

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ

Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции  
и ордена Трудового Красного Знамени Государственный  
технический университет имени Н. Э. Баумана

---

На правах рукописи

Экз. 41

Шармазанашвили Александр Николаевич

УДК 658.512.011.56

АДАПТИВНОЕ МАКРОПРОГРАММИРОВАНИЕ ТОКАРНЫХ ОПЕРАЦИОННЫХ ПРО-  
ЦЕССОВ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ В УСЛОВИЯХ ГПС

Специальность: 05.02.08 - Технология машиностроения  
05.13.12 - Системы автоматизации проектиро-  
вания

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва - 1991

Работа выполнена в Московском Государственном техническом университете имени Н.Э.Баумана.

Научный руководитель - кандидат технических наук,  
доцент Савинов А.М.

Официальные оппоненты - доктор технических наук,  
профессор Митрофанов В.Г.  
- кандидат технических наук,  
доцент Белов В.В.

Ведущая организация - МСПО "Красный пролетарий"

Защита состоится "23" декабря 1991 г. в 14<sup>30</sup> часов на заседании специализированного Совета К 053.15.09 в Московском Государственном техническом университете им. Н.Э.Баумана по адресу: 107005, Москва В-5, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Ваш отзыв в 1-м экземпляре, заверенный печатью, просим выслать по указанному адресу.

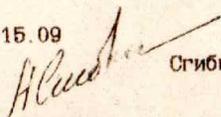
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского Государственного технического университета имени Н.Э.Баумана.

Желающие присутствовать на защите должны заблаговременно известить Совет письмами заинтересованных организаций на имя председателя Совета.

Телефон для справок 263-69-49

Автореферат разослан "20" ноября 1991 г.

Ученый секретарь  
специализированного Совета К 053.15.09  
к.т.н., доцент



Сгибнев А.В.

Подп. к печ. 25.06.91 Заказ 31г Объем 1 н.л. 100 экз.  
Типография МГТУ им. Н.Э.Баумана

#### Актуальность задачи.

Необходимость повышения производительности общественного труда при одновременном расширении номенклатуры выпускаемых изделий предопределили объективные требования появления гибких производственных систем (ГПС), представляющих перспективное направление автоматизации отраслей машиностроения с серийным и мелкосерийным производством.

Вместе с тем как свидетельствует практика эксплуатации ГПС, в том числе и зарубежный опыт, техническому проектированию ГПС должны предшествовать новые технологические разработки, так как несовершенство технологических решений не может быть компенсировано даже самыми современными техническими средствами.

Основной задачей технологии ГПС является полное раскрытие их потенциальных возможностей и создание высокопроизводительных систем. В этой связи с позиции выполнения функции "малолюдной технологии" особую значимость имеет реализация принципа безотладочной технологии - технологии, при которой спроектированный операционный процесс для станков с ЧПУ и соответственно управляющая программа (УП) не требуют проведения отладочных операций непосредственно на рабочих позициях.

Отладка, цель которой заключается в обеспечении получения годной детали и максимального соответствия УП конкретным производственным условиям, традиционно является неотъемлемой частью производственного процесса и характеризуется многократными коррекциями УП, сопровождаемыми пробными отработками отдельных ее частей - циклами "пробного запуска", что в итоге приводит к значительным простоям технологического оборудования.

В результате, если в узкономенклатурном производстве отладка УП является нежелательным, но допустимым этапом, то в широкономенклатурном производстве, и особенно в ГПС, где резко возрастает стоимость одного часа простоя единицы оборудования (достигает примерно 150руб.), отладка приводит к существенному снижению эффективности.

Таким образом, в настоящее время разработка методов и средств, позволяющих реализовать безотладочную технологию либо минимизировать время отладки спроектированных операционных процессов и УП с целью создания высокопроизводительных ГПС, является актуальной задачей.

Цель работы.

Сокращение времени отладки УП и повышение производительности токарной обработки на станках с ЧПУ за счет разработки метода адаптивного макропрограммирования токарных операционных процессов, создания программно-методического обеспечения СЧПУ класса CNC и разработки системы автоматизированного макропрограммирования токарных операции (САМТТО).

#### Методы решения.

Для решения поставленной задачи использовались методы математического моделирования операционного процесса, теория оптимального управления металлообработкой. При сравнительном анализе сформированных конструкторско-технологических решений (КТР) применялась теория планирования эксперимента, результаты обрабатывались с помощью методов факторного анализа.

#### Научная новизна.

Впервые произведено разделение операционного процесса на структурную и параметрическую части по условию наименьшей подверженности элементов структурного описания влиянию возмущающих воздействий. Установлены условия дискретной и непрерывной зависимости траектории перемещения инструмента от возмущений. Доказана непрерывная зависимость параметров режима обработки, а также дискретная зависимость схем движения инструмента от возмущений. Разработана методика формирования КТР для технологического наполнения систем ЧПУ класса CNC.

#### Практическая ценность.

На основе предложенной методики выделения КТР для систем ЧПУ класса CNC были разработаны программные модули, наличие которых позволяет производить оперативную коррекцию УП по результатам входного контроля параметров заготовки. Разработаны программно-языковые средства формирования библиотеки КТР, позволяющие производить предварительную апробацию типизированных решений, упростить процесс их генерации. Разработано программное обеспечение (ПО) САМТТО, обеспечивающее синтез структуры операции из заранее сформированных КТР и получение макропрограмм.

#### Внедрение.

Результаты диссертационной работы использовались при создании прикладного программно-математического обеспечения систем ЧПУ Sinumerik 3T в НПО "Энергия" и "Электроника" MC2106 в НПО "Темп". В итоге время отладки траектории перемещения инструмента на этапах "пробного запуска" УП сократилось на 82%, а время отладки ре-

жимов обработки - на 65%. Производительность обработки увеличилась в среднем в 1.5 раза. Ожидаемый экономический эффект в НПО "Темп" составляет 16 т. рублей. Внедрение САМТТО/2P22 на предприятии п/я Г-4575 позволило уменьшить трудоемкость отладки УП на холстом ходу и в покадровом режиме за счет генерации макропрограмм. Годовой экономический эффект от внедрения системы составил 9.3 т. рублей.

#### Апробация работы.

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на заседаниях кафедры РК-9 МГТУ им. Н.Э.Баумана, на Всесоюзных научно-технических конференциях "Проблемы технологии и точности ГПС в машиностроении" (г.Москва 1990); "Технологическое обеспечение качества машиностроительных изделий" (г.Москва 1990г.), "Бауманские чтения" (г.Москва 1989г.), а также международном конкурсе молодых научных работников "Роботика 90" (г.Созопол, ИРБ, 1990).

#### Публикации.

По материалам диссертации опубликовано 8 научных работ, отражающих ее основное содержание.

#### Объем работы.

Диссертация состоит из введения, шести глав, общих выводов, списка литературы и приложения. Работа содержит 117 страниц машинописного текста, 57 рисунков, 41 таблицу, а также список литературы из 97 наименований.

#### Основное содержание работы.

Первая глава посвящена обзору состояния рассматриваемой проблемы, анализу причин нестабильности производственных условий, постановке задачи исследования.

Создание безотладочной технологии вплотную связано с повышением надежности и работоспособности УП. При этом под работоспособностью УП понимается их способность при соблюдении заданных условий выполнения перехода механической обработки обеспечения для первой полученной детали всех заданных технических требований к обработанной поверхности, а под надежностью УП - сохранения работоспособности в течение определенного интервала времени.

Из всех причин неработоспособности УП основная доля приходится на нестабильность производственной среды, связанную с действиями технологических возмущений.

Как свидетельствуют многочисленные исследования и как показали результаты наблюдений за производственным процессом, для де-

талей типа "тела вращения" наиболее часто встречающимися и наиболее значимыми являются возмущения, связанные с изменениями припусков и твердости заготовок. При этом наиболее ярко они выражены у заготовок из отливок и поковок из высокопрочных и труднообрабатываемых материалов, для которых колебания твердости могут достигать 40% от среднего значения, а поле рассеяния припусков соизмеримо с назначаемой на проходе глубиной резания.

В этой связи для решения задачи могут применяться следующие методы: стабилизация отклонения параметров заготовок, которая однако увеличивает затраты на заготовительные операции и соответственно себестоимость детали (работы В.С.Корсакова, А.А.Миталина); адаптивные системы, которые компенсируют технологические возмущения на этапе текущего управления за счет изменения декодированных управляющих воздействий путем выработки к заданной в УП цели управления дополнительных инструкций (рис.1 а) (работы В.С.Балакшина, М.М.Тверского, В.Ф.Горнева, В.А.Ратмирова, Л.К.Daneshmend, P.L.V.Oxley и др.). Однако обычно метод реализуется в относительно узком диапазоне действия возмущений и следовательно не может быть применен для решения поставленной задачи; шире возможности у систем, производящих коррекцию УП по методу адаптивного программирования, при котором компенсация действий технологических возмущений производится за счет повторного перепроектирования УП по уточненным исходным данным на этапе подготовки (рис.1 б) (работы А.И.Аликова, А.М.Савинова). Однако метод характеризуется функционированием системы подготовки, управления и контроля в едином масштабе времени, что вряд ли можно считать приемлемым. Очевидно, наиболее оправданным в таких условиях является не повторное перепроектирование УП а ее оперативная коррекция непосредственно на рабочих позициях.

Указанный принцип реализуется методом адаптивного макропрограммирования, идея которого заключается в структурно-параметрическом представлении операционного процесса - как совокупности наименее подверженных влиянию возмущений структурных элементов и соответствующих им параметров, адаптируемых на конкретные производственные условия. В результате влияния возмущений переносятся на параметрический уровень описания, что в свою очередь, при условии наличия соответствующих программно-технологических модулей (ПТМ) в системе ЧПУ, переводящих структурно-параметрическое описание операции в управляющую информацию для исполнительных орга-

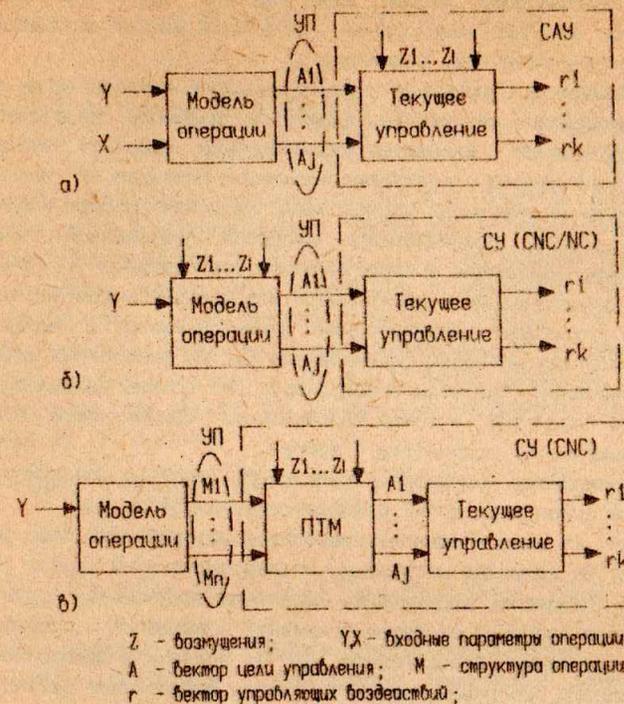


рис.1 Методы компенсации действия технологических возмущений

нов станка, позволяет осуществить оперативную коррекцию УП. Для этого необходимо и достаточно произвести коррекцию численных значений контролируемых параметров операции (рис.1 в). УП при этом вместо вектора цели управления содержит информацию о структуре операции в виде совокупности макрокоманд, т.е. превращается т.н. макропрограмму. В технологии машиностроения известны структурно-параметрические представления операции, разработанные А.П. Соколовским, С.П. Митрофановым, Н.М. Капустиним, В.Д. Цветковым, Б.М. Вазровым, М.А. Эстервоном и др. Однако предложенные указанными авторами структурно-параметрические представления разработались не из условия наименьшей подверженности структурной части действиям возмущений, следовательно сформированные структуры могут служить основой для реализации метода адаптивного макро-

программирования

В диссертационной работе дана научная проработка метода адаптивного макропрограммирования. При этом в рамках поставленной задачи выделены следующие подзадачи:

1. Разработка структурно-параметрического представления операции и определение структурных элементов, наименее подверженных влиянию возмущений - элементов макроописания. Включает выявление характера зависимости структурных элементов операции от возмущений. Проведение указанных исследований возможно на базе исследовательской модели операционного процесса, построенной с учетом представлений, имеющих в теоретической технологии.

2. Технологическое и программное наполнение систем ЧПУ класса CNC для реализации макропрограмм. Делается вывод о необходимости разработки методики формирования КТР из выделенных элементов макроописания. При этом совокупность КТР должна удовлетворять требованиям "полноты", а также максимальной обобщенности КТР с целью сокращения их количества в наборе.

3. Разработка средств структурного синтеза операционного процесса из совокупности КТР и подготовки макропрограмм.

Исходя из вышесказанного приводится методический план решения задачи. Он включает построение исследовательской модели операционного процесса; определение характера зависимости структурных элементов операции от технологических возмущений; разработку методики получения совокупности КТР из элементов макроописания для прикладного программно-математического обеспечения систем ЧПУ класса CNC; разработку системы автоматизированного макропрограммирования токарных операции - САМТО; проведение апробации метода и программного обеспечения, разработанного в диссертации.

Вторая глава посвящена разработке исследовательской модели операционного процесса и, в частности, выбору критерия качества операции, уравнения связи и условий ограничения.

Как отмечается С.С. Силиным, в производственных условиях могут использоваться: экономический критерий качества в виде минимума себестоимости; критерий максимальной производительности или критерий минимума относительного линейного износа инструмента - критерий максимальной стойкости.

Многими исследователями (М.М. Тверской, Н.М. Гильман, А.Л. Дарябин, И.В. Рубашкин, J. Peters и др.) в качестве обобщенного критерия используется показатель затрат на сьем единицы объема

6

материала, зависящий от режимов обработки (V, S, t):

$$q = \frac{1}{\sqrt{St}} + \frac{\sigma_n}{C_T} V^{n-1} S^{p-1} t^{p-1} \quad (1)$$

а также (В.Ф. Горнев) вытекающий из него

$$q = a t^{\lambda} + \frac{\sigma_n}{C_T} b t^{\lambda} \quad (2)$$

для случая управления режимами обработки по законам оптимальности, где a и b - коэффициенты, зависящие от предельных значений условий оптимальности; a  $\eta, \lambda, \sigma_n, C_T$  - от условий обработки.

В общем случае объем удаляемого на проходе материала можно разбить на элементарные участки длиной L<sub>i</sub>, считая при этом, что внутри участка объем заключен между двумя усеченными конусами [D<sub>a1</sub>(L<sub>i</sub>), D<sub>b1</sub>(L<sub>i</sub>)] и [D<sub>a2</sub>(L<sub>i</sub>), D<sub>b2</sub>(L<sub>i</sub>)]. Тогда приняв на L<sub>i</sub> процесс стационарным, для затрат при перемещении инструмента на отдельном проходе из (1) получим:

$$Q = \frac{K}{1000} \sum_{i=0}^n \left\{ \frac{1000 n^{-1} S^{-1}}{\pi D_{a1}(L_i) t_{i(L_i)}} + \frac{\sigma_n}{C_T(\varphi)} \left[ \frac{\pi D_{a1}(L_i)}{1000} \right]^{n-1} S^{p-1} [t_{i(L_i)}]^{p-1} \right\} \cdot \frac{1}{12} \pi L_i \left[ D_{a1}^2(L_i) + D_{b1}^2(L_i) + D_{a2}^2(L_i) + D_{b2}^2(L_i) - D_{a1}(L_i) D_{b1}(L_i) - D_{a2}(L_i) D_{b2}(L_i) \right] + E_c \tau_b$$

где E<sub>c</sub> - стоимость станкоминуты работы оборудования;

C<sub>T</sub>(φ) - коэффициент, учитывающий измененный кинематический угол в плане, связанный с разными формообразующими движениями инструмента;

τ<sub>b</sub> - временные затраты на быстрое перемещение инструмента.

Таким образом, суммируя затраты на каждом проходе, можно оценивать эффективность всего операционного процесса. При оценке производительности - K=E<sub>c</sub>-1, E<sub>m</sub>=0 и σ<sub>n</sub>=τ<sub>cm</sub> (τ<sub>cm</sub> - время смены инструмента), а в случае себестоимости τ<sub>cm</sub>=0, σ<sub>n</sub>=E<sub>c</sub>/E<sub>m</sub> и K=E<sub>c</sub>.

В качестве аппроксимирующей стойкостной зависимости принята зависимость типа

$$T = \frac{C_T}{V^m S^p t^p}$$

Целесообразность ее применения в математической модели оправдана при проведении качественного анализа операционного процесса, когда точные количественные соотношения не имеют существенного значения. Кроме того, эта зависимость подкреплена большим количеством экспериментального материала и производственного

7

опыта, что позволяет расширить область исследований.

Условия ограничения в общем виде могут быть записаны как функции параметров режима обработки:

$$C_m \cdot V^\alpha \cdot S^\beta \cdot t^\delta = M_i \leq [\Pi_i] \quad i=1,2,\dots,n$$

Конкретный вид граничных условий зависит от характера ограничения и того, к какому элементу технологической системы это ограничение относится. В работе приведено более 20 условий ограничений, описанных в литературных источниках.

Для принятой стойкостной зависимости выбранная целевая функция имеет условный экстремум, который находится на границе допустимых значений. Следовательно, для нахождения точки оптимума при каждой фиксированной глубине резания, необходимо и достаточно совместное решение системы из двух уравнений. Это либо уравнения граничных условий, либо уравнения граничного условия и оптимальной стойкости:

$$T_o = \delta_n \left( \frac{\alpha \nu - \beta m}{\alpha - \beta} - 1 \right)$$

Таким образом, сформированы девять законов оптимального управления для проведения исследований: [PV], [PT], [SV], [SN], [ST], [PN], [MN], [MV] и [MT].

Третья глава посвящена анализу влияния технологических возмущений на структурные элементы операционного процесса и определению элементов макроописания. При этом для оценки степени влияния введен показатель эффективности коррекции:

$$\Psi = \left( \frac{Q_b}{Q_k} - 1 \right) \cdot 100\%$$

где  $Q_b$  - затраты при "базовом" процессе, т.е. до коррекции;

$Q_k$  - затраты при "скорректированном" процессе.

Исследования произведены для примитивных элементов, полученных в результате расчленения операции по свойству перевода объекта из состояния заготовки в состояние готовой детали - структурных элементов инструментального перехода, и по свойству управления. При этом такие элементы перехода как инструмент, обрабатываемая поверхность не подвержены влиянию возмущений так как последние не изменяют условия их выбора. Кроме того, зависимость законов управления от возмущений исследованы в работах В.Ф. Горнева, И.В. Рубашкина и др. Поэтому анализ произведен для следующих элементов: схема перемещения, режим обработки и траектория движения

инструмента.

Исследование влияния возмущений на схему движения инструмента произведено с учетом затрат, связанных с быстрым перемещением инструмента. При этом если доля затрат на ускоренное перемещение в суммарном значении затрат на обработку материала, т.е. зависимость

$Q = \xi(Q_{0,x})$  слабо выражена, то схемы фактически являются равноценными для любых значений возмущений. В результате проведенных исследований установлено, что эффективность коррекции схемы в отдельных случаях может достигать всего лишь 10±15%. Следовательно, схема является элементом, дискретно зависящим от возмущений т.е. в широком диапазоне изменения возмущений ее можно считать не подверженным влиянию элементом - элементом макроописания.

Исследование характера зависимости параметров режима обработки от возмущений проведено для случаев изменения припуска и твердости на примере однопроходной обработки цилиндрической заготовки. Проведенные исследования показали, что при разбросе припуска заготовки до 40% изменение показателя эффективности коррекции  $\Psi$  для закона [SV] и [ST] составляет 6±12%, а для всех остальных законов - 70±110%. Аналогично при таком же разбросе твердости практически для всех законов управления значение  $\Psi$  колеблется в пределах 35-80%. Следовательно, за исключением условий [SV] и [ST], режим является сильно подверженным влиянию возмущений, или иначе - непрерывно зависящим элементом, поэтому его нельзя считать элементом макроописания.

При существенных колебаниях припуска  $H - 0 = T_d \leq t_g$ ,  $0 \leq T_d \leq 2t_g$  и т.д., где  $T_d$  - поле рассеяния размеров заготовки, а  $t_g$  - рассчитанная глубина резания, возможно уменьшение фактической глубины резания до таких значений, при которых выполнение условий оптимальности, заданных в законе управления, может привести к резкому увеличению затрат на съем единицы объема материала. Это связано с тем, что в выражении (2) показатель степени  $\lambda$  для большинства условий обработки является отрицательным, поэтому при уменьшении глубины резако увеличивается значение второго слагаемого и, соответственно,  $q$ . Иными словами, происходит резкое снижение стойкости инструмента, что увеличивает время смены инструмента при критерии максимальной производительности либо стоимость переточки при критерии минимальной себестоимости.

В результате при большой крутизне возрастания функции  $q$ , несмотря на уменьшение удаляемого объема материала, связанное с

уменьшением глубины резания, увеличиваются суммарные затраты на обработку  $Q$ . При этом, чем меньше значение  $\lambda$ , тем сильнее эта зависимость.

Для законов управления, содержащих условие управления по оптимальной стойкости, значение  $\lambda$  колеблется  $\lambda = 0.04 \div 0.18$ , следовательно, увеличение  $q$  незначительно и практически не влияет на суммарные затраты  $Q$ , которые уменьшаются почти пропорционально уменьшению объема.

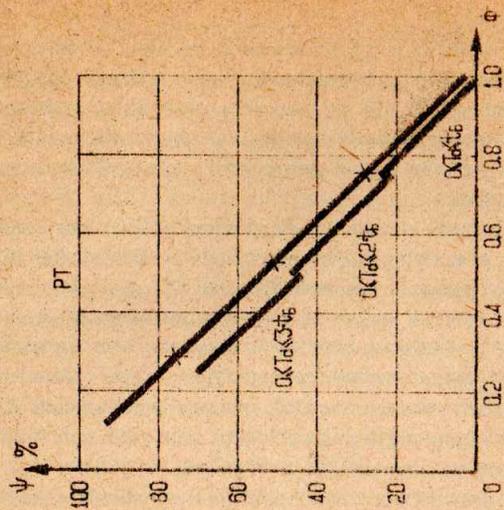
Для остальных законов управления  $\lambda_{PV} = -0.61 \div -1.73$ ;  $\lambda_{SM} = -2.28 \div -4.25$ ;  $\lambda_{PN} = -0.62 \div -1.73$ , поэтому крутизна возрастания  $q$  большая и оказывает преобладающее влияние на суммарные затраты  $Q$  по сравнению с уменьшением объема удаляемого материала.

При одновременной коррекции режимов и траектории движения инструмента для фактического значения припуска  $H_k$  определяются число проходов, глубина резания на каждом проходе и координаты опорных точек перемещения инструмента. При этом на каждом проходе по рассчитанной глубине для заданного закона управления производится коррекция режимов. В результате значение величины  $T_d$  перераспределяется на проходы, в связи с чем, даже при значительных колебаниях припуска - когда  $0 \leq T_d \leq 2t_{\Sigma}$  и т.п., фактическая глубина резания  $t_k$  на каждом проходе не уменьшается до значения, после которого взаимосвязь  $Q = \xi(q)$  сильно, выражена и, следовательно, для законов управления [PV], [SN], [PN], [MV] и [MN] суммарные затраты на обработку, также как и для законов [PT] и [MT], уменьшаются пропорционально уменьшению объема удаляемого материала.

Таким образом, траектория перемещения инструмента для законов управления [PT] и [MT] имеет дискретный характер зависимости от возмущений, а для всех остальных случаев зависимость непрерывная (рис. 2). Следовательно, делается вывод, что элементами макроописания являются структурные элементы инструментального перехода - конструкторский элемент (КЭ), инструмент, схема перемещения, закон управления, а режим обработки и траектория движения инструмента являются элементами, непрерывно зависящими от возмущений.

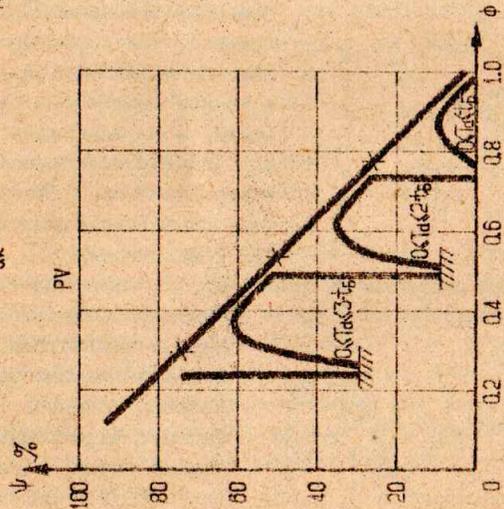
В четвертой главе на основе выделенных элементов макроописания операционного процесса разрабатывается методика формирования совокупности КЭР для прикладного программно-математического обеспечения систем ЧПУ класса CNC.

При этом считается, что КЭР устанавливает взаимосвязь между геометрическим описанием границы зоны обработки, применяемым ин-



$$\phi = \frac{H_0}{H_k}$$

$$\psi = \left( \frac{Q_0}{Q_k} - 1 \right) \cdot 100\%$$



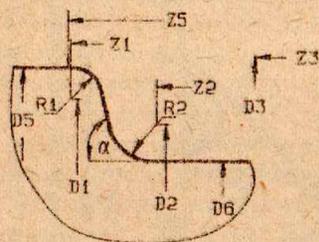
Н - припуск  
 — коррекция режимов на 1-ом проходе без коррекции траектории  
 - - - коррекция траектории с коррекцией режимов на каждом проходе  
 рис. 2 Характер влияния возмущений на траекторию перемещения инструмента

инструментом, траекторией его перемещения и условиями обработки. Следовательно, формирование КТР должно сопровождаться унификацией конструкторского описания элементов зоны, а также обобщением накопленного опыта обработки таких элементов и поиском оптимальных технологических решений.

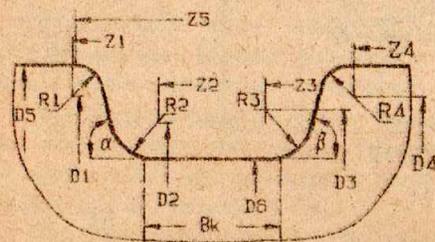
Для этого необходимо, чтобы совокупность КТР была полной, т.е. обеспечивала возможность синтеза плана операции для любого экземпляра детали из выбранной номенклатуры. С другой стороны, осуществление этого условия может привести к увеличению альтернативных вариантов КТР. В результате, учитывая то, что, в конечном итоге, из набора КТР разрабатывается прикладное программно-математическое обеспечение для систем CNC, вторым необходимым требованием при адаптивном макропрограммировании является максимальное обобщение КТР с целью сокращения их количества.

В результате проведенного конструкторского анализа были определены пять обобщенных КЭ - полуоткрытая ступень (наружная, внутренняя), закрытая ступень (наружная, торцевая, внутренняя).

Полуоткрытая ступень представляет собой КЭ, полученный пересечением конусной поверхности с глубиной цилиндрическими поверхностями, имеющий в точках пересечения окружности, и ограничивающий подвод режущего инструмента и его перемещения, обеспечивая образование поверхностей с двух сторон.



Закрытая ступень представляет собой КЭ, полученный пересечением двух конусных поверхностей с двумя цилиндрическими (торцевыми) поверхностями, с соответствующими окружностями в точках пересечения, ограничивающий подвод режущего инструмента и его перемещения, обеспечивая образование поверхностей с трех сторон.



Цель технологического анализа состоит в формировании типовых

технологических решений для набора КЭ и включает определение номенклатуры обрабатываемых инструментов и выделение соответствующих схем перемещения.

Основным критерием при выборе инструментов является минимизация числа необходимых типоразмеров инструмента в номенклатуре.

Синтез схем движения инструмента производится в два этапа:

1. Определение для выбранной номенклатуры инструмента всевозможных схем перемещения по установленным методическими указаниями направлениям рабочих перемещений резцов, а также по производственному опыту ряда предприятий.

2. Проведение сравнительного анализа выделенных схем перемещений инструмента. Такой анализ необходимо проводить только для тех схем, которые назначены без учета специальных требований к обработке, т.е. для тех условий, при которых возможно наличие нескольких альтернативных вариантов схем перемещения.

Анализ производится посредством постановки модельного полного факторного эксперимента с использованием описанной исследовательской модели операционного процесса и характеризуется следующей этапностью:

2.1. Условное группирование схем перемещения.

2.2. Формирование функции отклика для каждой группы схем:

$$\begin{cases} Q1 = f_1(X1, X2, \dots, Xn1); \\ Q2 = f_2(X1, X2, \dots, Xn2); \\ \dots \\ Qm = f_m(X1, X2, \dots, Xnm), \end{cases}$$

где  $Q1, Q2, \dots, Qm$  - параметры оптимизации;

$X1, X2, \dots, Xnm$  - факторы.

2.3. Составление планов экспериментов с включением групп схем движения инструмента в план в виде качественных факторов с условной порядковой шкалой из двух значений: 1 - схема "включена" и 0 - схема "выключена", а также геометрических параметров КЭ в виде количественных факторов.

2.4. Выделение независимых планов для закрытой и полуоткрытой ступени, одноинструментальных и двухинструментальных схем (если они есть), одноинструментальных и двухинструментальных схем совместно.

2.5. Факторный анализ. Включает: проверку на совместимость факторов, отсутствие линейной корреляции, отсеивание несущественных факторов, выбор нулевой точки, интервалов варьирования

ния, числа уровней для каждого фактора.

2.6. Проведение полного факторного эксперимента для каждого плана.

2.7. Отсевание качественных факторов, т.е. схем перемещений и определение для каждой выбранной схемы областей их наилучшего применения.

В работе приведен пример формирования совокупности КТР по разработанной методике для номенклатуры деталей производства отрасли, обрабатываемых на токарно-револьверном автомате СТР25Ф4 с системой ЧПУ "Электроника" МС2106.

В пятой главе рассматриваются средства реализации метода адаптивного макропрограммирования.

Входной контроль параметров заготовки может быть осуществлен методом коммутирующих контактных измерений с использованием уже имеющихся в большинстве систем CNC измерительных циклов; обмен данными при этом может производиться на уровне УП посредством формальных параметров.

Реализация ПТМ в системах ЧПУ возможна с использованием проблемно-ориентированных языков - таких как Stap 5 в Sinumerik 880T, NC Pascal - Fanuc, PLC - MC2106 и т.п. При этом возможности языка, объем запоминающих устройств и вычислительные возможности систем CNC полностью удовлетворяют требованиям реализации метода.

Рассмотрена структура системы автоматизированного макропрограммирования токарных операции САМТГО производящая формирование структурно-параметрического представления операции и генерацию макропрограмм.

На основе разработанной методики выделения КТР построена подсистема проектирования ПТМ для САМТГО и систем ЧПУ класса CNC; для синтеза структуры операции из заранее сформированных КТР разработан специальный язык интерпретации КТР и система моделирования; генерация текста макропрограмм осуществляется методом масок в обход промежуточного языка OLDATA непосредственно в коды ISO.

Структурный синтез производится следующим образом: вначале для конкретной номенклатуры деталей определяется совокупность КТР и формируются соответствующие модули в САМТГО и в системе ЧПУ. Далее для конкретной детали выбирается КТР, осуществляется интерпретация, моделирование и принимается решение либо на включение выбранного КТР в структуру операции, либо на выбор другого КТР и т.д. В результате путем нескольких итераций формируется оконча-

тельный вариант структуры. Все данные после структурного синтеза хранятся в файле - информационной карте операционного процесса, откуда далее происходит генерация макропрограмм.

В шестой главе рассмотрены результаты апробации метода. Описано внедренное в НПО "Темп" прикладное ПМО системы ЧПУ "Электроника" МС2106 в виде библиотеки программных модулей. Приводятся результаты сравнительного анализа процесса отладки базового варианта УП и макропрограммы, полученной с использованием указанной библиотеки.

Приводится описание внедренной на предприятии п/я Г-457Б системы автоматизированного макропрограммирования токарных операции - САМТГО/2Р22.

#### Общие выводы.

1. В работе решена актуальная задача в области технологии ГПС, состоящая в разработке метода адаптивного макропрограммирования токарных операционных процессов.
2. Впервые разработано двухуровневое представление операционного процесса как совокупности наиболее устойчивых по отношению к действиям возмущений структурных элементов и соответствующих им параметров; это позволило перенести влияние возмущений на параметрический уровень описания и обусловило тем самым возможность оперативной адаптации операционного процесса к конкретным производственным условиям.
3. Предложена исследовательская модель операционного процесса, позволяющая моделировать операцию при управлении различными законами оптимальности и учитывающая измененные условия обработки при переменных кинематических углах в плане, связанные с разными формаобразующими движениями инструмента.
4. Выявлена дискретная зависимость элементов структурного представления отдельных уровней расчленения операции от возмущений. В частности, исследования показали, что при существенном разбросе допуска заготовки (до 60%) изменение показателя эффективности коррекции при переключении схемы перемещения инструмента составляет 10-15%.
5. Показан непрерывный характер влияния технологических возмущений на траекторию перемещения инструмента и параметры режима обработки.
6. Разработана методика формирования совокупности КТР для прик-

ладного ПМО СЧПУ класса CNC. Показана достаточная представительность выделенных КЭ для параметрического описания деталей типа "тела вращения" (92% из 50 деталей отрасли).

7. Разработан формализованный язык описания макроуровня управляющей информации (макрокоманд) для СЧПУ.

8. Разработаны специальные средства интерпретации и наполнения баз данных двух уровней - в системах автоматизированного макропрограммирования токарных операций и в СЧПУ класса CNC со свободно программируемой областью.

9. Предложен новый способ настройки САМТО при генерации текста макропрограмм к модифицируемой библиотеке подпрограмм СЧПУ, основанный на методе формирования макропрограмм в обход промежуточного языка CLDATA непосредственно в коды ISO.

10. Результаты работы и разработанное программное обеспечение внедрялись в НПО "Темп", в НПО "Энергия" и на предприятии п/я Г-4575. Ожидаемый экономический эффект от внедрения в НПО "Темп" составляет 16,7 т.рублей, а годовой эффект от внедрения на предприятии п/я Г-4575 - 9,3 т.руб.

#### Публикации по теме диссертации.

1. Савинов А.М., Шармазаншвили А.Н. К вопросу адаптации систем автоматизированного проектирования токарных операции к устройствам ЧПУ класса CNC. //Интегрированные производственные системы: Труды МТУ, 1991. -N548. - С. 13-21.

2. Унификация конструкторско-технологических решений для макропрограммирования операционной технологии/Шармазаншвили А.Н., Доронкин В.И., Мауцин Г.В. и др. //Передовой производственный опыт. -1991. -N4. -С. 37-42.

3. Шармазаншвили А.Н. Адаптивное программирование в ГПС //Интегрированные производственные системы: Труды МТУ, 1991. -N4. - С. 8-12.

4. Шармазаншвили А.Н. К вопросу исследования структур автоматизированных систем подготовки макропрограмм для устройств ЧПУ класса CNC //Проблемы технологии и точности ГПС в машиностроении: Тезисы докладов Всесоюз. конференции. - М., 1990. - 95с.

*Шармазаншвили*