и разработка новых методов и средств формализации и принятия решений, является актуальной задачей.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Усовершенствование методологии автоматизированного проектирования технологических процессов и управляющих программ для станков с ЧПУ.

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

- 1) Системное исследование автоматизированного процесса конструкторско-технологического проектирования
- 2) Исследование стохастизма производственного процесса механической обработки
- 3) Количественный анализ действия основных технологических возмущений на структурные элементы технологического процесса
- 4) Формализация структур инструментальных переходов и выделение конструкторско-технологических модулей (КТМ).
- 5) Формирование базовой совокупности конструкторско-технологических модулей.

- 6) Формализация задач и разработка методов автоматизированного синтеза и оптимизации структур инструментальных переходов на базе КТМ
- 7) Системное исследование архитектур систем автоматизированного проектирования технологических процессов и УП и разработка объектно-ориентированной архитектуры с соответствующими классами объектов.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА

- 1) Впервые разработана методологическая основа автоматизированного проектирования технологических процессов для *трех*-контурного дискретного и непрерывного адаптивного управления.
- 2) Выделен новый формализм принятия решения для задач автоматизированного синтеза технологических операции
- 3) Разработана объектно-ориентированная архитектура, методы, классы и объекты системы автоматизированного проектирования технологической операции.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ

- 1) Дана классификация процесса конструкторско-технологического проектирования и выявлены отдельные этапы и задачи, входные и выходные данные на каждом этапе проектирования
- 2) Сформировано множество типовых структур инструментальных переходов (37 структур)
- 3) Разработаны 8 типовых зон токарной обработки
- 4) Для автоматизации интерактивных процедур принятия решения разработана система предикатов и формальных правил для задач автоматизированного выбора режущего инструмента и схем перемещения инструмента

- 5) Разработан класс объектов (37 объектов) интерактивной параметризации конструкторско-технологических модулей для системы прикладных базовых объектов в системе AutoCAD.
- 6) Разработан класс объектов (34 объектов) автоматизированного синтеза режущего инструмента на базе стандарта Sandvic Coromant для системы прикладных базовых объектов в системе AutoCAD.
- 7) Разработан метод и класс объектов (9 объектов) программирования технологических модулей для системы прикладных базовых объектов.
- 8) Разработан метод и класс объектов (149 объектов) синтеза траектории перемещения режущего инструмента для системы прикладных базовых объектов в системе AutoCAD.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на:

- 1) Международном симпозиуме “Tool And Methods of Competitive Engineering” 13-17 Апрель, 2004г. Лозана, Швейцария
- 2) Международной конференции “Computer Vision, Computer Graphics, New Media” 12-13 Сентябрь, 2002г., Грац, Австрия.
- 3) Международном симпозиуме “Tools And Methods of Competitive Engineering” 22-26 Апрель, 2002г., Ухам, Китай.
- 4) Международном симпозиуме “Tools And Methods of Concurrent Engineering” 21-23 Апрель, 1998г., Манчестер, Англия.
- 5) Международном симпозиуме “Georgian Symposium For Project Development And Conversion” 15-18 Май, 1995г., Тбилиси, Грузия
- 6) Международной конференции “Актуальные Проблемы Фундаментальных Наук” 28 Октябрь-3 Ноябрь, 1991г., Москва, Россия

- 7) I-ой конференции-выставке прикладных программных продуктов “SOFTEC’99”
20-23 Июня, 1999г., Тбилиси, Грузия
- 8) Республиканской научно-технической конференции “ParametricCAD’97” 27-28
Ноябрь, 1997г., Государственный Технический Университет, Тбилиси, Грузия
- 9) Республиканской научно-технической конференции “ParametricCAD’98” 20-21
Октябрь, 1998г., Государственный Технический Университет, Тбилиси, Грузия
- 10) Республиканской научно-технической конференции “ParametricCAD’99” 18-19
Ноябрь, 1999г., Государственный Технический Университет, Тбилиси, Грузия
- 11) Расширенном заседании кафедры “Технология Машиностроения” Грузинского
Технического Университета (протокол №1, 1.10.2004г.)

ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИССЕРТАЦИИ

Диссертация состоит из введения, шести глав, общих выводов, списка литературы и приложения в виде отдельного тома. Работа содержит 311 страниц машинописного текста, 181 рисунок, 37 таблиц и списка литературы из 214 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В I-ой главе рассматривается современный уровень автоматизации инженерных задач конструкторско-технологического проектирования. Процесс проектирования исследуется с системной точки зрения для чего приняты две общесистемные свойства:

- Свойство характеризующее изделие (деталь) в составе механизма
- Свойство характеризующее процесс перевода заготовки в готовую деталь

В результате выделены 12 последовательных этапов конструкторско-технологического проектирования первые 5 из которых получены по I-му системозначному свойству а последующие 7 по II-му свойству:

- Этап 1:* Предпроектные исследования
- Этап 2:* Геометрическое моделирование
- Этап 3:* Функциональное моделирование
- Этап 4:* Инженерный анализ
- Этап 5:* Изготовление чертежей
- Этап 6:* Выбор исходной заготовки
- Этап 7:* Определение принципиальных схем
- Этап 8:* Проектирование маршрута
- Этап 9:* Проектирование операции
- Этап 10:* Проектирование перехода
- Этап 11:* Подготовка УП
- Этап 12:* Отладка УП

Для каждого этапа определены задачи проектирования а также множество входных и выходных данных.

Далее дается обзор существующих автоматизированных методов принятия решения на каждом этапе конструкторско-технологического проектирования. В приложении приводится описание соответствующих систем автоматизированного проектирования (САПР).

В результате делается вывод об итерационном характере процесса проектирования и приводится информационная структура процесса с указанием прямых и обратных связей. Под прямым понимается такой тип связи между этапами, когда выходные данные этапа передаются на несколько этапов вниз, по этапам детального проектирования. Следовательно, делается вывод о необходимости создания т.н. сквозных каналов проектирования и разработки методов и средств интегрированного конструкторско-технологического проектирования.

В этой связи приводится описание методов интеграции локальных САПР в единую систему. Рассмотрены три подхода - горизонтальная, вертикальная и объектно-ориентированная интеграции. При горизонтальной интеграции локальные САПР объединяются путем обеспечения интерфейса между системами через унифицированные файловые стандарты - STEP, IGES, DXF, SAT, XT, APT, CLDATA и т.д. Развитием данного подхода явилось появление т.н. интерфейсных процессоров - систем PDM (Product Data Management) позволяющие локальным системам манипулировать с единой информационной моделью объекта проектирования. Приводится обзор соответствующих систем.

При вертикальной интеграции, системы объединяются через внутренние связи. В результате единая информационная модель является составной частью системы. Приводится обзор соответствующих систем.

Характерной чертой горизонтальной и вертикальной интеграции является то, что они не дают возможность интеграции систем на уровне моделей принятия решения. Указанное возможно объектно-ориентированной интеграцией локальных САПР. При этом, в архитектуре системы выделяются система “родитель” и система “потомок”, которому доступны все функции родителя. В результате делается вывод о целесообразности разработки САПР с объектно-ориентированной архитектурой при конструкторско-технологическом проектировании. Приводится обзор соответствующих систем.

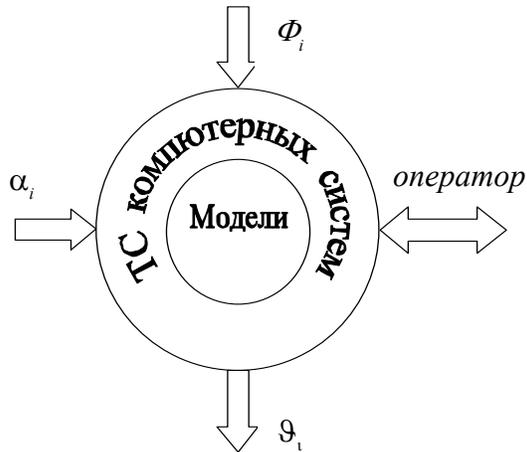
Во II-ой главе рассматривается проблема работоспособности проектных решений при конструкторско-технологическом проектировании.

Проблема работоспособности проектных решений связана с существованием ошибок и с необходимостью их идентификации и устранения. Поэтому, она вытекает из самой технологии принятия решения.

Формально, основными компонентами принятия решения на i -ом этапе проектирования являются: входные данные этапа (F_i), независимые данные (a_i),

математические модели принятия решения (1_i) которые производят перевод входных данных в выходные $\lambda_i : (\phi_i, \alpha_i) \Rightarrow \vartheta_i$; технические средства (ТС) компьютерных систем и оператор, который манипулирует $\Phi_i, \alpha_i, \vartheta_i, \lambda_i$, через технические средства.

Следовательно, достоверность промежуточных проектных решения (J_i)



зависит от:

- 1) точности входных данных (Φ_i)
- 2) точности (α_i)
- 3) точности моделей (λ_i)
- 4) надежности ТС компьютерных систем
- 5) квалификации и безошибочной работы оператора.

Неточность входных данных Φ_i

обусловлена ошибками допущенными на предыдущих этапах проектирования. Неточность α_i , обусловлена разностью между заданными α'_i и фактическими α''_i значениями параметров

$$\Delta \alpha_i = |\alpha'_i - \alpha''_i|$$

Рассуждая формально, неточности допущенные на $(i-1)$ -м этапе проектирования передаются на i -м этапе и их выявление и устранение на i -м этапе более сложно чем на $i-1$ этапе и вообще, чем “позднее” обнаруживаются ошибки, тем больше увеличиваются затраты времени и средства на их устранение. В этой связи особый интерес представляет собой управляющие программы (УП) для станков с ЧПУ, так как именно УП является конечным документом конструкторско-технологического проектирования и как следствие, в УП суммируются все неточности допущенные на предыдущих этапах проектирования.

Выявление и устранение ошибок в УП требует проведения отладочных операции на станках с ЧПУ и является многоитерационным процессом, который

сопровождается многократными пробными запусками отдельных фрагментов УП, контрольными измерениями, выявлением ошибок и процедурами их устранения.

В результате отладка УП является трудоемкой, длительной и дорогостоящей операцией. Согласно Немецким производителям, отладка УП составляет около 80% объема работ проводимых при переналадках технологического оборудования; данные получены в результате анализа более чем 800 процессов наладки. Согласно Американской статистической компании Dun&Bradstreet, Американские производители ежегодно расходуют примерно 1.8 миллиардов долларов для устранения ошибок в УП.

Анализ интенсивности ошибок в УП показал, что основная доля (57%) приходится на т.н. непредполагаемые ошибки Y_1 , обусловленные действиями возмущении и в частности разностью между фактическими и планируемыми значениями параметров технологической системы - станок Y_c , приспособление Y_n , инструмент Y_u и деталь (заготовка) Y_3

$$Y_1 = Y_c + Y_n + Y_u + Y_3 = 12\% + 9\% + 9\% + 27\% = 57\%$$

А остальная доля 43% на ожидаемые ошибки, связанные с Y_m - неточностями моделей принятия решения на текущем этапе проектирования; Y_{ex} - неточностями моделей на предыдущих этапах проектирования по вине которых обуславливаются ошибочные промежуточные решения и как итог неточные входные данные при проектировании УП; Y_{on} - ошибками оператора и Y_{mc} - неточностями технических средств

$$Y_2 = Y_m + Y_{vx} + Y_{on} + Y_{tc} = 29\% + 11\% + 2\% + 1\% = 43\%$$

В этой связи проведен анализ основных технологических возмущении: колебание припуска и твердости заготовок. Исследования проводились по 3-м независимым источникам - справочный материал, производственные данные и литературные источники.

В результате установлено что колебание припуска соизмеримо с назначаемым на проходе глубиной резания, а рассеяния твердости могут достигать 45% от среднего значения. Следовательно делается вывод, что производственный процесс механической обработки является стохастичным и действия технологических возмущении обуславливающие непредполагаемые ошибки в УП, является существенным.

Далее приводится сравнительный анализ существующих методов компенсации возмущении и обосновывается преимущество использования адаптируемых моделей и построенных на их основе адаптивных систем, позволяющих осуществлять компенсацию возмущении как в реальном масштабе времени с применением систем активного контроля, так и непосредственно перед началом обработки на основе информации входного контроля. В результате, возможно перенесение части задачи синтеза технологического процесса (ТП) из стадии технологической подготовки производства (ТПП) на стадию обработки и устранить тем самым влияние стохастизма на процесс конструкторско-технологического проектирования.

В III-ей главе дается количественный анализ зависимости режимов обработки, геометрических параметров траектории перемещения инструмента, схемы перемещения и условия назначения режущего инструмента от основных технологических возмущении.

Анализ проводился для 5 разных, наиболее часто встречаемых случаев токарной обработки:

I вариант: Заготовка - сталь 45, твердость HB180, цилиндрическая $\varnothing 100$ мм;

Инструмент - резец с твердосплавной пластиной T15K6; Предельно допустимые силы резания - $[P_z]=300$ кгс $[P_y]=40$ кгс

II вариант: Заготовка - жаропрочный сплав на никелевой основе ЭИ437В, твердость HB260, цилиндрическая $\varnothing 100$ мм; Инструмент - резец с

твердосплавной пластиной ВК8; *Предельно допустимые силы резания* - $[P_z]=300\text{кгс}$ $[P_y]=70\text{кгс}$

III вариант: Заготовка - Титановый сплав ВТ-4, твердость НВ200, цилиндрическая $\varnothing 100\text{мм}$; *Инструмент* - резец с твердосплавной пластиной Т15К6; *Предельно допустимые силы резания* - $[P_z]=300\text{кгс}$ $[P_y]=70\text{кгс}$

IV вариант: Заготовка: Сплав из меди Д16Т, твердость НВ100, цилиндрическая $\varnothing 100\text{мм}$; *Инструмент* - резец с твердосплавной пластиной Т15К6; *Предельно допустимые силы резания* - $[P_z]=300\text{кгс}$ $[P_y]=70\text{кгс}$

V вариант: Заготовка - К418-36, твердость НВ170, цилиндрическая $\varnothing 100\text{мм}$; *Инструмент* - резец с твердосплавной пластиной ВК8; *Предельно допустимые силы резания* - $[P_z]=250\text{кгс}$ $[P_y]=70\text{кгс}$

Для оценки использовался критерии сравнительной эффективности коррекции параметра при действии возмущения. Так в частности, при анализе зависимости режимов обработки имеем $\psi_s = \left(\frac{S_k}{S_0} - 1 \right) \cdot 100\%$ - при оценке эффективности коррекции подачи, и $\psi_v = \left(\frac{V_k}{V_0} - 1 \right) \cdot 100\%$ при оценке эффективности коррекции скорости резания, где индекс “к” выражает значение параметра после коррекции, а индекс “о”, до коррекции. Аналогично, в случае оценки эффективности коррекции траектории перемещения и схем перемещения использовался критерии $\psi = \left(\frac{Q_o}{Q_k} - 1 \right) \cdot 100\%$, где Q_o и Q_k приведенные затраты на обработку соответственно до коррекции и после коррекции.

В результате, были сформированы рабочие модели для количественного анализа выражающие типовые случай обработки. Для всех силовых ограничениях $[P_x]=Const$, $[P_y]=Const$, $[P_z]=Const$ подача S является в сильной зависимости от изменения глубины резания $\phi = \left(\frac{t_k}{t_0} - 1 \right) \cdot 100\%$ при $[HB]=Const$, что нельзя сказать о скорости резания - V .

При ограничении по мощности $[N]=Const$, S и V являются сильно зависимыми от Φ_t , также сильная зависимость обнаружилась и при активных ограничениях $[P_x]$ и $[N]$ - $[P_z N]=Const$, а при ограничении по шероховатости поверхности $[R_z]=Const$, параметры режима слабо зависят от Φ_t .

В случае изменения твердости и постоянной глубине $t=const$ - при силовых ограничениях $[P_x]=Const$, $[P_y]=Const$, $[P_z]=Const$, S и V сильно зависят от Φ_{HB} . То же самое можно сказать и для остальных случаев - при $[R_z]=Const$, $[N]=Const$ и $[P_z N]=Const$.

При исследовании зависимости геометрических параметров траектории перемещения инструмента рассматривались две версии: I - коррекция режимов обработки при изменении глубины резания без коррекции траектории и II - коррекция режимов обработки при изменении глубины резания коррекцией траектории.

В результате для всех ограничений, кроме стойкостных $[T]=Const$, обнаружили такие критические значения глубины резания, после которых эффективность коррекции, резко уменьшается, а в случае коррекции траектории (версия II), таких участков не наблюдается так как возмущение распределяется на пересчитанные проходы и в результате фактическая глубина резания, даже при значительных колебаниях припуска не уменьшается до такой степени, после которого обнаруживаются критические участки.

Что касается инструмента, то колебание твердости заготовок (даже существенное) незначительно - в пределах 10-15% влияет на условие нормального стружкообразования. Также незначительно влияние колебания припуска на эффективность коррекции схемы перемещения.

Таким образом, задачи связанные с расчетом параметров режима обработки и геометрии траектории перемещения инструмента, необходимо перенести из стадии ТПП на стадию обработки и применить для их решения адаптируемые

модели, а остальные задачи оставить на стадию ТПП и применить для их решения детерминированные модели.

IV глава диссертации посвящена разработке формализма принятия решения в виде конструкторско-технологических модулей (КТМ).

Согласно вышесформированному принципу разделения задач синтеза ТП формализацию моделей необходимо производить на уровне структуры инструментального перехода. В этой связи вначале было осуществлена типизация зон обработки. Для этого были разработаны две геометрические структуры: *STHO* - полуоткрытая ступень и *STCL* - закрытая ступень.

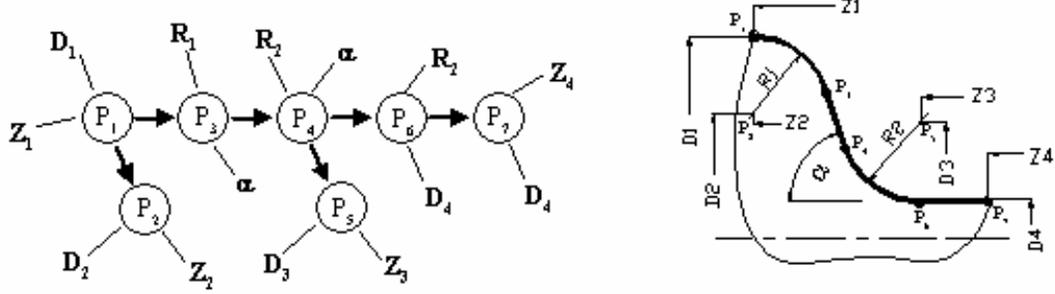


Рис. 2

Схема параметризации *STHO* (рис.2) и структурная формула ступени характеризующее ее системные свойства $STHO = \{P_1 \wedge (C_1 \vee L_1 \vee C_2) \vee L_2\}$ позволяют получить 16 частных структур из *STHO* и 58 частных модификации структур, описанных в приложении диссертации.

Схема параметризации *STCL* (рис.3) и структурная формула

$$STCL = \{P_1 \wedge (C_1 \vee L_1 \vee C_2) \vee L_2 \wedge (C_3 \vee L_3 \vee C_4)\}$$

позволяют получить 128 частных структур и 1798 модификации из *STCL*.

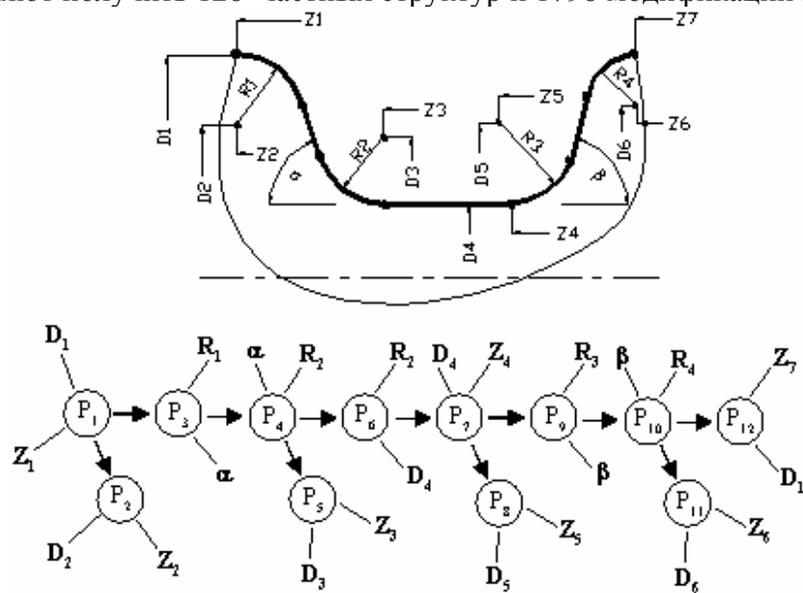


Рис. 3

В результате на основе *STHO* и *STCL* были получены 8 типовых зон токарной обработки:

- $Z_{HO}^E = \psi(STHO)$ - Полуоткрытая наружная зона
- $Z_{HO}^I = \psi(|STHO|_{180^\circ})$ - Полуоткрытая внутренняя зона
- $Z_{CL}^E = \psi(STCL)$ - Закрытая наружная зона
- $Z_{CL}^I = \psi(|STCL|_{180^\circ})$ - Закрытая внутренняя зона
- $Z_{CL}^P = \psi(|STCL|_{90^\circ})$ - Закрытая торцевая зона
- $Z_{OP}^E = \psi(|STCL|_{180^\circ})$ - Открытая наружная зона
- $Z_{OP}^I = \psi(STCL)$ - Открытая внутренняя зона
- $Z_{OP}^P = \psi(|STCL|_{270^\circ})$ - Открытая торцевая зона.

Такие элементы структуры инструментального перехода как режущий инструмент и схема перемещения инструмента достаточно полно типизированы и необходимое множество может быть сформировано из справочно-нормативного и производственного материала, поэтому следующим этапом разработки формализма КТМ явилось выделение рабочих моделей расчета параметров режима обработки.

Рабочая модель это совокупность двух факторов из которых один является функцией подачи [S], а второй функцией скорости резания [V].

С целью систематизации факторов была разработана классификация, в которой с одной стороны присутствуют элементы технологической системы Станок-Приспособление-Инструмент-Деталь, а с другой стороны факторы ассоциированные с ними - геометрия, жесткость, износ, кинематика и нагрузка. Следовательно получено 20 групп факторов (таблица 1). Для каждой группы соответствующие эмпирические уравнения были получены из справочно-нормативных и литературных источников следующих авторов - Грановский, Бобров, Лоладзе, Исаев, Тверской, Кован, Капустин, Гжиров, Капустин, Комиссаров, Валиков.

Таблица 1

	С	П	И	Д
ГЕОМЕТРИЯ	$L_{Г-С}$	$L_{Г-П}$	$L_{Г-И}$	$L_{Г-Д}$
ЖЕСТКОСТЬ	$L_{Ж-С}$	$L_{Ж-П}$	$L_{Ж-И}$	$L_{Ж-Д}$
ИЗНОС	$L_{И-С}$	$L_{И-П}$	$L_{И-И}$	$L_{И-Д}$
КИНЕМАТИКА	$L_{К-С}$	$L_{К-П}$	$L_{К-И}$	$L_{К-Д}$
НАГРУЗКА	$L_{Н-С}$	$L_{Н-П}$	$L_{Н-И}$	$L_{Н-С}$

В результате было сформировано полное множество состоящее из 33 факторов, описанных в приложении диссертации. Далее факторы были отсеяны и сгруппированы по чувствительности к параметрам [S] и [V]:

$$\text{Группа [V]} = \{ L_{к-с}^1 \}$$

$$\text{Группа [S]} = \{ L_{к-с}^2 ; L_{Г-д}^7 ; L_{Г-д}^8 ; L_{ж-с}^1 ; L_{ж-и}^1 ; L_{ж-и}^4 ; L_{ж-д}^1 ; L_{н-с}^4 ; L_{н-с}^5 ; L_{н-и}^1 \}$$

$$\text{Группа [VS]} = \{ L_{Г-и}^1 ; L_{Г-д}^4 ; L_{н-и}^1 ; L_{н-с}^1 ; L_{н-с}^2 \} \quad (1)$$

Все факторы входящие в группу [S] могут быть выражены через предельное значение S_o . Аналогично, через V_o выражаются факторы группы [V]. Следовательно возможно спаривание факторов и з группы [VS] с V_o и S_o , или же факторов внутри группы [VS]. Однако при этом возможно получение рабочих моделей, которые либо не будут отражать реально существующие условия обработки, либо будут близки к одноконтурному управлению и как следствие малоэффективны. Поэтому, необходимо отсеивание факторов из группы [VS]. Критериями отсеивания приняты - ориентация кривой фактора на плоскости $V \times S$ (угол β) и устойчивость фактора выражающая способность фактора оставаться внутри группы при рассеивании параметра S . Значения β вычисляются в точках близких к оптимальному. Они соответствуют опытно-экспериментальным данным описанным в работе Грановского, для предварительного, межоперационного и чистового точения.

Установлено, что фактор $L'_{н-с} - N = \frac{V \cdot P_z}{6120}$ мощность главного привода

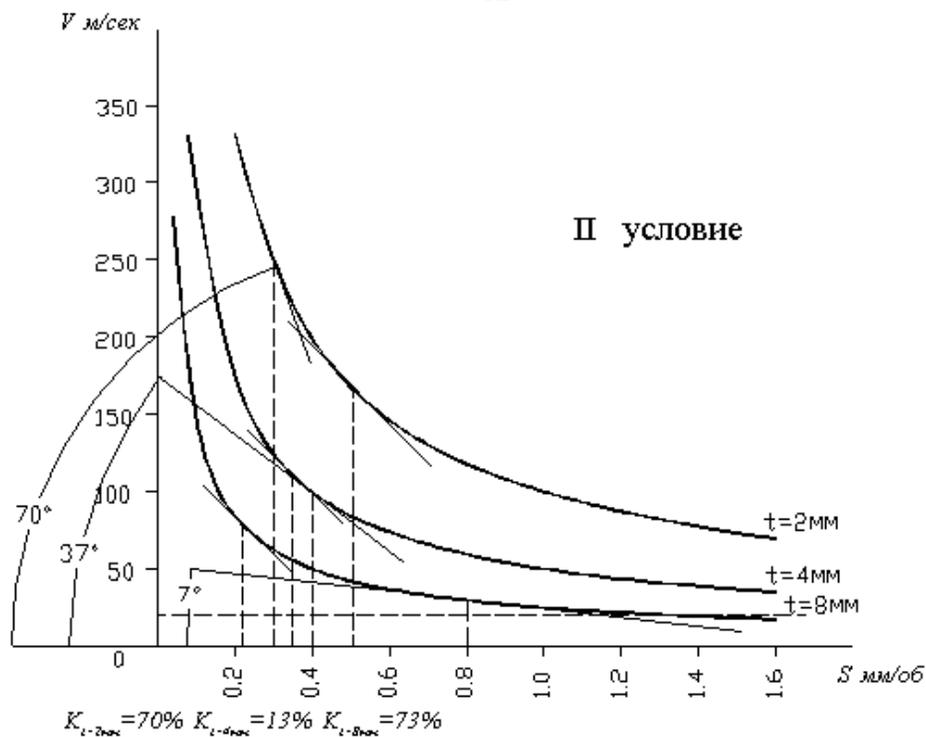


Рис. 4

станка, который характерен для черновых операции, более чувствителен к параметру $[V]$ - $0 \leq \beta \leq 45^\circ$ (рис.4). устойчивость фактора также высока.

Фактор L^4_{z-d} - шероховатость обработанной поверхности более чувствителен к параметру $[S]$ в диапазоне скоростей резания $10 < V < 193 - \frac{243 \cdot S}{r^{0.52}}$ (рис.5).

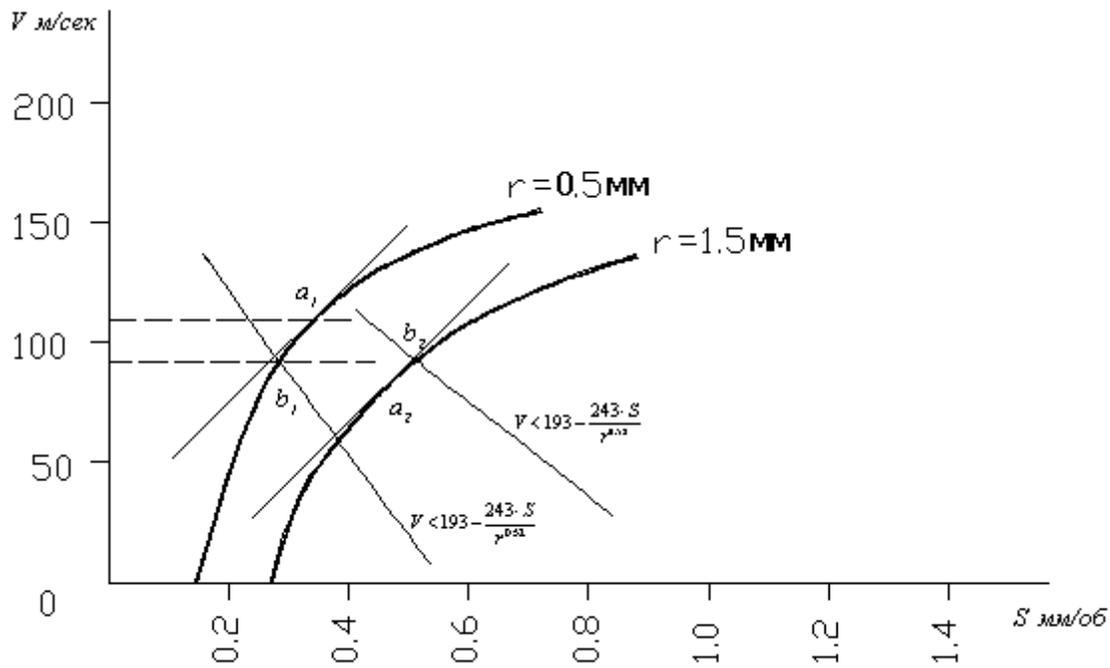


Рис. 5

Фактор L^1_{z-u} $V = \left[\frac{\Delta_T \cdot F}{C \cdot l_p \cdot \sigma_{II} \cdot (t \cdot S)^{0.75}} \right]^2$ - выражает тепловую деформацию вершины

инструмента до наступления теплового равновесия. Согласно исследованиям фактор может быть активным только лишь при малых сечениях среза (рис.6) и является более чувствительным к параметру S .

Фактор L^2_{n-c} $V = 10 \cdot \pi \cdot D \cdot \frac{l_{II}}{L} \cdot \sqrt{\frac{[Q] \cdot g}{C_{P_x} \cdot S^{\beta_x} \cdot t^{\gamma_x} \cdot HB^{n_x} \cdot \rho}}$ - динамическая

нагрузка на подшипники, характерен для сравнительно больших сечениях среза, является более чувствительным к V (рис.7).

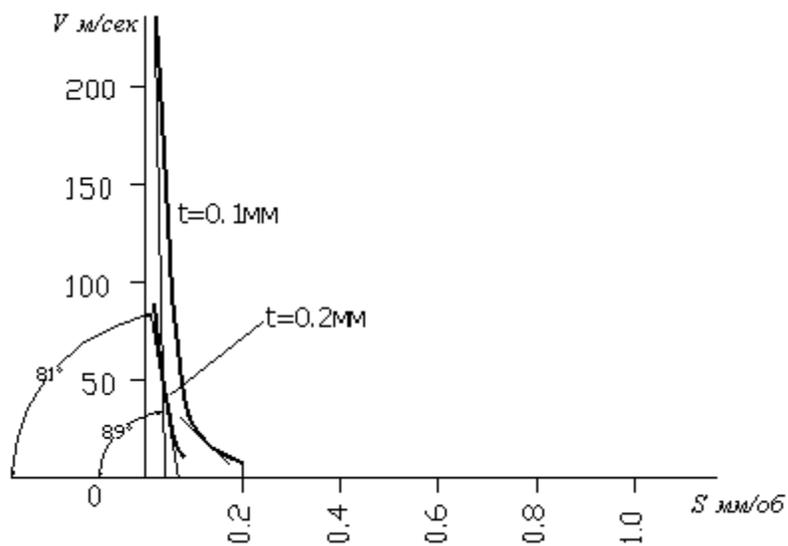


Рис. 6

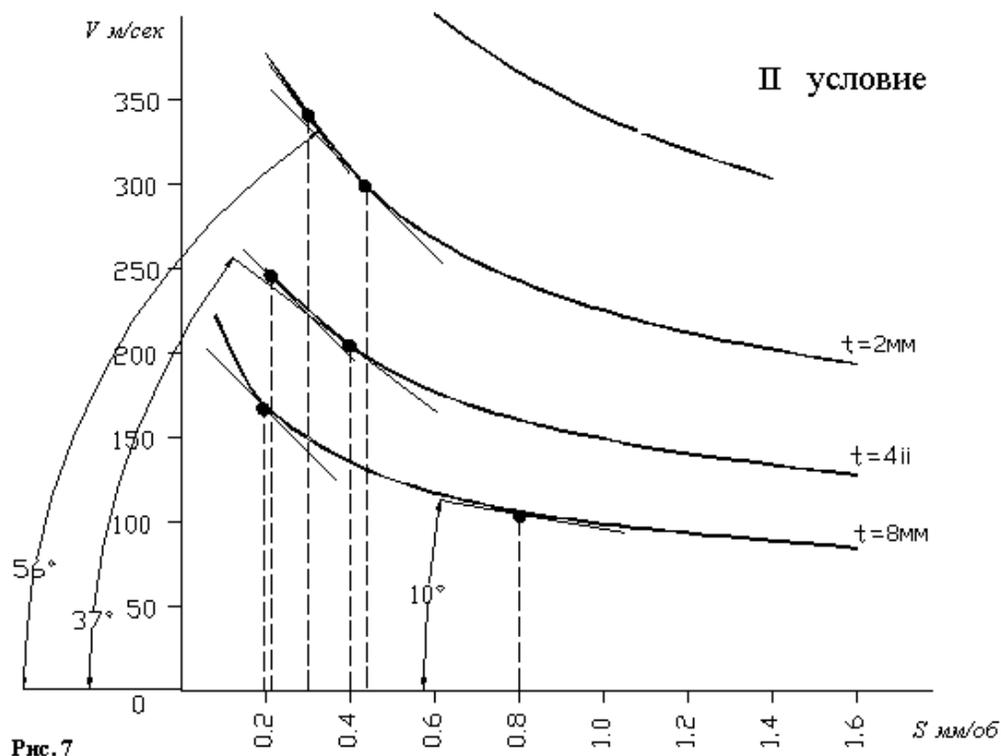


Рис. 7

Фактор L^I_{u-u} $T = \frac{C_T}{V^\mu \cdot S^\nu \cdot t^\rho}$ - стойкость инструмента имеет такой

характер, что при увеличении сечения среза, он более чувствителен к параметру V , а при малых, к параметру S (рис. 8). Поэтому в черновых операциях отнесем его к группе $[V]$, а при чистовых к группе $[S]$.

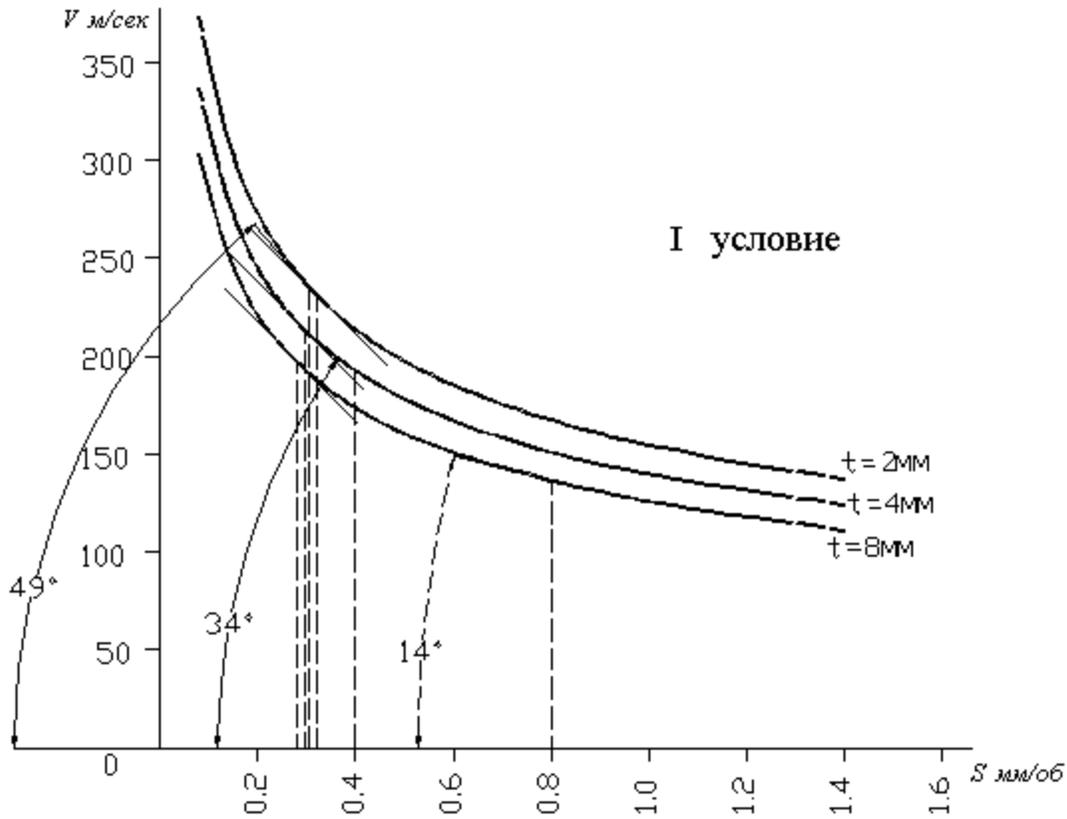


Рис. 8

Таким образом, получаем две группы факторов

$$\begin{cases} [H] = \{S_0, Q, R_z, T_s\} \\ [\Phi] = \{V_0, N, F, T_v\} \end{cases}$$

откуда в результате спаривания, с учетом типовых случаев токарной обработки были получены следующие рабочие модели расчета режимов обработки:

Чистовое точение: $M_1 = \{[V_0 S_0], [V_0 Q], [V_0 R_z]\}$

Черновое точение: $M_2 = \{[V_0 S_0], [S_0 N], [S_0 F], [S_0 T]\}$

Межоперационное точение: $M_3 = \{[V_0 T]\}$

Таким образом, была сформирована базовая совокупность КТМ из 8 модулей, объединяющая 44 типовых структур инструментальных переходов.

В V-ой главе разработаны методы автоматизированного синтеза технологической операции на базе КТМ. В частности задачи идентификации и параметризации зон обработки, автоматизированного выбора инструмента и схемы перемещения, параметрической и структурной оптимизации технологической операции.

Задача синтеза параметризованных зон обработки сведена к задаче распознавания образов, когда происходит отнесение исходных данных о распознаваемом объекте к определенному классу с помощью выделения его существенных характеристик или свойств, представленных в этих данных из общих свойств. Под классом объектов (образов) при этом понимается некоторая категория, обладающая рядом определяющих ее свойств, общих для всех элементов образующих класс.

В результате синтез параметризованных зон можно представить как процесс состоящий из 4-х последовательных этапов:

- 1) Выделение из начального описания контура существенных свойств
- 2) Определение множества образов, соответствующих данному свойству
- 3) Отнесение распознаваемого объекта по свойству, к одному из образов из множества
- 4) Описание выбранным образом распознаваемого объекта.

Соответствующий механизм синтеза будет выглядеть следующим образом (рис.9): вначале, из контура детали выделяется предположительная зона, т.е. генерируется определенная гипотеза. Далее осуществляется проверка гипотезы, т.е. предположительная зона сравнивается с параметризованными примитивами КТМ в библиотеке, включая модификации. В случае обнаружения тождества свойств, предположительная зона описывается параметрически в соответствии с схемой

параметризации найденного примитива КТМ, а в противном случае генерируется новая гипотеза и т.д.

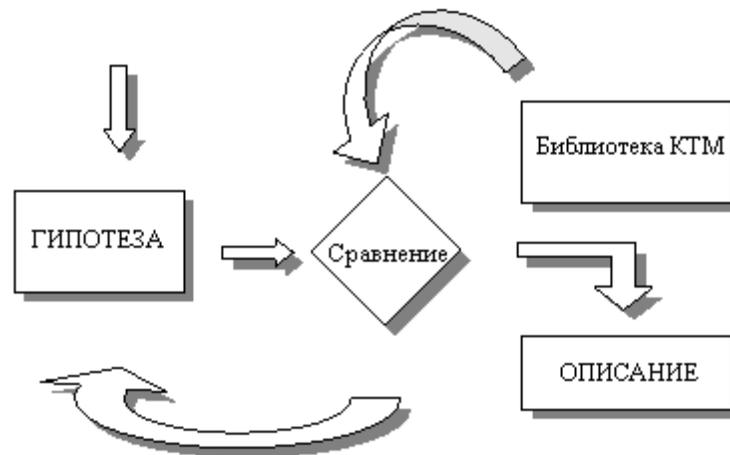


Рис. 9

С математической точки зрения описанный выше метод синтеза сводится к задаче перебора. Однако из-за многовариантности, реализация полного перебора нецелесообразно и необходимо осуществлять целенаправленный перебор. I-ой стратегией поиска должно стать максимизация размера зоны с целью сокращения количества итерации при поиске, а II-ой стратегией поиска должен стать тип зоны, чтобы обеспечить правильную структуру операции.

В результате была разработана функциональная блок-схема (рис.10) двух-параметрического целенаправленного перебора.

Вначале осуществляется считывание геометрии контуров детали и заготовки (блок 1). Далее определяется стратегия поиска (блок 2). Поиск начинается с открытой зоны и в соответствии с максимальной размерностью примитива, описанного в библиотеке КТМ. На последующих итерациях поиск производится уже для полуоткрытых и закрытых зон. Следующим шагом анализируется текущее значение вектора состояния и в зависимости от этого, принимается решение о продолжении перебора. В этом случае, если вся зона заданная исходными контурами детали и заготовки, параметризована, перебор

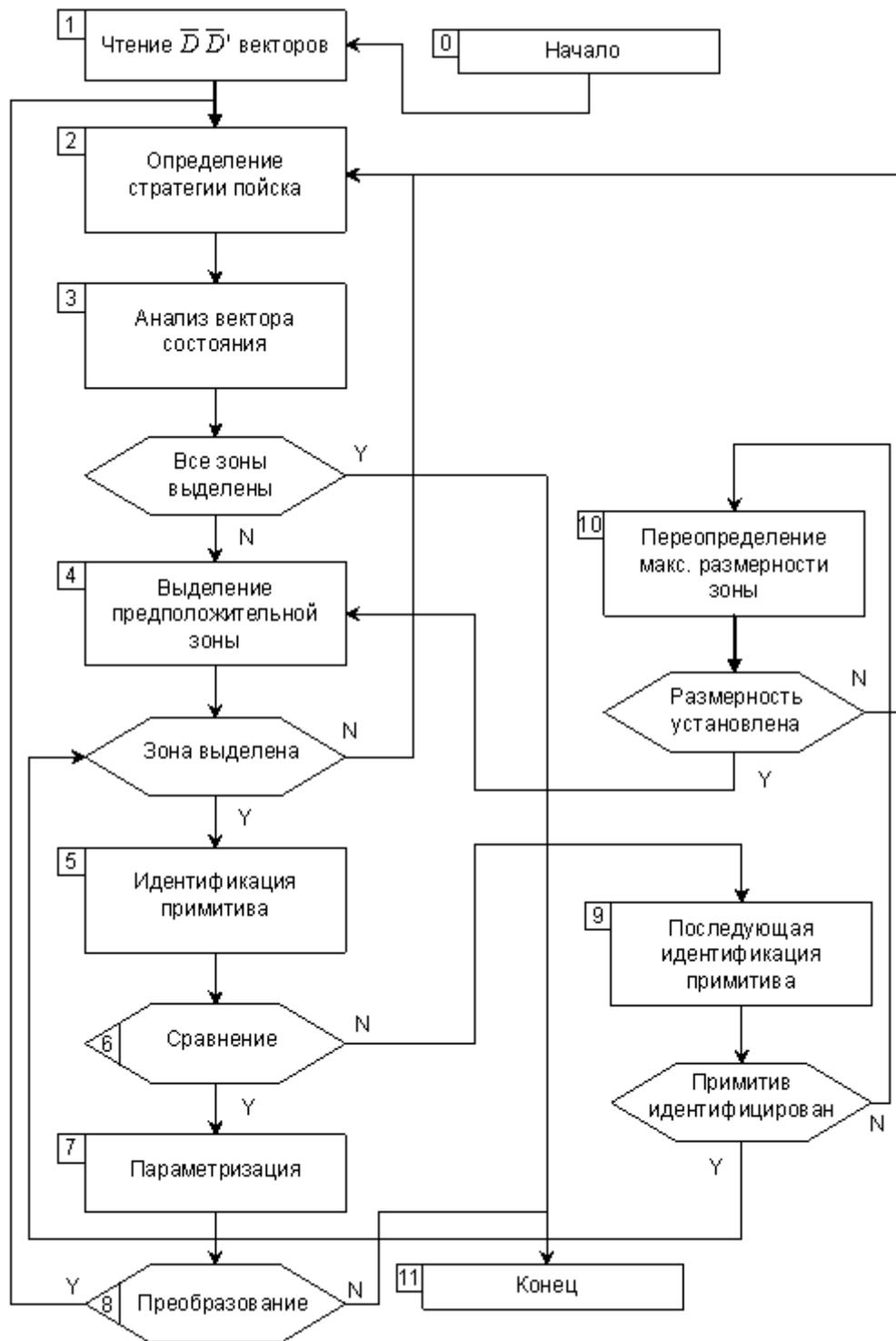


Рис. 10

завершается. Далее для заданного типа и размерности зоны из текущего состояния контура выделяется предположительная зона (блок 4) и идентифицируется

примитив из библиотеки КТМ (блок 5). В случае невозможности генерации предположительной зоны происходит возвращение к блоку 2 и первым образом уменьшается размерность зоны. Итерация повторяется до тех пор пока размерность зоны не уменьшится до минимально допустимого значения, после чего считается что заданный тип зоны в текущем состоянии контура не существует и для последующего перебора выбирается другой тип зоны. Соответственно, устанавливается максимальная размерность зоны для данного типа.

В блоке 6, выделенная предположительная зона и идентифицированный из библиотеки КТМ примитив, сравниваются. В случае положительного исхода, предположительная зона параметризуется (блок 7) т.е. ее геометрия описывается схемой параметризации примитива КТМ. Далее параметризованная зона вычитается из контура; вектор состояния преобразуется (блок 8) и происходит переход на новую итерацию параметризации зоны. Если в результате преобразования вектора состояния окажется, что на контуре все зоны параметризованы, то алгоритм завершает работу.

В случае отрицательного исхода сравнение предположительной зоны и примитива, из библиотеки КТМ, для заданного типа и размерности зоны, происходит идентификация нового примитива (блок 9) и вновь осуществляется сравнение с предположительной зоной. Итерации продолжаются до тех пор, пока для заданных параметров поиска не будут идентифицированы все примитивы, после чего максимальная размерность зоны уменьшается на одно деление (блок 10) и выделяется новая предположительная зона (блок 4). Если уменьшение размерности зоны не удастся т.е. если она уже имеет минимально допустимое значение, то считается что для заданного типа зоны, все возможные варианты перебраны и следовательно, поиск начинается уже другой стратегией - для нового типа зоны и соответствующей максимальной размерности.

Приводится описание методов реализуемых внутри каждого блока, которые были разработаны в диссертационных работах магистров А.Мамамтавришвили, В.Шекриладзе, Д.Хабазашвили, З.Качарава, А.Шония, выполненных под руководством автора.

Автоматизированный выбор режущего инструмента в структуре инструментального перехода осуществляется на основе формальных правил, которые производят последовательное отсеивание множества инструментов для конкретных условия по конструктивным, физико-механическим и геометрическим признакам. Правила отсеивания построены на основе предикатов и соответствуют типовым условиям выбора инструмента. В этой связи были сформированы 3 группы предикатов и построенных на их основе правил:

I группа отсеивания содержит 24 предикатов и 30 правил выбора множества инструментов по конструктивным параметрам.

II группа отсеивания включает 10 предикатов и 7 правил выбора множества инструментов по физико-механическим свойствам и в частности по марке материала.

III группа отсеивания содержит 12 предикатов и 7 правил выбора множества инструментов по геометрическим параметрам.

В результате, была разработана общая методика выбора инструмента (рис.11) осуществляющая 3-х этапное постепенное приближение к окончательному варианту инструмента. В случае наличия нескольких вариантов после отсеивания, окончательный вариант выбирается по экономическим критериям.

Схема перемещения инструмента однозначно зависит от типа и конструкции режущего инструмента. Поэтому сформированные правила I-ой группы отсеивания инструментов по конструктивным признакам можно рассматривать и как правила выбора схем перемещения. В дополнении для

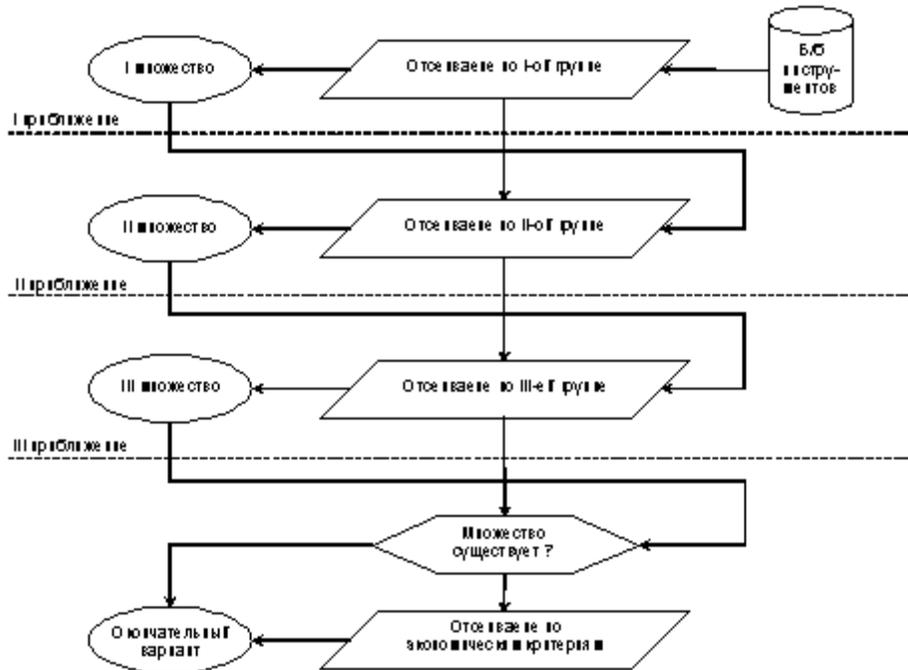


Рис. 11

конкретизации случаев были сформированы 7 предикатов и 18 правил выбора схем перемещения.

Указанные правила являются основой для разработки интерактивных процедур принятия решения при автоматизированном выборе режущего инструмента и схем перемещения инструментов.

Задача параметрической оптимизации операции на базе КТМ выполняется в 3-х этапах: I - Вначале для заданных условий обработки, устанавливается глубина резания на проходе. Для этого используются рекомендации В.Д.Цветкова.

II - Для вычисленной глубины резания и условий обработки, выделяются все активные ограничения и определяется область G - допустимых значений V и S . Вначале формируется прямоугольник G_0 из предельных значений параметров режима. При этом для черновой обработки, из выделенных 10 факторов (1) ограничивающих значения подачи S , активными могут быть следующие:

- 1) Фактор $L_{к-с}^2$ - Предельные значения подач
- 2) Фактор $L_{э-с}^1$ - Прочность механизма подачи

- 3) Фактор $L_{ж-и}^1$ - Прочность державки инструмента
- 4) Фактор $L_{н-с}^4$ - Момент прижатия к переднему центру
- 5) Фактор $L_{н-с}^5$ - Условия безаварийной работы станка
- 6) Фактор $L_{и-и}^1$ - Допустимая нагрузка на резец по прочности режущей части.
- 7) Фактор $L_{ж-д}^4$ - Прочность детали

Исходное значение S_{max} и S_{min} определяется по фактору $L_{к-с}^2$. Далее S_{max} уточняется последовательно, по каждому фактору путем вычисления предельного значения подачи по фактору и сравнения с текущим значением S_{max} . В случае если вычисленное значение окажется меньше S_{max} , то значение S_{max} корректируется путем присваивания к нему вычисленного значения подачи и т.д. анализ производится по всем факторам. Значения V_{min} и V_{max} определяются из фактора $L_{к-с}^1$ и из условия адекватности модели $V_{min} \geq V_n$.

Далее прямоугольник G_o отсекается кривыми факторов являющихся функциями V и S одновременно. Согласно выделенному множеству рабочих моделей M_i такими могут быть 3 фактора:

- 1) Фактор - Мощность главного привода N
- 2) Фактор - Динамическая нагрузка на подшипники F_n
- 3) Фактор - Стойкость инструмента T_v

Следовательно V_{max} уточняется последовательно по факторам и устанавливается активный фактор т.е. окончательно формируется область G (рис.12 а).

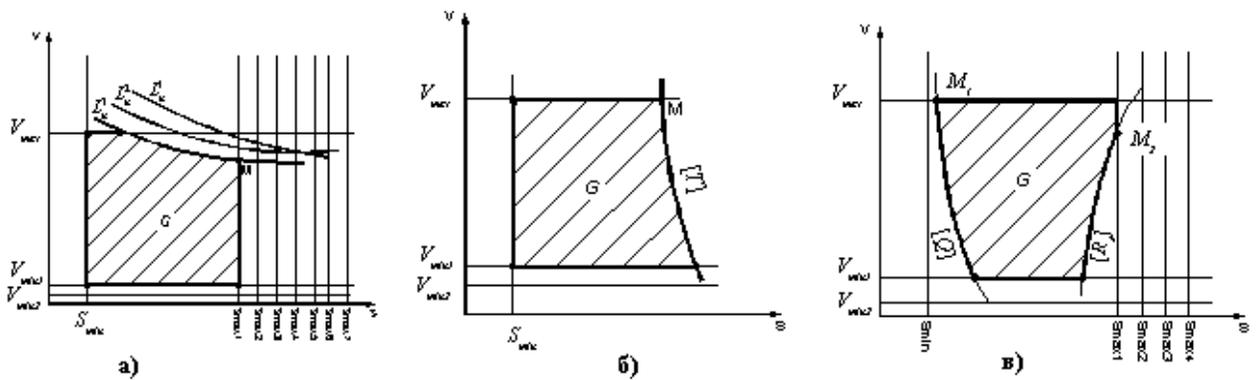


Рис. 12

При полустивовой обработке активными могут быть ограничения из группы $M_3 = [V_o T_s]$ поэтому область G будет иметь вид (рис. 12 б).

При чистовой обработке активными могут быть ограничения из группы $M_1 = [V_o S_o] [V_o Q] [V_o R_z]$. Следовательно, согласно (1) предельные значения подачи могут быть определены из факторов:

- 1) Фактор $L_{2-\delta}^8$ - погрешность формы
- 2) Фактор $L_{2-\delta}^7$ - точность обработки
- 3) Фактор $L_{ж-и}^4$ - формоустойчивость режущей кромки
- 4) Фактор $L_{к-с}^2$ - предельные значения подач.

Предельные значения V определяются аналогично черновой обработке и формируется область G_o . Далее G_o отсекается двумя кривыми факторов:

- 1) Фактор - тепловая деформация инструмента
- 2) Фактор - шероховатость обработанной поверхности.

В результате формируется конечная область G (рис. 12 в).

III - Выявление активных факторов на пересечении которых находится точка оптимума. Для этого осуществляется вычисление целевой функции в точках пересечения факторов и выбираются те факторы на пересечение которых целевая функция имеет минимальное значение.

В качестве целевой функции принята величина q характеризующая затраты на съем единицы объема материала, при стойкостной зависимости Тейлора

$$q = a \cdot t^\eta + \frac{\gamma_n}{C_T} \cdot b \cdot t^\lambda$$

где, t - глубина резания

C_T - коэффициент

$\gamma_n = \frac{E_u}{E_c}$ - в случае себестоимости; $\gamma_n = \tau_{cm}$ - в случае производительности.

E_u - стоимость инструмента E_c - стоимость станкоминуты.

$$a = \frac{\left([H] \cdot C_H^{-1} \right)^{\frac{1}{\beta_H} \left(\frac{\beta_\Phi - 1}{\alpha_\Phi} \right)}}{\left([\Phi] \cdot C_\Phi^{-1} \cdot HB^n \right)^{\frac{1}{\alpha_\Phi}}}$$

$$b = \frac{\left([\Phi] \cdot C_\Phi^{-1} \cdot HB^n \right)^{\frac{\mu-1}{\alpha_\Phi}}}{\left([H] \cdot C_H^{-1} \right)^{\frac{1}{\beta_H} \left(\frac{\beta_\Phi \cdot \mu}{\alpha_\Phi} - \frac{\beta_\Phi}{\alpha_\Phi} \cdot \nu + 1 \right)}}$$

$$\eta = \frac{\gamma_\Phi}{\alpha_\Phi} + \frac{\gamma_H}{\beta_H} - 1 - \frac{\gamma_H}{\alpha_\Phi} \cdot \frac{\beta_\Phi}{\beta_H}$$

$$\lambda = \left(\frac{\gamma_H}{\alpha_\Phi} \cdot \frac{\beta_\Phi}{\beta_H} - \frac{\gamma_\Phi}{\alpha_\Phi} \right) \cdot (\mu - 1) - \frac{\gamma_H}{\beta_H} \cdot (\nu - 1) + \rho - 1$$

Задачей структурной оптимизации операции является окончательное установление структуры каждого инструментального перехода и определение оптимальной последовательности их выполнения.

Первым шагом оптимизации черновых переходов является нормализация структур путем максимального использования для обработки одностипных инструментов. При этом для текущего перехода проверяется наличие альтернативных структур. В случае обнаружения анализируется каждая альтернатива на предмет наличия в структуре, инструмента из множества используемых в остальных структурах инструментов. При сходстве рассматриваемая структура назначается для обработки соответствующей параметризованной ступни КТМ.

Следующим шагом последовательность выполнения переходов упорядочивается с целью удовлетворения требования обеспечения максимальной жесткости технологической системы, для чего вначале обрабатываются открытые, далее полуоткрытые и в последнюю очередь закрытые зоны. В результате получаем оптимальную структуру операции I-го приближения.

Далее для соседних переходов обрабатываемых одним и тем же инструментом, совмещаются конечная точка перемещения инструмента на переходе с начальной точкой следующего перехода. Тем самым устраняются дополнительные вспомогательные ходы инструмента связанные с отводом и подводом.

Следующим шагом осуществляется укрупнение структур. Для этого идентифицируются т.н. элементарные ступни - высота которой соизмерима с глубиной резания на последующем переходе. В результате при совмещении обработки элементарной ступни с обработкой последующего перехода не увеличивается количество проходов. Следовательно сокращается количество переходов, рабочих проходов и формируется оптимальная структура операции II-го приближения.

В случае наличия нескольких альтернатив, наилучший вариант выбирается по условию минимизации целевой функции в качестве которого принят параметр Q - приведенных затрат на обработку

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \sigma_i$$

где, q_i - затраты на сьем единицы объема материала на i -м проходе, выражение (2)

σ_i - объем удаляемого на i -м проходе материала

n - количество проходов.

При структурной оптимизации чистовых операции необходимо получить такую структуру, которая обеспечила бы заданную точность размеров и качество

поверхностей, а также точность взаимного расположения поверхностей за минимальные затраты.

Основным условием определяющим последовательность чистовых переходов в операции является принцип совмещения конструкторских баз с технологическими. Поэтому для установления соответствующей последовательности необходимо группирование ступеней по конструкторским базам, согласно размерной цепи. Для этого вначале определяется крайняя правая конструкторская база на контуре детали и согласно размерным цепям формируется группа ступеней I-го ранга. Далее из выделенной группы определяется следующая крайняя правая конструкторская база и по размерным цепям выделяется группа ступеней II-го ранга и т.д. Получаем группы переходов, в которой номер индекса однозначно определяет последовательность выполнения групп (рис.13).

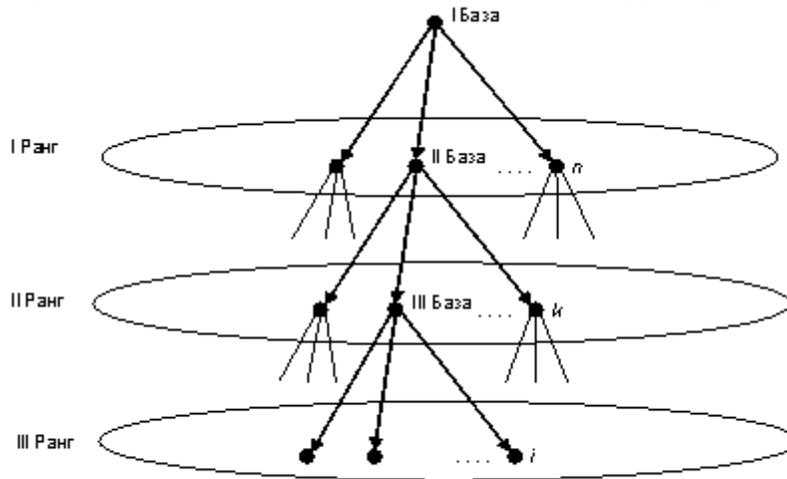


Рис. 13

Далее определяется последовательность выполнения переходов внутри группы, для чего переходы группируются внутри группы по общности применяемого инструмента и последовательность выполнения подгрупп определяется от крайней правой ступни последовательно влево.

VI глава диссертации посвящена разработке архитектуры и подсистем системы автоматизированного проектирования операции на базе КТМ.

Условно в архитектуре можно выделить два класса программных модулей: базовые модули, представляющие собой ядро системы и предназначенные для решения задач обеспечения интерфейса, документирования, визуализации, организации БД и программирования; прикладные модули, ассоциированные с моделями принятия решения построенных на базе КТМ.

Следовательно, частая сменяемость прикладного программного обеспечения САПР ставит необходимость разработки архитектуры САПР, позволяющей оперативно и легко осуществлять разработку и внедрение новых программных модулей.

Прикладные программные модули САПР предназначены для выполнения технологических задач, как обычно решают большой объем геометрических вычислений, имеют сложную логическую разветвленность и соответствуют требованиям типового технологического процесса. Разработка таких программных модулей требует высокой квалификации одновременно как в математической логике, в геометрии и в программировании, так и в технологии машиностроения.

Решение проблемы возможно путем использования объектно-ориентированного подхода, так как при этом за счет инкапсуляции объектов и выделения подклассов, возможно разграничение задач по классам и как следствие, создание такой архитектуры САПР, которая позволила бы оптимизировать процесс разработки новых прикладных программных модулей.

Существующие в настоящее время объектно-ориентированные САПР, такие как AutoCAD, CADKEY, MicroSTATION и др. не позволяют решить задачу по упрощению разработки новых прикладных модулей так как они не содержат проблемно-ориентированные классы объектов, хотя и содержат инструментальные средства для разработки последних.

В этой связи необходимо разработать класс прикладных базовых объектов, которые являются условно-постоянными т.е. такими, которые не зависят в сильной степени от изменения условия типизации решения КТМ, а также выполняющие тривиальные задачи математических и геометрических вычислений.



Рис. 14

Следовательно архитектура САПР КТМ включает следующие основные системы (рис.14):

- 1) Система базовых объектов (СБО) ядра САПР - предназначенная для выполнения функции базового программного обеспечения САПР.
- 2) Система прикладных базовых объектов (СПБО) состоящая из условно-постоянных объектов и осуществляющая функциональную связь между СБО и прикладными модулями САПР.
- 3) Прикладные X-объекты, которые разрабатываются в соответствии с отдельными подсистемами САПР КТМ и которые выражают всю технологическую специфику типового технологического процесса.

Данная архитектура позволяет четко разграничить классы объектов по назначению, определить частоту их сменяемости и как следствие распределить по времени их разработку. В результате упрощается процесс разработки прикладных программных модулей САПР за счет разграничения геометрических и технологических задач в отдельные классы и устранения из относительно часто изменяемых X-объектов сложных математических и логических задач, требующих большой объем программирования. Разграничение функции по системам, а также частота их модификации представлены в таблице 2.

Таблица 2

Наименование	Задачи	Фактор модификации
Система БПО	Математические Логические	Тип технологического процесса
X-система	Технологические	Номенклатура деталей
Проект пользователя	Документирование	Конкретная деталь

Модификация объектов СБПО зависит от самого типа технологического процесса. Например, при переходе от токарной обработки к фрезерной обработке изменяется совокупность конструкторских элементов и законов управления режимами обработки и следовательно необходимо разработать новые алгоритмы геометрических преобразованиях и т.п. Тогда как в пределах типа технологического процесса, они постоянны. X-объекты модифицируются в зависимости от номенклатуры деталей, так как типизация технологического процесса производится для определенной номенклатуры деталей. Поэтому при каждой смене номенклатуры, состав X-объектов будет модифицироваться. Пользовательские проекты решаемые на базе X-объектов, будут при этом относиться к конкретным деталям из номенклатуры.

Базовые прикладные объекты не выражают всю специфику типового технологического процесса. Элементы КТМ относящиеся к СБПО заранее известны и они не подвержены изменениям при каждой новой типизации технологического процесса. Следовательно, данные объекты характеризуются относительно небольшой технологической сложностью (рис.15). Одновременно, уровень математической и логической сложности указанных объектов относительно велик, так как они выполняют большой объем геометрических вычислений связанных с преобразованиями контуров конструкторских элементов и определении точек

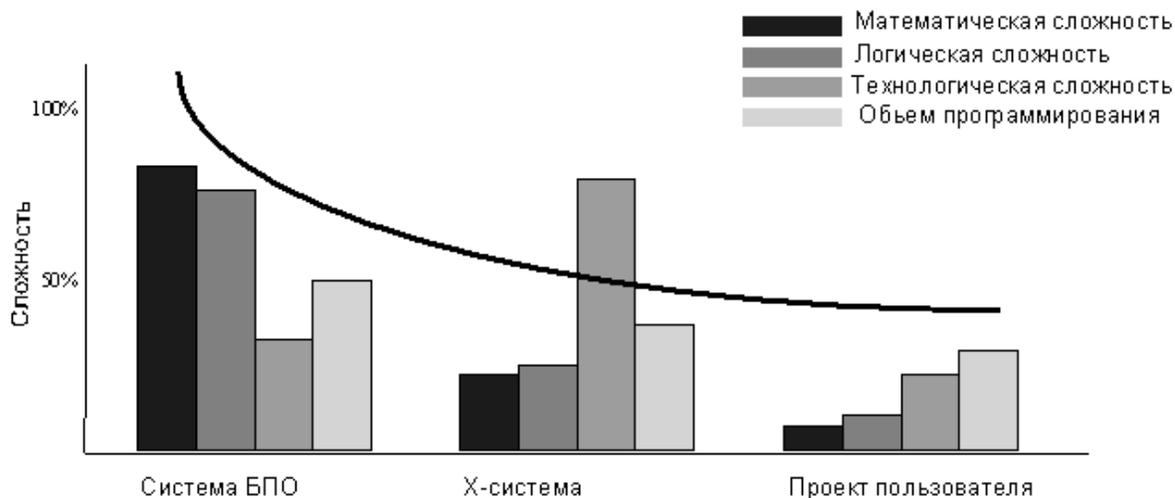


Рис. 15

пересечения при расчете траектории перемещения инструмента по заданным схемам. Также относительно велик уровень логической сложности, поскольку объекты являются наиболее обобщенными и идентификация частных случаев требует разработки большого объема логических решений. Как следствие, при этом увеличивается объем программирования за счет необходимых задач тестирования и отладки алгоритмов геометрических преобразований и логических решений.

Прикладные X-объекты, в противовес СБПО выражают всю специфику типового технологического процесса и требуют для разработки, высокого уровня технологических знаний. Вместе с тем уровень математической сложности данных объектов невелик, так как все задачи перенесены в геометрические объекты СБПО, а в X-объектах задача сводится в присвоениях и переприсвоениях входных и выходных данных объектов СБПО. Уровень логической сложности объектов также относительно небольшой, так как они содержат решения с меньшей степени обобщенности. Объем программирования в основном обуславливается задачами тестирования технологических алгоритмов, однако они в сравнении с алгоритмами геометрических преобразований не сложны и следовательно объем программирования X-объектов относительно не велик.

В этой связи были разработаны различные классы СПБО ядра AutoCAD для решения отдельных задач конструкторско-технологического проектирования. В частности:

I. Методы и класс объектов интерактивной параметризации КТМ. При этом были разработаны два метода: 1) Параметризация по заданному контуру детали; при этом результатом параметризации является новый контур, который геометрически совпадает с исходным контуром, откуда была произведена параметризация. Подобные методы известны в литературе как Feature Recognition. 2) Параметризация в процессе геометрического моделирования. Подобный метод известен в литературе как Feature-based Design.

В результате по первому методу в диссертационной работе магистра Д.Микадзе, выполненной под руководством автора был разработан метод и класс объектов, состоящий из 17 объектов VBA СПБО ядра AutoCAD. По второму методу в диссертационной работе магистра Б.Чихрадзе, выполненной под руководством автора был разработан метод и класс объектов состоящий из 7 классов и 20 объектов ресурса ObjectARX для СПБО ядра AutoCAD.

II. Метод и класс объектов автоматизированного синтеза режущего инструмента. Работа выполнена в диссертации магистра А.Сурмава, выполненной под руководством автора. В качестве базы для разработки информационных массивов выбран каталог Sandvic Coromant сертифицированный международным стандартом ISO9001. В результате выделены 4 информационных массива с соответствующими концептуальными и физическими моделями: геометрии пластины и державки, типа пластины и режущего инструмента полученного в результате синтеза записей из вышеприведенных массивов. В этой связи были разработаны классы объектов интерактивных процедур поиска и выбора записей в информационных массивах и 3-х мерной визуализации инструмента. Всего было разработано 34 объектов VBA для СПБО ядра AutoCAD.

III. Метод и класс объектов программирования технологических модулей на базе КТМ.

Технологические модули выполняют задачу синтеза траектории перемещения инструмента, который осуществляется на основе схемы перемещения. Поэтому, каждой схеме представленной в базовом наборе КТМ соответствует отдельный технологический модуль расчета геометрии траектории. Для составления такого модуля необходимо иметь специальный язык описания закономерностей траектории описанных схемой перемещения.

Следовательно был разработан язык программирования состоящий из 7 операторов технологических команд; 3 оператора логических функции; 6 операторов арифметических действий и 7 операторов стандартных функции. В результате был разработан класс объектов интерпретации и программирования указанных операторов. В частности 3 класса и 13 объектов интерпретации.

Объекты программирования реализуют т.н. Wizard-функции результатом работы которых являются готовые фрагменты листинга программ. При этом были разработаны 9 Wizard-функции и соответствующие объекты VBA СПБО ядра AutoCAD.

IV. Метод и класс объектов синтеза траектории перемещения инструмента на базе КТМ.

Объекты расчета траектории перемещения инструмента предназначены для определения опорных точек траектории. Они разделяются на *два* класса - геометрические объекты и объекты перемещения. Классификация объектов, сами объекты и их программная реализация были разработаны магистром Л.Мегрелишвили в диссертационной работе выполненной под руководством автора.

Функцией геометрических объектов является определение опорных точек контура КТМ в зависимости от заданных значений формальных параметров.

Следовательно I класс геометрических объектов был разработан в соответствии с типовыми структурами ступни STHO и содержит 16 объектов. II класс геометрических объектов, разработанный на основе структуры STCL содержит 128 объектов.

Функцией объектов перемещения является определение координат опорных точек траектории перемещения инструмента в соответствии с образующими контура детали и типовыми схемами перемещения. Образующие и опорные точки контура детали определяются вышеописанными геометрическими объектами и заносятся в буфер, откуда объектом перемещения, с учетом координат текущей опорной точки траектории, определяется область контура детали и образующая на пересечении с которой будет вычислена опорная точка траектории. Согласно типовым схемам перемещения базового набора КТМ были выделены 3 класса и 5 объектов перемещения.

ВЫВОДЫ ДИССЕРТАЦИИ

- 1) Разработан новый формализм принятия решения в виде конструкторско-технологических модулей для задач автоматизированного проектирования технологических операции.
- 2) Разработан метод синтеза параметризованных зон токарной обработки двух-параметрическим целенаправленным перебором.
- 3) Для автоматизации интерактивных процедур принятия решения разработана система предикатов и формальных правил для задач автоматизированного выбора режущего инструмента (47 предикаты, 43 формальные правила) и схем перемещения инструмента (7 предикаты, 18 формальные правила).

- 4) Разработана объектно-ориентированная архитектура системы автоматизированного проектирования технологической операции на базе конструкторско-технологических модулей и выделено 3 основных класса объектов: ядро системы, система прикладных базовых объектов и X-система.
- 5) Разработан метод и класс объектов (37 объектов) интерактивной параметризации конструкторско-технологических модулей для системы прикладных базовых объектов.
- 6) Разработан метод и класс объектов (34 объектов) автоматизированного синтеза режущего инструмента на базе стандарта Sandvic Coromant для системы прикладных базовых объектов.
- 7) Разработан метод и класс объектов (9 объектов) программирования технологических модулей для системы прикладных базовых объектов.
- 8) Разработан метод и класс объектов (149 объектов) синтеза траектории перемещения режущего инструмента для системы прикладных базовых объектов.
- 9) Дана классификация процесса конструкторско-технологического проектирования и выявлены 12 последовательных этапов; задачи, входные и выходные данные на каждом этапе проектирования.
- 10) Выделены две геометрические структуры - полуоткрытая ступень STHO и закрытая ступень STCL, позволяющие параметрически описывать любые поверхности деталей типа тел-вращения.

- 11) Выделено научно-обоснованное множество 8 типовых рабочих моделей расчета параметров режима обработки для чернового, межоперационного и чистового точения.
- 12) Сформирована базовая совокупность конструкторско-технологических модулей токарной обработки состоящая из 44 типовых структур инструментальных переходов.
- 13) Разработаны методы параметрической и структурной оптимизации токарных операции на базе конструкторско-технологических модулей.

СПИСОК НАУЧНЫХ ТРУДОВ ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Шармазанашвили А.Н., Карга С.В., Афанасьев А.В. Система макропрограммирования операционных процессов в условиях ГПС. “Актуальные проблемы фундаментальных наук”. Материалы международной научно-технической конференции, Москва, 23 Октября – 3 Ноября, 1991г. стр.78
2. Шармазанашвил А.Н. К вопросу исследования зависимости оптимальных режимов обработки от технологических возмущений. Труды ГТУ №1 (403). Тбилиси, 1994г. стр.52-65
3. Шармазанашвили А.Н. Методы оптимизации черновых проходов при адаптивном управлении. Труды ГТУ №2 (404). Тбилиси, 1994г. стр.38-49
4. Sharmazanashvili A., Gornev V. CPM methodology and its application in production engineering. Collection of reports. Georgian symposium for project development and conversion. May 15 – 18, 1995 Tbilisi. pp.219 – 221

5. Шармазанашвили А.Н. Тенденции развития интегрированных систем CAD/CAM. Труды ГТУ №1 (417). Тбилиси, 1998г. стр.100-110
6. Шармазанашвили А.Н., Мамамтавришвили А. Преобразование геометрии детали методом распознавания образов. Труды ГТУ №1 (417). Тбилиси, 1998г. стр.161-169
7. Sharmazanashvili A., Megrelishvili L. Feature-based approach in CAD/CAM/CNC integration. Proceedings of the 2nd International symposium on Tools and Methods of Concurrent Engineering, 21 – 23 April, 1998, Manchester, England. pp.410-418
8. Sharmazanashvili A. CAPP customization on the base of object-oriented approach. Proceedings of the 4th International symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering, 22 – 26 April, 2002, Wuhan, P.R.China. pp.751-761
9. Sharmazanashvili A., Chikhradze B. Computer system of wall decoration on the base of programmable direct-x library. Proceedings of the International workshop & Project festival on computer vision, computer graphics, new media. 12-13 September, 2002 Graz, Austria. pp.189-194
10. Sharmazanashvili A. Development of manufacturing features with advanced parametrization possibilities. Proceedings of the 5th International symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering, 13–17 April, 2004, Lausanne, Switzerland. vol.2, pp.695-706