

М 497905

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
УДК 621.9.02-229

УКРАШЕНКО Константин Адамович

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ
БЫСТРОДЕЙСТВИЯ СМЕНЫ ИНСТРУМЕНТА МНОГОЦЕЛЕВЫХ
СТАНКОВ МАНИПУЛЯТОРАМИ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

Специальность 05. 03. 01.

Процессы механической и физико-технической обработки,
станки и инструменты

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

В.К.

Москва - 1991

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени государственном техническом университете имени Н.Э.Баумана и Ярославском научно-производственном объединении "Электронприбор"

Научный руководитель:	кандидат технических наук, доцент УСОВ Б.А.
Официальные оппоненты	доктор технических наук, профессор Аверьянов О.И. кандидат технических наук, доцент Павлов Ю.А.
Ведущее предприятие:	Ивановское станкостроитель- ное производственное объеди- нение им. 50-летия СССР

Защита диссертации состоится "27" июня 1991г.

научного совета К 053.15.15 в Мос-
Октябрьской Революции и орде-
государственном техническом
по адресу: 170005, Москва,

комиться, в библиотеке МГТУ

яре, заверенный печатью, просим

мая 1991г.

Ш497905

Р.К.Мешеряков

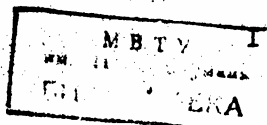
Всего 1 л.л. Тираж 100 экз.
Ротопринт МГТУ

1497905

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

506564W

Исследования, проведенные в диссертации, непосредственно связаны с выполнением научно-технической программы "О создании и освоении высокопроизводительного и высокоточного металлорежущего оборудования", утвержденной постановлением Совета Министров СССР № 547 от 8.04.88г.



Цель работы. Целью диссертационной работы является разработка методов повышения быстродействия смены инструмента на основе совершенствования конструкций и динамики манипуляторов АСИ.

Методы исследований. В работе применялись теоретические и экспериментальные методы исследований. Теоретические исследования базируются на элементах теоретической механики, сопротивления материалов, а также современных научных положениях станкостроения и робототехники. Они подтверждены экспериментальными исследованиями, которые проводились на специально разработанной и изготовленной установке с использованием современной контрольно-регистрирующей аппаратуры.

Научная новизна. Разработана методика определения оптимальной жесткости механизмов захвата инструмента манипуляторов АСИ. Предложен способ стабилизации процесса торможения механической руки во время ее поворота при различных неуравновешенностях. Проведена систематизация манипуляторов АСИ параллельного действия по способу переноса инструмента и определена их относительная грузоподъемность.

Практическая ценность. Разработаны новые конструкции: быстродействующих манипуляторов АСИ параллельного действия, самозажимных захватов инструмента выдвижного и поворотного типа, гидромеханического демпфера для приводов поворота механической руки. Разработана методика по расчету манипуляторов АСИ, позволяющая резко сократить время на проектирование.

Реализация работы. Результаты работы внедрены в производство на предприятиях Минстанкопрома и Минприбора. Конструктивные разработки и методика расчета манипуляторов АСИ переданы Ивановскому СПО им. 50-летия СССР. Годовой экономический эффект от одного манипулятора составляет 2000 рублей.

Апробация работы. Результаты исследования доложены и обсуждены на научно-техническом совете НПО "Электрприбор" г. Ярославль в 1988 г., на научно-технической конференции ЭНТМСа г. Москва в 1989 г. Полностью работа доложена на кафедре "Станочные модули и инструментальные системы" МГТУ им. Н.Э. Баумана в 1990 г.

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 11 печатных работах, включая 6 авторских свидетельств на изобретения.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав,

общих выводов, списка литературы и приложения, изложенных на 278 страницах. Содержит 115 страниц основного текста, 86 рисунков, 20 таблиц и список литературы из 130 наименований.

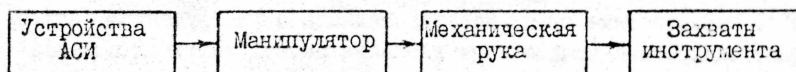
СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе "Анализ состояния вопроса и задачи исследований" анализируется современное состояние теории и практики устройств АСИ, выбирается объект и направление исследования. Рассмотрены работы по загрузочным устройствам станков, промышленным роботам и манипуляторам, а также исследования по устройствам АСИ в частности по механизмам фиксации инструмента и динамике приводов.

Загрузочными устройствами металлорежущих станков, промышленными роботами и манипуляторами занимались ряд ученых: П.Н.Белянин, В.П.Бобров, Л.И.Волчкевич, Н.И.Камышный, Ю.Г.Козырев, А.Н.Малов, Е.П.Попов, Б.А.Усов, А.А.Иванов, А.Н.Рабинович и др.

Конструкции устройств АСИ и некоторые вопросы их исследования приведены в работах отечественных авторов О.И.Аверьянова, Э.М.Левиной, А.А.Корниенко, С.И.Ковальчуна, Ю.Д.Врагова, А.А.Маталина, Г.В.Ермолаева, А.Н.Кобуладзе и зарубежных К.Мютце, В.Петермана, Г.Бессигера, Х.Горцеля.

Анализ устройств АСИ показал, что наибольшее распространение получили устройства АСИ с манипуляторами и магазинами инструментов, расположенными сбоку в горизонтальных компоновках МС. Это вызвано высокими технологическими возможностями этих компоновок. Для выбора пути исследований повышения быстродействия смены инструмента был использован метод, суть которого заключается в следующем. Объект (в данном случае система АСИ) разбивалась на составные части, делался анализ каждой составной части по критерию быстродействие и выделялась та часть, которая наибольшим образом влияет на выбранный критерий. Затем она разбивалась на свои составные части, которые также подвергались анализу, и так далее, пока данный объект не был разбит на элементарные составные части. Согласно этого была получена наиболее эффективная с точки зрения быстродействия, схема исследования устройств АСИ:



После анализа каждой составной части схемы были поставлены следующие нерешенные задачи:

1. Систематизация манипуляторов АСИ по принципу работы и способу переноса инструмента и определение относительной грузоподъемности манипуляторов параллельного действия.

2. Определение граничных значений и оптимальной жесткости элементов фиксации инструмента.

3. Определение оптимальных усилий зажима инструмента.

4. Разработка специальных механизмов фиксации для манипуляторов параллельного действия.

5. Разработка способа и устройства для стабилизации процесса торможения привода поворота механической руки при различных неуравновешенностях.

6. Совершенствование существующих и разработка новых конструкций манипуляторов АСИ параллельного действия.

Во второй главе "Совершенствование конструкций и выбор манипуляторов АСИ" рассмотрены вопросы создания и систематизации манипуляторов АСИ параллельного действия по способу переноса инструмента и определена их относительная грузоподъемность. Дается сравнительный анализ по быстродействию манипуляторов последовательного и параллельного действия, рассмотрены факторы, влияющие на их конструкции и возможности.

Из анализа устройств АСИ было установлено, что в горизонтальных МС при взаимно перпендикулярном расположении осей инструмента в магазине и шпинделе смена инструмента в большинстве случаев (за исключением станков некоторых зарубежных фирм) происходит последовательно и почти не используются манипуляторы параллельного действия, которые независимо от расположения оси шпинделя к оси магазина производят смену инструмента (удаление его из магазина и шпинделя, как и установка в магазин и шпиндель) одновременно. Сравнительный анализ показал, что быстродействие манипуляторов параллельного действия в 2,5-3 раза выше, чем у последовательного. В результате этого было создано несколько новых конструкций (рис.1), сделана классификация (рис.2) манипуляторов АСИ по принципу работы и способу переноса инструмента.

Челночные манипуляторы (рис.1,а) характеризуются тем, что, механические руки, несущие захваты с инструментом, совершают синхронные качательные движения вокруг вертикальной оси,

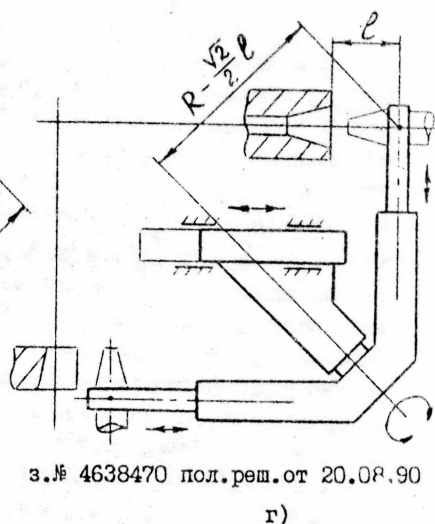
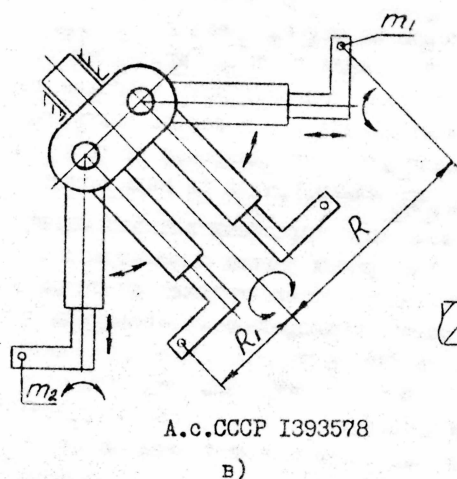
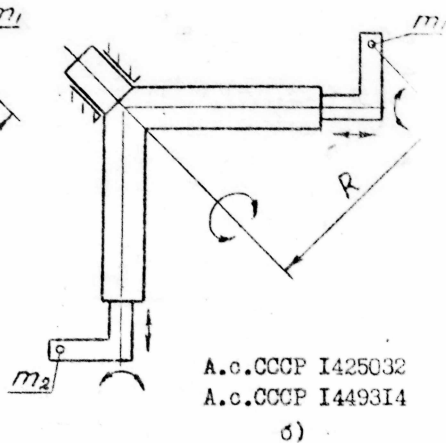
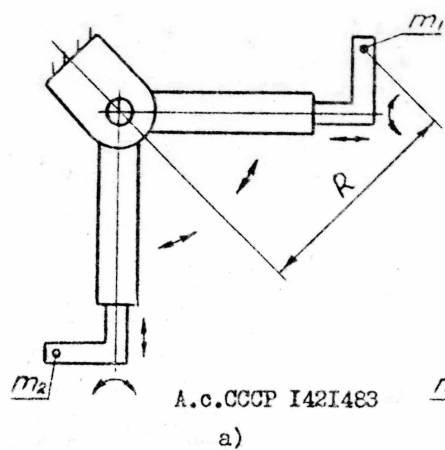


Рис. I. Типы манипуляторов параллельного действия:
а) челночный; б) роторный для закрытого магазина;
в) комбинированный; г) роторный для открытого магазина

в большинстве случаев на 90° , а сами захваты в это время вращаются вокруг горизонтальной оси на 180° . У роторных манипуляторов (рис. I, б) механические руки жестко связаны между собой и поворачиваются вокруг горизонтальной оси при смене инструмента. Комбинированные (рис. I, в) содержат движения как челночных, так и роторных. Это позволяет резко снизить инерционные нагрузки при повороте на 180° .



Рис 2. Классификация манипуляторов АСИ

Классификация по способу переноса инструмента позволяет оценить возможность манипуляторов по грузоподъемности и определить целесообразность применения каждого типа. Критерием для определения грузоподъемности выбрана долговечность наиболее нагруженного звена, которым является механизм поворота механической руки. Для этого использовали уравнения Лагранжа второго рода $\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = M$ и определяли усилия (в виде момента) в этом звене для каждого типа манипулятора (считая, что механизм поворота один и тот же) при прочих равных параметрах. Определив кинетические энергии и продифференцировав их по обобщенным координатам, искомые моменты распределялись следующим образом:

$M = 2,16 m_{p.z.} R^2 \ddot{\varphi}$ - роторный для закрытого магазина;

$M = 1,62 m_z R^2 \ddot{\varphi}$ - челночный;

$M = 1,34 m_{p.o.} R^2 \ddot{\varphi}$ - роторный для открытого магазина;

$M = 1,06 m_k R^2 \ddot{\varphi}$ - комбинированный.

Приравняв правые части полученных равенств и задавшись реальными значениями максимальной массы для одного из манипуляторов, были определены относительные грузоподъемности для всех типов манипуляторов:

$m_{p.z.} = 10 \text{ кг}; m_z = 13 \text{ кг}; m_{p.o.} = 16 \text{ кг}; m_k = 20 \text{ кг}.$

На конструкции и характеристики манипуляторов параллельного действия влияют следующие факторы: тип привода, тип захвата и тип магазина, с которым работает манипулятор. Делая анализ по каждому фактору, можно выбрать манипулятор по необходимому критерию. По такой методике была выбрана и разработана конструкция манипулятора (рис.1,г), обладающего наибольшим быстродействием для средних МС горизонтального типа с максимальной массой сменяемого инструмента 15 кг.

В третьей главе "Исследование механизмов манипуляторов АСИ" исследуются механизмы захвата инструмента и механизм демпфирования приводов поворота механической руки. Захваты и приводы поворота испытывают наибольшие нагрузки при неуравновешенностях. В захватах неуравновешенность возникает относительно плоскости зажима инструмента из-за разности масс конусной оправки и режущей части, а в приводах поворота относительно оси поворота из-за разности масс сменяемого инструмента. Обе неуравновешенности влияют на быстродействие манипуляторов и в связи с этим встает проблема по исследованию этого влияния.

Манипуляторы АСИ по принципу работы можно сравнить со сборочными, где собираются конусная оправка инструмента и конус шпинделя. Различие состоит в том, что масса инструмента при каждой сборке изменяется, а шпиндель постоянно занимает одно положение. Так как сборка происходит с определенной погрешностью, то при больших погрешностях фиксации возможны повреждения конуса шпинделя по следующим причинам: 1) происходит удар оправки о конус шпинделя в момент, когда торможение еще не началось или только началось, 2) возникают контактные давления в сопряжении оправка-шпиндель, превышающие допустимые, в результате чего происходит усталостный износ. Поэтому повышение точности фиксации инструмента является необходимым условием при его смене. Суммарная погрешность Δn_{Σ} фиксации (рис.3) определяется из выражения: $\Delta n_{\Sigma} = \Delta n + \rho \cdot \sin \beta$

Известна зависимость максимальной скорости V_{max} ввода оправки в шпиндель от массы инструмента, при которой повреждение не происходит. Учитывая эту зависимость, а также изменение установившейся скорости V_0 при торможении, определим относительные потери скорости от погрешности при различных массах (рис.4) $V_{0i} = \Delta n_{\Sigma} \cdot \frac{2}{T_r \tan \alpha} + V_{\kappa}$ где: T_r - время торможения; V_{κ} - скорость подхода к конечному положению.

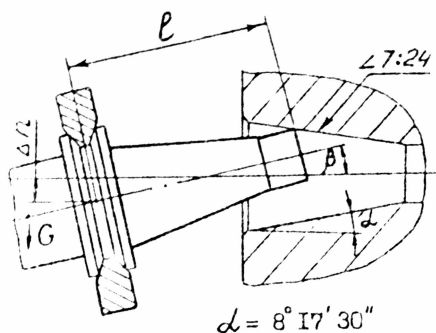


Рис.3 Точностная схема фиксации инструмента

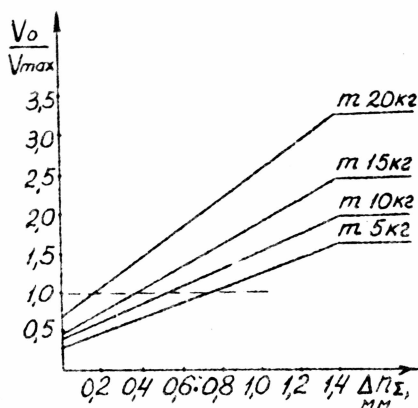


Рис.4 Зависимость относительных потерь скорости от погрешности Δl фиксации и массы инструмента m

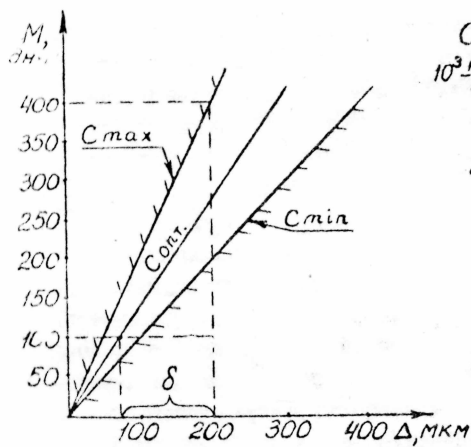


Рис.5 Граничные значения и оптимальная жесткость элементов захвата для конуса № 50 и $m_{max} = 20 \text{ кг}$

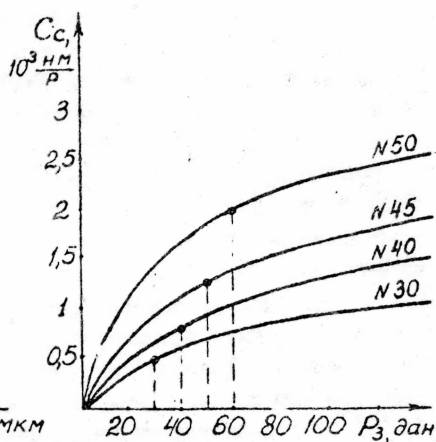


Рис.6 Зависимость жесткости стыка C_c "оправка-захват" от усилия зажима оправки P_3

Одной из основных характеристик, в значительной степени определяющей точность фиксации инструмента и динамические свойства, является жесткость. Известно, что при автоматической сборке как низкая, так и высокая жесткость могут отрицательно влиять на работоспособность механизмов и процесс сборки. При низкой жесткости возникают упругие деформации или амплитуды колебаний, превышающие допустимые. При высокой жесткости и сборке с определенной погрешностью могут возникать большие усилия в сопряжениях или механизмах и их повреждения. Определение граничных значений и оптимальной жесткости элементов фиксации инструмента является основной задачей при исследовании этих механизмов.

Эквивалентная жесткость элементов фиксации состоит из последовательно соединенных жесткостей в направляющих, державке и сопряжении захват-оправка. В связи с тем, что жесткость в направляющих на порядок выше, чем остальных элементов, податливостью от нее можно пренебречь.

Критерием для определения верхней границы жесткости (C_{max}) было выбрано максимально допустимое давление на элементы фиксации. Из расчета на прочность выяснилось, что слабым звеном является сопряжение захват-оправка. По ГОСТу 25827-82 допустимый опрокидывающий момент $[M_{max}]$ относительно плоскости захвата для конусов составляет: № 30-15 нм; № 40-25 нм; № 45-35 нм; № 50-40 нм. В связи с тем, что в сопряжениях имеется достаточный натяг, согласно закону Гука можно записать: $C_{max} = \frac{[M_{max}]}{\Delta l_z}$

Критерием для определения нижней границы жесткости (C_{min}) взята допустимая податливость $[\Delta k]$ конца оправки при максимальной неуравновешенности $M_{н. max}$ инструмента. Отсюда $C_{min} = \frac{M_{н. max}}{\Delta k}$. $[\Delta k] = \Delta l_z - \delta$, где δ - допуск на изготовление и регулировку.

Оптимальная жесткость (рис.5) должна быть $C_{min} \leq C_{opt} \leq C_{max}$ и отвечать динамическому критерию. Таким критерием была выбрана амплитуда колебаний при максимальной нагрузке, которая возникает при минимальном времени торможения. Для ограничения амплитуды колебаний время торможения (T_r) должно быть таким, чтобы низшая собственная частота колебательной системы располагалась выше полосы частот, в которой сосредоточена основная часть энергии импульса, т.е. $T_r > T$ целесообразно $T_r \geq 2T$. На основании известных формул $\omega = \sqrt{\frac{C}{J}}$ и $\omega = \frac{2\pi}{T}$ можно записать $C_{opt} = \left(\frac{4\pi}{T_r}\right)^2 J$ где ω - круговая частота, J - момент инерции колеблющейся массы, T - период свободных колебаний.

Неуравновешенность, возникающая в приводах поворота, влияет на закон поворота механической руки. Компенсация этого влияния возможна при увеличении мощности привода и установки дросселя с регулятором расхода, которые создают постоянный перепад давления на дросселирующей щели и тем самым поддерживают установленную скорость независимо от нагрузки. Однако применение таких аппаратов не обеспечивает требуемого закона торможения при варьировании масс (m_i) сменяемого инструмента. В результате этого были разработаны способ и демпфер для стабилизации процесса торможения и устранения колебаний во время останова механической руки при неуравновешенности. Способ заключается в том, что в приводе поворота и на упоре демпфера (которые разнесены на максимально возможное расстояние, но гидравлически и кинематически связаны в период торможения) автоматически создаются усилия противодействия, пропорциональные инерционным нагрузкам, причем при подходе механической руки к конечному положению усилие, создаваемое на упоре изменяет направление и доводит механическую руку до жесткого упора.

Рис.7 Конструкция и схема подключения демпфера.

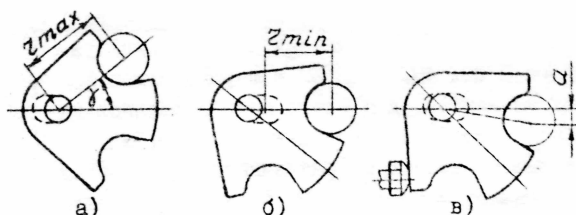


Рис.8. Положения упора демпфера:
а) начальное;
б) промежуточное;
в) конечное

При подходе руки к конечному положению ролик 5 или 6 взаимодействует с упором 7, который поворачивается вокруг оси 8. После выборки зазора "в" (рис.8,а) упор 7 начинает перемещаться вдоль паза кронштейна 9, а следовательно, перемещается и поршень 10 перекрывая щель дросселя 4, изменяя тем самым давление в полостях цилиндров: привода II и демпфера 12.

Перепад давления на дросселях ($P_{др}$) определяется с помощью формулы Торичелли: $(V_a \cdot F_a + V \cdot F) = [M_{др} \cdot S_{др} + M_o \cdot f(X)] \sqrt{2 \frac{P_{др}}{\rho}}$ где V_a, V и F_a, F - скорости и площади поршней цилиндров II и 12 соответственно, $M_{др}, M_o$ - коэффициенты расхода через дроссели 2 и 4; $S_{др}$ - площадь дросселя 2, $f(X) = \Delta_{щ} (\ell_{щ} - X)$ - текущая площадь щели с размерами $\Delta_{щ}$ и $\ell_{щ}$ при перемещении поршня 10 демпфера на расстояние X ; ρ - плотность жидкости.

После перемещения поршня 10 на расстояние $(z_{max} - z_{min}) \geq \ell_{щ}$ упор 7 поворачивается на угол γ (рис.8,б). При дальнейшем повороте механической руки I упор 7 начинает перемещаться обратно и, взаимодействуя с роликом 5 (6), доводит руку до жесткого упора 13 (14) (рис.8,в). Для определения размеров ($\Delta_{щ}, \ell_{щ}$) и формы щели дросселя 4 была создана математическая модель гидравлического двигателя с дроссельным управлением, пригодная для составления программы и решения на ЭВМ.

В четвертой главе "Экспериментальные исследования механизмов манипуляторов АСИ" изложена методика проведения экспериментальных исследований, описана конструкция экспериментальной установки, аппаратура для измерения и регистрации результатов экспериментов, приведены результаты экспериментальных исследований и их анализ.

Для проведения экспериментальных исследований была создана установка, состоящая из манипулятора с набором исследуемых механизмов, пульта управления, измерительной аппаратуры и приборов и гидрооборудования.

Цель экспериментов - проверка теоретических зависимостей и получение сравнительных данных по исследуемым параметрам.

Исследовались механизмы фиксации инструмента: измерялись упругие перемещения в направляющих, державках, сопряжении "захват-оправка" для конусов № 30, 40, 45 и 50 и определялись фактические жесткости этих элементов. Для этого использовались динометры и измерительные головки с ценой деления 0,001 мм. Экспериментальные значения по жесткости различаются с расчетными для направляющих и державок в пределах 10 %, для сопряжения захват-оправка - 15±20 %. Оптимальные усилия Ропт. зажима оправок определены экспериментально (рис.6) и равны 30±60 дан.

Для оптимальных жесткостей элементов захвата определены периоды свободных колебаний $T = 0,04 \pm 0,06$ с и коэффициенты затухания $\lambda = 0,15 \pm 0,25$.

Исследовались законы поворота, в частности процесс торможения, механической руки методом осциллографирования при различных неуравновешенностях (M_n). Было установлено, что для M_n до 300 кг.см наиболее стабильным является демпфер с размерами дросселирующей щели $\Delta_{щ} = 0,4$ Ню мм и $\rho_{щ} = 12$ Н/ч мм. Время торможения при этом колебалось в пределах 30 %, установившаяся скорость составляла $V_0 = 0,7-0,8$ м/с, скорость подхода к жесткому упору $V_k = 0,06-0,08$ м/с, а ускорение не более 1,0±1,5 g.

В пятой главе "Расчет и проектирование механизмов манипуляторов АСИ" изложена методика расчета и проектирования механизмов захвата инструмента и приводов поворота механической руки.

Механизмы захвата инструмента являются одним из ответственных механизмов манипуляторов, так как от них главным образом зависит безопасность, быстродействие и долговечность. Особенности захвата: для манипуляторов параллельного действия является то, что они имеют повышенные консоли. Это обстоятельство приводит к повышению нагрузок в сопряжении захват-оправка и требует создания специальных конструкций захватов с жесткой фиксацией без дополнительных приводов. Для этой цели были разработаны самозажимные захваты (рис.9) а) выдвижного (а.с. I576313) и б) поворотного типа (а.с. I484569).

В выдвижных механизмах с прямолинейным перемещением державки 1 с захватом 2 зажим инструмента осуществляется упругой губкой 3 сразу после выдвижения захвата. Перемещение захвата и губки осуществляется штоком 4 привода при помощи двух пар роликов 5,6 и 7,8, установленных посредством осей (с одной из осей

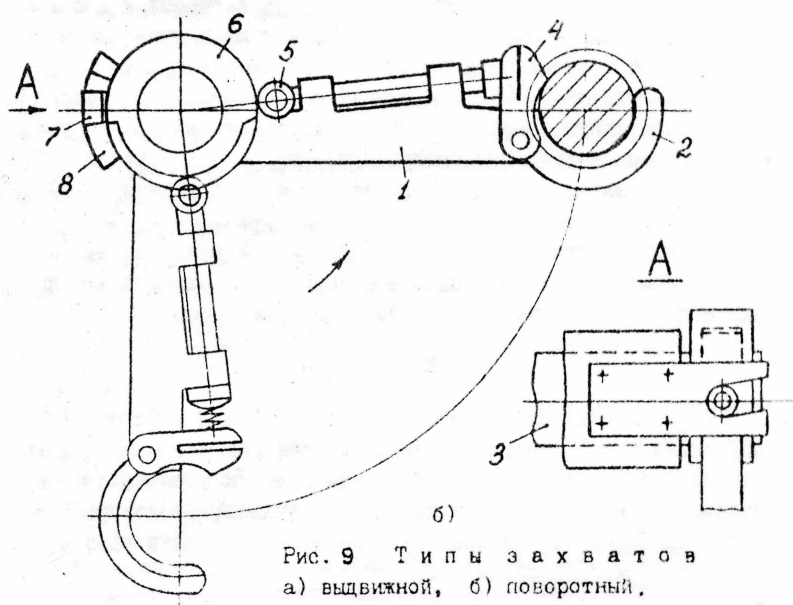
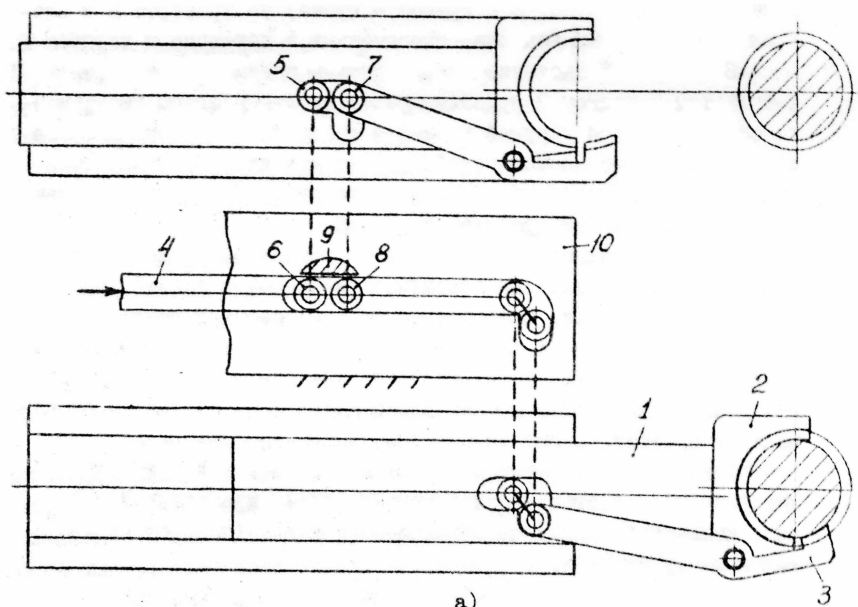


Рис. 9 Типы захватов
а) выдвижной, б) поворотный.

шарнирно связан шток, а с другой - губка) на траверсе 9 и следящих за профилями копиров, выполненных в державке и корпусе 10.

В поворотных механизмах с круговым перемещением державки I с захватом 2 штоком 3 привода предварительный зажим инструмента осуществляется упругой губкой 4 сразу после поворота захвата, так как ролик 5 взаимодействует с кулачком 6. Окончательный зажим происходит после выдвижения штока 3 и взаимодействия ролика 7 с винтовым профилем копира 8.

Оба типа захватов обеспечивают высокое быстродействие в связи отсутствия пауз на срабатывании приводов зажима, не требуют демпферов, т.к. инерционная энергия аккумулируется в виде потенциальной энергии сжатия упругих элементов губок и отдается при зажиме инструмента. Расчеты захватов основаны на экспериментальных данных и ставят своей целью определение необходимых для проектирования параметров.

Особенностью приводов поворота механической руки манипуляторов АСИ является то, что момент (M_z), приведенный к "руке", изменяется как в пределах одного цикла (поворот на 180°), так и между циклами.

$$M_z = M_d \pm M_n,$$

где $M_d = J_n \varepsilon$ - динамический момент, определяемый номинальным законом движения; J_n - момент инерции руки и приведенных к нему деталей привода; ε - угловое ускорение руки; $M_n = (m_1 - m_2) g R \sin \varphi_i$ - момент статических сил, изменяющих потенциальную энергию системы (положительный при ее увеличении, отрицательный при уменьшении), m_1 и m_2 - массы сменяемого инструмента; g - ускорение свободного падения; R - радиус и φ_i - текущий и угол поворота руки.

Расчеты приводов поворота механической руки сводятся к определению необходимой мощности и прочности элементов приводов, исходя из быстродействия перемещаемых масс.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

I. Повышение быстродействия устройств АСИ идет в двух направлениях: а) совершенствуются компоновки устройств АСИ и станков, что способствует сокращению времени и числа последовательных перемещений исполнительных органов; б) совершенствуются приводы, что способствует повышению режимов работы, устройств и их долговечности.

2. Систематизированы и разработаны конструкции манипуляторов параллельного действия для МС горизонтального типа, которые позволяют повысить быстродействие смены инструмента в 2,5-3 раза по сравнению с манипуляторами последовательного действия.

3. Наибольшим быстродействием для средних станков обладают манипуляторы параллельного действия роторного типа с гидромеханическим приводом и выдвижным захватом, работающие с открытым типом магазина. Время смены инструмента составляет 3 с. при взаимно перпендикулярном расположении осей шпинделя и магазина.

4. По грузоподъемности в порядке ее возрастания манипуляторы параллельного действия распределялись следующим образом: 1) роторные для закрытого типа магазина; 2) челночные; 3) роторные для открытого типа магазина; 4) комбинированные.

5. Определены граничные и оптимальные значения жесткости элементов захвата, что позволяет повысить не только быстродействие и динамическое качество манипуляторов, но и долговечность шпинделя станка. Для манипуляторов АСИ жесткость элементов захвата инструмента составляет: максимальная $2 \cdot 10^3$ нм/р, минимальная $0,25 \cdot 10^3$ нм/р и оптимальная $0,5-1,5 \cdot 10^3$ нм/р.

6. Экспериментально определены оптимальные усилия зажима инструмента в захвате для V-образных конусных справок № 30, 40, 45 и 50 они составляют 30, 40, 50 и 60 даН соответственно. Дальнейшее повышение усилия зажима не дает значительного увеличения жесткости в сопряжении захват-оправка.

7. Разработаны конструкции самозажимных захватов, позволяющие повысить быстродействие манипуляторов, улучшить их динамические характеристики и снизить трудоемкость изготовления.

8. Качество переходных процессов можно улучшить выбором оптимальной жесткости и тщательной регулировкой тормозных устройств, подбором времени торможения (T_r), не превышающим периода свободных колебаний (T). Наиболее эффективным является соотношение $T_r \geq 2T$.

9. Разработана конструкция демпфера позволяющего стабилизировать время торможения в пределах 30 % и перерегулирование скорости не более 50 % при максимальной неуравновешенности $M_n = 300$ дН·м механической руки.

10. Разработана методика расчета и конструкторская документация на манипуляторы параллельного действия. Результаты работы внедрены на предприятиях Минстанкопрома с экономическим эффектом 2000 руб. на единицу оборудования.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Украженко К.А. Анализ быстродействия манипуляторов в устройствах автоматической смены инструмента // Станки и инструмент.- 1990.- № 12.- С.20-21.
2. Украженко К.А. Устройства автоматической смены инструмента // Механизация и автоматизация производства.- 1990. - № 3. - С.6-9.
3. Украженко К.А. Быстродействующие манипуляторы для автоматической смены инструмента // Механизация и автоматизация производства. - 1991.- № 4.- С.2-5.
4. Украженко К.А. Расчет захватов инструмента // Известия вузов. Машиностроение, 1990.- № 7.- С.138-141.
5. Украженко К.А. Механический демпфер // Механизация и автоматизация производства.- № 1.- С.13-14.
6. А.с.№ 1393578 СССР, МКИ В23Q 3/155. Устройство для автоматической смены инструмента / К.А.Украженко (СССР)// Открытия, изобретения ...-1988.- № 17.
7. А.с.№ 1425032 СССР, МКИ В23Q 3/155. Устройство для автоматической смены инструмента / К.А.Украженко (СССР)// Открытия, изобретения...-1988.- № 32.
8. А.с.№ 1421483 СССР, МКИ В23Q 3/155. Устройство для автоматической смены инструмента / К.А.Украженко (СССР)// Открытия, изобретения...-1988.- № 33.
9. А.с.№ 1449314 СССР, МКИ В23Q 3/155. Устройство для автоматической смены инструмента / К.А.Украженко (СССР)// Открытия, изобретения...-1989.- № 1.
10. А.с.№ 1484569 СССР, МКИ В23Q 3/155. Механическая рука К.А.Украженко/ К.А.Украженко (СССР)// Открытия, изобретения...-1989.- № 21.
11. А.с.№ 1576313 СССР, В25 J 18/00. Механическая рука / К.А.Украженко (СССР)// Открытия, изобретения...-1990.- № 25.