М497787

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Э. БАУМАНА

На правах рукописи

Натбиладзе Вахтанг Шалвович

ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ РАСЧЛЕНЕННЫХ МАНИПУЛЯЦИОННЫХ МЕХАНИЗМОВ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Специальность 05.13.07 – Автоматизация технологических процессов и производств (машиностроение)

Специальность 05.02.05 – Роботы манипуляторы и робототехнические системы

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени

доктора технических наук

Москва, 1991

Работа выполнена в Грузинском техническом университете.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор Чинаев П.И.;

доктор технических наук, профессор Черпаков Б.И.;

доктор технических наук, профессор Клусов И.А.

Ведущее предприятие - П/О "Техника"

Защита диссертации состоится "15" мая 1991 г. в 1430 часов на заседании специализированного Совета Д 053.15.04 в Московском государственном техническом университета им. Н.Э.Баумана по адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская ул., д.5.

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью, просим направить по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться с библиотеке МГТУ

апреля 1991 г.

Усов Б.А.

М 497787

315 Объем 2 п.л.
У

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одной из характерных особенностей развития современного машиностроения является повышение производительности и надежности проектируемых или модернизируемых технологических комплексов, путем увеличения скоростей и расширения их технологических возможностей. При этом увеличение быстроходности и мощности машин усложняет их конструкцию, что ставит перед проектировщиками все более сложные задачи, связанные с уменьшением расхода металла, энергетических ресурсов и соответственно стоимости изделия.

С появлением электронно-вычислительных машин решение актуальных задач, связанных с автоматизацией производства, требует коренного изменения ранее существовавшей методики построения технологических комплексов.

В автоматизированном производстве уже в течение длительного времени широкое применение получили станки с ЧПУ. Однако без применения транспортных и загрузочных устройств полную автоматизацию невозможно осуществить. Обслуживание станков с ЧПУ, в основном, заключается в установке и снятии изделия, что весьма успешно могут выполнить транспортные и загрузочные механизмы, т.е. промышленные роботы. Поэтому при решении важнейших научно-технических проблем в области автоматизации производства весьма актуальным является совершенствование автоматических манипуляторов, промышленных роботов и робототехнических систем, что в свою очередь диктует необходимость разработки более современных методов и принципов построения и компановки автоматизированных технологических комплексов.

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
1497787
Натбиладзе В.Ш.Основы пос
МВТУ им. Н.Э. Баумана БИБЛИОТЕКА

В соответствии с комплексной программой МНТК "Робот"(№ 461 от 27.10.86 г.) предусмотрено создание агрегатно-модульных гамм промышленных роботов, унифицированных компонентов и универсальных транспортных средств.

В концепциях комплексного прогноза развития и исследования проблем машиностроения, механики и процессов управления на период до 2015 года (ИМАШ 1988 г.) указано, что "Модульный принцип конструирования машин, основанный на функциональной классификации их элементов, позволит резко уменьшить сроки создания, трудоемкость изготовления, ремонт и техническое обслуживание машин".

Вопросам теории и практики автоматизации производственных процессов посвящены труды Владзиевского А.П., Шаумяна Г.А., Дащенко А.И., Соломенцева Ю.М., Черпакова Б.И. и др. , в которых рассматриваются проблемы эффективности работы систем машин общего назначения, без учета специфики робототехнических комплексов. Предложены научные разработки промышленных роботов и создание на их базе робототехнических комплексов. Трудами Белянина П.Н., Корендясева А.И., Макарова Ю.М., Попова Е.П., Воробьева Е.И., Кулешова В.С. и др. созданы научные основы проектирования ПР и РТК как эффективного средства автоматизации серийного производства.

В настоящее время создание автоматизированных систем ориентируется главным образом на использование универсальных и специализированных промышленных роботов.

Несмотря на широкое распространение автоматизированных комплексов в машиностроительном производстве, вопросы их компановки и эксплуатации изучены и освещены в технической литературе еще недостаточно. В том числе, мало научных работ, где содержится анализ причин многих неудач в роботостроении. Обычно указывается

на высокую стоимость и недостаточную надежность конструкций, низкую точность позиционирования, неотработанность программного обеспечения и т.д. К сожалению, недостаточны поиски новых, нетрадиционных решений в создании промышленных роботов и роботизированных комплексов, как правило, происходит усовершенствование и доводка уже найденных решений.

В большинстве случаев в технологических комплексах применяются универсальные роботы со многими степенями подвижности, что дает возможность выполнять разнообразные работы, но при этом не всегда используются все возможные степени подвижности промышленного робота. Кроме того, использование универсальных роботов связано с увеличением габаритов и массы оборудования, с большими энергозатратами и значительной площадью обслуживания. Это привело автора к выводу о необходимости разработки новых роботизированных комплексов на основе модулей движений промышленных роботов с повышенными технологическими возможностями, имеющих минимальную массу и обладающих точностью позиционирования.

Для решения этой проблемы нами разработаны пути построения комплексов с применением модульных манипуляционных механизмов с минимальным числом степеней подвижности. Это достигается построением технологических комплексов методом применения расчленённых модулей движения.

Связь диссертационной работы с планами отраслей науки и народного хозяйства. Тема диссертации связана с выполнением целевых комплексных программ ГКНТ, работ по плану Министерства авиационной промышленности, по программе Государственного комитета народного образования СССР и МНО ГССР, по планам научно-исследовательских работ Грузинского технического университета, ПО "Техника",

ТАПО им.Димитрова и др.

Целью работы является создание научных основ построения и эффективного использования роботизированных технологических комплексов на основе промышленных роботов с конструктивно независимыми (расчлененными) модулями, что обеспечивает повышение быстродействия и производительности, сокращение металлоемкости и энергопотребления.

Для достижения цели в работе были поставлены следующие задачи:

I) Обосновать предложенный принцип построения и функционирования нового типа ПР с конструктивно независимыми модулями движения;

2) Разработать и исследовать комплексы независимо действующих модулей и на их основе синтезировать ПР нового типа;

3) Научно доказать преимущества и оценить области применения РТК по критериям быстродействия ПР и производительности РТК, металлоемкости и энергопотребления;

4) Реализовать предложенные принципы и научные положения путем разработки и внедрения РТК различного технологического назначения с ПР нового типа.

Научная новизна работы.

- обоснован принцип построения РТК с ПР с конструктивно независимыми модулями движения;

- разработаны и исследованы по кинематическим и динамическим параметрам конструктивно независимые модули с минимальным числом степеней подвижности для компоновки новых ПР;

- на основе теории конечных поворотов и анализа вариантности траекторий перемещения изделий разработана теория синтеза структуры и компановки ПР нового типа;

- по критериям быстродействия промышленного роста производительности машин обоснована эффективность создания РТК с конструктивно независимыми модулями движения по параметрам быстродействия и производительности; исследована эффективность повышения точности позиционирования, сокращения материалоемкости и энергопотребления.

Практическая новизна работы. Разработка и внедрение РТК с конструктивно независимыми модулями движения на операциях токарной обработки, штамповки, термической обработки и др.

Реализация результатов работы. Разработаны новые конструкции модулей движения, а также автоматизированные технологические комплексы для токарной обработки, многопозиционной штамповки, термической обработки деталей, процесса раскатки, которые внедрены на производственном объединении им.Димитрова (г.Тбилиси) и других предприятиях.

Разработан и внедрен автоматизированный комплекс для обработки корпусных деталей, а также модернизирован промышленный робот ПР-10И, на производственном объединении "Техника" (г.Владимир).

Внедрен автоматизированный комплекс для штамповки панелей на ВНИИТСМ "Сириус" (г.Хабаровск).

Суммарный годовой экономический эффект от внедрения результатов работы, составляет около 200 тыс.руб.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались и обсуждались: на XIX республиканских научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава ГПИ им.В.И.Ленина (Тбилиси,1976,1978,1979,1981); на республиканской конференции "Эффективность применения станков с программным управлением" (Тбилиси,1979); на второй Всесоюзной межвузовской конференции "Робототехнические системы", на втором Всесоюзном совещании по робототехническим системам (Минск,1981); на одиннадцатом между-

народном симпозиуме (Япония,1981); на третьей Всесоюзной конференции "Роботы и робототехнические системы" (Челябинск,1983); на шестом Всемирном конгрессе (Нью-Дели, Индия,1985); на научном семинаре кафедры "Металлорежущие станки"ГПИ им.В.И.Ленина (Тбилиси,1984); на симпозиуме по промышленным роботам (Росток, ГДР,1985); на шестом международном симпозиуме по теории и применении роботов и манипуляторов (Краков, ПНР,1986); на четвертом всесоюзном совещании по робототехническим системам (Киев,1987); на семинаре по робототехнике института Машиноведения АН СССР (Москва,1989); на семинаре "Робототехника и средства автоматизации" Мосстанкин (Москва,1989); на научном семинаре кафедры "Технология приборостроения" Московского института приборостроения (Москва,1989).

Публикации. Основное содержание и результаты диссертации опубликованы более чем в 45-ти работах автора в том числе в пяти депонированных отчетах по научно-исследовательским работам, 10 авторских свидетельствах, ~~двух положительных решениях по заявкам на авторские свидетельства~~.

Объем работы. Диссертация состоит из предисловия, введения, шести глав, общих выводов, списка литературы из 208 наименований и приложения с актами внедрения, расчетами годового экономического эффекта, копиями авторских свидетельств и положительных решений на изобретения.

Основной текст работы изложен на 260 страницах машинописного текста и поясняется 110 рисунками и четырьмя таблицами.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В предисловии показана актуальность рассматриваемых проблем, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, рассмотрены основные результаты, научная и практическая значимость работы.

В первой главе содержится описание и анализ существующих транспортных и загрузочных механизмов, используемых в автоматизированных технологических комплексах машиностроения. Рассмотрены промышленные роботы с одной, двумя, тремя и более степенями подвижности и области их применения.

Проведен подробный анализ различных вариантов компоновки существующих автоматизированных технологических комплексов, как в нашей стране так и за рубежом. На основе анализа установлено, что применение механизмов с одной или двумя степенями подвижности наиболее целесообразно, так как уменьшается металлоемкость и затраты энергии. Поэтому предлагается принцип применения промышленных роботов с расчлененными модулями движения. На схемах (рис.I и рис.2) показаны примеры трехмодульного универсального робота с независимыми модулями. Этот принцип позволяет использовать их как для ориентации заготовки, так и для транспортировки в пространстве.

Рассмотрены схемы компоновки автоматизированных технологических комплексов токарной обработки и штамповки. Сопоставлением этих схем с существующими схемами выявлено преимущество предлагаемого принципа, с точки зрения уменьшения металлоемкости, затрат энергии и др. показателей.

Во второй главе изложена методика построения траекторий перемещения конечных звеньев механизмов на основе теории конечных поворотов.

В автоматизированном комплексе основными элементами являются

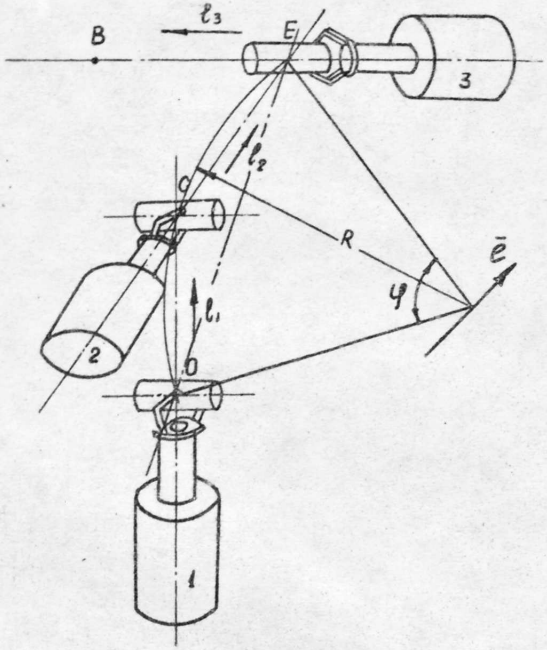

B
l_3
E
3
l_2
C
R
$\bar{e}$
φ
l_1
2
O
1

Рис. I

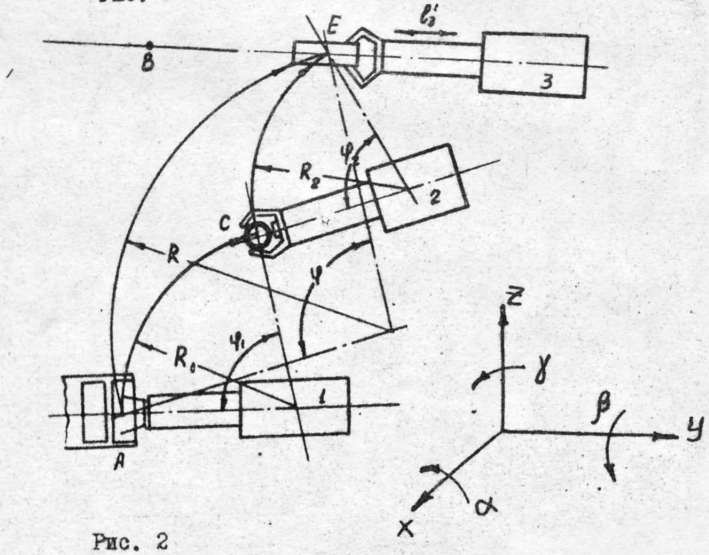

E
l_3'
B
3
φ_2
R_2
2
C
R
φ
φ_1
R_1
1
A
Z
γ
β
y
α
X

Рис. 2

станки, накопители, загрузочные механизмы (роботы). Связав каждый элемент с неподвижной системой координат, получим соответственно: систему накопителя, систему станка, систему робота, а также неподвижную систему координат комплекса. Без потери общности можно считать, что абсолютная система комплекса совпадает с системой робота. При отсутствии робота будем считать, что система комплекса является абсолютной.

Для построения траекторий перемещения важно знать матрицу, определяющую положения детали в накопительном устройстве и на станке относительно системы координат загрузочного механизма.

Матрица, определяющая положение детали на станке относительно загрузочного устройства имеет вид

$$M^{c}_{pg} = M_{pc} M_{cg} \quad , \qquad (I)$$

где M_{pc} – матрица положения станка по отношению к загрузочному устройству (роботу);

M_{cg} – матрица положения детали на станке.

Определенным образом, приводя в соответствии с положением заготовки или детали систему координат и зная начальное и конечное положение детали, можно составить матрицу M_{cg} любого станка, определяющую положение детали относительно системы координат станка.

Эта матрица легко составляется по известным линейным и угловым перемещениям детали относительно осей систем координат станка.

Возможны различные сочетания угловых и линейных перемещений детали относительно системы станка, определяющие ее положение на станке.

В связи с этим вводим кодирование сочетаний возможных перемещений в двух, трех или четырех направлениях, что дает возможность

описать конечные перемещения детали для ее установки на станок.

Считаем, что для установки детали на станок необходимо в первую очередь сориентировать ее, а затем транспортировать.

Матричное выражение (I) позволяет определить положение детали в накопителе и на станке в абсолютной системе координат, что является исходным для построения ориентирующего движения.

Следует отметить, что при проектировании ориентирующих движений нужно стремиться построить в конечном итоге простейший механизм, т.е. механизм с минимальным числом кинематических пар и звеньев. Это является предпочтительным во многих отношениях и прежде всего с точки зрения надежности и экономичности.

Возможность перевода твердого тела, имеющего одну неподвижную точку, из одного положения в другое, описывает известная теорема Даламбера-Эйлера. Однако она не дает возможность найти ось конечного поворота.

Развитие положений этой теоремы для общего случая перемещения твердого тела в пространстве может быть получено на основе принципа ремещения Котельникова-Штуди, а формулы для определения положения и угла конечного поворота получены Ф.М.Диментбергом

$$\bar{\ell} = \frac{(\bar{e}_1' - \bar{e}_1) \times (\bar{e}_2' - \bar{e}_2)}{\sqrt{4(1 - \bar{e}_1'\bar{e}_1)(1 - \bar{e}_2'\bar{e}_2) - [(\bar{e}_1' - \bar{e}_1)(\bar{e}_2' - \bar{e}_2)]^2}} \qquad (2)$$

$$\cos\varphi = \frac{\bar{e}_1 \cdot \bar{e}_1' - (\bar{e}_1 \cdot \bar{\ell})^2}{1 - (\bar{e}_1 \cdot \bar{\ell})^2}, \qquad (3)$$

где $\bar{\ell}$ - единичный вектор, определяющий положение оси конечного поворота;

$\bar{e}_1, \bar{e}_2, \bar{e}_1', \bar{e}_2'$ - соответственно векторы принадлежащие телу в начальном и конечном положениях.

Эти формулы показывают, что для определения оси угла конечного поворота необходимо знать проекции каких-либо двух векторов, принадлежащих телу в его начальном и конечном положениях.

При определении проекции векторов $\bar{e}_1, \bar{e}_1', \bar{e}_2$ и $\bar{e}_2'$ в неподвижной системе координат до и после осуществления двух поворотов в ориентирующем механизме, воспользуемся методом матриц.

Предположим также, что в начальном положении подвижная система, связанная с деталью совпадает, с неподвижной системой координат.

Матрицы M_α, M_β и M_γ перехода относительно осей OX, OY и OZ соответственно с углами поворота α, β и γ

$$M_\alpha = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix}, \qquad (4)$$

$$M_\beta = \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & \sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix}, \qquad (5)$$

$$M_\gamma = \begin{bmatrix} \cos\gamma & -\sin\gamma & 0 \\ \sin\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \qquad (6)$$

Найдя ось конечного поворота по формуле (2) и угол поворота по формуле (3), можно построить траекторию поворота для приведения детали в заданное ориентированное положение.

Эффективность ориентирующего перемещения повышается, когда в комплексе два или три конструктивных модуля, последовательно выполняющие вращательное движение, замены одним модулем, выполняющим один конечный поворот.

Таким образом, преобразовав уравнения (2) и (3), для двух поворотов вокруг осей OX и OY, получим:

$$\bar{p} = \frac{\bar{i}(\cos\alpha - 1)(\cos\beta + 1) - \bar{j}\sin\alpha\sin\beta + \bar{k}\sin\beta(1-\cos\alpha)}{\sqrt{4(1-\cos\alpha\cos\beta)(1-\cos\alpha) - \sin^2\alpha(1-\cos\beta)^2}}, \quad (7)$$

$$\cos\varphi = \frac{A^2\cos\alpha\cos\beta - \sin^2\beta(1-\cos\beta)^2}{A^2 - \sin^2\beta(1-\cos\beta)^2}, \quad (8)$$

где $\bar{i}, \bar{j}, \bar{k}$ – единичные векторы осей,

$$A = \sqrt{4(1-\cos\alpha\cos\beta)(1-\cos\alpha) - \sin^2\alpha(1-\cos\beta)^2} \quad (9)$$

В итоге по формулам (7) и (8) можно найти параметры вращательного движения, которое заменяет сложное движение ориентирования с двумя вращательными движениями, осуществляющий поворот детали вокруг осей OX и OY с углами α и β.

Преобразование уравнения (2) и (3) для трех поворотов имеем

$$\bar{p} = \frac{\bar{a}_1 \times \bar{a}_2}{\sqrt{4(1-\cos\alpha\cos\beta)(1-\cos\alpha\cos\gamma + \sin\alpha\sin\beta\sin\gamma) - (\bar{a}_1 \cdot \bar{a}_2)^2}} \quad (10)$$

$$\cos\varphi = \frac{A^2\cos\alpha\cos\beta - \left[\sin\beta(\cos\alpha\cos\gamma - 1) - \sin\alpha\sin\gamma\right]^2}{A^2 - \left[\sin\beta(\cos\alpha\cos\gamma - 1) - \sin\alpha\sin\gamma\right]^2}, \quad (11)$$

где

$$\bar{a}_1 \cdot \bar{a}_2 = \sin\alpha(\cos\beta - \cos\gamma) - \sin\beta\sin\gamma\cos\alpha, \quad (12)$$

$$A = \sqrt{4(1-\cos\alpha\cos\beta)(1-\cos\alpha\cos\gamma + \sin\alpha\sin\beta\sin\gamma) - \left[\sin\alpha(\cos\beta - \cos\gamma) - \sin\beta\sin\gamma\cos\alpha\right]^2}. \quad (13)$$

По формулам (10) и (11) находим параметры вращательного движения модуля, заменяющего три поворота детали вокруг осей OX, OY и OZ .

Таким образом на основе анализа требуемой ориентации и соответственно кодирования положения заготовки, с целью ее переноса с накопителя на технологическое оборудование, предложен метод построения движений с одной степенью свободы, заменяющих движения манипуляционных механизмов с двумя или тремя вращательными кинематическими парами.

В третьей главе, на основе применения теории винта, рассмотрены вопросы перемещения заготовки в пространстве с одной или двумя степенями подвижности.

В устройствах для перемещения детали или заготовки в автоматизированных технологических комплексах как правило не требуется непрерывное пространственное движение объекта, а необходимо осуществление лишь его некоторых конечных перемещений. В этом случае, как известно, для любого пространственного перемещения объекта общего вида в пространстве существует одна винтовая ось конечного винтового перемещения, позволяющая перевести тело из начального положения в конечное одним винтовым движением.

На основе теории винта построен модуль винтового перемещения для загрузки и разгрузки деталей, как общего случая их перемещения в пространстве.

По указанному принципу аналитически определены основные параметры винтового перемещения - направление винтовой оси и величины поступательного и углового перемещения относительно этой оси. Единичный вектор $\vec{e}$ винтовой оси и комплексный угол ϕ определен по следующим зависимостям:

$$\tilde{E} = \frac{\tilde{A}_1 \times \tilde{A}_2}{\left[4(1-\tilde{E}_1'\cdot\tilde{E}_1)(1-\tilde{E}_2'\tilde{E}_2)-(\tilde{A}_1\cdot\tilde{A}_2)^2\right]^{0,5}}, \quad (14)$$

$$\cos\Phi = \frac{(\tilde{E}_1'\cdot\tilde{E}_1)-(\tilde{E}_1\cdot\tilde{E})^2}{1-(\tilde{E}_1\cdot\tilde{E})^2}, \quad (15)$$

где $\tilde{E}$ - единичный винт оси винтового перемещения,

$\tilde{A}_1$ и $\tilde{A}_2$ - винты, они выражаются

$$\tilde{A}_1 = (\tilde{E}_1' - \tilde{E}_1); \quad \tilde{A}_2 = (\tilde{E}_2' - \tilde{E}_2),$$

$\tilde{E}_1$ и $\tilde{E}_2$ - единичные винты, принадлежащие телу в начальном положении,

$\tilde{E}_1'$ и $\tilde{E}_2'$ - единичные винты в конечном положении тела,

Φ - дуальный угол поворота.

Эти зависимости позволяют построить манипуляторы с конструктивными модулями винтового перемещения, заменяющими манипуляторы:

а) с двумя поступательными и двумя вращательными парами;

б) с тремя вращательными парами.

В случае когда в комплексе конструктивно невозможно применить модуль с одной степенью подвижности, для осуществления пространственных перемещений заготовки предложена методика построения манипуляционного модуля с двумя степенями подвижности.

Предложенная методика позволяет реализовать перемещение заготовки в пространстве по двум заданным положениям, а также построить простейший манипуляционный механизм с двумя вращательными парами, когда положение неподвижной оси выбирается произвольно.

В четвертой главе на основе теоретических разработок описаны некоторые конструкции модулей движения промышленных роботов, созданных на основе конструктивно независимых модулей.

В основном предложенные компоновки ПР включают два вида модулей движения: линейного и вращательного или их комбинации.

Путем анализа конструкций существующих модулей линейного перемещения нами создан модуль линейного перемещения (А.с.I2I5995), у которого имеется возможность одновременного как линейного, так и вращательного перемещения.

Созданный модуль промышленного робота обеспечивает выдвижение телескопического вала с фиксацией его упорами в заданных крайних положениях с точностью 0,0I мм и поворот относительно продольно.. оси. Упоры снабжены двумя ходовыми винтами, закрепленными на штоках тормозных устройств, двумя парами храповых колес, расположенных на этих винтах и имеющих противоположные направления зубьев в каждой паре, а также двумя опорными элементами, закрепленными на торцовой поверхности одного храпового колеса каждой пары, расположенного со стороны упора и двумя парами толкателей, каждый из которых установлен с возможностью взаимодействия с зубьями храпового колеса и снабжен приводом возвратно-поступательного перемещения, а направляющий элемент выполнен в виде линейки.

Модули углового перемещения могут выполнять различные операции, как например, перенос заготовки по окружности, разворот платформы, вращение или зажим захвата и др. Точность позиционирования рассмотренных механизмов, зависит от точности установки упоров. С целью увеличения точности позиционирования нами разработан модуль поворота (А.с.II23774). В этой конструкции вращательная колонка кинематически связана с валом, которая служит для перемещения руки робота. Несущий барабан с регулируемыми упорами, установлен с возможностью взаимодействия с колонной. С целью расширения технологических возможностей за счет расширения диапазона изменения угла поворота и повышения точности позиционирования, на наружной поверхности барабана выполнена резьба. Механизм

МВТУ им. Н.Э. Баумана БИБЛИОТЕКА

снабжен резьбовой втулкой, охватывающей барабан. На резьбовой втулке выполнен кольцевой паз, в котором размещены регулируемые упоры.

Кольцевой паз расположен на одном из торцов резьбовой втулки, а его сечение выполнено в форме ласточкина хвоста. Одним из путей повышения точности позиционирования следует считать плавность переходных режимов - разгона и торможения. Тем самым повышается и быстродействие привода.

С этой целью нами создано устройство (А.с.I458053) плавного разгона и торможения, встроенное в модуль поворота.

От существующих предлагаемое устройство отличается повышенной точностью позиционирования исполнительного органа за счет улучшения динамических характеристик процессов его разгона и торможения.

Технологические характеристики элементов ПР должны быть тесно связаны между собой. Для этого необходимо заранее определить количество степеней подвижности и компоновку комплекса. Кроме того необходимо задаться количеством точек позиционирования.

Для выполнения технологических процессов в некоторых случаях требуется осуществить позиционирование для множества точек.

В основном модули обладают двумя характерными положениями позиционирования - начальным и конечным. Однако, не редко требуется возможность позиционирования и для промежуточных точек с уменьшением числа степеней подвижности. На основе этого принципа нами создан модуль (А.с.II8955I) с возможностью многократного позиционирования исполнительного органа.

Модуль поворота исполнительного органа промышленного робота, содержит установленный в станине вал с шестерней и рейкой, несущий механическую руку. Пара дополнительных цилиндров с регулируе-

мыми упорами расположены соосно с силовым цилиндром. При этом дополнительные цилиндры расположены симметрично оси вращения. Рейка своими концами связана с поршнем силового цилиндра, шток каждого из дополнительных цилиндров размещен в полости силового цилиндра с возможностью взаимодействия с его поршнем. Каждый из упоров закреплен в крышке одного из дополнительных цилиндров с возможностью взаимодействия с его поршнем. Аналогично можно построить и модуль многократного позиционирования для линейного перемещения.

В настоящее время все более широкое применение находят манипуляционные системы с гибким элементом привода. Создание гибких исполнительных органов связана с необходимостью обеспечения повышенной упругости и маневренности. Создание модулей манипулирования с гибким элементом облегчает проведение работ в труднодоступных местах, в условиях, когда исполнительный орган должен обходить различные препятствия.

Однако наличие в существующих конструкциях модулей манипулирования жестких штанг, шарнирных сочленений, сложных передаточных механизмов, а также расположение на звеньях манипулятора приводных устройств, ухудшает гибкость и маневренность его механической части, увеличивают вес и габариты конструкции. Поэтому создание и исследование исполнительного органа с гибкими упругими звеньями и передаточными элементами, позволяющими разгрузить звенья манипулятора от приводов, является актуальным, поскольку современные манипуляторы не удовлетворяют требованиям гибкости и маневренности.

С применением гибкой руки, оснащенной тросовыми связями для передачи вращения от электромеханического привода к исполнительному органу, разгружаются от приводов звенья манипулятора, что

кроме уменьшения веса конструкции и габаритов также способствует понижению вибраций и колебаний механической системы при разгоне и торможении.

Нами разработан модуль манипулирования с гибким элементом привода (А.с.1299676). Он содержит смонтированную на статине поворотную платформу, несущую механическую руку, которая выполнена в виде гибкого металлорукава с захватным органом и его приводом. Модуль содержит также систему управления, привод изменения пространственного положения механической руки с тросами, что дает возможность повысить маневренность. Захватный орган выполнен в виде взаимно подпружиненных двуплечных рычагов и кинематически связан с приводом посредством гибкого вала, размещенного внутри гибкого металлорукава. Вал связан одним концом с приводом винтовой пары, винт которой связан с другим концом гибкого вала, а гайка выполнена с фланцем в виде рычагов. Каждый из рычагов шарнирно связан с одним из двуплечих рычагов в его средней части, конусного копира, размещенного внутри фланца и смонтированного на винте с возможностью взаимодействия своей боковой поверхностью с концами двуплечих рычагов.

Модуль манипулирования, кроме переноса объекта, можно использовать для выполнения сборочных работ, зажима и снятия гаек, винтов и прочие операции.

Модуль манипулирования имеет возможность перемещать исполненный орган на сферических и цилиндрических поверхностях.

Созданный нами станочный модуль (А.с.1138261) показан на рис.3, а кинематическая схема перемещения стола и узла манипулятора на рис.4.

На станине I станка установлена сверлильная головка 2, стол

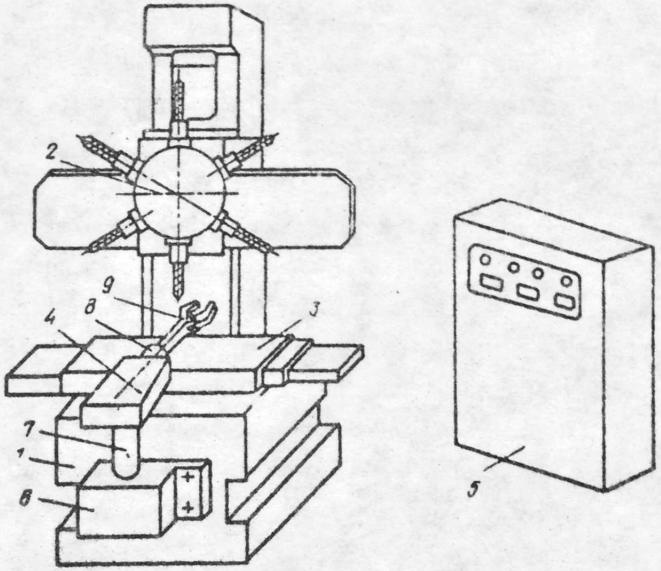


Рис. 3

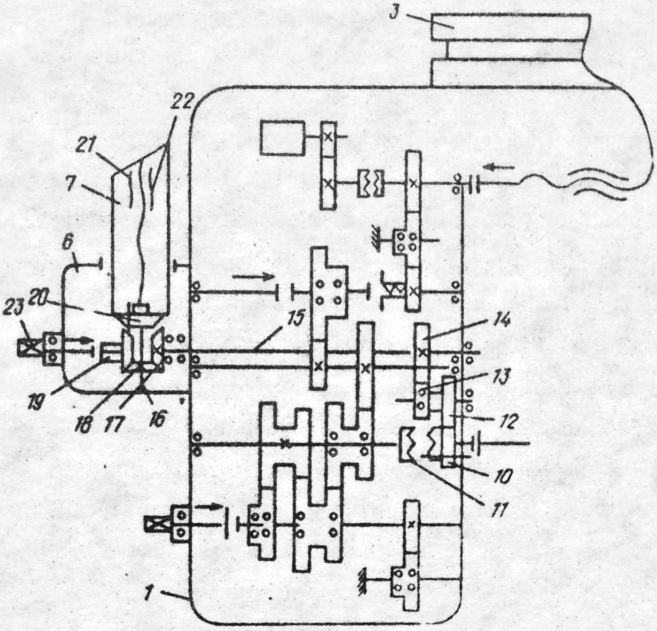


Рис. 4

3 для установки обрабатываемой детали и манипулятор 4; Все движения станка и манипулятора совершаются по программе с пульта управления 5, причем манипулятор подсоединен к пульту с помощью запасных линий с программой снятия заготовки.

Манипулятор имеет закрепленное на станине I основание 6, на котором установлена полая штанга 7 с возможностью вертикального перемещения посредством размещенных внутри нее винта и гайки, сблокированных с механизмом перемещения стола 3 станка. На штанге 7 закреплен телескопический вал 8 с возможностью поперечного и вращательного движений, осуществляемых посредством винта с гайкой, размещенных внутри вала и сблокированных с механизмом перемещения стола и штанги 7. На конце телескопического вала 8 закреплен захват 9.

Шестерня I0 (рис.4) - приводной элемент коробки подач, установлена на валу двигателя коробки подач стола 3 и связана с муфтой II переключания передачи вращения вала двигателя либо с кинематической цепью манипулятора 4, либо с кинематической цепью подача стола 3. Промежуточные шестерни I2 и I3 двухступенчатой цилиндрической передачи связаны с ведомой шестерней I4, установленной на ведомом валу I5, соединенным с валом I6 манипулятора 4, который установлен перпендикулярно валу I5, посредством конической передачи шестерен I7-I9, установленной в основании 6 манипулятора. На торце штанги 7 закреплена коническая шестерня 20, установленная на валу I6, с возможностью зацепления с шестернями I7 и I9. Часть вала I6, находящаяся в штанге 7, выполнена в виде ходового винта 2I, сцепленного с маточной гайкой 22.23 рукоятки ручной настройки манипулятора.

При движении конечной точки исполнительного органа промышленного робота по сложной траектории возникает необходимость провер-

ки точности этой траектории, заложенной в программе управления робота.

Нами создан стенд (А.с.1171308), который предназначен для определения погрешности траектории движения исполнительного органа промышленных роботов в пространстве. Устройство для определения положения схвата выполнено в виде трех тросов и трех барабанов, установленных на ходовых винтах через пружины с образованием винтовых пар и снабженных датчиками угла поворота, при этом на наружной поверхности каждого барабана выполнена винтовая канавка, шаг которой равен шагу ходового винта. Одни концы тросов связаны между собой, а другой конец каждого троса закреплен на барабане, кроме того, выходы датчиков угла поворота соединены с информационным устройством.

Стенд позволит определить точность позиционирования, которая является необходимой величиной для составления паспорта при изготовлении нового промышленного робота.

Стендовые испытания дали возможность проанализировать вопросы кинематической точности манипуляционных механизмов, как при использовании отдельных модулей, так и в совокупности с универсальным роботом. Отсюда вывод, что при расчлененном расположении модулей, общая погрешность комплекса в основном зависит от погрешности последнего модуля, тогда как при применении универсального промышленного робота погрешности суммируются.

В пятой главе рассматриваются сравнительные характеристики манипуляционных механизмов, построенных на основе совмещенного и расчлененного принципов применения модулей движения при построении типовых автоматизированных комплексов. Как было показано выше в настоящее время наиболее распространенным принципом применения модулей движения ПР в автоматизированных комплексах является прин-

цип их использования в составе единой компоновки, представляющей модульный промышленный робот (такой принцип будем называть совмещенным принципом использования модулей движения).

Другим принципом применения модулей движения является предлагаемый в данной работе принцип расчлененного применения модулей движения, когда модули используются раздельно. Каждый модуль устанавливается на неподвижное основание или объединяя минимально необходимое число модулей (два, три) в одной компоновке с минимально необходимым числом степеней подвижности.

Сравнения проведены по следующим критериям: длине пути перемещения заготовки, массе модулей, затратам энергии, быстродействию.

Численные расчеты сравнительного анализа проведены с применением ЭВМ, на основе расчетов установлена зависимость экономии массы и затрат энергии от массы перемещаемой заготовки, откуда видно явное преимущество способа расчлененого применения модулей движения. Особенно это преимущество ощутимо при перемещении заготовки массой от 4-х до 7 кг.

На основе исследования построены циклограммы автоматизированных комплексов при различных сочетаниях операций перемещения заготовки. При построении циклограмм учтено время, затрачиваемое на успокоение после перемещений. С учетом циклограмм определено лимитирующее вспомогательное время, с помощью которого проанализирована производительность и построен график зависимости коэффициента роста производительности от машинного времени. Анализ показал, что наибольший эффект повышения производительности при сопоставлении РТК на базе ПР с совмещенными и расчлененными модулями движения получаем при выполнении кратковременных операций, таких как штамповка, сборка, термообработка и др. Произведен

расчет экономической эффективности комплекса токарной обработки. Установлено, что стоимость станкочаса уменьшается на 3,2 рубля.

В шестой главе даны описания разработанных и внедренных автоматизированных технологических комплексов на основе расчлененных модулей движения.

В частности разработана новая оригинальная конструкция промышленного робота на базе серийно выпускаемого в нашей стране ПР-10И. Была поставлена задача упростить конструкцию, обеспечить плавность и маневренность руки,и довести систему управления к такой системе, которая обеспечит его включение в общую систему управления станками с ЧПУ и ПР.

Созданный ПР-10В включен в автоматизированный комплекс токарной обработки цилиндров. В состав комплекса входит также три токарных станка 16К30Ф320 с системой ЧПУ Н22-1М.

Внедрение комплекса позволило повысить производительность оборудования за счет сокращения вспомогательного времени и высвободить трех производственных рабочих. Годовой экономический эффект от внедрения каждого робота составляет 8839 руб. Робот ПР-10В принят ведомственной комиссией к серийному выпуску.

Для обработки корпусных деталей, что является более сложной и многооперационной задачей по сравнению с процессом обработки деталей тел вращения, нами создан автоматизированный технологический комплекс в двух вариантах.

По первому варианту в состав РТК входят три фрезерных станка марки "МА655 А3", транспортная система, приспособления для закрепления деталей, модули промышленных роботов и автоматизированная система управления технологическим процессом. По второму варианту в состав комплекса входят три станочных модуля "ГПМ-500", склад спутников, транспортная система и автоматизированная сис-

тема управления технологическим процессом. Второй вариант комплекса внедрен в производственном объединение "Техника". По данным объединения, годовой экономический эффект от внедрения комплекса составляет 135 тыс.руб.

Одним из видов механической обработки является раскатка, которая также требует создания роботизированных технологических комплексов. Автоматизация раскатного процесса базируется на оснащении его станками, обладающими быстродействием и высокой точностью с увеличением мощности и оптимизации режимов их работы, перехода от ручного труда к применению роботов. Созданный автоматизированный комплекс обеспечивает полную автоматизацию процесса раскатки, годовой экономический эффект от внедрения составил 15500 руб.

Автоматизация процесса штамповки на основе ПР должна учитывать специфику действующих производств и отвечать требованиям быстродействия, переналаживаемости и точности. На наш взгляд, одной из основных задач является разработка и исследование автоматизированного технологического комплекса штамповки крупногабаритных заготовок, который обеспечивает полную автоматизацию всех элементов технологического процесса изготовления таких деталей. С этой целью нами создан автоматизированный комплекс штамповки крупногабаритных панелей (А.с.1516195).

Эффективность автоматизированного комплекса обеспечивается тем, что экономится время на установку, отладку и смену штампов, а также экономятся площадь и расширяются технологические возможности.

Для многопозиционной обработки деталей нами создан автоматизированный комплекс (А.с.1346312). Испытания подтвердили надежность и бесперебойность работы комплекса. Годовой экономический

эффект от внедрения комплекса составил 12100 руб.

Нами разработан также автоматизированный технологический комплекс термической обработки, который гарантирует стабильность параметров термообработки на всех операциях цикла. Тем самым улучшается качество выпускаемой продукции, снижается трудоемкость и себестоимость, улучшается условия труда и культура производства. Одновременно высвобождается термист, работавший в зоне высоких температур и во вредных для здоровья условиях.

Таким образом принцип расчлененного применения модулей движения ПР заложен в разработанных нами и внедренных разнообразных технологических комплексах для токарной обработки и обработки корпусных деталей раскатки, холодной штамповки, термической обработки. Сравнительные экономические расчеты, показывающие эффективность применения указанных комплексов, даны в приложении диссертационной работы.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Существующие конструкции универсальных промышленных роботов обладают структурной избыточностью при функционировании в автоматизированном комплексе, т.к. в каждый момент времени, как правило, используется только одна степень подвижности. Этим усложняется конструкция робота и снижаются экономические показатели комплексов.

2. Новые возможности повышения эффективности роботизации производства открываются благодаря применению промышленных роботов с конструктивно независимыми (расчлененными) модулями движения.

3. При оптимальном расчленении траектории перемещения объектов на отдельные участки в каждом участке перемещение может осу-

ществляться раздельными модулями движения.

4. Параметры одноподвижного модуля, заменяющего манимуляционные механизмы с двумя или более степенями подвижности, должны рассчитываться методом конечных поворотов.

5. Предложенный модуль винтового движения с использованием теории винта заменяет манипуляционные механизмы с двумя поступательными и двумя или тремя вращательными парами.

6. Разработаны конструкции модулей: линейного и углового перемещения, позиционирования в нескольких заданных положениях и манипулирования с гибким элементом привода, а также устройство плавного разгона и торможения, которое расширяют технологические возможности промышленных роботов и увеличивают точность позиционирования их механизмов.

7. Предложенные роботизированные комплексы по сравнению с традиционными имеют преимущество по быстродействию (благодаря совмещению работы различных модулей во времени) и рост производительности в I,3 - I,7 раза. При этом расчлененные модули движения превосходят известные конструкции по точности позиционирования, по весу, по затратам энергии для перемещения объектов (что особенно заметно при перемещении объекта от 4 до 7 кг).

8. Применение расчлененных модулей движения позволяет повысить производительность роботизированного оборудования до I,7 раза при длительности обработки изделий до I5 с и в I,4-I,3 раза при длительности обработки 30-50 с. При дальнейшем увеличении времени обработки эффект производительности менее значителен.

9. Внедрение разработанных автоматизированных технологических комплексов (токарной обработки, обработки корпусных деталей, раскатки, холодной штамповки, термической обработки), позволило улучшить условия труда, культуру производства, снизить трудоемкость и себестоимость выпус-

каемой продукции. Экономический эффект от внедрения комплексов составляет более 200 тыс.руб. в год.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах автора:

I. Натбиладзе В.Ш. , Челидзе Г.Д., Мосидзе А.Д. Автоматизированный участок с промышленным роботом // Тез.докл. XXI республиканской научно-технической конференции ГПИ им. В.И. Ленина - Тбилиси, 1978. - С. 135.

2. Челидзе Г.Д., Натбиладзе В.Ш., Езикашвили Н.О. Специализированный механизм поворота и подъема руки промышленного робота // Труды ГПИ им. В.И.Ленина (Тбилиси). - 1979. - № II (221). - С. 93-96.

3. Натбиладзе В.Ш., Челидзе Г.Д., Цурцхванидзе Д.А. Некоторые вопросы создания автоматизированного участка металлорежущих станков с ЧПУ и промышленных роботов // Робототехнические системы. - Киев, 1980. - Ч.I. - С. 50-57.

4. Натбиладзе В.Ш., Тевзадзе Т.М. Некоторые вопросы исследования привода манипулятора с гибкими силовыми элементами // Материалы второго Всесоюзного совещания по робототехническим системам. - Минск, 1981. - Ч.I. - С. 154.

5. **Cholidze G., Ezikashvili O., Natbiladze V. Automatized Complex of Metal Working with Industrial Robots.//Proceedings of the 11th International Symposium on Industrial Robots. JIRA, Japan, 1981.- P.699-706.**

6. Исследование и разработка конструкции специализированного робота-манипулятора, предназначенного для обслуживания сверлильных станков с ЧПУ и выбор оптимальной системы его управления: Отчет о НИР / ВНТИЦентр; Рук. В.Ш.Натбиладзе. - № ГР 78019216; Инв. № 02830007888. - Тбилиси, 1982. - 66 с.

7. Исследование и разработка приводных механизмов промышленного робота: Отчет о НИР / ВНТИЦентр; Рук. В.Ш. Натбиладзе. - №

ГР 01820072418; Инв. № 0284004966I. - Тбилиси, 1983. - 38 с.

8. Натбиладзе В.Ш., Тевзадзе Т.М. Некоторые вопросы динамики манипулятора с гибким силовым приводом // Материалы Ш Всесоюзной конференции. - Челябинск, 1983. - Ч.П. - С. 19-20.

9. Натбиладзе В.Ш., Хоперия А.Г., Ефимов О.Ю. Роботизированный участок токарных станков с ЧПУ на базе робота ПР-10В // Материалы Ш Всесоюзной конференции. - Челябинск, 1983. - Ч.I. - - С. 57-58.

10. Натбиладзе В.Ш. Повышение точности торможения исполнительного органа промышленного робота // Труды шестого конгресса ИФТоММа по теории механизмов и машин. - Дели, Индия, 1983. - Т.П. - С. 1049-1052.

11. Natbiladze V. The robotization of the engineering production Symposium "Grundsgen der Dynamik und Steuerung von Industrie robotern Vortrage band II, Berlin, 1985.-P.63-69.

12. Натбиладзе В.Ш., Тевзадзе Т.М. Вопросы динамики манипулятора с гибким приводом // Прогрессивная технология приборостроения: Межвузовский сборник научных трудов. - М., 1985. ~~- 1985.~~ - С. 119-123.

13. Натбиладзе В.Ш., Шелия Г.А. Динамическая точность промышленного робота в гибком автоматизированном производстве. // Труды ГПИ им. В.И.Ленина, № 15(297). - Тбилиси, 1985. - С. 27-32.

14. Разработка специализированного робота обслуживания токарного станка (комплекс станок-робот): Отчет о НИР / ВНТИЦентр; рук. В.Ш. Натбиладзе. - № ГР 01850079390; Инв. № 0285008043I. - Тбилиси, 1985. - 49 с.

15. Роботизация оборудования холодной обработки изделий машиностроительного производства: Отчет о НИР / ВНТИЦентр; Рук. В.Ш.Натбиладзе.-№ ГР 01840080914; Инв. № 02870033693. - Тбилиси, 1986. - 67 с.

16. Разработка и внедрение гибкого роботизи-

рованного участка по термообработке деталей в соляных ваннах: Отчет о НИР / ВНТИЦентр; Рук. В.Ш.Натбиладзе. - № ГР 01850080732; Инв.№ 02880031377. - Тбилиси, 1987. - 59 с.

17. Natbiladze V. Determination of the Accuracy of Flexible Automatic Positioning Module with Chearanes.//Proceedings of the sixth CISM-Litomm Symposium on Theory and Practice of Robots and Manipulators.-Paris-Londres-Lausanne, 1987.- P.115-119.

18. Натбиладзе В.Ш. Применение теории конечных поворотов при компоновке робототехнических комплексов с расчлененными модулями // Труды ГПИ им. В.И.Ленина (Тбилиси)-1987. - № 12(324). - С. 115-110.

19. Натбиладзе В.Ш. Испытания промышленных роботов // Прогрессивная технология приборостроения: Межвузовский сборник научных трудов. - М., 1987. - С. 22-25.

20. Натбиладзе В.Ш., Сурмава Ж.Г. Применение принципа расчленения в разработке систем робототехнического комплекса // Материалы IУ Всесоюзного совещания по робототехническим системам. - Киев, 1987. - Ч.II. - С. 203-204.

21. Натбиладзе В.Ш. Эффективность применения метода расчленения модулей движения промышленного робота // Труды ГПИ им. В.И.Ленина (Тбилиси)-1988. - № 11(340). - С. 26-29.

22. Натбиладзе В.Ш., Саришвили Ш.В., Ардземанашвили В.Б. Анализ точности модулей движения промышленного робота // Труды ГПИ им. В.И.Ленина (Тбилиси)-1988. - № 11(340). - С. 85-88.

23. А.с. 1100027 СССР, В21Д 22/18. Устройство для ротационного выдавливания / В.Ш.Натбиладзе, О.Ю.Ефимов, Н.В.Натбиладзе, С.С.Дегтяр // Б.И. - 1984. - № 24.

24. А.С. 1123774 СССР, В 21 Д 43/00; В30В 15/30; В 25 J 9/00. Механизм позиционирования робота / В.Ш.Натбиладзе, Г.А.Шелия, Н.В.Натбиладзе, Ш.К.Сабашвили // Б.И. - 1984. - № 42.

25. А.с. II3826I СССР, В 23 В 39/I6; В23 Q 7/04. Металлорежущий станок с ЧПУ / В.Ш.Натбиладзе // Б.И. - I985. - № 5.

26. А.с. II7I308 СССР, В 25 J II/00. Стенд для испытания роботов-манипуляторов / В.Ш.Натбиладзе, А.Г.Хоперия, О.Ю.Ефимов, Н.В.Натбиладзе // Б.И.. - I985. - № 29.

27. А.с. II8955I СССР, В 2I Д 43/00; В 25 J 0/00. Привод поворота исполнительного органа промышленного робота / В.Ш.Натбиладзе // Б.И. - I985. - № 4I.

28. А.с. I2I5995 СССР, В 25 J 9/08; В 25 J 9/20. Модуль линейного перемещения промышленного робота / В.Ш.Натбиладзе, Ш.К.Сабиашвили, Н.В.Натбиладзе, Г.С.Тибилашвили // Б.И. - I986. - № 9.

29. А.с. I299676 СССР, В 2I Д 43/00, В 25 J 3/00. Промышленный робот / В.Ш.Натбиладзе, Т.М.Тевзадзе, Н.В.Натбиладзе // Б.И. - I987. - № I2.

30. А.с. I346312 СССР, В 2I Д 48/00, В 30 В I5/30. Автоматизированная установка для многономенклатурной штамповки / В.Ш.Натбиладзе, А.Г.Хоперия, О.Ю.Ефимов, Н.В.Натбиладзе, Э.А.Самедов // Б.И. - I987. - № 39.

3I. А.с. I458053 СССР, В 2I Д 43/00; В 25 J 9/I4. Привод исполнительного органа промышленного робота / В.Ш.Натбиладзе, Ж.Г.Сурмава, Н.В.Натбиладзе, Г.С.Тибилашвили // Б.И. - I989. - № 6.

32. А.с. I5I6195 СССР В 2I Д 48/00. Автоматизированный комплекс для штамповки крупногабаритных панелей / В.Ш.Натбиладзе, Н.Д.Сирбиладзе, М.А.Крючков, Ю.М.Артемов // Б.И. - I9[illegible]. - № 39.

33. А.с. I58I436 СССР В 2I Д 43/00. Автоматизированный комплекс для штамповки деталей // М.А.Крючков, Ю.М.Артемов, В.Ш.Натбиладзе и др. // Б.И. - I990. - № 28.

34. А.с. I590I69 СССР В 2I Д 43/00. Способ подачи штучных заготовок из накопителя в зону обработки / В.Ш.Натбиладзе // Б.И. - I990. - № 33.