

ГЛАВА 1 ПРОБЛЕМЫ РАБОТОСПОСОБНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ
УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ В УСЛОВИЯХ ГПС

Решение задачи создания безотладочной технологии вплотную связано с повышением надежности и работоспособности управляющих программ.

Вопросы надежности в машиностроении регламентированы рядом стандартов. Так существует стандарт расчета надежности для изделия как в сфере его эксплуатации, так и на стадии проектирования. Применительно к технологическим операциям обработки также разработан стандарт, позволяющий оценить надежность операции механической обработки по данным статистического качества продукции. Однако он не затрагивает вопросы оценки работоспособности технологических процессов и прогнозирования их надежности на стадии проектирования. В этой связи в работе [28] предлагается под работоспособностью технологических проектных решений понимать их способность обеспечивать при осуществлении перехода механической обработки соблюдение для первой детали всех заданных технических требований к обработанной поверхности, а под надежностью проектных технологических решений - их способность сохранять работоспособность в течение определенного интервала времени. Поскольку управляющая программа представляет собой проектное решение, в котором спроектированный операционный процесс описан на входном языке УЧПУ, то приведенные определения работоспособности и надежности проектных решений справедливы и для управляющих программ.

В большинстве случаев спроектированные УП не являются работоспособными с первого предъявления [79] и содержат ряд неточной информации (рис. 1.1). Поэтому традиционно работос-

пособность УП обеспечивается т.н. циклами "пробного запуска". При этом производится поэтапный запуск отдельных звеньев УП, контроль детали и соответствующая коррекция УП.

Так, в частности, в НПО "Энергия", на участке ГПС отладка управляющих программ производится в следующей последовательности:

1. Предварительная отладка УП без отработки перемещений исполнительных органов станка, включающая:
 - визуальный контроль правильности ввода и оформления;
 - контроль правильности задания команд на смену инструмента, поворота револьверной головки, ввода и отмены автоциклов, включения и выключения оборотов шпинделя, ввода и отмены перемещений исполнительных органов станка.
2. Отладка перемещений исполнительных органов станка в режиме покадровой обработки с контролем перемещений на экране дисплея системы CNC.
3. Контроль за процессом обработки заготовок в режиме покадрового исполнения УП, при этом величина подачи перед началом обработки каждого кадра плавно регулируется от "0" до заданного значения.
4. Отладка режимов резания.
5. Проверка числовых значений параметров контрольных значений усилий резания на каждый инструмент с применением прибора "Промесс" в режиме "обучения".
6. Отладка УП в автоматическом режиме исполнения.
7. Контроль обработанных поверхностей с использованием установленного в инструментальном магазине щупа "Marpos".

Каждый из перечисленных этапов отладки связан с соответствующими коррекциями УП. При этом на некоторых этапах пос-

тавленной цели добиваются путем осуществления нескольких итераций.

Следовательно, процесс характеризуется большими временными затратами, к тому же, как правило, ошибка в управляющей программе не может быть устранена на месте. В результате, если в узкономенклатурных ГПС отладка УП является нежелательным, но допустимым этапом (так как сменяемость номенклатуры происходит редко) то для широкономенклатурных ГПС, при относительно частой смене объектов производства, длительные периоды отладки с многократным корректированием УП приводят к значительному снижению эффективности всей системы.

В работе [80] приводятся результаты наблюдений по более чем 800 процессам наладки токарных и фрезерных операций на 4-х предприятиях с мелкосерийным и среднесерийным производством. Исследовались причины несоответствия фактического и планового значений времени обработки (рис.1.2). Установлено, что в большинстве случаев наиболее длительные периоды простоя станка связаны с проведением циклов "пробного запуска", особенно в условиях мелкосерийного производства (рис.1.3). Если к тому же учесть, что один час простоя единицы оборудования в составе ГПС оценивается в 150 рублей [42], то можно сделать вывод об актуальности задачи разработки методов и средств, позволяющих реализовать безотладочную технологию.

1.1 Характеристика причин нестабильности производственных условий

Необходимость отладки управляющих программ является следствием нестабильности производственных условий, обусловленной действием технологических возмущений. Для деталей типа "тела вращения" могут существовать следующие виды возмущающих воздействия [10]: колебания твердости, припусков, физико-химических свойств заготовок и инструмента. Наблюдения, проводимые за изготовлением деталей роботов на заводе "Красный пролетарий" им. А.И. Ефремова в условиях ГПС [78], показали, что в одной партии твердость заготовок может изменяться в пределах 25 единиц по шкале НВ, что вызывает колебания сил резания на 8-10% при прочих равных условиях; радиус скругления режущей кромки резца, оснащенного твердосплавной пластиной, изменяется на 60мкм, что вызывает изменение силы резания до 6%; колебание припуска внутри партии обуславливает изменение глубины резания, поэтому, во избежание случаев разрушения инструмента, ее назначают по максимально возможному припуску; износ инструмента по задней грани, составляющий $h=1,3$ мм, увеличивает силу до 15%.

При этом, как показывает практика, наиболее часто встречающимися и наиболее значимыми являются возмущения, связанные с изменениями припусков и твердости заготовок. Так, в частности, для заготовок, полученных различными методами литья и пластического деформирования [66], профиль во многих случаях может быть описан достаточно приближенно, поэтому черновая обработка одного экземпляра заготовки может быть произведена в один проход, а для другого экземпляра потребуются два или несколько проходов; разброс величины твердости

материала может достигать довольно существенных значений. В таблице 1.1 приводятся результаты наблюдений за полем рассеяния твердости для некоторых широко распространенных материалов, полученные в производственных условиях, а также описанные в литературных источниках.

При этом, как отмечается в работе [29], твердость находится в квадратичной зависимости от радиальной составляющей силы резания, которая, в свою очередь наиболее существенно влияет на размерный износ режущего инструмента и, следовательно, на надежность технологического процесса. В работах [57] и [37] приводятся результаты исследования влияния твердости материала заготовки на процесс нормального стружкообразования, точность обработки и качество обработанной поверхности. В частности, говорится, что с увеличением твердости граница допустимого стружкообразования смещается в сторону больших глубин резания и подач, поэтому при малых значениях t и S - порядка $t=0,2-0,6$ мм и $S=0,12-0,22$ мм/об - особенно важно учитывать твердость каждой конкретной заготовки; влияние твердости на точность диаметральных размеров после чистового растачивания внутренних поверхностей зависит от жесткости системы, и для инструментов с вылетами $L/D_{\text{хвост.}} = 3$ рассеяние размеров может достичь 14 мкм; увеличение твердости уменьшает шероховатость обработанной поверхности - от $Ra = 1,1 \dots 2,1$ до $Ra = 0,5 \dots 1,2$ мкм.

Таким образом, в дальнейшем под основными технологическими возмущениями будем подразумевать изменения припусков и твердости заготовок.

Изменение припуска.

Припуск - это слой материала, удаляемый с поверхности заготовки с целью достижения заданных свойств обрабатываемой

поверхности детали [62]. Традиционно известны несколько методов назначения припусков на обработку, однако наиболее точным и широко распространенным из них является расчетно-аналитический метод определения припусков (РАМОП). В основе РАМОП лежит расчет минимального припуска - достаточного для устранения на выполняемом переходе погрешностей обработки и дефектов поверхностного слоя, получаемых на предшествующем переходе, и компенсации погрешностей, возникающих на выполняемом переходе. Следовательно, максимальный припуск на обработку, из которого в дальнейшем рассчитывают глубину резания, определяется как

(1.1)

где

Rz - высота неровностей профиля;

h - глубина дефектного поверхностного слоя (обезуглероженный или отбеленный слой, окалины, раковины и пр.);

- суммарное отклонение расположения поверхностей (отклонения от параллельности, перпендикулярности, кривизна и т.д.);

- погрешность установки заготовки;

Td - допуск на размер;

$i-1$ - предшествующий переход (исходное состояние заготовки);

i - текущий переход.

Перед обработкой величины Rz, h, Td характеризуют исходное состояние заготовки. Обозначим их сумму через

(1.2)

Величина принимает случайные значения и зависит от типа заготовки, а также от технологии ее изготовления.

В этой связи в таблице 1.2 приводятся значения $\sigma_{0.2}$ и ее составляющих для различных типов заготовок по нормативным и производственным данным (приложение 1), а также по литературным источникам.

Как видно из таблицы, наиболее существенные колебания припуска наблюдаются у заготовок из отливок и поковок, для которых значения случайной величины $\sigma_{0.2}$ соизмеримы со значениями назначаемых глубин резания.

Изменение твердости.

Колебания твердости материала заготовок зависят от метода их получения. Так, в частности, для отливок из алюминия АЛ2 [29] твердость колеблется - в пределах одной плавки НВ42..67, а для различных плавов НВ42..77.

В работе [37] приводятся результаты исследования влияния технологического процесса упрочняющей термообработки на величину поля рассеяния твердости заготовок для материалов сталь 45 и сталь повышенной обрабатываемости - АЦ45. Режимы термообработки подбирались таким образом, чтобы получить наиболее часто встречающиеся на практике значения твердости (таблица 1.3).

Как видно из таблицы, обнаружилось существенные рассеяния значений твердости, при этом различные режимы термообработки по-разному влияют на величину поля рассеяния.

Таким образом, технологические возмущения наиболее ярко выражены для заготовок из отливок и поковок из высокопрочных и труднообрабатываемых материалов, в результате чего на этапе технологической подготовки производства проектирование работоспособных и надежных управляющих программ для указанных типов заготовок является проблематичным.

1.2 Методы реализации безотладочной технологии

Наиболее реальным направлением по реализации безотладочной технологии является разработка и совершенствование технологических процессов получения заготовок со стабильными параметрами. В настоящее время для решения этой задачи многое сделано, однако все же при существующем уровне технологии изготовления заготовок стабилизировать возмущающие воздействия таким образом, чтобы они не оказывали влияния на работоспособность и надежность управляющих программ либо невозможно, либо нерентабельно из-за того, что при этом расходы на оснастку для заготовительных процессов экономически не окупаются. В этой связи, как отмечается в работе [32], увеличение допусков на размеры заготовки с одной стороны снижает себестоимость ее изготовления и с другой увеличивает затраты на механическую обработку. Следовательно, при выборе заготовок руководствуются комплексной оценкой себестоимости изготовления детали, включающей также и выбор метода выполнения заготовки и построения последующей механической обработки (рис.1.4).

Суть метода введения "запаса прочности" для обеспечения работоспособности управляющих программ заключается в проведении расчетов по самым неблагоприятным условиям: максимально возможному припуску, максимальной твердости заготовок, минимальных стойкости и прочности режущей кромки инструмента, минимальной жесткости технологической системы. При этом, хотя в ряде случаев и возможно устранение отладочных операций непосредственно на рабочих позициях, метод приводит к значительному снижению производительности обработки (в 2-3 раза).

Очевидно, что наиболее эффективным в таком случае является применение адаптивных систем управления технологической операцией.

Как известно [10], [58], адаптивная технологическая система управления - это информационная технологическая система управления, автоматически и целенаправленно осуществляющая оптимальное по заданному критерию качества и в определенных пределах управление путем изменения управляющих технологических воздействий, алгоритма управления, параметров или структуры системы.

В настоящее время наибольшее распространение получил метод адаптации за счет изменения декодированных управляющих воздействий путем выработки к заданной в УП цели управления, дополнительных инструкций - т.н. экстремальные адаптивные системы управления (рис.1.5а). Типичными представителями систем, построенных по данному методу, являются системы стабилизации параметров силы резания за счет текущего изменения контурной подачи при постоянной скорости резания [81], [7], [38]; стабилизации величин упругих деформаций за счет использования динамометрических устройств [66] и т.п. В работе [68] описана система АСЕМА производства ГДР, реализующая управление тремя параметрами режима (V, S, t) и позволяющая осуществлять автоматическое распределение припуска между проходами по заданным в кадре УП конечным значениям координат Z и X , глубины t , а также подачи S_{min} , обеспечивающей заданную силу резания. Управление производится путем стабилизации тангенциальной составляющей силы резания за счет автоматического регулирования подачи. При этом, если подача снижается до S_{min} (рис.1.6а), то глубина уменьшается на $0,5t$, и обработка производится до момента увеличения подачи

до S_{max} . После этого обработка продолжается с момента изменения глубины резания. Подобная система с более простой реализацией описана в [66]. Здесь настройка на конкретные геометрические параметры заготовки осуществляется при помощи специального резца, оснащенного датчиком типа "сопло-заслонка", расположенным под твердосплавной пластиной на расстоянии t (рис.1.6б).

Однако описанные выше адаптивные системы управления технологической операцией, несмотря на их актуальность и практически подтвержденную эффективность [3], не могут быть успешно применены для решения задач безотладочной технологии. Причин тут несколько, в основном же - экстремальные системы адаптивного управления являются узконаправленными, т.е. область их функционирования ограничена жестко заданными алгоритмами управления и, следовательно, компенсация воздействий возможна в относительно небольшом диапазоне изменения внешних технологических возмущений. С другой стороны, любое расширение рабочего диапазона системы за счет автоматического переключения алгоритма управления усложняет модель, по которой функционирует система, увеличивает количество программно-аппаратных средств и время реагирования системы [10], в результате чего удовлетворительное управление в реальном масштабе времени не реализуется. Сравнительно шире возможности описанной в работе [68] системы АСЕМА с функцией самопрограммирования черновых проходов, однако и здесь управление осуществляется по жестко заданному алгоритму, а также наличие функциональной связи $t = (H \cdot V)$ вряд ли можно считать наилучшим решением. Не совсем оправдано при этом и применение специального инструмента с датчиком предельной глубины резания, так как доказано [10], [25], что для каждого условия

обработки существует оптимальная глубина резания, в общем случае не являющаяся предельно допустимой.

Кроме того, описанные системы характеризуются большим количеством программно-аппаратных средств, использованием специальных инструментов и датчиков, что снижает эффективность их применения. Поэтому при существенных возмущениях наиболее приемлемыми являются методы, позволяющие производить коррекцию на уровне управляющих программ - путем автоматического изменения параметров цели управления, т.е. созданием самонастраивающихся и самообучающихся адаптивных систем управления (рис.1.5б). При этом коррекцию управляющих программ можно производить двумя методами - с использованием информации, полученной после обработки, т.е. по выходному контролю, и по результатам, полученным о производственных условиях непосредственно до начала отработки УП - по входному контролю. Ниже рассматриваются адаптивные системы, построенные по обоим методам и приводится их характеристика с точки зрения реализации безотладочной технологии.

В работе [15] описан принцип создания самонастраивающейся адаптивной системы управления качеством поверхностного слоя деталей, включающий, в частности, постановку эксперимента непосредственно на станке с ЧПУ в процессе его наладки, оптимизацию режимов обработки встроенной в оборудование специализированной ЭЦВМ и автоматизированную наладку станка с ЧПУ по командам этой ЭЦВМ. При этом предполагается на станке с ЧПУ провести полный или дробный факторный эксперимент по обработке пробных заготовок, после чего автоматически, с помощью встроенного в станок измерительного устройства и специализированной ЭЦВМ, измеряют параметры качества, разрабатывают математическую модель процесса механической обработки

и на ее основе определяют оптимальные режимы обработки основной партии заготовок.

В работе [21] описана адаптивная система, осуществляющая два способа оптимизации режимов обработки, - предельного адаптивного управления и по изменяющемуся алгоритму. В случае обработки по изменяющемуся алгоритму процесс адаптации производится следующим образом. До начала отработки УП оператор формирует управляющий файл, в каждой записи которого указаны: номер кадра начала работы режима управления, номер кадра конца управления, идентификатор режима и идентификатор таблицы исходных данных. Во время отработки УП специальная программа управления анализирует записи и загружает ПМО, осуществляющее анализ измеряемых параметров резания и предварительную обработку полученных результатов. После отработки УП по команде оператора происходит автоматизированная коррекция режимной части УП. Все вычисления выполняются мини ЭВМ СМ-4, а непосредственное управление станком осуществляется системой ЧПУ 2С42. Связь мини ЭВМ с УЧПУ и системой контроля реализована через аппаратуру КАМАК.

В работе [63] предлагается введение контрольно - измерительных функций в станочные модули с ЧПУ и описана адаптивная самонастраивающаяся система управления. Щуповая головка, осуществляющая при этом контрольно-измерительные функции, помещается в инструментальный магазин и вырабатывает сигнал в момент касания ее наконечника поверхности измеряемой детали. Процесс изготовления детали на станочном модуле начинается с этапа переналадки (рис.1.7). Управляющая программа переналадки обеспечивает: загрузку паллеты с заготовкой, выбор по коду детали соответствующих УП измерения и УП обработки, входной контроль параметров технологической системы

измерения величины припуска на обработку, вылетов инструмента, фактического положения заготовки в координатной системе станочного модуля и т.д. Полученная в результате входного контроля информация заносится либо в корректоры, либо, если особенности обработки поступившей заготовки носят общий характер, в память станочных параметров. Далее следует черновая обработка, после которой осуществляется выходной контроль погрешностей обработки. Результаты контроля анализируются устройством ЧПУ и используются для формирования корректоров чистой обработки. Процесс завершается этапом чистой обработки.

Большинство описанных выше адаптивных систем управления при осуществлении коррекции управляющих программ ориентированы на информацию выходного контроля. На основе таких систем может быть реализована безотладочная технология для медленно изменяющихся технологических возмущений с использованием статистической переработки полученных результатов и коррекции управляющей информации с учетом установленной заранее математической модели процесса обработки. Однако для устранения отладочных операций УП непосредственно на рабочих позициях, т.е. для обеспечения работоспособности УП с "первого предъявления", такие системы не пригодны. Для этого необходима коррекция УП по информации входного контроля. В работе [63], например, рассмотрен метод коррекции управляющей информации по входному контролю, однако он не может быть приемлем для всех ситуаций (например, при коррекции траектории для многопроходной выборки и т.п.), так как коррекция происходит путем изменения корректоров либо станочных параметров.

Еще одним важным аспектом, который необходимо учитывать

при этом, является то, что большая избыточность электронного оснащения приводит к соответствующему возрастанию стоимости и снижению надежности. Поэтому максимально должны использоваться возможности, заложенные в современных системах управления технологическим оборудованием, таких как устройства ЧПУ класса CNC (Computer Numerical Control), а решение об оснащении станка дополнительно специализированной ЭВМ для автоматической наладки [15] и т.д. не может быть принято за наилучшее.

Необходимость коррекции УП по информации от входного контроля требует разработки новых методов организации самонастраивающихся и самообучающихся адаптивных систем управления технологической операцией. В этом направлении решением может стать разработка метода адаптивного программирования, изложенного в работах А.И. Аликова [2] и А.М. Савинова [12]. При этом предполагается замыкание обратной связи по входному контролю на систему автоматизированного проектирования управляющих программ (САПР-УП) с осуществлением коррекции путем повторного перепроектирования управляющих программ по уточненным данным на этапе подготовки производства.

Однако реализация указанного принципа для решения поставленной задачи может привести:

1. К снижению надежности производственной системы, обусловленной необходимостью функционирования САПР-УП, системы управления (СУ) технологическим оборудованием и системы контроля в едином масштабе времени. В результате чего отказы в САПР-УП могут снизить эффективности всего операционного процесса;
2. К дополнительным простоям оборудования, связанным с перепроектированием УП, а также с обменом информацией между

системой контроля, САПР-УП и СУ;

3. К созданию дополнительных интерфейсных блоков для передачи данных от системы контроля в САПР-УП.

В настоящее время некоторые СУ класса CNC имеют встроенные функции САПР-УП, что позволяет избавиться от ряда перечисленных недостатков, однако реализация безотладочной технологии с использованием указанных систем вряд ли возможна из-за:

- 1) ограниченности функции САПР-УП в таких системах;
- 2) относительно высокой стоимости;
- 3) невозможности организации режима автоматического перепроектирования УП по данным от входного контроля без участия оператора, что противоречит требованиям ГПС о "малолюдной" технологией.

Так, в частности, разработанная фирмой "Милз Маркетинг" система CNC Nakamura TMC2 [85] в качестве средства общения с оператором использует язык высокого уровня FAPT. Система осуществляет автоматизированный расчет траектории инструмента за счет сложнейших осевых вычислений. Составление программы на FAPT сопровождается графическим отображением контура детали, заготовки и траектории движения инструмента. Наличие базы данных позволяет накапливать данные, которые в дальнейшем могут быть использованы для режима самообучения.

Для решения траекторных задач также предназначены системы Mazatrol T-2 фирмы "Ямазаки" и PHILIPS 3480/3580.

Несколько шире возможности у разработанной фирмой "Мицубиси Дэнки" системы Meldas-M2 [89], которая реализует диалоговый режим программирования. В процессе диалога решаются задачи: ввода данных о детали, заготовки, приспособлении, эталонной схемы обработки; выбора режимов и инструментов из

базы данных; определения последовательности переходов из условия минимизации количества смен инструмента.

В основном, как отмечается в работах [85], [93], [96], системы CNC со встроенными функциями САПР-УП предназначены для мелких предприятий, которые часто не в состоянии организовать производство с отдельными службами по подготовке УП, ее отладке и отработке, и для которых большая часть квалифицированных специалистов находится на рабочих местах оператора-станочника. Кроме того, большая стоимость [47], [88] ставит под сомнение экономическую эффективность оснащения станков подобными системами CNC. Поэтому некоторые разработчики рекомендуют создать локальную сеть [89], состоящую из одной системы CNC с функциями САПР-УП и нескольких устройств ЧПУ других типов. В такой сети на одном рабочем месте возможна подготовка УП для остальных устройств ЧПУ, что, в конечном итоге, может служить экономическим оправданием применения дорогостоящих систем CNC с функциями САПР-УП.

В целом следует отметить, что реализация полной модели операционного процесса в СУ класса CNC не представляется реальной из-за ограниченности их вычислительных возможностей (быстродействие, память). Следовательно, и применение таких систем в качестве инструмента для осуществления повторного перепроектирования УП по уточненным данным с целью обеспечения безотладочной технологии и устранения циклов "пробного запуска" не может быть приемлемо.

Учитывая вышесказанное, наиболее оправданным, очевидно, является принцип адаптации УП к реальным производственным условиям не за счет перепроектирования, а путем проведения оперативной коррекции той ее части, которая наиболее подвержена влиянию возмущающих воздействий, с помощью специально

разработанного программно-математического обеспечения систем CNC [74]. В основу данного подхода положен метод адаптивного макропрограммирования операционных процессов.

1.3 Метод адаптивного макропрограммирования операционных процессов

Принцип макропрограммирования тесно связан с понятием программно-технологического модуля (ПТМ) – специального программно-математического обеспечения, реализующего частные случаи протекания операции и включающего разные ее структурные элементы (инструментальный переход, совокупность нескольких инструментальных переходов с соответствующей последовательностью их выполнения либо, в отдельных случаях, структурные элементы инструментального перехода – законы управления режимами обработки и др). В системах управления технологическим оборудованием эти модули могут быть активированы из управляющих программ, что дает возможность с учетом заданных параметров операции реализовать конкретный операционный процесс.

При этом управляющая программа вместо управляющей информации для исполнительных органов технологического оборудования содержит совокупность макрокоманд. Следовательно, она превращается в т.н. макропрограмму, в которой каждая макро-

команда включает указатель модуля и идентификаторы параметров операции.

Таким образом, при наличии соответствующих ПТМ, операционный процесс можно представить отдельно его структурной частью и отдельно параметрической. Данный метод известен под названием макропрограммирования.

Проектирование структурной и параметрической части операции по имеющимся модулям осуществляется на этапе подготовки производства с одновременной генерацией макропрограмм. А формирование управляющей информации для исполнительных органов станка производится системой управления на основе макропрограмм и количественных значений идентифицируемых параметров.

Очевидно, что идея макропрограммирования может служить основой для разработки метода адаптации управляющей программы к возмущающим воздействиям – метода адаптивного макропрограммирования [72] (рис.1.5в). В дополнение к вышесказанному при адаптивном макропрограммировании операционных процессов ПТМ необходимо создавать из элементов макроописания операции – структурных элементов операционного процесса, наименьшим образом подверженных действиям возмущений. В результате наибольшее влияние последних сказывается на параметрическом уровне описания операции. А это означает, что при проектировании структуры операции возможно детерминированное описание технологических возмущений, а определение численных значений параметров операции, относящихся к возмущениям, необходимо производить непосредственно на стадии реализации спроектированной технологии с использованием информации от входного контроля параметров производственной системы [52]. При этом сформированная управляющая информация

для исполнительных органов станка, полученная за счет уточненных количественных значений входных параметров операции, будет соответствовать конкретным производственным условиям.

Таким образом, на основе метода адаптивного макропрограммирования можно создать адаптивную систему управления технологической операцией, позволяющую оперативно корректировать УП в зависимости от реальных производственных условий, устраняя тем самым необходимость проведения отладочных операций непосредственно на станках (циклов "пробного запуска") и обеспечивая реализацию безотладочной технологии в ГПС.

В технологии машиностроения известны три класса методов, рассматривающих операцию отдельно ее структурной и параметрической частью [22]:

- метод "типовой детали" или "типового техпроцесса";
- метод аппликации или типовых элементов;
- структурно-параметрический или модульный метод;

В основе метода "типовая деталь" лежит комплексная обобщенная деталь-представитель с соответствующим типовым техпроцессом, предусматривающим общую упорядоченную последовательность операции (переходов) обработки любого экземпляра комплексной детали. При этом типизацию технологического процесса проводят по возможным маршрутам обработки типовой детали, а также по разработке группового техпроцесса на деталь-представитель.

Фундаментальные труды в этом направлении принадлежат выдающимся ученым А.П. Соколовскому [55],[56], С.П. Митрофанову [40],[41], М.О. Якобсону [77] и др. По данному методу построены системы автоматизированного проектирования операционных процессов : СТПВ [19], АТПП и СИАП [33], MIPLAN,

DCLASS [91] и др.

Метод может быть эффективно применен в серийном производстве, т.е. там, где в течение длительного времени не требуется значительных изменений в конструктивной, технологической или производственной структуре, однако в широкономенклатурном производстве трудности подробного учета вариантов конструкции, техпроцессов, многофакторность производственной среды делают невыгодным его использование [54], [38], [28].

По методу аппликации объект исследуется с позиции типовых элементов конструкции и техпроцессов. При этом в качестве типовых элементов конструкции выбираются элементарные поверхности, а для техпроцессов - типовые элементы переходов. В результате метод характеризуется универсальностью спектра элементов структурного состава, на основе которых создаются конструкции детали и технологические процессы. Научную проработку метод получил в основном в трудах В.Д. Цветкова [70], [71]. Типичными представителями систем, построенных по данному методу, являются: AUTOPROG (СССР), MITURN (Нидерланды) [19], AUTAP_NC [91], САПР ТО ГПС [39] и т.п.

Однако принцип всеобщности и универсальности обуславливает сложность процесса внедрения метода аппликации на предприятиях, поэтому, как обычно, в качестве сопроводительного материала разрабатываются специальные методические обеспечения, включающие комплект документации, определяющий порядок подготовки предприятий к внедрению [39].

В основе структурно-параметрического метода лежит принцип постепенного расчленения техпроцесса на более мелкие части, элементы (вплоть до неделимых) и его представление в виде объединения немногих сравнительно автономных элементов, выполняющих четко определенные функции.

В отличие от вышеприведенных методов "типовой детали" и аппликации, когда либо заранее известно об объекте все, либо не известно ничего, при структурно-параметрическом методе известны характерные части целого, в результате чего упрощается структурирование рассматриваемых объектов и процессов. Указанный метод рассматривается в работах Н.М.Капустина [26],[24],[27], В.Ф.Горнева [13],[14], Б.М.Базрова [4], М.А.Эстерзона [20],[77], А.Л.Дерябина [19] и др. Типичными представителями систем, построенных по данному методу, являются САПТО [50], САПР ТП СМ [24].

Очевидно, что структурно-параметрический метод может служить основой для реализации идей адаптивного макропрограммирования по следующим причинам:

- при методе "типовой детали" программные модули могут быть разработаны из типовых технологических процессов обработки всей комплексной детали. Следовательно, их реализация в системах управления, а также вычисление конкретного процесса по заданным параметрам детали, учитывая реальные вычислительные ресурсы систем управления технологическим оборудованием, вряд ли возможно. Кроме того метод не эффективен при широкономенклатурном производстве;

- при методе аппликации программные модули разрабатываются из типовых технологических процессов обработки элементарных поверхностей, поэтому в системах управления необходимо производить в таком случае синтез операционных процессов, что опять-таки требует наличия у последних больших вычислительных ресурсов.

Таким образом, наиболее разумным в данных условиях является разработка модулей из конструкторско-технологических решений (КТР) - структурных элементов операционного процесса,

совокупность которых представляет сравнительно автономную часть определенного функционального назначения.

В существующих в настоящее время работах по указанному методу разделение операционного процесса на структурную и параметрическую часть не рассматривается с позиции дальнейшей оперативной коррекции управляющей информации на исполнительные органы станка, т.е. совокупность КТР, из которых формируются модули, не определяется по критерию наименьшей их подверженности действиям технологических возмущений, поэтому при разработке метода адаптивного макропрограммирования первым и наиболее ответственным этапом является определение элементов макроописания операционного процесса.

Решение данной задачи должно основываться на исследовании влияния технологических возмущений на структурные элементы операционного процесса методом сравнительного анализа эффективности коррекции в различных условиях обработки. Очевидно, что, в первую очередь, в этом направлении необходимо разработать исследовательскую модель операционного процесса с учетом имеющихся в теоретической технологии представлений и произвести декомпозицию структуры операционного процесса на уровни с определением состава структурных элементов на каждом уровне. После чего с использованием исследовательской модели возможно провести исследование влияния возмущающих воздействий на структурные элементы каждого уровня.

Следующим шагом разработки метода адаптивного макропрограммирования является разработка совокупности КТР из выделенных элементов макроописания операции. Для этого необходимо формирование методов унификации соответствующих структурных элементов операции и проведение конструкторского, технологического анализа с целью синтеза типовых решений.

Особое значение при решении задач имеет разработка систем автоматизированного макропрограммирования операционных процессов (САМПО), способных кроме традиционных решать и ряд специфических задач. Главной отличительной чертой САМПО является то, что при адаптивном макропрограммировании они превращаются в моделирующие системы, основной задачей которых является синтез структуры операции из типовых решений [73] и генерация макропрограмм вместо формирования управляющей информации для исполнительных органов технологического оборудования. Кроме того, для реализации макропрограмм устройствами числового программного управления, последние должны иметь единое с системой автоматизированного проектирования программно-методическое обеспечение, что обуславливает необходимость создания специальных инструментальных подсистем для соответствующего наполнения баз данных САМПО и СУ класса CNC, программными модулями а также разработки эффективных механизмов настройки средств генерации текста макропрограмм на модифицируемую библиотеку модулей.

Таким образом, на основании вышесказанного были сделаны следующие выводы, и поставлены цели и задачи исследований.

Выводы

Основной задачей технологии ГПС является полное раскрытие их потенциальных возможностей и создание высокопроизводительных систем. При этом с позиции выполнения функции "малолюдной технологии" особую значимость имеет обеспечение работоспособности и надежности управляющих программ при нестабильности производственных условий - создание безотладочной технологии.

Анализ производственных нестабильностей позволил наметить пути реализации безотладочной технологии. В частности, решением может служить применение адаптивных систем управления технологической операцией, однако в отличие от адаптивных систем, реализующих управление в реальном масштабе времени, специфика технологических возмущений допускает более простое и эффективное решение - коррекции УП непосредственно на рабочих позициях перед реализацией спроектированной операционной технологии с применением входного контроля параметров производственной среды и максимальным использованием возможностей современных систем CNC. Решением в данной ситуации является реализация метода адаптивного макропрограммирования операционного процесса, в основе которого лежит представление операции отдельно своей структурной частью, наименее подверженной влиянию возмущений, и параметрической, включающей параметры контроля, численные значения которых определяются непосредственно перед реализацией спроектированной операции.

В результате управляющая информация на исполнительные органы станка, формируемая системой ЧПУ с учетом численных значений идентифицируемых параметров, будет соответствовать

конкретным производственным условиям.

Таким образом был составлен следующий методический план работы:

1. Построение исследовательской модели операционного процесса.

2. Определение характера зависимости элементов различного уровня расчленения операции от основных технологических возмущений и выделение элементов макроописания операционного процесса.

3. Разработка методики получения совокупности конструкторско-технологический решении для прикладного программно-математического обеспечения СЧПУ класса CNC.

4. Разработка программно-методического комплекса автоматизированного макропрограммирования токарных операции - САМПТО.

5. Апробация метода и программного обеспечения.