

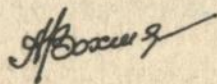
На правах рукописи

Вохмянин Аркадий Николаевич

АВТОМАТИЧЕСКАЯ КОМПЕНСАЦИЯ УПРУГИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ
НЕЖЕСТКИХ ЗАГОТОВОК В ПРОЦЕССЕ **ТОКАРНОЙ** ОБРАБОТКИ

Специальность: 05.13.07 - автоматизация
технологических процессов и производств

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук



Севастополь

1995



Диссертация

Работа выполнена в Севастопольском Государственном
техническом университете

Научный руководитель:

доктор технических наук

Бохонский Александр Иванович

Официальные оппоненты.

1. Доктор технических наук, профессор Костоломов Эдгар Филиппович
2. Кандидат технических наук,
директор НПО "ОРГТЕХАВТОМАТИЗАЦИЯ" Плюшин Валерий Алексеевич

Ведущее предприятие

Мелитопольский моторный завод
(г. Мелитополь)

Защита состоится 23 ноября 1995г. в 10.00 на заседании специализированного ученого совета Д11.03.01 в Севастопольском Государственном техническом университете. Адрес: 335053, Севастополь, Студгородок, Стрелецкая бухта 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Севастопольского Государственного технического университета.

Автореферат разослан 16 октября 1995г.

Ученый секретарь специализированного ученого совета

кандидат технических наук, доцент

А.Н. Шерешевский.

АН України

АКТУАЛЬНОСТЬ. Задачи повышения эффективности и качества токарной обработки актуальны в современном автоматизированном производстве, в частности, при обработке нежестких заготовок. От точности изготовления нежесткой детали зависят долговечность и надежность работы механизма, в котором используется деталь. Упругие перемещения нежестких заготовок создают значительные трудности при их обработке и усложняют автоматизацию технологического процесса. Процесс резания сопровождается вибрациями, которые снижают точность обработки и ухудшают шероховатость поверхности.

Обоснование возможности использования компенсации перемещений и управления деформируемым состоянием нежестких заготовок в процессе автоматической токарной обработки основывается на анализе трудов по оптимизации и автоматическому управлению в технологических процессах, точности обработки: Б. С. Балакшина, Б. М. Базрова, И. А. Бородачева, В. М. Кован, В. С. Корсакова, А. И. Каширина, В. В. Каминской, И. М. Колесова, В. Я. Коппа, В. А. Кудинова, З. М. Левиной, В. Г. Митрофанова, В. Н. Михелькевича, Ю. К. Новоселова, В. А. Остафьева, Д. Н. Решетова, Е. В. Пашкова, В. Т. Подпоркина, В. Н. Подураева, В. Э. Пуша, Ю. М. Соломенцева, А. П. Соколовского, В. А. Тараненко, М. М. Тверского, А. В. Якимова, Л. С. Ямпольского и других.

Решение ряда задач управления деформируемым состоянием упругих объектов машиностроения дано в работах А. И. Бохонского.

Следует отметить, что и до настоящего времени не существует достаточно простых и надежных технологических приемов автоматической обработки деталей малой жесткости; от-

сутствует единый подход в рассмотрении сложных динамических явлений, характерных для данного технологического процесса. Необходимы дальнейшие исследования методов обработки нежестких деталей и их экспериментальная проверка. Разработка методов автоматизированной компенсации упругих перемещений нежестких заготовок либо управления их упругим деформированием в процессе автоматической обработки продолжает оставаться актуальной и в настоящее время.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ - снижение погрешностей автоматической токарной обработки нежестких деталей машино- и приборостроения при использовании метода компенсации упругих перемещений заготовок. В соответствии с целью работы - созданы новые модели (включающие алгоритмы и программы), предложены устройства и системы автоматизированной компенсации, выполнена экспериментальная проверка теоретических исследований, даны рекомендации по использованию результатов в автоматизированном производстве.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. В работе сочетается моделирование технологических процессов автоматической обработки нежестких деталей с экспериментальной проверкой результатов. Модели построены с привлечением основ автоматизации технологических процессов и производств, теории автоматического регулирования и оптимального управления, методов теоретической и прикладной механики, теории колебаний. Моделирование основано на: применении системы аналитических вычислений (САВ), численных экспериментах (с использованием языков ФОРТРАН, ПАСКАЛЬ) при варьировании размеров нежестких заготовок, режимов обработки и схем силовой компенсации. Общность подходов в построении моделей основана на применении САВ для поиска

компенсирующих воздействий. Выполнена экспериментальная проверка результатов аналитических и численных решений поставленных задач с использованием лабораторной базы департамента технологии машиностроения Севастопольского Государственного технического университета и разработанных оригинальных конструкций устройств для компенсации перемещений. При анализе экспериментальных данных использовались методы теории вероятностей и математической статистики.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА. Разработаны модели автоматической компенсации упругих перемещений нежестких заготовок сложного переменного поперечного сечения и найдены компенсирующие воздействия (с использованием алгебраических и интегральных деформационных критериев). Теоретические результаты, полученные на основании моделей автоматической компенсации упругих перемещений заготовок, проверены экспериментально (в том числе с применением динамического гасителя для уменьшения колебаний заготовки).

В эксперименте использовался оригинальный измерительный комплекс, созданный на базе ПЭВМ IBM PC AT и позволяющий осуществлять автоматическую диагностику процессов обработки нежестких заготовок.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ. Предложены схемы автоматической компенсации упругих перемещений заготовок и устройства. Созданы и переданы для использования в промышленности комплексы программ синтеза компенсирующих и управляющих воздействий, конструкции исполнительных органов систем автоматического управления деформациями нежестких заготовок (Мелитопольский моторный завод); результаты исследований внедрены в учебном процессе на департаменте технологии

машиностроения СевГТУ.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Результаты исследований сообщались на техническом совещании директора инструментально-штампового корпуса МемЗ (Мелитополь, 1993), техническом совещании отдела главного технолога АО "ЭРА" (Мурманск, 1994), научной конференции "Бизнес, туризм, наука" (Севастополь, 1994), международной конференции "Механика и новые технологии" (Севастополь, 1995), научно - технической конференции "Прогрессивная техника и технология машиностроения" (Севастополь, 1995).

Диссертационная работа доложена на научных конференциях и семинарах: департамента систем автоматизированного проектирования, расширенном семинаре департамента автоматизации технологических процессов и производств, департамента технологии машиностроения, департамента технической механики и машиноведения СевГТУ.

ПУБЛИКАЦИИ. Опубликовано 15 работ, список которых приведен в реферате.

ОБЪЕМ РАБОТЫ. Изложена на 179 стр. (введение, 5 глав, общие выводы, список литературы из 177 наименований, приложение). Содержит 76 рисунков и таблиц.

СО Д Е Р Ж А Н И Е Р А Б О Т Ы .

В ПЕРВОЙ главе приведен анализ известных методов автоматической токарной обработки деталей малой жесткости и систем автоматического управления, применяемым в автоматизированном производстве; освещены подходы в решении задач снижения упругих перемещений нежестких заготовок, предложена классификация существующих методов автоматической обработки деталей данного класса и обоснована постановка задач, сос-

тавляющих содержание диссертационной работы.

Несмотря на большое количество известных способов автоматической обработки, многочисленные публикации и авторские свидетельства, задачи обеспечения гарантированного надежного качества деталей малой жесткости в условиях автоматизированного производства все еще требуют своего практического решения. Используемые в настоящее время методы обработки приводят к значительному увеличению трудоемкости и, зачастую, не обеспечивают требуемой точности формы и размеров, качества поверхности; отсутствуют условия для автоматизации технологического процесса.

Среди различных групп и классов деталей машино-приборостроения 70% общего объема занимают тела вращения. Поэтому в качестве объекта исследований рассматриваются нежесткие валы и оси, для которых существенная доля погрешностей связана с собственными деформациями в упругой стадии. Такими деталями на заводе МемЗ являются: ось коромысел, вал газораспределительного механизма, отдельные валы коробки передач и другие.

В соответствии с целью исследований сформулированы задачи:

- построение математических моделей автоматической компенсации упругих перемещений нежестких валов со сложным характером изменения поперечного сечения по длине и создание алгоритмов компенсации;

- разработка и исследование моделей колебаний нежестких заготовок; создание устройств, обеспечивающих гашение колебаний при автоматической токарной обработке;

- проектирование, изготовление и настройка оснастки,

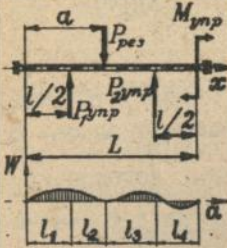
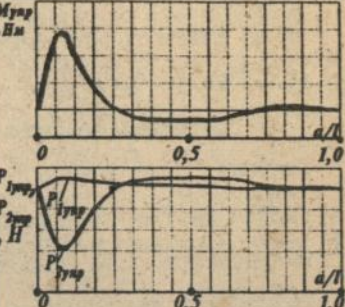
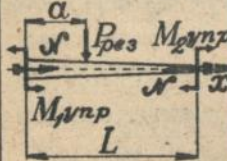
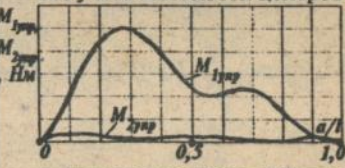
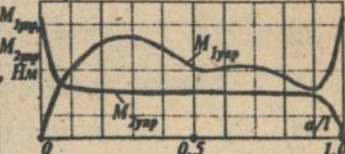
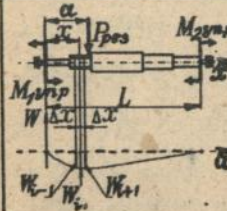
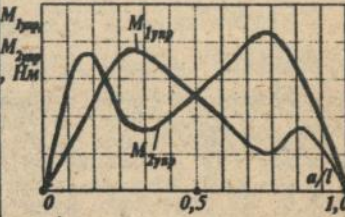
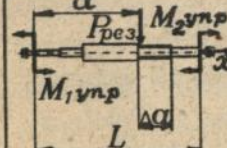
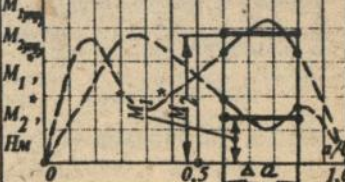
используемой в системах автоматического управления компенсациями упругих перемещений нежестких заготовок; экспериментальные исследования компенсации с использованием разработанных устройств и измерительного комплекса на базе ПЭВМ;

- разработка механических исполнительных органов САУ, обеспечивающих компенсацию упругих перемещений нежестких заготовок (и управление деформируемым состоянием) в условиях автоматизированного производства.

ВО ВТОРОЙ главе для заданных критериев качества и схем приложения управляющих силовых воздействий представлены результаты моделирования автоматической компенсации упругих перемещений нежестких заготовок в процессе токарной обработки. Компенсация предполагает устранение упругих перемещений заготовки в сечениях, где приложена сила резания, при условии обработки малых участков нежесткой заготовки.

Нежесткие детали объектов машиностроения, как правило, имеют сложную геометрическую конфигурацию. Обычно их обработка на токарных станках осуществляется на отдельных участках. Возможность применения методов компенсации упругих перемещений в процессе обработки деталей данного класса не достаточно изучена.

В процессе автоматической обработки необходимо не только обеспечивать минимальные упругие перемещения заготовки в месте приложения силы резания, но и минимизировать общее деформированное состояние (таб.1). При решении задач уменьшения общего деформированного состояния использовался критерий J_1 - минимум деформаций, а условие J_2 как ограничение. Полученные (таб.1) выражения для управляющих воздействий позволяют осуществить автоматическую компенсацию упругих переме-

№ п/п	Схема обработки	Критерии, ограничения и модели управление деформированием	Графики компенсирующих (управляющих) воздействий
1	<p style="text-align: center;">вала постоянного диаметра с компенсирующими силами и моментом</p> 	$J_1 = \left\{ \sum_{i=1}^n W_i(x) \right\}^2 = \min,$ $J_2 = \begin{cases} W(a) = 0, \\ W'(a) = 0. \end{cases}$	
2	<p style="text-align: center;">конического вала с компенсирующими моментами</p> 	$J_1 = \begin{cases} W(a) = 0, \\ W'(a) = 0, \end{cases}$ <p style="text-align: center;">энергия:</p> $\mathcal{E} = \frac{1}{2} \int_0^L EJ(x) \left(\frac{dW}{dx} \right)^2 dx +$ $+ PW(a) - M_{1упр} W'(0) + M_{2упр} W'(L) +$ $+ \left(\frac{N}{2} \right) \int_0^L \left(\frac{dW}{dx} \right)^2 dx = \min.$	<p style="text-align: center;">без учета жесткости центров</p>  <p style="text-align: center;">с учетом жесткости центров</p> 
3	<p style="text-align: center;">ступенчатого вала</p> 	$J_1 = \begin{cases} W(a) = 0, \\ W'(a) = 0; \end{cases}$ <p style="text-align: center;">уравнение в конечных разностях:</p> $W_{i-1} - 2W_i + W_{i+1} = \frac{M(x_i) \Delta x^2}{EJ(x_i)},$ $W_1 = 0, \quad W_n = 0.$	
4	<p style="text-align: center;">ступенчатого вала на отдельных участках</p> 	$J_1 = \begin{cases} W(a) = 0, \\ W'(a) = 0; \end{cases}$ <p style="text-align: center;">компенсирующие воздействия:</p> $M_1 = \text{const}; \quad M_2 = \text{const}.$	

щений на участках либо непрерывное управление деформируемым состоянием - при движении режущего инструмента вдоль нежесткой заготовки.

Для нежесткой заготовки с переменным поперечным сечением по длине точное решение крайне затруднено. Поэтому использовался численный метод.

Приближенное аналитическое решение при непрерывном изменении поперечного сечения заготовки по линейному закону с учетом жесткости центров найдено методом Ритца, который использовался для поиска минимума полной энергии деформации конической заготовки с учетом компенсирующих (либо управляющих) воздействий:

$$\mathcal{E} = \frac{1}{2} \int_0^l E J(x) [W''(x)]^2 dx + P W(a) - M_1^* W'(0) + M_2^* W'(l) = \min,$$

где l - длина заготовки, E - модуль упругости,

$J(x) = \frac{\pi d_1^4}{64} + \frac{\pi (d_2 - d_1)^4 x^4}{64 l^4}$ - момент инерции сечения

заготовки, d_1, d_2 - диаметры концевых сечений, $W, W',$

W'' - функция прогиба и ее производные, P - сила резания,

M_1^*, M_2^* - компенсирующие (управляющие) опорные моменты. Для

функции прогиба принят полином $W(x) = \sum_{i=1}^n c_i x^i$, где $n=7$.

С учетом краевых условий ($W(0)=0, W(l)=0$) коэффициенты полинома найдены из необходимых условий минимума функционала

$$\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial c_i} = 0 \quad (i=2, \dots, 7).$$

Компенсирующие воздействия

M_1^*, M_2^* находятся из условий $W(a)=0, W'(a)=0,$

т.е. из равенства нулю прогиба и угла поворота сечения заготовки с координатой приложения силы резания. Аналитические вычисления выполнены по программе в системе REDUCE.

Для заготовки с дискретным изменением диаметра алгоритм поиска управлений основывается на использовании конечно-раз-

ностной схемы аппроксимации дифференциального уравнения изогнутой оси. Учтены погрешности закрепления заготовки и влияние перемещений, вызванных изгибными деформациями центров. Задача сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений. Численные эксперименты (в среде Turbo Pascal) подтверждают, что с увеличением числа разбиений точность асимптотически возрастает (при $n=120$ погрешность достигает 5 %). С достаточной для практики точностью найдены компенсирующие воздействия, обеспечивающие требуемое в заданных сечениях деформируемое состояние заготовок в процессе автоматической обработки. Разработанные модели (таб.1) позволяют учитывать ряд существенных факторов, влияющих на точность автоматической обработки нежестких заготовок: податливость закреплений заготовки, продольную силу, сложный характер изменения поперечного сечения и другие.

В ТРЕТЬЕЙ главе - представлены исследования колебаний нежестких заготовок при токарной обработке, рассмотрены способы гашения колебаний.

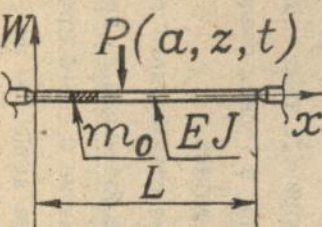
Если колебательные процессы, возникающие при токарной обработке заготовок большой жесткости, сложны по своей природе и все еще недостаточно изучены, то в случае обработки нежестких заготовок характер колебательных процессов еще более усложняется в связи с неизбежными изгибными и крутильными колебаниями самой заготовки. Большие трудности представляет одновременный учет в моделях ряда факторов (механических свойств резца, движения очага резания, сил трения, вращения заготовки, неоднородности материала и неравномерности припуска, неточности установки заготовки, распределенной массы заготовки, изменения массы и жесткости заготовки в

связи со снятием стружки и других). Несмотря на известные многочисленные исследования в данной области и до настоящего времени все еще не существует полного единства взглядов в моделировании динамических процессов, сопровождающих резание. Известные модели не достаточно полно отражают сложный характер колебательных процессов, возникающих при обработке нежестких заготовок.

Динамические модели, используемые в теоретических исследованиях колебаний, приведены в таб. 2.

Динамический гаситель применен для подавления изгибных колебаний заготовки малой жесткости с учетом медленного перемещения динамического воздействия вдоль заготовки. Приняты допущения: распределенная масса заготовки приведена к сосредоточенной (колебания заготовки соответствуют первой моде); перемещения предполагаются малыми; жесткость опорного элемента, взаимодействующего с динамическим гасителем, намного превышает жесткость заготовки. С целью оценки эффективности гашения колебаний выполнены численные эксперименты на ПЭВМ. В результате взаимодействия гасителя с заготовкой энергия изгибных колебаний заготовки трансформируется в энергию поступательных колебаний динамического гасителя и амплитуды колебаний заготовки уменьшаются - в 2 и более раз. Анализ профилограмм поверхностей обработанных деталей показывает, что шероховатость поверхности уменьшается от $Ra=11\text{мкм}$ (без гасителя) до $Ra=8\text{мкм}$ (с гасителем).

Дана оценка эффективности настройки виброгасителя с учетом влияния медленного движения динамической нагрузки и сил сопротивления на колебания заготовки. Учет сухого трения приводит к интенсивному снижению колебаний. Использование

№ г/л	Схемы обработки	Уравнения движения
1		<p>(1.1) $EJ \frac{\partial^4 W}{\partial z^4} + m_0 \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} + m_0 \omega^2 W = \frac{2}{l} \sin(\omega t + \alpha) \sum_{n=1}^{\infty} (q_n \sin \theta_n t \sin \frac{\pi n a}{l} \sin \frac{\pi n z}{l})$</p> <p>(1.2) $m(t) \ddot{y} + c(t) \dot{y} + P(y) + c_1 y f_1(\omega t) + 2n \dot{y} + R_0' \dot{y} - \frac{1}{2} R_0'' \dot{y}^2 + \frac{1}{6} R_0''' \dot{y}^3 = \frac{2M^0 \epsilon p}{d} + \frac{2\Delta M \epsilon p}{d} + f_2^*(t)$</p> <p>Характерный фазовый портрет смешанных устойчивых колебаний приведен на рис.1</p>
2		<p>$\begin{cases} \ddot{y}_1 + a_{11} y_1 - a_{12} y_2 + a_{13} \dot{y}_1 = b_1 P(t), \\ \ddot{y}_2 + a_{21} y_1 - a_{22} y_2 + a_{23} \dot{y}_2 = 0. \end{cases}$</p> <p>На рис.2 даны фазовые портреты колебаний нежесткой заготовки: а) без виброгасителя; б) с использованием виброгасителя</p>

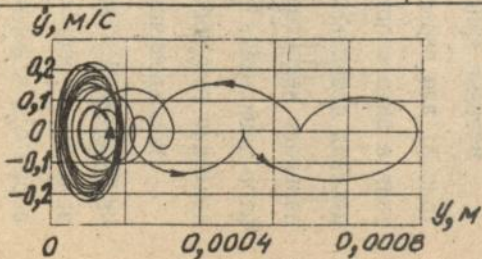
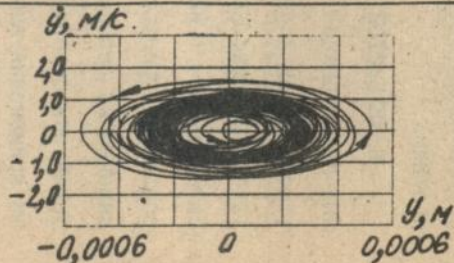
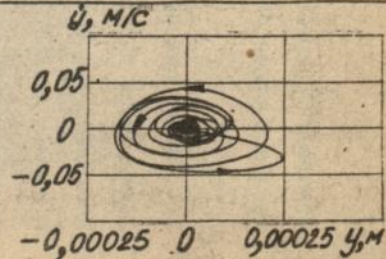


Рис. 1



а)



б)

Рис. 2

демпфера сухого трения и демпфера линейно - вязкого сопротивления расширяет функциональные возможности динамического гасителя.

Исследования подтверждают возможность создания системы компенсации упругих перемещений заготовок, позволяющей осуществлять как автоматическое диагностирование установленной в станке нежесткой заготовки, так и коррекцию компенсирующих (управляющих) воздействий по результатам динамической диагностики.

В ЧЕТВЕРТОЙ главе приведены результаты экспериментальных исследований. Цель эксперимента: исследование метода автоматической компенсации упругих перемещений нежестких заготовок (в зоне резания), возникающих вследствие воздействия силы резания; исследование колебательных процессов, сопровождающих процесс резания (анализ спектральной плотности динамических процессов, определение доминирующих частот колебаний при обработке нежестких заготовок; оценка эффективности применения динамических гасителей).

Впервые выполнен эксперимент с применением устройства (рис. 3) для передачи на заготовку компенсирующего воздействия в виде опорного изгибающего момента. Исследованы перемещения нежесткой заготовки при обработке с помощью оригинального неконтактного датчика индуктивного типа, позволяющего записывать вибросмещения сечения в зоне резания при движении режущего инструмента вдоль детали.

Исследования проводились на базе стандартного токарно - винторезного станка мод. 1М61-П, настроенного до паспортных величин погрешностей: радиальное биение 0,005-0,01 мм.; поворот оси в вертикальной плоскости на длине 190 мм.; вверх -

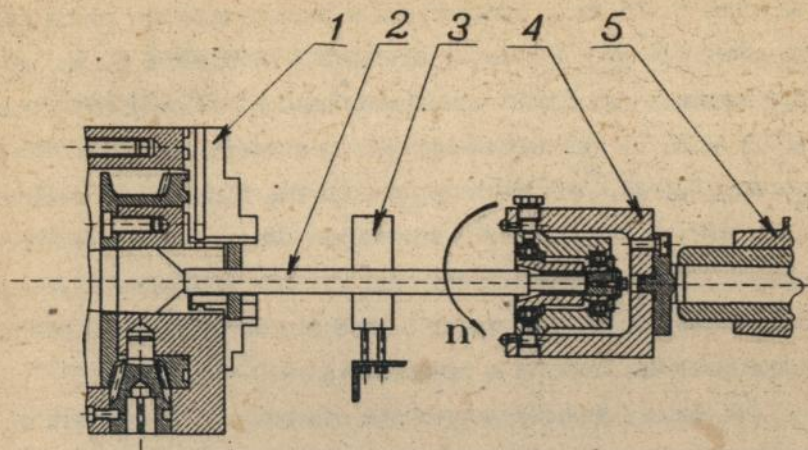


Рис. 3. Схема закрепления нежесткой заготовки и исполнительного органа в токарно - винторезном станке 1М62П: 1 - шпиндель; 2 - нежесткая заготовка; 3 - НИВ; 4 - исполнительный орган; 5 - задняя бабка.

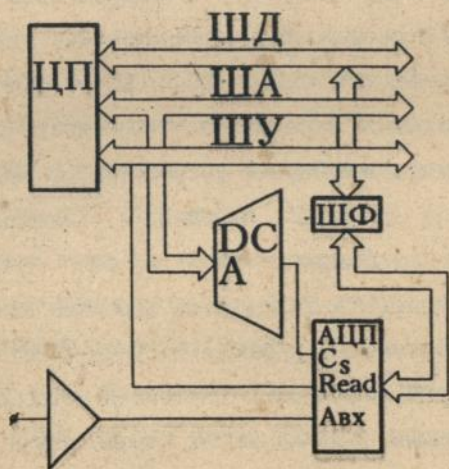


Рис. 4. Блок-схема устройства аналого - цифрового преобразования сигналов НИВ.

не более 0,005 мм.; поворот оси в горизонтальной плоскости на длине 190 мм. в сторону суппорта - не более 0,03 мм. Использовались заготовки из калиброванной автоматной стали (ГОСТ 1414-75) А11 длиной 200 мм. и диаметром 9 мм. Глубина резания 0,5 мм. Обработка производилась проходными резцами 2100-1898 ГОСТ 26611-85 с режущими пластинами из твердого сплава Т30К4 (ГОСТ 25003-81). Для реализации компенсирующего воздействия служило устройство передачи изгибающего момента, дополнительно оснащенное гасителем изгибных колебаний.

В связи с большой жесткостью центров, в результате обработки нежесткой заготовки (без использования устройства) деталь имеет "бочкообразную" форму, которую можно устранить методом автоматической компенсации упругих перемещений.

С целью проверки эффективности устранения перемещения заготовки с помощью опорного момента способ компенсации перемещений проверялся при точении шейки в середине нежесткого вала. Для заготовки $l = 200$ мм, $d = 8,86$ мм (режимы резания $S_{\text{пр}} = 0,11$ мм/об, $t = 0,5$ мм, $n = 710$ об/мин) с шейкой на длине $l_0 = 30$ мм с использованием устройства с компенсирующим воздействием (опорный момент с величиной 3Нм) получено $d_g = 7,81$ мм (погрешность 5%), а без компенсации $d_g = 7,97$ мм (погрешность 11%). Обработка в режиме компенсации позволяет с высокой степенью точности достичь требуемого диаметра шейки нежесткой заготовки. Система с устройством чувствительна к отклонениям геометрических параметров и требует предварительной настройки. Для практической реализации непрерывного управления деформируемым состоянием заготовки при изменении положения режущего инструмента требуется специальная система автоматического управления.

Для измерения перемещений нежесткой заготовки в процессе токарной обработки применялся специально разработанный неконтактный измеритель вибросмещений (НИВ). Датчик перемещения преобразует емкость, обусловленную расстоянием между деталью и зондом НИВ, в напряжение, величина которого на малых перемещениях пропорциональна этому расстоянию. В силу малости измеряемых величин, в приборе реализован метод управления частотой LC генератора, к контуру которого подключен емкостной датчик. Частота генерации составляет 5МГц. Сигнал поступает на преобразователь "частота - напряжение", где и преобразуется в напряжение постоянного тока с заданными параметрами. Технические характеристики НИВ: диапазон измеряемых перемещений $-0,4 \dots +0,4$ мм.; разрешающая способность 0,01мм.; рабочий диапазон частот 0...1000Гц; выходное напряжение $-3,5 \dots +3,5$ В; входное напряжение 12В (0,03А). Запись напряжения постоянного тока с НИВ осуществлялась на многоканальный магнитограф Н062 и сопровождалась комментариями, записываемыми на отдельном канале в микрофонном режиме.

Аналоговые функции, содержащие результаты исследований, преобразовывались в цифровые массивы посредством специального устройства, выполненного в виде платы расширения, установленной в слот ПЭВМ IBM PC AT (рис. 4). В состав платы входит блок АЦП с 8-ми разрядным АЦП 572ПВ3. Аналоговый сигнал поступает на вход АЦП Авх через входной усилитель. Сигналом "начало преобразований" является сигнал RI0; он же является сигналом чтения АЦП. По фронту данного сигнала напряжение на входе Авх преобразуется в 8-ми разрядный код и через шинный формирователь (ШФ) передается на шину данных (ШД) системного интерфейса ПЭВМ. Обмен ПЭВМ с платой АЦП осуществ-

вляется в синхронном режиме. Преобразованные данные в виде текстового или двоичного файла сохраняются на встроенном магнитном диске.

Разработана программа статистического анализа результатов эксперимента. Статистическая обработка цифровых массивов позволила получить характеристики динамического процесса с учетом положения источника возмущения - "зоны резания". Спектры отражают колебания на частоте пульсации переменного электрического тока (50 Гц), частоте вращения ротора электродвигателя, частоте первого тона собственных колебаний заготовки. Полученный спектр позволил качественно и количественно оценить причины возникновения и характер колебаний, характерных при токарной обработке нежесткой заготовки.

В эксперименте использовался динамический гаситель изгибных колебаний. Настройка гасителя на доминирующую частоту изгибных колебаний заготовки осуществлялась изменением массы гасителя либо жесткости упругого элемента (плоской пружины). Исследования подтвердили эффективность подавления изгибных колебаний заготовки с помощью гасителя.

В ПЯТОЙ главе приведены рекомендации по конструированию исполнительных органов систем автоматического управления и компенсации упругих перемещений (и управления деформируемым состоянием) заготовок, приведены примеры конструкций оснасток для конкретных схем управления. Анализ схем автоматической компенсации перемещений заготовок позволил выработать принципы проектирования оснасток. При разработке конструкций рассматривались следующие схемы: применение в качестве воздействий сосредоточенной силы либо нескольких сил, каждая из которых изменяется в зависимости от положения силы резания;

использование опорного момента (пары сил, прикладываемой на торце заготовки); применение двух опорных моментов, комбинаций силовых факторов, например, сосредоточенной силы и изгибающего момента и другие.

Основной трудностью при конструировании оснасток является требование непрерывной передачи силовых воздействий на вращающуюся заготовку в автоматическом режиме. Поскольку применение компенсирующих воздействий используется для повышения точности обработки и качества поверхности, то к исполнительным органам САУ предъявляются повышенные требования по точности изготовления и настройке. Устройства должны иметь высокую жесткость, чтобы уменьшить долю погрешностей, вносимых самими устройствами в процессе обработки. Разработанные конструкции устройств рекомендуются как составные элементы комплекта исполнительных органов систем управления, которые реализуют методы компенсации упругих перемещений либо управление деформированием заготовки в процессе резания.

На задату выносятся следующие ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ.

Основной результат исследований (теоретических и экспериментальных) заключается в обосновании метода автоматической компенсации упругих перемещений, позволяющего существенно повысить точность изготовления маложестких деталей сложной формы (в 2-3 и более раз).

1. Экспериментально подтверждены преимущества использования метода автоматической компенсации упругих перемещений, заключающегося в устранении упругих отжатий заготовки в сечении, где приложена сила резания, уменьшении числа проходов, в расширении возможностей и повышении эффективности автоматизации технологического процесса.

2. Разработанные модели автоматической компенсации упругих перемещений нежестких заготовок со сложным характером изменения поперечного сечения по длине, учитывающие геометрические погрешности установки нежесткой заготовки, отклонение исходных параметров заготовки от требуемых, перемещения, обусловленные деформациями центров, неравномерность припуска по длине и другие факторы. Сочетание аналитических методов поиска компенсирующих воздействий (с привлечением REDUCE) и подходов, основанных на численных методах, позволило достичь высокой точности описания деформируемого состояния заготовки с учетом компенсирующих воздействий.

Предложены алгоритмы автоматического управления технологическим процессом обработки нежестких заготовок (с использованием метода компенсации), учитывающие медленное движение силы резания.

3. Результаты теоретических и экспериментальных исследований колебаний заготовок в процессе токарной обработки, в том числе - с использованием динамического гасителя. Получены спектры колебаний нежестких заготовок в процессе обработки, которые отражают не только колебания, обусловленные характерными возбудителями при резании, но и колебания самой заготовки. Подключение динамического гасителя, настроенного на частоту первого тона изгибных колебаний заготовки, приводит к снижению уровня колебаний в 2-3 раза.

На основании исследований предложены схемы управляемых динамических гасителей изгибных колебаний и алгоритмы управления, включающие предварительную диагностику установленной и закрепленной заготовки с целью последующей коррекции управляющих воздействий по медленному и быстрому движению (в свя-

зи с изменением положения силы резания и колебаниями).

4. Впервые разработан и испытан измерительный комплекс на базе ПЭВМ IBM PC AT 286/287 для автоматической регистрации упругих перемещений нежестких заготовок при тчении и специальное программное обеспечение к нему; комплекс позволяет осуществлять экспериментальную проверку эффективности применения механических исполнительных органов САУ, обеспечивающих компенсацию упругих перемещений заготовок в зоне рсзания, а также может использоваться как подсистема предварительной автоматической статической и динамической диагностики технологических процессов обработки с применением САУ деформациями нежестких деталей.

5. Конструкции оснасток для реализации силовых воздействий, совмещающие функции статического компенсатора и гасителя колебаний, что соответствует требованиям, предъявляемым к системам автоматического управления деформациями нежестких заготовок, основанных на управлении по медленному и быстрому движению (изменению положения режущего инструмента). В частности, разработана (с использованием AutoCAD), испытана и рекомендована к внедрению конструкция устройства (с виброгасителем) для передачи компенсирующего изгибающего опорного момента в систах автоматического управления токарной обработки нежестких валов. Созданы и переданы для использования в промышленности разработанные комплексы программ синтеза компенсирующих (управляющих) воздействий и конструкции исполнительных органов систем автоматического управления деформациями нежестких заготовок (Мелитопольский моторный завод). Результаты исследований используются в учебном процессе.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНЫ В ПУБЛИКАЦИЯХ:

1. Вохмянин А.Н., Голяс Н.С. Оптимизация режимов резания при фрезеровании. / Сборник "Опыт отраслей машиностроения и научных достижений производства тракторов и сельхозмашин - производству". Севастополь. 1989. - С. 76 - 82.
2. Вохмянин А.Н., Степанцов А.А., Братчик В.Н. Программирование интерфейса пользователя при помощи базы данных в применении к задаче автоматизации технологических расчетов. // Тезисы доклада на научно-технич. конф.: "Проектирование, оценка и оптимизация функционирования систем: Человек-техника". Севастополь. 1990. - С. 57 - 58.
3. Бохонский А.И., Вохмянин А.Н. Управление деформированным состоянием нежестких валов с целью снижения погрешностей автоматической токарной обработки. // Известия ВУЗов. Сер. Машиностроение. -1976. - N4-6. - С. 129 - 135.
4. Бохонский А.И., Вохмянин А.Н., Элланский Е.В. Управление изгибными колебаниями стержней при медленно движущейся вибрационной нагрузке. / Севаст. приборостроит. ин-т. - Севастополь, 1992. - 26 с. - Деп. в УкрЦНТЗИ, N301 - Ук.92.
5. Бохонский А.И., Вохмянин А.Н. Использование результатов НИР в учебном процессе. // Тезисы доклада на семинаре "Комплексная подготовка инженеров в новых социально - экономических условиях". - Севастополь. 1992. - С. 36.
6. Бохонский А.И., Вохмянин А.Н. Управление деформациями нежесткого конического вала при токарной обработке. // Тезисы доклада на научно - технической конференции "Прогрессивная технология в машиностроении". - Тольятти. 1992. - С. 27.
7. Бохонский А.И., Вохмянин А.Н. Динамический гаситель изгибных колебаний стержня. // Сборник "Научные труды факультета естественных наук". Севаст. приборостроит. ин-т. Выпуск 1. - Севастополь. 1993. - С. 48 - 53.
8. Бохонский А.И., Вохмянин А.Н. Управление деформируемым состоянием некалиброванных нежестких заготовок при токарной обработке. // Научно - технический сборник "Alliance Française. Оптимизация производственных процессов". Выпуск 2. - Севастополь. 1994. - С. 24 - 28.
9. Бохонский А.И., Вохмянин А.Н. Алгоритм управления колебаниями нежестких заготовок при автоматической токарной обра-

- ботке. // Материалы II-й Международной научно-технич. конф. "Применение колебаний в технологиях. Расчет и проектирование машин для реализации технологий". - Винница. 1994. - С. 169.
10. A. Bokhonsky, A. Vothmyanin Controlled Elastic Deformation of Solid Bodies. // Second International Conference on Science and Technologe "Current Problems of Fundamental Science". Section B. Automation of Production Processes and Robotics. - M., 1994. - P. 141 - 148.
11. Бохонский А.И., Вохмянин А.Н. Повышение точности токарной обработки нежестких заготовок. // Станки и инструменты. - 1994. - №9. - С. 27 - 31.
12. Вохмянин А.Н. Экспериментальные исследования токарной обработки нежестких валов с компенсацией перемещений. // Сборник "Научные труды факультета естественных наук". Севаст. приборостроит. ин-т. Выпуск 2. - Севастополь. 1995. - С. 31-40.
13. Вохмянин А.Н. Экспериментальное исследование колебаний нежестких заготовок в процессе токарной обработки. / Севастоп. Гос. техн. ун-т. - Севастополь, 1995. - 12 с. - Деп. в ГНТБ Украины, N772 - Ук.95.
14. Бохонский А.И., Вохмянин А.Н. Моделирование колебаний нежестких заготовок при токарной обработке. // Научно - технический сборник "Alliance Francaise. Оптимизация производственных процессов". Выпуск 3. - Севастополь. 1994. - С. 80 - 87.
15. Бохонский А.И., Вохмянин А.Н. Колебания нежестких заготовок при токарной обработке. // Тезисы докладов Международной научнотехнической конф. "Прогрессивная техника и технология машиностроения". - Севастополь. 1995. - С. 32-33.

Вохмянін А.М. Автоматична компенсація пружних переміщень нежорстких заготовок у процесі токарної обробки.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук по спеціальності 05.13.07 - автоматизація технологічних процесів та виробництв. Севастопольський Державний технічний університет. Севастополь. 1995.

Захищається рукопис на базі 15 публікацій, яка вміщує результати моделювання компенсації пружних переміщень не-

жорстких валів складної форми при автоматичній токарній обробці, експериментальну перевірку знайдених законів силової дії на заготовку, теоретичне та експериментальне дослідження коливань заготовки (у тому числі з використанням динамічних гасителів). Вперше на базі ПЭОМ розроблений вимірковальний комплекс і програмне забезпечення до нього (для реєстрації та аналізу поведінки заготовки при точінні з використанням методів компенсації переміщень). Розроблені і втілені на підприємствах конструкції оснащень.

Vochmianin A.N. The automatic indemnification of elastic movy of unrigid workpiece at turning process.

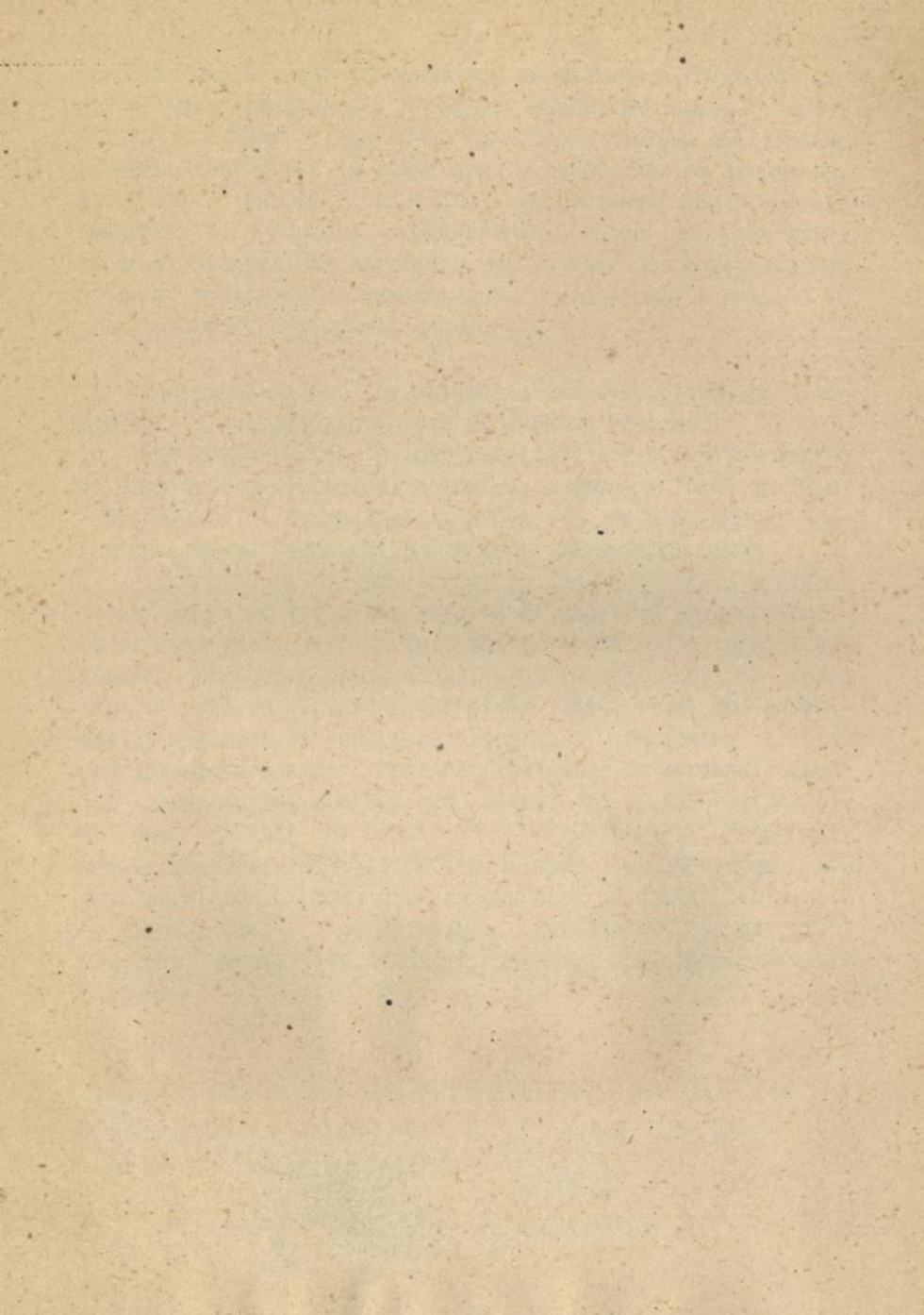
The dissertation being submitted for scientist degree of candidate of technical sciences on specialities 05.13.07 - automation of technological processes and productions. Sevastopol State Technical University. Sevastopol. 1995.

Is protected the manuscript on the basis of 15 publications, which contains the results of model of indemnification of elastic movy of unrigid shaft of difficult form at automatic turning to processing, experimental check of found laws of poforce effect on workpiece, theoretical and experimental research of workpiece vibration (including - with use dynamic dampers). For the first time on personal computer the measuring complex and software to it for registration and analysis of behaviour of workpiece at turning with use of means of indemnification of movy is developed. Are developed and introduced on enterprises of design fixture.

Ключеві слова: автоматизація, моделювання, оптимізація, точність, управління, якість поверхні при обробці металів різанням.

Сдано в набор 11.10.95. Подписано в печать 10.10.95.
Формат бумаги 60x84 1/16. Бум. тип. №2. Офсет. печать.
Усл. печ. л. 1.14. Усл. изд. л. 1. Тираж 100. Заказ №139

КМУ СГТУ, Севастополь, Гоголя, 14.



AB 33.322