

М 497613

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

На правах рукописи
УДК 621.665.8

АХМЕДОВ ШАКИР БАХЛУЛ ОГЛЫ

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
ТРАНСПОРТИРОВКИ И УПАКОВКИ ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ
В ПРОИЗВОДСТВЕ АЛЮМИНИЕВЫХ ИСПАРИТЕЛЕЙ

05.13.07 - Автоматизация технологических про-
цессов и производств (промышленность)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Сумгаитском ВТУЗе.

Научные руководители: доктор технических наук, профессор
Д.А.Керимов;
доктор технических наук, профессор
Л.И.Волчеквич.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Чинаев П.И.
кандидат технических наук, доцент
Стародубов В.С.

Ведущая организация: Институт кибернетики АН Азерб. ССР

Защита диссертации состоится "20" марта 1991 года
в 15.00 в Москов-
е им. Н.Э.Баумана
л., дом 5.
ре, заведенный
су.
отеке МГТУ

заблаговременно
ганизаций на имя

1991 года.

М 497613

В.Т.Рябов.

100 экз.
Э.Баумана

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986-1990 годы и на период до 2000 года определены направления по разработке и внедрению гибких переналаживаемых производств, робототехнических, роторных и роторно-конвейерных комплексов во всех отраслях народного хозяйства. Важное значение в этой связи приобретает широкое использование средств робототехники в немашиностроительных отраслях народного хозяйства, в частности в цветной металлургии, где производится основной объем товаров народного потребления и за пятилетку предусматривается повышение производительности труда на 6-7 процентов.

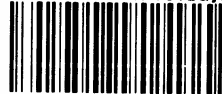
В процессе реализации поставленных задач можно выделить два качественно отличающихся направления - создание робототехнических комплексов для вновь организуемого и для действующего технологического процесса. Главным на начальном этапе создания высокоавтоматизированного производства является второе направление, обеспечивающее поэтапное внедрение в производство новой эффективной технологии, средств автоматизации и др., не останавливая основного технологического процесса в целом. В результате расширяются масштабы технического перевооружения и реконструкции действующих предприятий и создается база для перехода к автоматизированным цехам и производствам.

Одной из наиболее острых проблем является решение задач синхронизации и координации работ существующего базового технологического и транспортного оборудования со вновь встроенными роботами, манипуляторами и другими вспомогательными модулями, с учетом обеспечения и повышения производительности существующего производства.

Важной теоретической научной задачей являются также вопросы разработки принципов, методов, моделей и алгоритмов оптимизации для определения основных характеристик применяемых средств автоматизации, функционирующих в среде с переменным характером возмущений (температура окружающей среды, давление воздуха в пневмосети, качество смазки механических соединений, нестабильные параметры электрических сетей и систем и др.).

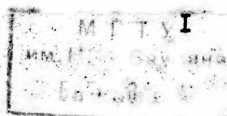
В этой связи вопросы исследования, разработки и создания робототехнического комплекса для перегрузки и комплектации

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1497613

Ахмедов Ш.Б. Автоматизация



готовой продукции в производстве алюминиевых испарителей для бытовых холодильников, где более 70% операций выполняются вручную, представляют собой актуальную задачу.

Диссертационная работа представляет собой часть исследований, проведенных в Сумгаитском ВТУЗе по хозяйственной теме: "Разработка и внедрение робототехнических систем в цехе испарителей Сумгаитского алюминиевого завода" (№ Гос. регистрации 01880056017 от 1 января 1987 г.).

Целью работы является разработка научных основ построения робототехнических комплексов для выполнения операций перегрузки и комплектации штучных изделий.

Для достижения указанной цели были решены следующие основные задачи:

1. Разработка и оценка возможных вариантов автоматизации процессов перегрузки и комплектации на основе применения промышленных роботов в зависимости от требований производительности участка.

2. Разработка математической модели движения промышленного робота.

3. Оценка работоспособности ПР "Бриг-ЮБ" на участке транспортировки и упаковки изделий и проведение экспериментальных исследований, направленных на повышение эффективности его использования на технологическом участке.

4. Сравнительный анализ и выбор оптимального варианта из роботизированных комплексов для различных значений производительности участка.

5. Разработка и внедрение в производство практических рекомендаций по созданию РТК.

Методы исследований. При разработке робототехнического комплекса использовались основные положения теории механизмов и машин, газо- и термодинамики, робототехники, а также аппарат теории управления и математического программирования. Поставленные в диссертации аналитические эксперименты решались моделированием и анализом моделей, созданных на основе аналитической механики. Численная реализация математической модели произведена на ЭВМ "Искра-1030" по разработанным программам на языке Бейсик.

Экспериментальные исследования проводились в научно-исследовательской лаборатории кафедры "Автоматизация управления" Сумгаитского ВТУЗа-филиала АЗИНЕФТЕХИМ им. М. Азизбекова и в

цехе испарителей алюминиевого завода с использованием современной регистрирующей и измерительной аппаратуры.

Достоверность и эффективность теоретических и экспериментальных разработок подтверждена внедрением роботизированного комплекса в действующем производстве испарителей Сумгаитского алюминиевого завода.

Научная новизна

1. Обоснована необходимость разработки робототехнического комплекса для автоматизации процессов транспортировки и упаковки готовой продукции, в результате съема изделий с движущихся несущих органов транспортера и перегрузки их к позиции комплектации, с соблюдением требуемой интенсивности поступления.

2. Предложены три варианта робототехнического комплекса для реализации поставленной задачи, рассмотрено их функционирование с применением различных стратегий координации движений группы роботов и показана необходимость исследований влияний внешних возмущений с переменными характеристиками к производительности участка в целом.

3. Разработана математическая модель движений промышленного робота и на примере "Бриг-ЮБ" исследованы и проанализированы характеры влияния внешних воздействий, исходя из требований производительности роботизированного участка.

4. В результате экспериментальных исследований, проведенных в лабораторных и промышленных условиях, скорректированы основные положения теоретических исследований в реальном объекте и предложены практические рекомендации по созданию и эксплуатации робототехнического комплекса перегрузки и комплектации.

Практическая ценность. Результаты исследований, полученные в работе, реализованы в виде робототехнического комплекса транспортировки и упаковки готовой продукции в цехе алюминиевых испарителей и могут быть использованы при автоматизации процессов перегрузки и комплектации в аналогичных производствах.

Экономический эффект от реализации результатов работы, согласно акту о внедрении, составил 75,9 тыс. рублей.

Апробация. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на XVII научной конференции профессорско-преподавательского состава Сумгаитского ВТУЗа-филиала АзИНТЕХИМ им.М.Азизбекова, г.Сумгаит, 1990 г., на научно-технических

семинарах кафедры "Полупроводниковое и вакуумное машиностроение" МГТУ им. Н.Э.Баумана.

Публикации. Основное содержание работы отражено в 3-х печатных работах.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка литературы и приложения. Содержит 95 страниц машинописного текста и список литературы из 88 наименований, на 9 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность темы и дано краткое изложение работы.

В первой главе проанализировано современное состояние проблемы автоматизации процессов транспортировки и комплектации штучных изделий; дан краткий обзор существующих робототехнических систем, создания и применения робототехнических систем для транспортировки изделий и задачи оптимального управления роботами; обоснована и сформулирована цель и задачи исследования.

Задача транспортировки и комплектации штучных изделий разбивается на две основные: непоосредственный съем изделий без их повреждения со стола ориентирующего устройства и съем изделий с поверхности движущейся транспортной системы, не останавливая последней. Показано, что первая задача требует разработки дополнительных ориентирующих устройств различного типа, в зависимости от конкретных технологических условий производств. Вторая задача также подлежит проработке, но уже как задача оптимального управления и координации совместных действий движущихся объектов в целях упреждения их столкновений, с использованием больших вычислительных ресурсов, что не всегда оправдывает себя с точки зрения экономической эффективности в промышленных условиях.

В этой связи в диссертации рассмотрена задача первого типа, требующая расширения функциональных возможностей промышленных роботов в составе робототехнического комплекса с использованием современных перспективных методов оптимального управления.

Общим вопросам управления робототехническими системами, вследствие их актуальности, за последние годы посвящено значительное число работ как в нашей стране, так и за рубежом. Боль-

шинство из них основаны на составлении алгоритмов управления движением, исходя из имеющихся уравнений движения механических систем, которые рассматриваются связанными между собой недеформируемыми телами, а уравнение движения механической системы представлено в обобщенных координатах. Несмотря на все их достоинства, следует отметить, что все они имеют общую направленность рассматривать управление как функцию оптимизации параметров нескольких роботов по системе "включение - подача - выключение" и перевода всей этой системы роботов в определенный оптимальный цикл. Однако, в таких функциях управления отсутствует учет конкретного механизма движения каждого робота, в частности, время наискорейшего движения схвата. Налицо отсутствие взаимосвязи между математическим описанием робота и описанием алгоритма управления его движением.

Поэтому, в данной работе поставлена и решена задача для построения робототехнических комплексов, выполняющих операции перегрузки и комплектации, частично лишенных перечисленных недостатков при реальных условиях функционирования.

Вторая глава посвящена исследованию технологического процесса транспортировки и упаковки готовой продукции в производстве алюминиевых испарителей, где выпускаются 17 типоразмеров продукции для различных бытовых холодильников, и определены технические условия его автоматизации.

Показано, что все операции, выполняемые работниками на участке, носят характер разгрузки и загрузки технологического оборудования, перемещения заготовок и полуфабрикатов испарителей с одной позиции на другую, ориентации и установки их на соответствующие места и др. Кроме того, они работают с заготовками больших размеров, неудобными для схватывания и их работа является наиболее трудоемкой и монотонной, так как за смену они перемещают в среднем 4-6 тыс. штук испарителей с одной позиции на другую (около 8-10 т металла, по 2-3 кг на каждый, в зависимости от типоразмера испарителя) через каждые 5-9 сек.

Не допускаются царапины, вмятины и другие повреждения на поверхности испарителей и их упаковка должна осуществляться, не трогая краев тарного ящика, с точностью ± 3 мм.

Интенсивность поступления испарителей по конвейеру в действующем производстве определяется типоразмерами испарителей: при малых типоразмерах через каждые 5-6 сек. поступает один

испаритель (720-600 испарителей/час), а минимальная производительность составляет около 360 испарителей/час.

С учетом изложенного, разработаны три варианта схемы автоматизации участка транспортировки и упаковки готовой продукции, с применением роботов и манипуляторов.

Третья глава посвящена аналитическим исследованиям движения манипуляционного робота (МР), основанным на дифференциальном уравнении движения механических систем, с учетом сил трения и сопротивлений, линейно зависящих от перемещений и скорости движения. Рассмотрены вопросы управления движением МР и построены алгоритмы оптимального управления.

Манипулятор имеет две поступательные и одну вращательную пары, движение которых осуществляется пневмоприводом, а конструктивные элементы рассматриваются как абсолютно твердые тела.

На основе методов механики твердого тела, конструкции и газодинамики ниже приведена замкнутая система нелинейных дифференциальных уравнений движения МР, кинематическая схема которого близка к промышленным роботам "Бриг" и "Циклон":

$$\frac{d}{dt} \left\{ [J_1 + J_2 + J_3 + 0.5 J_4] (1 + \operatorname{sign} \dot{q}_1) + [m_3 + 0.5 m_4 (1 + \operatorname{sign} \dot{q}_1)] q_2^2 \right\} \dot{q}_1 = \\ = \frac{l(R^2 - z^2)}{2} (P - P_0) - b_1 \dot{q}_1 - c_1 (q_1 - q_{10}) - P_1;$$

$$(m_2 + m_3 + m_4) \ddot{q}_2 = F_2 (P - P_0) - b_2 \dot{q}_2 - c_2 (q_2 - q_{20}) \operatorname{sign} \dot{q}_2 - (m_2 + m_3 + m_4) q - P_2;$$

$$[m_3 + 0.5 m_4 (1 + \operatorname{sign} \dot{q}_3)] \ddot{q}_3 - [m_3 + 0.5 m_4 (1 + \operatorname{sign} \dot{q}_1)] \dot{q}_1^2 q_3 = \\ = P_3 - P_0 F_3 - b_3 \dot{q}_3 - c_3 (q_3 - q_{30}) - P_3;$$

$$\frac{dP}{dt} = \frac{\kappa}{x} \left(\frac{G_0 R T_m}{F} - P \frac{dx}{dt} \right);$$

$$\frac{dP_0}{dt} = \frac{\kappa}{l \cdot x} \left(- \frac{G_0 R T_0}{F_0} + P_0 \frac{dx}{dt} \right) \quad (I)$$

где m_i, J_i — соответствующие массы и моменты инерции подвижных элементов МР; P_i, c_i, b_i — силы трения, коэффициенты сухого и вязкого сопротивления в соответствующих кинематических парах; l, R, z, F, F_0, F_i — геометрические параметры; κ —

показатель адиабаты; R - газовая постоянная; G_m, G_s - расходы воздуха; P, P_s - давления в рабочей и выпускной полости цилиндров пневмопривода; q_{i0} - начальные значения соответствующих координат.

Даются рекомендации по выбору траектории и условий оптимизации управления движением. Для установления границ адекватности озаглавленной математической модели, а также изучения влияния различных конструктивных и термодинамических параметров на динамику МР, последованы движения, отвечающие каждой степени подвижности.

Исследовано радиальное движение захвата с грузом и без него) на начальном этапе, в зоне с возвратной пружиной и в зоне гидродемпфера в двух вариантах: с постоянным давлением и для переменного давления. Механические и физические характеристики гидродемпфера определены при помощи уравнений гидродинамики квазиломнарного движения:

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = -\frac{1}{\rho} \text{grad } P + \nu \Delta \vec{v}$$

$$\text{div } \vec{v} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

где $\vec{v}$ - вектор скорости движения несжимаемой вязкой жидкости; ν - коэффициент кинематической вязкости; Δ - оператор Лапласа. Показано, что закон изменения давления вдоль оси цилиндра в случае установившегося движения подчиняется уравнению Пуассона

$$\Delta w = -\frac{1}{\mu} \frac{\partial P}{\partial z} \quad (3)$$

Для коэффициента линейного вязкого сопротивления движения поршня в полости цилиндра получена следующая зависимость:

$$\beta = 8\mu \pi L (R/a)^4$$

где $\mu = \rho \nu$ - коэффициент динамической вязкости; L - длина трубки; a - радиус трубки; R - радиус поршня.

Далее исследовано движение подъемника, представляющего собой привод одностороннего действия, обратный ход которого осуществляется под действием силы тяжести, и вращательным движением руки. Установлено влияние конструктивных и термодинамических параметров на время движений, приведены графики зависимости прямого и обратного хода при различных нагрузках.

Рассмотрена численная реализация аналитических последовательностей.

анализированы и обобщены полученные результаты.

Изложена техника и методика проведения экспериментальных исследований. Описаны приборы и оборудование для проведения экспериментальных исследований, которые направлены на подтверждение результатов аналитических исследований, изложенных в предыдущих пунктах, а именно на проверку линейных и угловых перемещений руки манипуляционного робота. Даны основные характеристики использованной современной измерительной и регистрирующей аппаратуры и методика ее применения для экспериментального исследования линейных и угловых перемещений руки промышленного робота "Бриг-IOБ" и в лабораторных условиях.

Результаты эксперимента подтвердили правомочность использования положений аналитических исследований для расчета движения робота при учете принятых допущений и упрощений.

Четвертая глава содержит вопросы управления манипуляционными роботами, являющимися с механической точки зрения системой связанных между собой твердых, недеформируемых тел.

Решение транспортной задачи и построение алгоритма оптимального управления движением МР "Бриг-IOБ" решено на основе (I) в виде:

$$\frac{d}{dt} \left\{ \left(4.214 + 0.2 (1 + \text{sign } \dot{q}_1) + [1.5 + 0.2 (1 + \text{sign } \dot{q}_1)] q_3^2 \right) \dot{q}_1 = \right. \\ \left. = 3.4 (P - P_0) - 12.5 \dot{q}_1 - 1200 (q_1 - 0.050) - 41; \right.$$

$$81 \dot{q}_2 = 0, \dots (P - P_0) - 11.5 \dot{q}_2 - 2400 (q_3 - 0.0125) \text{sign } \dot{q}_2 - 841.5;$$

$$[16.8 + 1.75 (1 + \text{sign } \dot{q}_3)] \dot{q}_3 - [16.8 + 1.75 (1 - \text{sign } \dot{q}_1)] q_3 \dot{q}_1^2 = \\ = 0, \dots P - 0, \dots P_0 - 12.5 \dot{q}_3 - 170 (q_3 - 0.0125) - 72.5;$$

$$\frac{dP}{dx} = \frac{1.4}{x} \left(3.21 G_M - P \frac{dx}{dt} \right);$$

$$\frac{dP_0}{dx} = \frac{1.4}{0.5 - x} \left(-2.82 G_0 + P_0 \frac{dx}{dt} \right)$$

Управляющие силы движением МР определены на основе решения обратной задачи динамики. При этом закон управления строится с обратными связями.

Определение времени транспортировки сведено к выбору моментов включения сигналов программного устройства по каждой обобщенной координате. Исходя из физической сущности задачи и kinематических возможностей системы предложены два варианта управления включением приводов. Построены циклограммы работ предложенных в настоящей диссертации РТК.

Анализ предложенных вариантов РТК для транспортировки испарителей, упаковка их в тарный ящик и оценка производительности участка на основе построенных циклограмм показали следующее.

При схватывании испарителей как по их краям с помощью специального захватного устройства, так и с применением захвата в виде присосок требуется усилие для его удержания на начальном этапе включения последнего (соответственно по краям или сверху испарителей). Следовательно, схватывание испарителей на ходу конвейера (обычно применяются цепные конвейеры) недопустимо по техническим условиям, так как нет гарантии, что при схвате испарителя сверху захватным устройством не получится царапин в канале с обратной стороны, т.е. со стороны движущегося цепного конвейера. Сказанное требует использования подъемно-позиционирующего манипулятора для ориентации испарителя во всех вариантах схемы автоматизации. В целях предотвращения разрушения поверхности испарителя при схватывании, а также универсальности (возможность работы со всеми типоразмерами испарителей) предлагается применять захватное устройство с вакуумными присосками.

Несмотря на некоторые преимущества, вариант с одним роботом не приемлем, так как при этом не обеспечивается даже минимальная производительность технологической линии.

Использование варианта с двумя роботами предъявляет дополнительные требования для координации их действий в общей рабочей зоне (в позиции тарного ящика). Показано, что применение схемы автоматизации участка с двумя роботами теоретически обеспечивает существующую производительность производства испарителей - интенсивность поступления изделий около 12 шт/мин. Однако, с учетом изменения нерегулируемых параметров, таких как давление сжатого воздуха в магистрали и пневмоцилиндрах, температура окружающей среды, вес перемещаемого груза в различных ситуациях и др., ставит под сомнение работоспособность данного робототехнического комплекса в производственных условиях на конкретном объекте. Кроме того, предложенные схемы не учитывают перспективы увеличения производительности действующей линии в

пределах возможностей технологического оборудования.

Установлено, что совмещением движений отдельных активных элементов в процессе функционирования роботизированного участка можно увеличить его производительность, это требует исследований влияния вышеперечисленных факторов на работу отдельных роботов и участка в целом. В результате исследований необходимо оп-ределить возможности и моменты совмещения движений отдельных роботов.

Показано, что основные положения диссертации внедрены в дей-ствующем производстве испарителей Сумгайтского алюминиевого за-вода, достоверность которых подтверждается промышленной эксплу-атацией роботизированного участка транспортировки и упаковки готовой продукции.

Разработанный и внедренный автоматизированный процесс транс-портировки и упаковки готовой продукции (рис.1) функционирует в двух режимах: управление исполнительными механизмами активных элементов автоматизированного процесса по жестко установленным временам для каждого движения (управление без обратной связи); управление исполнительными механизмами активных элементов на основе информации, полученной от датчиков, установленных в оп-ределенных позициях промышленных роботов, манипуляторов и тран-спортных систем.

Отмечено, что изменение значений внешних возмущений, таких как давление воздуха в пневмосети, температура окружающей среды, качество смазки механических узлов, вес и масса транспортируе-мых изделий и др. сильно влияет на время перемещения манипуля-торов с одной позиции на другую и чревато непредсказуемыми ава-рийными ситуациями в процессе функционирования РТК.

При управлении исполнительными механизмами на основе информа-ции от датчиков обратной связи в определенной степени устраи-ваются перечисленные недостатки.

РТК работает следующим образом. До начала работы РТК исходные состояния определяются в виде: манипулятор ПР1 находится в по-зиции ПМ1 и по сигналу "установка разрешения общей зоны для ПР2" разрешается ввод манипулятора ПР2 в общую зону; манипулятор ПР2 находится в позиции ПМ2 и отсутствует сигнал "установка разре-шения общей зоны для ПР1", запрещающий вход манипулятора ПР1 в общую зону.

При наличии тарного ящика в позиции упаковки (Д8) и картон-ного листа на столе ПМ (Д10) манипулятор ПР1 опускается вниз,

захватывает картонный лист, поднимается и одновременно поворачивается (совмещение движений подъема и поворота) по часовой стрелке на 90° . По сигналу от датчика Д12 (конечное состояние поворотного устройства) отключается захватное устройство и поворотное устройство ПР2. После отключения поворотного устройства по сигналу Д12 (показывает, что манипулятор начал покидать общую зону) "Установка разрешения общей зоны для ПР1" разрешается вход манипулятора ПР1 в общую зону. После принятия последнего сигнала сбрасывается от пульта управления (ПУ) сигнал "Установка разрешения общей зоны для ПР2" и поворотное устройство ПР1 с испарителем поворачивается по часовой стрелке на 90° . По сигналу от датчика Д4 (конечное состояние поворотного устройства) отключаются захватное и поворотное устройства. После отключения последнего по сигналу Д4 (показывает, что манипулятор ПР2 начал покидать общую зону) разрешается вход манипулятора ПР2 в общую рабочую зону и далее процесс продолжается аналогично вышеизложенному до тех пор, пока сравниваемое устройство на основе информации от датчика Д9 (количество текущих значений картонных листов, перенесенных к позиции упаковки) не блокирует работы пультов управления ПР и не перемещает пустой ящик к позиции упаковки, а наполненный — к следующей. После этого снимается блокировка пультов управления и начинается новый цикл упаковки ящика испарителями.

Опыт эксплуатации РТК в промышленных условиях показал, что за счет совмещения движений подъемного и поворотного устройств ПР2 общий цикл сокращается в среднем на 0,48 с. Кроме того, наблюдения и эксперименты, проводимые в различных условиях окружающей среды и возмущениях также показали, что при управлении исполнительными механизмами на основе информации от датчиков обратной связи время, требуемое для исполнения каждого отдельного движения, в среднем увеличивается на 0,1–0,24 с. Таким образом, с учетом минимальных значений этих времен ($5 \times 0,1$) и с учетом совмещения движений подъемного и поворотного устройств ПР2 можно сказать, что $\sum t = 4,8 - (5 \times 0,1) - 0,24 = 4,0$ с, что соответствует общей производительности РТК, около 900 испарителей в час.

Другое важное преимущество управления исполнительными механизмами на основе информации от датчиков обратной связи заключается в том, что при некоторых возмущениях, в частности изменениях давления воздуха в пневмосети в допустимых пределах, эле-

менты РТК автоматически адаптируются к новым условиям и тем самым предотвращаются аварийные ситуации в процессе функционирования участка.

Эффективность внедрения разработанного РТК на основе основных положений и рекомендаций диссертационной работы определена следующими факторами: увеличился выпуск конечной продукции за счет уменьшения брака, связанного с физическим состоянием работающих на этом участке до внедрения; высвободились от выполнения трудоемких и монотонных работ по три человека из каждой смены и облегчилась работа еще одного работника, обслуживающего РТК в качестве оператора (социальный эффект).

Годовой экономический эффект от внедрения РТК процесса транспортировки и упаковки готовой продукции в производстве алюминиевых испарителей составляет 75,9 тыс. рублей.

ВЫВОДЫ

1. Применение роботизированных комплексов для автоматизации процессов съема изделий, их укладки и комплектации позволяет высвобождать рабочих от выполнения монотонных и тяжелых работ, повышать ритмичность производства и выход готовой продукции.

2. Роботизированные комплексы для съема изделий с непрерывно движущихся конвейеров, их укладки в тару и т.п. могут быть построены по различным структурно-компоновочным вариантам, которые отличаются числом ПР, их взаимным расположением в РТК, способом управления. Однако в научно-технической литературе методы сравнительного анализа и выбора вариантов РТК проработаны недостаточно.

3. Важнейшим критерием сравнительного анализа РТК является быстродействие комплекса, которое определяется числом одновременно действующих ПР и их управлением, а также степенью совмещения перемещений ПР во времени.

4. Время выполнения конкретных перемещений ПР с учетом разгона, установившегося движения и торможения (демпфирования) может определяться по предлагаемым формулам, которые учитывают характеристики звеньев ПР, их привода и управления. Полученные теоретические зависимости подтверждены экспериментально.

5. Роботизированный комплекс съема изделий с конвейера и их комплектации на основе применения одного ПР типа "Бриг-IOB" имеет интервал срабатывания . Данный вариант РТК при-

нением при интенсивности подачи изделий по конвейеру менее 6 шт/мин.

6. Роботизированный комплекс из двух ПР, с разделением функций съема и укладки испарителей и прокладок, имеет интервал срабатывания около 7,5 с. Данный вариант применим при интенсивности подачи испарителей от 6 до 8 шт/мин.

7. Роботизированный комплекс из двух ПР с исключением прямолинейных перемещений звеньев и их взаимной блокировки имеет интервал срабатывания около 6,5 секунд. При иной стратегии управления, которая обеспечивает упреждение столкновений ПР с определенной степенью риска, интервал срабатывания может быть сокращен до 4,8 с. Следовательно, данный вариант может быть применим в производственных системах с интенсивностью подачи испарителей до 12 шт/мин.

8. Разработан робототехнический комплекс для автоматизации процесса транспортировки и упаковки готовой продукции с учетом результатов и рекомендаций аналитических и экспериментальных исследований, обеспечивающий общую производительность около 15 штук/мин.

9. Разработанные и агрегированные технические средства, алгоритмы управления и координации и программные средства для их реализации внедрены в производстве испарителей Сумгаитского алюминиевого завода для автоматизации процесса транспортировки и упаковки готовой продукции, с годовым экономическим эффектом 75,9 тыс.рублей.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах

1. Ахмедов Ш.Б., Севидмалиев Ю.М. Построение алгоритмов управления движением манипуляционного робота. Изв.АН Аз.ССР, сер. физико-техн. и матем.наук, УШ том, 1987, № 5, с.123-127.

2. Севидмалиев Ю.М., Ахмедов Ш.Б. Динамика манипуляционного робота и выбор наилучшей траектории. Депонир.рукопись, № 878 - Аз.ОТ 03.11.87, 17 стр.

3. Ахмедов Ш.Б., Гусейнов Х.Х., Гасымов Э.Ш., Гусейнов Р.А. Исследование динамических характеристик движения руки промышленного робота "Бриг-ЮБ". Тез.докл. XIII научной конференции профессорско-преподавательского состава Сумгаитского ВТУЗа-филиала АЗИНЕСТЕХИМ им.М.Азизбекова, Сумгаит, 1990 г.

Установка разрешения общей зоны для ПР2

Проверка состояния общей зоны

Установка разрешения общей зоны для ПР1

Проверка состояния общей зоны

блокировка

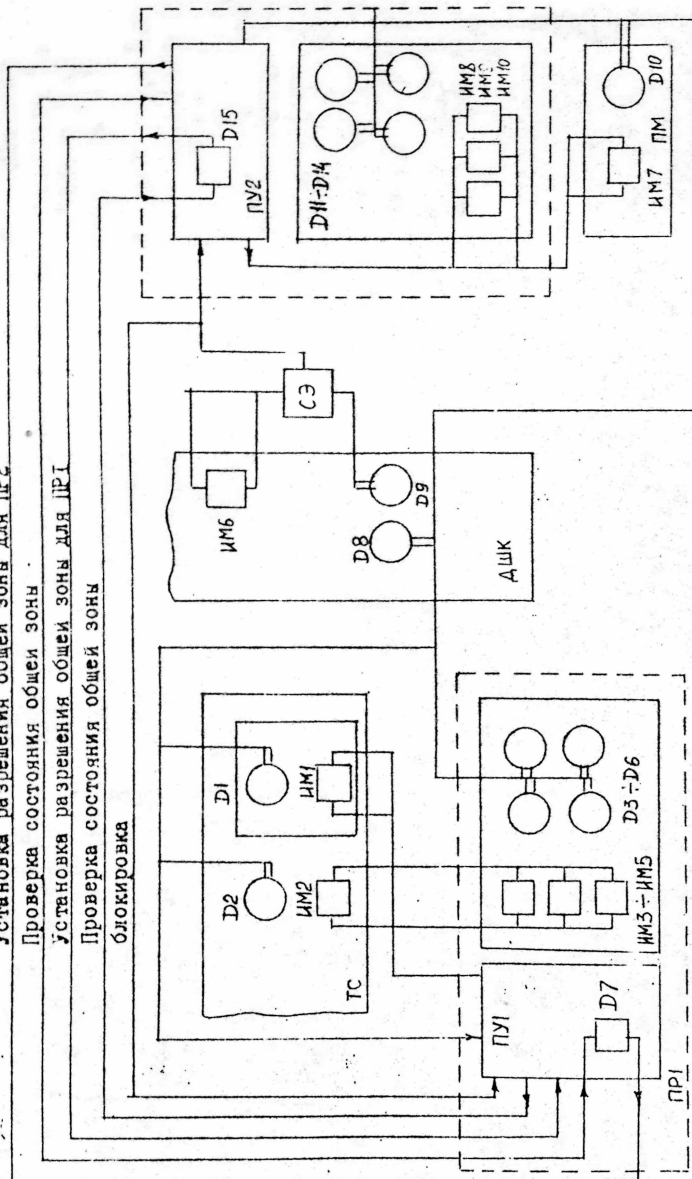


Рис. 1. Информационные и управляющие связи РТК процесса транспортировки и упаковки готовой продукции.