

1552417

Московский государственный технический университет
им. Н. Э. Баумана

На правах рукописи
УДК 621.865

Наджафи Фарид

РАЗРАБОТКА МЕТОДА И ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
СИСТЕМ СИЛОМОМЕНТНОГО ОЧУВСТВЛЕНИЯ
АДАПТИВНЫХ РТС

05.02.05. — роботы, манипуляторы
и робототехнические системы

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва — 1996

97
НЕ КОПИРОВАТЬ

На правах рукописи

УДК. 621.865

НАДЖАФИ Фарид.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА И ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ
СИЛОМОМЕНТНОГО ОЧУВСТВЛЕНИЯ АДАПТИВНЫХ РТС

05.02.05. - роботы, манипуляторы и
робототехнические системы.

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

1552417

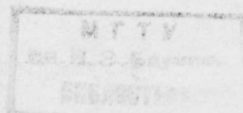
НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1552417

Наджафи Ф. Разработка мето

Москва- 1996



Работа выполнена в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Научный руководитель: - доктор технических наук, профессор Ющенко А.С.

Официальные оппоненты: - доктор технических наук, профессор Градецкий В.Г.
(ИПМех. РАН)

- доктор технических наук, профессор Гаврюшин С.С.
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Ведущая организация: -АО МНПО "Спектр".

Защита состоится " ____ " _____ 1996г. на заседании диссертационного
Совета К 053.15.06 МГТУ им. Н.Э.Баумана по адресу:

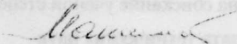
107005, Москва, 2-я Бауманская ул., Д. 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Автореферат разослан " ____ " _____ 1996г.

Ученый секретарь
диссертационного Совета

к.т.н. доцент



Максимов А.И.

Общая характеристика работы

Актуальность темы.

Стремительное развитие робототехники в мире и ее быстрое проникновение как на предприятия машиностроения и приборостроения с мелко- и среднесерийным характером производства, где до недавнего времени преобладал ручной труд, так и в новые сферы, в которых до появления современных роботов с микропроцессорным управлением применение робототехники было технически и экономически неоправданным, привели к необходимости разработки комплекса средств, обеспечивающих возможность адаптации робота к некоторым изменениям окружающей производственной среды в целях коррекции его действий при выполнении технологических операций.

Такая адаптация может быть достигнута путем использования средств "восприятия" роботом внешних факторов - систем очувствления.

Возможность быстрого и точного измерения параметров внешней среды, необходимых для выполнения технологической операции, позволяет резко снизить затраты на подготовку производства к внедрению очувствленных промышленных роботов (ПР) и повысить качество выпускаемой продукции. Наиболее перспективными областями внедрения ПР, оснащенных системами очувствления, и построенных на их основе адаптивных робототехнологических систем (АРТС) следует считать такие технологические процессы, как механическая сборка, электродуговая сварка, абразивная зачистка, окраска распылением, установка и снятие деталей с конвейера и другие.

Выбор средств очувствления определяется спецификой конкретного технологического процесса, характерной особенностью которого является наличие или отсутствие силовых контактных взаимодействий рабочего органа ПР с объектами внешней среды. Большинство операций, сопровождающихся возникновением силового контакта, включая механическую сборку и абразивную зачистку предполагают необходимость поддержания усилий взаимодействия в заданных пределах. В условиях промышленного производства автоматизация таких операций возможно только с помощью АРТС с системой силомоментного очувствления (ССМО). Использование ССМО позволяет снизить требования к специальной организации производственного процесса, уменьшить, а в ряде случаев - исключить применение специализированной оснастки без ухудшения качества

выполнения технологической операции. Однако, решение этой задачи сдерживается отсутствием надежных и эффективных средств силомоментной адаптации.

Цель исследования.

Диссертационная работа посвящена разработке методики анализа и проектирования многокомпонентных ССМО АРТС. В связи с этим, в работе поставлены и решены следующие задачи:

1. Анализ силовых факторов, возникающих при выполнении наиболее распространенных роботизированных технологических операций с замкнутой кинематической цепью;
2. Сравнительный анализ существующих ССМО АРТС с целью выработки основных требований к составу и функциональным возможностям таких систем;
3. Формирование критериев качества ССМО, учитывающие особенности технологической операции, характеристики ПР и его системы управления;
4. Разработка методики анализа и автоматизированного проектирования многокомпонентных ССМО АРТС. Разработка программного пакета (ПП) автоматизированного проектирования силомоментных датчиков (СМД);
5. Синтез многокомпонентного СМД, отвечающего заданным требованиям при помощи пакета автоматизированного проектирования СМД АРТС для технологических операций сборки и абразивной зачистки;
6. Исследование системы управления ПР с разработанным СМД методом математического моделирования;
7. Экспериментальные исследования СМД и ССМО.

Методы исследования.

Решение поставленных задач осуществлялось с использованием методов матричного исчисления и линейной алгебры. При расчете конструкции СМД использованы методы теории упругости, в том числе метод конечных элементов. При построении математической модели системы управления ПР, оснащенного ССМО применены методы теоретической механики и методы теории автоматического управления. Для проведения анализа и проектирования многокомпонентных СМД разработано специализированное программное обеспечение. Экспериментальные исследования проводилось с использованием СМД, разработанного в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Научная новизна.

- Предложен метод синтеза структуры и показателей многокомпонентных ССМО

АРТС, позволяющий разрабатывать ССМО с высокими техническими характеристиками.

- Разработаны рекомендации по расчету основных конструктивных параметров ССМО, а также сформулированы основные требования для работы ССМО в составе системы управления АРТС.
- Разработана методика автоматизированного проектирования многокомпонентных ССМО для роботизированных технологических операций типа механической сборки и абразивной зачистки.

Практическая ценность диссертации.

- Разработан метод расчета основных показателей ССМО, позволяющий проводить сравнение по объективным показателям и выбрать необходимую ССМО в зависимости от характеристик технологического процесса и АРТС.
- Разработан и внедрен программный пакет автоматизированного проектирования СМД АРТС, который существенно экономит время анализа и проектирования многокомпонентных СМД.
- С помощью предложенной методики разработана конструкция СМД АРТС на базе ПР РМ01 для автоматизации операций механической сборки и абразивной зачистки.

Внедрение работы.

Результаты диссертационной работы внедрены в следующих организациях: МГТУ им. Н.Э. Баумана и "МНТК-РОБОТ". Созданный программный пакет используется в Научно-Учебном Центре "Робототехника" МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Апробация работы.

Основные материалы диссертации представлялись на Конференции "Инженерное производство и промышленность" (г. Тегеран, Иран, 1995г.), 26 международном симпозиуме "Промышленные роботы" (Сингапур, 1995г.), Второй международной конференции "Инженерная механика" (г. Шираз, Иран, 1996г.), Втором международном симпозиуме "Интеллектуальные системы" (г. Санкт-Петербург, 1996г.).

Объем работы.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, содержащего основные научно-технические результаты и общие выводы, перечня использованной литературы.

Содержание работы

Во введении обосновывается актуальность темы, сформулированы цель диссертационной работы и основные решаемые задачи, приводится краткое содержание работы.

Первая глава посвящена анализу принципов построения технических средств силомоментной адаптации АРТС. Проанализированы технологические операции механической сборки и абразивной зачистки. В результате анализа получены математические модели силовых взаимодействий ПР и объекта работ в этих операциях, а также сформулированы требования к ССМО АРТС. Проведен сравнительный анализ типовых ССМО и рассмотрены типовые варианты конструктивных схем СМД. На основе анализа выявлены преимущества известных типов СМД для определенных технологических процессов. Рассмотрены структуры систем управления, использующих средства силомоментной адаптации и проведен их анализ. Сформулированы основные недостатки известных технических решений ССМО, снижающие эффективность их применения в АРТС. Эти недостатки связаны с отсутствием развитых методов проектирования технических средств силомоментной адаптации, использованием, преимущественно, эвристических подходов к проектированию. В тоже время, назначение робота, условия его работы в составе технологического оборудования, требования к производительности и точности выполнения операций и другие технологические факторы оказывают существенное влияние на структуру и характеристики ССМО АРТС. В связи с этим, проектирование ССМО необходимо осуществлять на основе системного подхода, рассматривая структуру объекта как совокупность взаимосвязанных функциональных элементов.

Вторая глава диссертации посвящена разработке методики автоматизированного проектирования многокомпонентных ССМО ПР. ССМО АРТС является многоканальной информационно-измерительной системой, которая представляет собой совокупность функционально объединенных технических средств для получения информации о силах и моментах, её преобразования и передачи в систему управления АРТС. Поскольку в ССМО осуществляется преобразование векторных информационных сигналов, в работе получены аналитические зависимости, обеспечивающие применение методики для многомерных систем. В соответствии с предложенным подходом, разработана информационная модель многомерной ССМО АРТС. Установлено, что структуру

и параметры каждого блока ССМО можно охарактеризовать с помощью матрицы преобразования M , а для их анализа использовать аппарат линейной алгебры. Функция преобразования блока имеет вид:

$$U_o = M \cdot U_i$$

где U_i и U_o - векторные информационные сигналы на входе и выходе блока.

Используя соотношения теории упругости, проводятся обоснование и математическое описание структуры СМД. Функционирование СМД в составе ССМО определяется через матрицы жесткости (K) и податливости (C), связывающие компоненты главного вектора сил и моментов с перемещениями и деформациями упругих элементов СМД. Важной проблемой, возникающей при проектировании систем, является выбор обоснованных критериев качества, позволяющих осуществлять анализ и синтез технических решений. В работе на основе сформулированных технологических требований к ССМО и характеристик матриц K и C , выбраны показатели ССМО, характеризующие его работу в составе АРТС. Отмечено, что эти показатели должны учитывать информационно-измерительный характер ССМО, особенности технологического процесса, параметры АРТС и ее системы управления. Так как математические зависимости ССМО имеют матричный характер, то эти показатели выведены из теории матриц. В работе различают:

- Число обусловленности матрицы податливости (η), которое показывает относительную чувствительность ССМО к компонентам главного вектора сил и моментов. Величина числа $\eta \geq 1$, причем чем меньше η , тем больше измерительная изотропия датчика, т. е. при $\eta=1$ ССМО обладает равной чувствительностью по всем каналам измерения. Доказано, что число обусловленности зависит не только от конфигурации упругих элементов датчика, положения и количества чувствительных элементов, но и от отношения измеряемого момента к измеряемой силе. Поэтому ССМО следует конструировать с учетом структуры главного вектора сил и моментов, т. е. для конкретного технологического процесса.

- Силомоментная чувствительность (σ_0). Доказано, что получение максимального сигнала на выходе чувствительных элементов датчика достигается увеличением минимального сингулярного значения матрицы податливости. При этом, величина измеряемой деформации увеличивается. В связи с этим, в работе введено понятие силомоментной чувствительности датчика σ_0 , как минимальное сингулярное число матрицы податливости.

- Минимальные собственные значения матрицы жесткости по силе и по

моменту ($\lambda_{\min}|F$ и $\lambda_{\min}|M$). При анализе механической жесткости системы "манипулятор-концевой эффектор" использованы параметры матрицы жесткости СМД. Поскольку она имеет симметрический вид, и ее собственные значения - вещественны, то для оценки жесткости СМД в диссертации предложено использовать минимальные собственные значения матрицы К по силе и по моменту.

- Числа однородности ($O_{s,f}$, $O_{s,m}$). Если СМД имеет симметрическую конструкцию, то перемещение его центра измерения во всех направлениях одинаковы. Это свойство характеризуется посредством чисел однородности СМД, определяемых раздельно для силовых F и моментных M компонент главного вектора сил и моментов как отношения максимальных и минимальных собственных чисел матрицы жесткости К:

1) число однородности по силе $O_{s,f}$;

$$O_{s,f} = \lambda_{\max}|F / \lambda_{\min}|F$$

2) число однородности по моменту $O_{s,m}$;

$$O_{s,m} = \lambda_{\max}|M / \lambda_{\min}|M$$

Показано, что для того, чтобы СМД обладал изотропией механических свойств по всем компонентам главного вектора сил и моментов, необходимо минимизировать значения указанных коэффициентов.

$$O_{s,f} \rightarrow 1$$

$$O_{s,m} \rightarrow 1$$

- Бесконечная норма матрицы податливости ($\|C\|_{\infty}$) определяется через бесконечную норму матрицы податливости и характеризует диапазон измерения ССМО. Показано, что она зависит от предела упругости материала конструкции, разрешающей способности измерительной цепи, от коэффициента тензочувствительности и коэффициента усиления электрической схемы. Норма матрицы C определена как

$$\|C\|_{\infty} = \max_{0 \leq i \leq n} \left(\sum_{j=1}^6 |c_{ij}| \right)$$

При этом

$$\epsilon'_{\min} < \|C\|_{\infty} < \epsilon'_{\max}$$

где $\epsilon'_{\min}$ - нормализованный минимальный предел измерения ССМО;

$\epsilon'_{\max}$ - нормализованный максимальный предел измерения ССМО;

- Коэффициенты использования и перекрестных связей (ϵ_{ij} , δ_{ij}). Коэффициент

использования ϵ_{ij} характеризует избирательность каналов измерения датчика и определяется следующим образом:

$$\epsilon_{ij} = \epsilon_{ij} / \sum_{j=1}^6 |\epsilon_{ij}|$$

где ϵ_{ij} - деформация i -го тензорезистора от действия j -ой компоненты главного вектора сил и моментов. В работе определена зависимость погрешности измерения от коэффициентов использования.

Коэффициенты перекрестных связей δ_{ij} , характеризующие уровень взаимовлияния между каналами измерения, определяются структурой матрицы жесткости и вычисляются по формуле:

$$\delta_{ij} = k_{ij} / k_{ii}$$

где k_{ij} - коэффициенты матрицы жесткости СМД. Отмечено, что если ССМО имеет перекрестные связи между каналами, то при действии на него внешней силы (момента), возникают неконтролируемые перемещения его центра измерений в других направлениях. Это приводит к возникновению ошибки измерения ССМО и, как следствие, ошибки позиционирования ПР.

Используя предложенные показатели ССМО АРТС, можно сформулировать задачу синтеза, как задачу структурной и параметрической оптимизации отдельных блоков ССМО по этим показателям. Отмечено, что некоторые из них функционально связаны, так, что оптимизация по одному из них может ухудшить другой показатель. Таким образом, основная сложность решения подобной задачи связана с ее многокритериальным характером. Зачастую, система, оптимальная по одному критерию качества, часто не удовлетворяет другим критериям. В работе предлагается определение целевой функции, аргументами которой в явном или неявном виде являются указанные частные показатели. Экстремум этой функции может обеспечить заданное качества как системы, так и ее элементов, с учетом особенностей конкретной задачи.

В работе целевая функция сформирована в следующем виде;

$$\Phi(T_{\text{отн.}}, E_{\text{отн.}}, E_p) = \alpha T_{\text{отн.}} + \beta E_{\text{отн.}} + \gamma E_p$$

где $T_{\text{отн.}} = T / T_0$ - относительное время преобразования;

$E_{\text{отн.}} = E / E_0$ относительная погрешность ССМО;

E_p - относительная погрешность позиционирования ПР;

$0 \leq \alpha, \beta, \gamma \leq 1$ - весовые коэффициенты, зависящие от задачи;

T_0 - частота выдачи управляющих сигналов на привода ПР;

E_0 - погрешность системы управления робота (включая усилители, коммутатор, АЦП, процессор и т. д.);

Получена зависимость между параметрами $T_{отн}$, $E_{отн}$, E_p и введенными выше показателями ССМО, что позволяет определить целевую функцию в виде:

$$\Phi = \Phi(\eta, O_{af}, O_{am}, \delta_{ij}, T, \lambda_{min}|F, \lambda_{min}|M, \sigma_0, e_{ij}, E).$$

где T - время обработки сигнала в электронно части ССМО;

E -погрешность в электронно аппаратуре ССМО (наибольший вклад в погрешность вносит погрешность из-за ограниченной разрядности ССМО).

Показано, что функция Φ не является монотонной, и поэтому выполнение экстремума $\Phi \rightarrow \min$, приводит к обеспечению заданного качества конструкции.

С учетом предложенных принципов разработана методика анализа и проектирования ССМО АРТС, структура которой представлена на рис. 1.

Третья глава работы посвящена разработке алгоритмического и программного обеспечения для автоматизированного проектирования многокомпонентных СМД. Алгоритм синтеза, разработанный на основе предложенной методики, является ядром автоматизированной системы проектирования ССМО. Показано, что для обеспечения высокой точности расчетов конструкции, необходимо определение характеристик матриц жесткости и податливости с минимальной погрешностью. В результате анализа известных подходов для расчета конструкции выбран метод конечных элементов. Структура алгоритма программы показана на рис. 2. Алгоритм состоит из шести программных модулей:

1) *Модуль расчета конструкции методом конечных элементов.* Большинство конструкций СМД построено в виде совокупности пространственно-ориентированных стержневых упругих элементов, что и позволяет в процессе расчета разбить конструкцию на стержневые элементы. Вычисления проводятся методом перемещений.

2) *Модуль анализа силовых факторов.* В этом модуле исходными данными являются значения компонент главного вектора сил и моментов. В результате вычислений программа определяет следующие параметры:

- узловые перемещения и силы (моменты), а также положения упругих элементов СМД до и после приложения нагрузки;
- показания чувствительных элементов и максимальное напряжение Вон-Мисеса для каждого конечного элемента;
- эпюры изгибных моментов каждого конечного элемента.

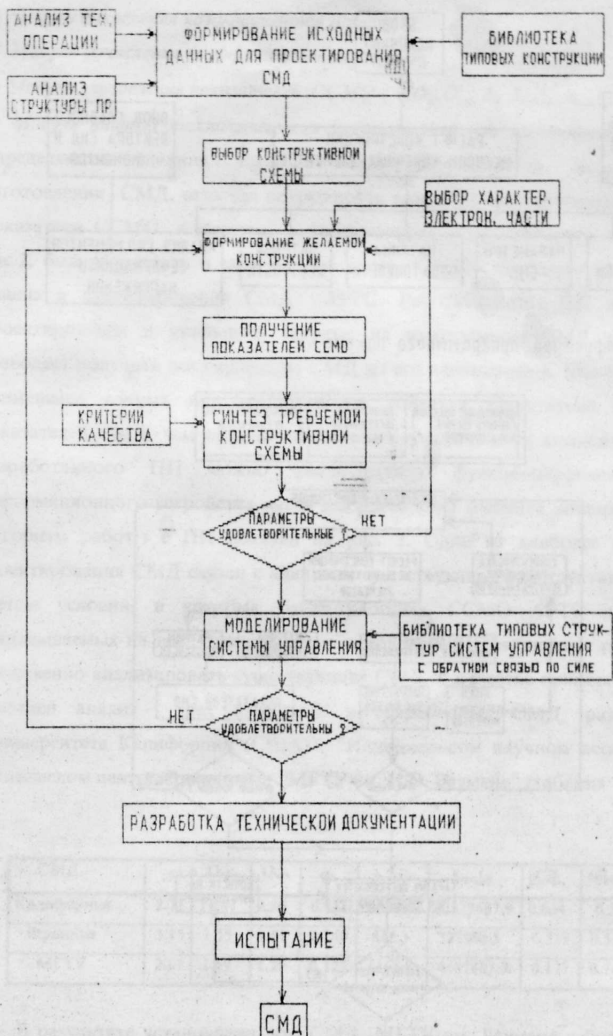


Рис.1 Методика проектирования ССМО АРТС

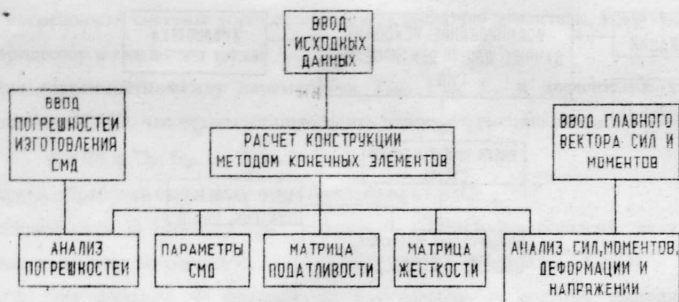


Рис.2 Структура программного пакета

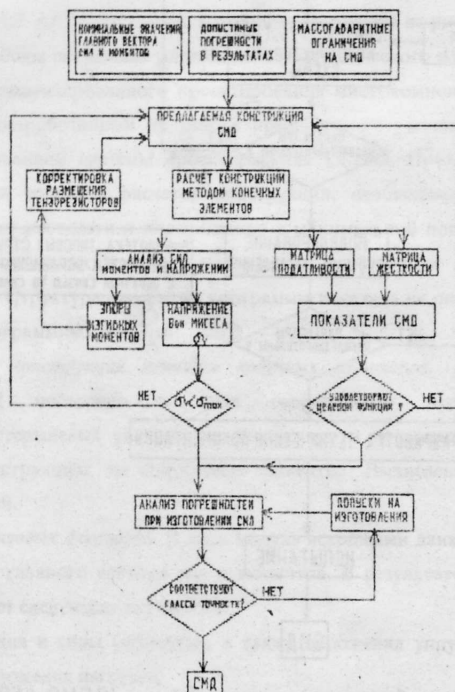


Рис. 3 Алгоритм проектирования СМД

- 3) Модуль вычисления коэффициентов матриц C ;
- 4) Модуль вычисления коэффициентов матриц K ;
- 5) Модуль определения показателей ССМО ($\eta, O_{\Sigma}, O_{\Sigma M}, \delta_p, \lambda_{min}|F, \lambda_{min}|M, \sigma_0, e_{ij}, \|C\|_{\infty}$).
- 6) Модуль анализа технологических погрешностей при изготовлении СМД. В нем определяются влияния технологических погрешностей, возникающих при изготовлении СМД, включая погрешности накладки чувствительных элементов, на показатели ССМО. Алгоритм, функциональная схема которого представлена на рис.2, был реализован в виде ПП на языке "С". Он позволяет автоматизировать анализ и проектирование СМД АРТС. Работа с этим ПП экономит время проектирования и уменьшает затраты на изготовление СМД АРТС, а также позволяет получить все параметры СМД до его изготовления. Что особенно важно, применение точных методов позволяет добиться значительно более высоких показателей СМД, чем при использовании эвристического подхода. С помощью разработанного ПП можно анализировать функционирование СМД как информационного устройства и как механического элемента кинематической цепи. Алгоритм работы с ПП показан на рис. 3. Один из наиболее важных этапов проектирования СМД связан с анализом существующих конструктивных решений с учетом условий, в которых будет работать ССМО АРТС и ограничений, накладываемых на нее. Предложенные методика и ПП позволяют количественно и качественно анализировать существующие СМД. В качестве примера в диссертации проведен анализ трех известных и современных СМД, разработанных в "Университете Калифорнии (США)", "Национальном научном исследовательском космическом центре Франции" и "МГТУ им. Н.Э. Баумана" (таблица 1).

Таблица 1

СМД	η	O_{Σ}	$O_{\Sigma M}$	σ_0	$\lambda_{min} F$	$\lambda_{min} M$	$\ C\ _{\infty}$	$e_{ij} _{max}$	$\delta_{ij} _{max}$
Калифорния	2.71	13.47	2.30	0.017	8914.6	47379687.9	0.034	0.51	12.7
Франция	3.15	1.55	1.61	0.140	872.3	322468.5	0.331	0.51	7.41
МГТУ	2.69	1.69	1.20	0.129	1165.8	4481867.5	0.177	0.74	0

В результате установлено, что СМД МГТУ им. Баумана в большей степени, чем остальные удовлетворяет требованиям показателей качества, и следовательно его использование в АРТС сборки и абразивной зачистки является предпочтительным. В то же время, СМД "МГТУ им. Н.Э. Баумана" также имеет ряд недостатков, связанных с относительно большим числом обусловленности и

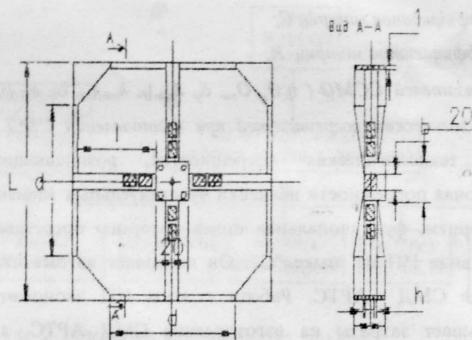


Рис. 4. Схема разработанной конструкции СМД.

большими числами однородности. Поэтому, в работе была предложена модификация этого датчика, в результате которой был синтезирован новый СМД, имеющий лучшие показатели. Получено, в частности, что отношения ширины к высоте упругих элементов и длины упругих элементов к длине мембран должно быть 1.09, а мембраны должны иметь треугольную форму. Также показана зависимость числа обусловленности СМД от его геометрических параметров. Конструктивная схема модифицированного СМД, разработанного с помощью ПП показана на рис. 4. На основе этого СМД, в диссертации разработаны две конструкции датчиков для АРТС сборки и абразивной зачистки водометного движителя. Разработка осуществлялась с использованием математических моделей этих технологических процессов и предложенного ПП проектирования СМД АРТС.

Четвертая глава посвящена исследованию АРТС абразивной зачистки методом математического моделирования. Цель этих исследований заключалась в определении влияния показателей ССМО на качество системы управления. Описывается уравнение динамики манипулятора с учетом характеристик СМД как элемента его системы управления. Показано, что наличие перекрестных связей между каналами ССМО сильно усложняет процесс управления роботом. Применительно к абразивной зачистке, силовое управление осуществляется по нормальному направлению к поверхности детали и наличие перекрестных связей вызывает неконтролируемые силовые факторы в других направлениях управления, что ухудшает качество обработки. При помощи полученной модели и программного пакета "РОБОТ", разработанного в МГТУ им. Н.Э. Баумана, в диссертации

проведено исследование системы управления универсального ПР типа РМ01 с разработанным СМД. Проанализировано влияние изменения жесткости СМД и конфигурации манипулятора ПР в АРТС абразивной зачистки водометного движителя на показатели качества системы управления. Установлено, что с уменьшением жесткости конструкции СМД, система управления может терять устойчивость. Определены конфигурации манипулятора при которых показатели качества системы управления ухудшаются. В результате моделирования получены основные временные характеристики ССМО АРТС абразивной зачистки на базе ПР РМ01. Предложен алгоритм управления ПР и получена зависимость между быстродействием ССМО с разработанным СМД и частотой выдачи управляющих сигналов на приводы ПР РМ01, обеспечивающая функционирование АРТС в реальном масштабе времени. В результате моделирования системы управления были уточнены характеристики ССМО АРТС при использовании в конкретном технологическом процессе - абразивной зачистке водометного движителя.

В пятой главе рассмотрены результаты экспериментальных исследований. Целью эксперимента являлась проверка эффективности разработанного ПП автоматизированного проектирования СМД АРТС. В рамках эксперимента проводилось тестирование СМД, изготовленного в соответствии с методикой в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Описана методика испытаний. В соответствии с ней, были получены функции преобразования отдельных информационных блоков ССМО и рассчитаны коэффициенты матриц жесткости и податливости СМД. При нагружении 6-ти компонентным вектором сил и моментов также были экспериментально получены эпюры изгибных моментов упругих элементов датчика. Проведен сравнительный анализ данных, полученных в результате эксперимента и рассчитанных с помощью ПП автоматизированного проектирования, и определены погрешности разработанного метода. В результате испытаний установлено, что расхождение теоретических и экспериментальных значений основных параметров составило в среднем 8% -12%, что подтверждает эффективность разработанного ПП. Таким образом, по результатам экспериментальных исследований можно сделать вывод о том, что основные теоретические положения диссертации нашли свое подтверждение.

В приложении к диссертации приведены тексты программ автоматизированного проектирования СМД АРТС, написанные на языке "С" и результаты моделирования СМД МГТУ им. Н.Э. Баумана при помощи

разработанного пакета, а также схема водометного двигателя. Представлены акты о внедрении результатов диссертационной работы.

Заключение

В диссертационной работе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований, относящихся к проблеме использования средств силомоментной адаптации в роботизированном производстве, а также вопросы разработки методики автоматизированного проектирования таких систем для АРТС.

В ходе теоретических и экспериментальных исследований получены следующие научно-технические результаты:

1. Определена структура ССМО АРТС, предназначенной для использования в роботизированных технологических операциях с замкнутой кинематической цепью, таких как механическая сборка и абразивная зачистка.
2. Предложена методика автоматизированного проектирования многокомпонентных ССМО для технологических операций сборки и абразивной зачистки, учитывающая характеристики технологического процесса и особенности АРТС и позволяющая разрабатывать конструкции с заданными техническими характеристиками.
3. Разработаны частные показатели и целевая функция качества ССМО АРТС, позволяющие проводить анализ технических решений, а также осуществлять структурный и параметрический синтез новых систем.
4. На основе предложенной методики разработаны алгоритмическое и программное обеспечение в виде ПП автоматизированного проектирования многокомпонентных СМД АРТС.
5. Разработаны конструктивные схемы СМД для технологических процессов сборки и абразивной зачистки, удовлетворяющие заданным требованиям.
6. Разработана блок-схема системы управления адаптивным АРТС с ССМО, составлена математическая модель и проведено математическое моделирование влияния ССМО на показатели качества системы управления.
7. В соответствии с методикой рассчитан и экспериментально исследован СМД, изготовленный в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Результаты экспериментов подтвердили эффективность предложенной методики и разработанного ПП автоматизированного проектирования СМД АРТС.

На основании результатов, полученных в диссертации могут быть сделаны следующие выводы:

- Применение ССМО в составе АРТС является эффективным средством расширения его функциональных возможностей, позволяющим автоматизировать сложные технологические операции с силовым контактом между объектами работы.
- При проектировании ССМО АРТС целесообразно формировать целевую функцию качества, использующую введенные показатели СМД и учитывающую особенности технологического процесса и параметры АРТС и позволяющую разрабатывать ССМО с заданными характеристиками.
- Требования к конструкции СМД необходимо уточнять с учетом анализа модели системы управления ПР с ССМО.
- Разработанные методика и ПП позволяют с высокой эффективностью проектировать ССМО для АРТС сборки и абразивной зачистки.

Публикации

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Najafi F. Automated grinding process by industrial robots// Production & Manufacturing Engineering Conf. (PMEC); Thes. lect. -Tehran(Iran), 1995. -P. 67. (на персидском языке).
2. Наджафи Ф., Воротников С.А. Методика автоматизированного проектирования многокомпонентных силомоментных датчиков для робототехнических систем //Вестник МИТУ. Приборостроение. -1996. -№ 2. -С. 75-81.
3. Najafi F. Comparison of the sensor system of a robot with the sensing system of human // Sharif J. of mechanics. -1996. -Vol.1, No.2. -P. 12-15. (на персидском языке).
4. Концепция интеллектуальной робототехнической системы в мелкосерийном производстве /А.С. Ющенко, Б.Б. Михайлов, С.А. Воротников и др. //Интеллектуальные системы (ИНТЕЛС'96): Тез. докл. Второго международного симпозиума. -Санкт-Петербург, 1996. -С. 10.
5. Najafi F., Vorotnikov S.A. A new method for analysis and design of multicomponent force/torque sensor of industrial robot// 2nd Inter. Conf. on Mechanical Engineering: Thes. lect. -Shiraz(Iran), 1996. -P. 39-40. (на персидском языке).
6. Najafi F. Software for computer-aided analysis and design of multicomponent force/torque sensor of industrial robots// 2nd Inter. Conf. on Mechanical Engineering: Thes. lect. -Shiraz(Iran), 1996. -P. 40-41. (на персидском языке).

Получено 18.10.96
Всего 10 экз.
В том числе: 1 экз. для библиотеки
1 экз. для архива
1 экз. для отдела
1 экз. для лаборатории
1 экз. для цеха
1 экз. для мастерской
1 экз. для склада
1 экз. для канцелярии
1 экз. для бухгалтерии
1 экз. для отдела кадров
1 экз. для отдела охраны труда
1 экз. для отдела экологии
1 экз. для отдела безопасности
1 экз. для отдела информации
1 экз. для отдела связи
1 экз. для отдела транспорта
1 экз. для отдела энергоснабжения
1 экз. для отдела водоснабжения
1 экз. для отдела канализации
1 экз. для отдела отопления
1 экз. для отдела вентиляции
1 экз. для отдела кондиционирования
1 экз. для отдела электроснабжения
1 экз. для отдела электротехники
1 экз. для отдела электромеханики
1 экз. для отдела электроники
1 экз. для отдела автоматики
1 экз. для отдела телемеханики
1 экз. для отдела телекоммуникаций
1 экз. для отдела информационных технологий
1 экз. для отдела информационных систем
1 экз. для отдела информационных ресурсов
1 экз. для отдела информационных технологий
1 экз. для отдела информационных систем
1 экз. для отдела информационных ресурсов

Итого: 10 экз.
В том числе: 1 экз. для библиотеки
1 экз. для архива
1 экз. для отдела
1 экз. для лаборатории
1 экз. для цеха
1 экз. для мастерской
1 экз. для склада
1 экз. для канцелярии
1 экз. для бухгалтерии
1 экз. для отдела кадров
1 экз. для отдела охраны труда
1 экз. для отдела экологии
1 экз. для отдела безопасности
1 экз. для отдела информации
1 экз. для отдела связи
1 экз. для отдела транспорта
1 экз. для отдела энергоснабжения
1 экз. для отдела водоснабжения
1 экз. для отдела канализации
1 экз. для отдела отопления
1 экз. для отдела вентиляции
1 экз. для отдела кондиционирования
1 экз. для отдела электроснабжения
1 экз. для отдела электротехники
1 экз. для отдела электромеханики
1 экз. для отдела электроники
1 экз. для отдела автоматики
1 экз. для отдела телемеханики
1 экз. для отдела телекоммуникаций
1 экз. для отдела информационных технологий
1 экз. для отдела информационных систем
1 экз. для отдела информационных ресурсов
1 экз. для отдела информационных технологий
1 экз. для отдела информационных систем
1 экз. для отдела информационных ресурсов

Подписано к печати 18. 10. 96 года.

Зак. 289. Объем 1.0 п.л. Тир. 100 экз.

Типография МГТУ им. Н. Э. Баумана