

17  
58

# РОБОТО- ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

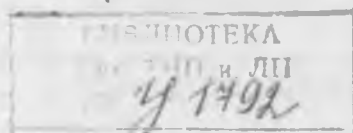
В ТЕКСТИЛЬНОЙ  
И ЛЕГКОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ

017  
Р-58

# РОБОТО- ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Под редакцией д-ра техн. наук  
проф. В. А. Климова*

10072



Москва  
Легпромбытиздат  
1991

УДК 621.865.[677+67]

Рецензент канд. техн. наук А. П. Алексеев (научно-учебный Центр «Робототехника» АН СССР и ГКНУ СССР)

**Робототехнические системы в текстильной и легкой промышленности / В. А. Климов, В. Н. Гончаренко, А. А. Ганулич и др. — М.: Легпромбытиздат, 1991. — 312 с. — ISBN 5-7088-0344-4.**

Дан всесторонний научный анализ задач роботизации легкой промышленности, начиная от выявления операций, подлежащих роботизации, и кончая конкретным рассмотрением технических средств. Научно обосновано использование робототехнических систем на основных технологических операциях, а также при проведении складских и погрузочно-разгрузочных работ с учетом их специфики в отрасли. Рассмотрены организационно-экономические проблемы внедрения робототехнических комплексов и гибких автоматизированных производств.

Для научных и инженерно-технических работников текстильной и легкой промышленности.

Табл. 17. Ил. 158 Библиогр. 38 назв.

Р 3001020000—100 12—90  
044(01)—91

Научное издание

## **Робототехнические системы в текстильной и легкой промышленности**

Редактор Т. В. Бирюкова  
Художественный редактор В. В. Зеркаленкова  
Технический редактор М. Е. Черенкова  
Корректоры Т. А. Лашкина, Т. М. Родичева

ИБ № 180

Сдано в набор 11.12.90. Подписано в печать 29.04.91.  
Формат 60×90<sup>1/16</sup> Бумага типографская № 2 Литературная гарнитура Высокая печать  
Объем 19,5 п. л. Усл. п. л. 19,5. Усл. кр.-отт. 19,75. Уч.-изд. л. 19,87.  
Тираж 2900 экз. Заказ 1558. Цена 5 р. 10 к.

Издательство «Легкая промышленность и бытовое обслуживание»  
113035, Москва, 1-й Кадашевский пер., д. 12

Московская типография № 8 РППО «Союзбланкомздат»  
Государственного комитета СССР по печати,  
107078, Москва, Каланчевский туп., д. 3/5

ISBN 5-7088-0344-4

© Коллектив авторов, 1991

## ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях научно-технического прогресса существенно возросла роль, расширилось содержание задач комплексной механизации и автоматизации во всех отраслях народного хозяйства. Не являются исключением и отрасли текстильной и легкой промышленности, где внедрение средств автоматизации и роботизации призвано наряду с другими экономическими и организационно-техническими мерами обеспечить радикальное повышение качества продукции, эффективности производства, коренное улучшение условий труда.

Современные представления о проектировании и применении средств робототехники в первую очередь связаны с идеей комплексного подхода. При этом проектирование и формирование робототехнических систем (РТС) рассматривается не обособленно, а в рамках проектирования и формирования гибких производственных систем (ГПС), призванных быть частью интегрированных производственных комплексов (ИПК).

Резкое развитие информационной техники, в частности современных вычислительных средств, привело к реальной комплексной автоматизации производства, охватывающей разработку и внедрение средств автоматизации технологического и вспомогательного оборудования, транспортно-складских систем, технологических процессов и организации производства. Подобный обобщенный подход к решению задач автоматизации связан с появлением новых классов систем автоматизации, которые порождены новыми постановками в автоматизации и своим функционированием способствовали расширению и усилению глубины автоматизации. К указанным выше новым классам систем автоматизации относятся: автоматизированные системы научных исследований (АСНИ), автоматизированные системы технологической подготовки производства (АСТПП), системы автоматизации проектирования (САПР). В итоге стали реальностью гибкие автоматизированные производства (ГАП).

Элементами ГАП, в числе других позволяющими реализовать высокую степень гибкости производства, являются промышленные роботы (ПР), напольные транспортные промышленные роботы (НТПР) и автоматизированные склады.

Основной материал книги посвящен вопросам формирования, построения и конкретного описания РТС и роботизированных транспортно-складских комплексов (РТСК), а также вопросам формирования новых подходов к выбору конструктивных и технологических параметров РТС (в основном специализированных ПР для текстильной и легкой промышленности) и составляющих их элементов и оценке функционирования РТС в рамках гибких производственных систем.

Особое внимание уделено вопросам построения РТС с учетом специфики технологии производств текстильной и легкой промышленности и конструирования этих систем в тесной взаимосвязи с разработкой новых технологий и технологических процессов. В этой связи в книге отражены возможности разработки и внедрения средств комплексной механизации и роботизации в рам-

ках построения гибких прядильного, ткацкого, швейного, обувного, кожевенного и других производств текстильной и легкой промышленности.

Создание подобных производств с учетом внедрения специализированных робототехнических комплексов, новых технологических процессов и новых машин и агрегатов, автоматизирующих эти процессы, позволит снять проблему использования ручного труда в отрасли.

Необходимость учета технологических особенностей производства текстильной и легкой промышленности накладывает в соответствии с современными постановками существенный отпечаток на автоматизацию проектирования средств промышленной робототехники. При этом проблему создания роботизированных технологических комплексов и роботизированных транспортно-складских систем в текстильной и легкой промышленности необходимо анализировать с учетом обеспечения максимальной гибкости производства, под которой следует понимать быструю перенастраиваемость на выпуск различных видов продукции на одном и том же технологическом оборудовании.

Совершенствование технологии и производства может быть обеспечено не только путем разработки и внедрения нового технологического оборудования, но и встраиванием в это оборудование специализированных робототехнических средств, а также автоматизации транспортных операций, которая охватывала бы связи не только между отдельными единицами технологического оборудования, но и между технологическими комплексами и отдельными технологическими переходами.

В книге освещены вопросы выбора, обоснования и перспективы использования новой элементной базы систем управления РТС, в том числе специализированных датчиков и электромеханических систем управления, а также изложены новые алгоритмы повышения эффективности проектирования и функционирования РТС. При этом возникает ряд теоретических вопросов, в частности, в связи с экономным представлением больших объемов информации и рациональной организации баз данных, выбором типа промышленного робота с учетом динамических характеристик, созданием эффективных средств решения прямой и обратной задач кинематики и некоторых других, где существенным моментом является первоначальный выбор и расчет основных характеристик РТС с применением алгоритмов, базирующихся на построении и использовании баз данных по кинематическим, динамическим и другим характеристикам специализированных ПР и роботизированных транспортно-складских систем. Этот круг вопросов может быть отнесен к проблематике автоматизации проектирования робототехнических комплексов, к которой примыкают и задачи экономного описания сложных кривых, таких, например, как контуры швейных лекал.

В заключительном разделе книги рассмотрены вопросы оценки эффективности РТС в отрасли с учетом экономических и социальных факторов, приводятся соображения по оптимизации выбора перспективных направлений развития РТС.

Книга адресована научным и инженерно-техническим работникам предприятий, разработчикам оборудования и средств автоматизации для текстильной и легкой промышленности.

## Глава 1

# ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ И ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

### § 1.1. АКТУАЛЬНОСТЬ ЗАДАЧ ФОРМИРОВАНИЯ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ И ФАКТОРЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИХ ГИБКОСТИ

Современное развитие в народном хозяйстве новых экономических хозрасчетных взаимоотношений, особое внимание к расширению производства товаров народного потребления при одновременном повышении требований к качеству продукции, особенно швейных и обувных изделий, заставляют по-новому взглянуть на роль гибкого реагирования текстильной и легкой промышленности на спрос, а следовательно, и проблему технического, организационно-технического обеспечения гибкости отрасли и отдельных производств.

Гибкое производство — это в первую очередь такое производство, которое за короткое время при минимальных затратах, на том же оборудовании, не прерывая производственный процесс и не останавливая оборудования, по мере надобности позволяет переходить на выпуск новой продукции, в общем случае произвольной номенклатуры в пределах технических возможностей и технологического назначения машин и агрегатов. Гибкое производство в текстильной и легкой промышленности помогает значительно расширить ассортимент выпускаемых изделий в результате быстрого и гибкого изменения технологии и организации труда с учетом даже случайных изменений в составе исходного сырья и полуфабрикатов, фурнитуры, в количестве и составе поставщиков и потребителей. Тем самым гибкое производство текстильной и легкой промышленности позволит удовлетворить требования, которые, в частности, предъявляются быстроизменяющейся модой.

В соответствии с ГОСТ 26228—85 под ГПС понимается совокупность в разных сочетаниях оборудования с числовым программным управлением, РТК, гибких производственных модулей, отдельных единиц технологического оборудования и систем обеспечения их функционирования в автоматическом режиме в течение заданного интервала времени, обладающих свойством автоматизированной переналадки при производстве изделий производственной номенклатуры в установленных пределах значений их характеристик. Основным показателем такого производства является степень гибкости, которая в свою очередь яв-

ляется функцией технологических, технических и организационных факторов. При этом условие обеспечения требуемой степени гибкости любого производства текстильной и легкой промышленности следует выполнять для новых предприятий и при модернизации уже существующих. Степень гибкости можно оценивать количеством затрачиваемого времени и необходимых дополнительных материальных и финансовых затрат при переходе на выпуск новой продукции с учетом разнообразия выпускаемой продукции.

Возможность количественных оценок и их методология излагаются в данной главе.

**Факторы повышения гибкости производства.** Рассмотрим особенности формирования основных факторов, влияющих на изменение степени гибкости производственных систем в текстильной и легкой промышленности.

*Технологические факторы* повышения степени гибкости включают разработку и внедрение новых технологических процессов, позволяющих гибко благодаря средствам автоматизации реагировать, например, на изменения состава сырья, из которого изготавливаются швейные, обувные и другие изделия текстильной и легкой промышленности при осуществлении быстрой смены перенастройки параметров технологических режимов.

В прядильном производстве к таким факторам можно отнести разработку автоматизированной системы расчета вариантов снабжения сортировок пряжи по условиям обеспечения заданных физико-механических и стоимостных показателей сырьевой смеси. Так, например, хлопок, шерсть и другие естественные волокна в большой степени зависят от многообразия случайных факторов сельскохозяйственного производства. При этом необходимо учитывать не только вероятностный разброс показателей исходного волокна, но и назначение и сорт пряжи, характеристики используемого оборудования, степень его износа и возможность регулирования.

В ткацком производстве к технологическим факторам повышения гибкости можно отнести автоматизированную систему, автоматически измеряющую температуру, влажность воздуха и в зависимости от вида пряжи поддерживающую физико-химический состав воздушной среды для уменьшения обрывности пряжи.

В красильно-отделочном производстве примером технологического фактора повышения гибкости может служить изменение технологических режимов крашения пряжи в бобинах для повышения качества окрашивания продукта при условии осуществления предварительной механической подготовки бобин к крашению путем их обкатки, обжима и сдвига относительно патрона. Разработка и внедрение системы автоматизации, позволяющей быстро рассчитать необходимое усилие обжима бобины, состав и концентрацию красителей в зависимости от вида пряжи,

ее физико-механических свойств, обеспечивают повышение качества крашения в результате гибкой и быстрой адаптации режимов крашения к разбросу физико-механических свойств пряжи. Такая адаптивная технология четко прослеживается и на примере крашения тканей и трикотажа. Быстрое изменение состава сырья в широких пределах заставляет создавать системы автоматизации выбора режимов крашения, автоматические системы подготовки состава красителей, а также автоматические системы управления, реализующие адаптивные алгоритмы управления технологическим оборудованием.

Внедрение системы автоматизации, позволяющей автоматически раскладывать лекала в условиях случайного разброса характера и типов пороков в рулонах ткани, дает возможность быстрее и эффективнее переходить от одного фасона одежды к другому в условиях швейного производства.

Применение новой технологии литьевого метода изготовления обуви обеспечивает резкое повышение степени адаптации обувного производства к изменению моды в обуви.

Примером может также служить и кожевенное сырье, которое имеет различную толщину, физико-химические свойства, меняющиеся в широких пределах, большое количество естественных пороков. В процессе обработки кожи меняются ее физико-химические свойства, что требует постоянной адаптации технологического и вспомогательного оборудования к таким изменениям моды в обуви.

Построение системы автоматизации, с помощью которой можно быстро рассчитывать концентрацию и состав обрабатывающих растворов и технологические режимы с учетом случайного разброса физико-химического состава кожевенного сырья, позволяет гибко реагировать на отклонения в составе сырья и тем самым повысить качество кожевенных изделий.

Под *техническими факторами* повышения степени гибкости производства понимается современное технологическое оборудование, автоматические манипуляторы, промышленные роботы, транспортные комплексы, оборудование складов, цифровые вычислительные и управляющие машины и другие средства механизации и автоматизации. Для текстильной и легкой промышленности характерно использование специального технологического оборудования, специальных встроенных промышленных роботов и автоматических манипуляторов, специализированных транспортных систем, в частности напольных транспортных роботов грузотянущего типа. Массогабаритные характеристики продукции предприятий текстильной и легкой промышленности значительно отличаются от аналогичных характеристик продукции машиностроительных предприятий, в связи с чем для отрасли необходимо разрабатывать и специализированное роботизированное складское оборудование. При этом каждое из производств текстильной и легкой промышленности имеет свои осо-

бенности, которые предъявляют специфические требования к массогабаритным, техническим и экономическим показателям используемых технических средств.

Так, в прядильном производстве разработка и внедрение новых пневмопрядильных машин, оснащенных автоматическими манипуляторами для съема бобин, автоматической чистки камер, системами автоматической регулировки параметров пряжи, при наличии разброса физико-механических свойств чесальной ленты повышают эффективность труда работницы, расширяют зону ее обслуживания и повышают качество пряжи. В ткацком производстве использование напольных транспортных роботов с манипулятором для загрузки уточной пряжи поможет реализовать гибкое и быстрое реагирование на изменение загрузки и функционирования ткацких станков.

В красильно-отделочном производстве разработка и внедрение автоматических раздаточных станций позволят гибко осуществлять указанные переходы от одной цветовой гаммы окрашивания изделий к другой в условиях высокой вариабельности характеристик красителей и окрашиваемого текстильного изделия.

Применение электромеханических планшетов с цифровой системой управления обеспечивает реализацию технического разномножения лекал в условиях большого разброса требований по размеростам, фасонам швейных изделий, с учетом изготовления швейных изделий в условиях множества предприятий, оснащенных различными типами оборудования. Внедрение таких планшетов существенно влияет на степень гибкости швейного производства в целом при переходе с одного фасона швейного изделия на другой.

Использование ПР на основных операциях обувного производства способствует реализации высокой степени адаптации к потребностям рынка обуви вследствие возможности быстрой смены ассортимента обувных изделий.

Большая стоимость изготовления и обслуживания специализированных технических средств и существующие весьма ограниченные финансовые возможности предприятий отрасли обуславливают возникновение задачи оптимального по срокам и стоимости поэтапного (при условии эффективности каждого из этапов) разворачивания специализированных РТК и транспортно-складских систем.

Другой особенностью влияния технологических и технических факторов на степень гибкости производства в текстильной и легкой промышленности является их сильное взаимовлияние и взаимосвязанность. Так, реализация эффективной системы автоматизации в крашении связана с разработкой и внедрением не только новых технологических режимов крашения, но и технических средств, позволяющих быстро и качественно реализовать эти режимы, например, с помощью автоматических раздаточных

станций и управляющих комплексов на базе цифровых управляющих машин.

К *организационным факторам* повышения гибкости производства относятся оперативное планирование и диспетчерское управление производством, т. е. формирование оптимальных текущих и календарных планов, учет трудовых и материальных затрат, организация обеспечения производства ресурсами, осуществление координации работы отдельных участков, цехов, производств и всей отрасли в целом.

Организационные факторы реализуют управление с целью координации работы производственных и технических систем путем анализа состояния производства и оборудования с предварительной разработкой текущих и перспективных календарных планов работы этих систем и вариантов материально-технического снабжения. Это в свою очередь заставляет обратить большее внимание на решение учебных и других подобных задач, дающих информацию о состоянии производства и оборудования и целесообразности их загрузки. Проиллюстрируем сказанное с помощью выборочных примеров.

Так, например, в прядильном производстве к организационным факторам повышения гибкости можно отнести создание и внедрение системы автоматизации, способствующей осуществлению автоматического учета выработки пряжи на пневмопрядильных машинах. В ткацком производстве к таким факторам относятся, например, разработка и внедрение автоматизированной системы управления транспортными средствами (напольными транспортными роботами) доставки пряжи и ткацких навоев на промежуточные склады и последующее технологическое оборудование. В красильно-отделочном производстве это система автоматизации, осуществляющая распределение по машинам партий полуфабрикатов, поступающих в случайные моменты времени. В швейном производстве примером организационного фактора повышения гибкости производства является система автоматизации, позволяющая организовать оптимальную структуру швейных потоков в условиях широкого ассортимента выпускаемых изделий, большого количества поставщиков и потребителей.

В кожевенном производстве в качестве организационного фактора может рассматриваться система автоматизации учета полуфабриката и готовой продукции. В обувном производстве подобным фактором может служить система автоматизации, изучающая спрос на продукцию обувного предприятия с целью гибкого реагирования на возникающую ситуацию путем перехода на выпуск новой продукции.

**Причины повышения гибкости производства.** В текстильной и легкой промышленности рассмотренные факторы повышения степени гибкости имеют неодинаковое влияние в зависимости от вида производства.

Предварительный анализ производства и математическое (имитационное) моделирование на ЦВМ технических производственных и технологических факторов дает возможность выбрать правильную оценку в нахождении тех узких мест в технологических и производственных процессах, где в первую очередь требуется повышение степени гибкости. Такой анализ и возможность построения указанных моделей тесно связаны с причинами, вызывающими повышенные требования к гибкости производств текстильной и легкой промышленности.

*Первой причиной* повышения степени гибкости производств текстильной и легкой промышленности является необходимость быстрой сменяемости ассортимента швейных, обувных и других изделий и товаров народного потребления, что диктуется быстрозменяющейся модой. Вопрос необходимости быстрой сменяемости ассортимента рассматривался выше.

*Второй причиной* повышения гибкости производств в текстильной и легкой промышленности, которая также рассматривалась при изложении факторов гибкости, является использование исходного сырья для изготовления швейных и обувных изделий с качественными характеристиками, случайно изменяющимися в широких пределах.

*Третьей причиной* повышения роли гибкости производства в отрасли является высокий дефицит кадров. Текучесть кадров объясняется в основном социальными причинами, такими, как болезнь, смена местожительства и т. д., а кроме того, и тяжелыми условиями труда (высокая монотонность ручных операций, большая масса рулонов ткани, кожевенного полуфабриката и т. п.).

Кадровый дефицит обуславливает расширение зоны обслуживания станков, повышение роли автоматизации и комплексной механизации ручных операций. Технические средства и технологии производства должны быть выбраны и реализованы так, чтобы его можно было быстро и гибко перестраивать в зависимости от изменения в кадровом составе по численности и специальности.

*Четвертой причиной* необходимости повышения гибкости производства в отрасли является значительный объем показателей, по которым отдельные участки производств, цехи внутри предприятий, а также отдельные производственные подразделения отрасли взаимодействуют между собой. Указанный объем показателей объясняется в первую очередь тем, что подразделения отдельных предприятий, как и предприятия отрасли, тесно связаны между собой поставками сырья, полуфабрикатов, фурнитуры, красителей и т. п., имеют большой и постоянно изменяющийся состав поставщиков, гибкость во взаимодействии с которыми отражается на внутренней деятельности предприятий и отрасли в целом. Кроме того, продукция и сырье являются дорогостоящими. Это обстоятельство требует наличия на пред-

приятиях текстильной и легкой промышленности гибкой организационной структуры, автоматизированной системы управления производством, позволяющей гибко и быстро реагировать на изменения в производственных процессах и во взаимоотношениях поставщиков и потребителей.

Рассмотренные факторы и причины повышения гибкости производства в отрасли тесно взаимосвязаны. Большая размерность множества причин, вызывающих необходимость гибкости производства в сочетании с множеством возможных реализаций технологических, технических и организационных факторов при ограниченных технических и финансовых возможностях предприятий текстильной и легкой промышленности, делает задачу формирования гибких производственных систем на предприятиях задачей имитационного моделирования причинно-факторной ситуации и использования при выборе рационального варианта методов многокритериальной оптимизации.

## **§ 1.2. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ. ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ НАЗНАЧЕНИЕ И ЗАДАЧИ**

Наличие рассмотренных причин повышения степени гибкости производств в текстильной и легкой промышленности вызывает необходимость повышения скорости реагирования на изменения в моде, широких пределах состава сырья в условиях большой текучести кадров и множества взаимосвязей в организационно-технической структуре производств. Эти причины заставляют искать пути повышения влияния на степень гибкости производства всех действующих на нее факторов: технических, технологических и организационных на всех стадиях производственного процесса (рис. 1.1), начиная от научно-исследовательских работ по созданию нового материала или изделия, проектирования технологического оборудования и технологических режимов и заканчивая непосредственно производством, в том числе в оперативном планировании и управлении им.

Одним из направлений на этом пути, позволяющих повысить гибкость производства, является комплексная автоматизация производственных процессов.

Рассмотрим сначала назначение и состав систем автоматизации в рамках автоматизированного производства (см. рис. 1.1). Наиболее многочисленная группа систем автоматизации производства — локальные системы автоматизации (ЛСА) машин и аппаратов, среди которых можно выделить системы автоматического управления (САУ).

В группу ЛСА в первую очередь входят системы управления, формирующие и реализующие изменение технологических параметров по заранее заданной программе. Это может быть программа изменения температуры в химико-технологическом процессе, программа изменения частоты вращения двигателя при-

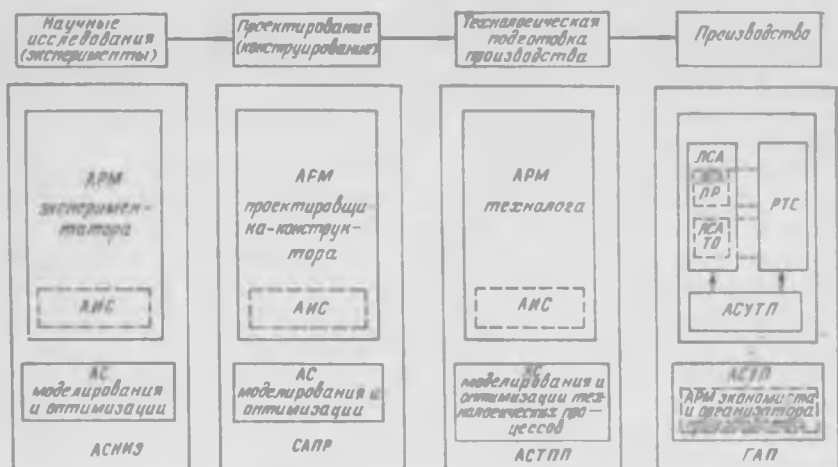


Рис. 1.1. Взаимосвязь систем автоматизации

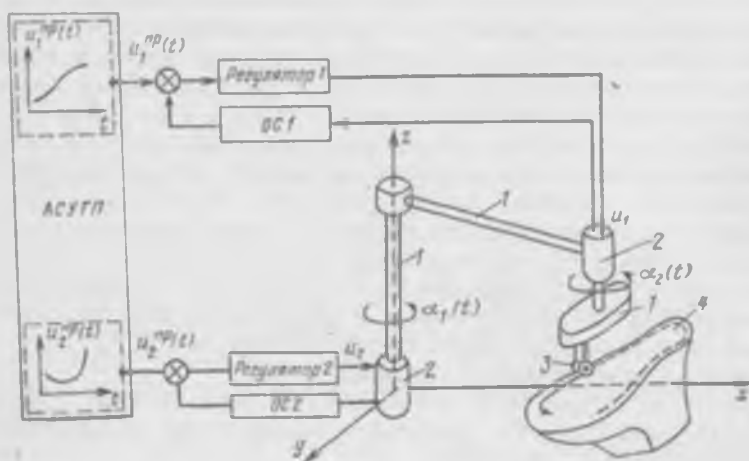


Рис. 1.2. Локальная система управления ПР для обработки низа обуви

вода манипулятора промышленного робота, программа раскроя деталей швейных изделий.

Примером ЛСА с автоматическим управлением может служить такая система управления промышленным роботом, предназначенным для обработки низа обуви (рис. 1.2). Звенья 1 манипулятора ПР осуществляют, например, угловое перемещение  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  с помощью приводов 2. При этом рабочий орган ма-

нипулятора 3 (фреза или шарошки) должен перемещаться по траектории 4 вдоль контура низа обуви.

Для реализации этой траектории на приводы 2 подаются электрические сигналы  $u_1$ ,  $u_2$ , программное изменение которых  $u^{пр}_1(t)$ ,  $u^{пр}_2(t)$  с помощью регуляторов 1, 2, приводов 2 и обратных связей ОС1 и ОС2 реализуют угловое движение звена 1 по законам  $\alpha_1(t) = f(u_1)$ ;  $\alpha_2(t) = f(u_2)$ , что в свою очередь заставляет перемещаться фрезу 3 по заданной траектории 4.

Формирование законов  $u_1(t)$  и  $u_2(t)$ , контроль за угловым перемещением звеньев 1 с помощью ОС1 и ОС2 и реализацию траектории 4 осуществляют локальные системы управления промышленным роботом. Как правило, реализация программного управления осуществляется с помощью замкнутых систем управления, но могут использоваться и разомкнутые системы. Ввод и формирование в ЛСА необходимой информации о конфигурации и параметрах программной траектории могут осуществляться вручную оператором либо от системы управления более высокого уровня, например от АСУТП.

Системы автоматического управления широко используются в управлении и стабилизации параметров химико-технологических процессов. Так, ЛСА реализуют программу изменения, например, температуры растворов при крашении, так называемую температурно-временную кривую (ТВК). На рис. 1.3, а представлена сплошной линией программа изменения температуры  $T_{пр}$  раствора в ванне. На рис. 1.3, б изображена структурная схема ЛСА управления температурно-временным режимом. В рассматриваемой ЛСА программа изменения температуры —

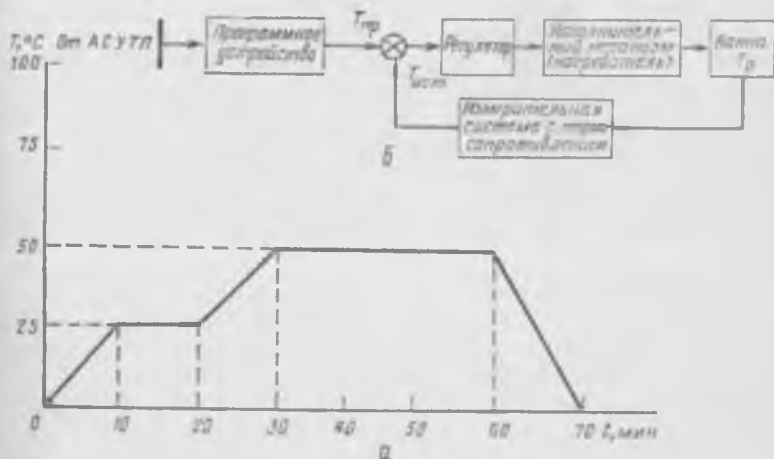


Рис. 1.3. Изменение температуры растворов при крашении:

а — температурно-временная кривая растворов; б — структурная схема локальных систем автоматизации управления температурным режимом растворов

ТВК вводится с помощью специальных, входящих в состав ЛСА программных устройств.

Непосредственно изменение температуры в ванне осуществляется исполнительными механизмами, например, изменяющими расход пара через нагревательный элемент.

Исполнительными механизмами управляют с помощью регулятора. Контроль за температурой  $T_{ист}$  осуществляется специальной измерительной системой, в частности с термосопротивлениями. На участках постоянных значений ТВК локальные системы работают в режиме стабилизации.

Программа изменения температуры  $T_{пр}$  формируется, т. е. температурный режим в ванне выбирается так же, как в предыдущем случае, непосредственно оператором, или задается АСУТП.

Другим примером применения ЛСА является их использование в чесальном оборудовании прядильного производства. Следует отметить, что перспективным направлением в проектировании чесальных машин является появление индивидуальных электромеханических приводов чесальных валов. При этом, измеряя параметры чесальной ленты на выходе чесальной машины и учитывая информацию об этих параметрах, можно повысить и стабилизировать качество выходного продукта путем стабилизации частоты вращения отдельных валов или их группы, компенсируя тем самым случайный разброс в параметрах сырья или параметрах чесальной машины, например в питании электродвигателей чесальных валов.

Несмотря на то что локальные системы управления выполняют ограниченные по функциональному назначению задачи, они играют важную роль в построении ГАП, так как через них более широкие задачи решают АСУТП (см. рис. 1.1). На эти системы автоматизации возлагается задача выбора технологических режимов, например, ТВК в крашении в зависимости от ассортимента, сорта сырья, состава красителей, в прядении — назначение частоты вращения валов чесальных машин, в промышленных роботах — введение программы изменения координат звеньев, обеспечивающих движение рабочего органа ПР при обработке низа обуви в зависимости от типоразмера и фасона.

На АСУТП возлагаются не только задачи управления ЛСА, но и другие задачи, например, контроль погрузки и выгрузки тканей в аппараты, и осуществляется контроль взаимодействия человека с оборудованием. Кроме того, с помощью АСУТП осуществляется управление транспортно-складскими комплексами, станциями дозирования и раздачи красителей, химикатов, контролируется расход воды и энергии, оптимизируется расход энергии в ПР.

Используя АСУТП в крашении, можно осуществлять восстановление качества крашения в результате смены температур-

ного режима, концентрации красителей, химикатов с учетом разброса параметров сырья в широких пределах. Такое гибкое реагирование на нештатную производственную ситуацию возможно путем формирования с помощью АСУТП программ для локальных систем.

Следует отметить, что центральной задачей при построении АСУТП является назначение режимов работы технологического оборудования, выбор программ изменения технологических параметров в зависимости от смены ассортимента, состава сырья для повышения качества конечного продукта.

Учитывая важность этой проблемы, и, несмотря на то, что формально эта задача решается в рамках АСУТП, ее можно определять в границах самостоятельной системы автоматизации — автоматизированной системы технологической подготовки производства (АСУПП). Поэтому на рис. 1.1 класс систем автоматизации типа АСТПП выделен в отдельную группу, являющуюся, тем не менее, составной частью АСУТП.

Под АСТПП понимают совокупность алгоритмов программного, и в основном, информационного обеспечения, объединенных для назначения режимов работы технологического оборудования. Основными элементами указанной системы автоматизации являются базы данных, в которых хранится информация о режимах работы технологического оборудования, промышленных роботов, транспортных систем в зависимости от различных условий функционирования этих машин и аппаратов, о скорости перемещения резака раскройного оборудования в зависимости от толщины настила, свойств ткани, конструктивного выполнения резака (механический нож, лазерный луч или водяная струя).

Как АСУТП, так и АСТПП следует отнести к системам автоматизации, реализующим технические и технологические факторы повышения гибкости производства.

Важное направление повышения гибкости производства связано с системой автоматизации, формирующей организационные факторы обеспечения гибкости. Подобные СА применяются при разработке перспективных, текущих (годовых) и оперативных (квартальных, месячных) планов производства, при ежедневном выборе оперативно-диспетчерских решений, регулирующих ход производственного процесса. К последним задачам, решаемым такими СА, относятся, например, задачи оптимизации очередности запуска партий суровых тканей и составления графика их обработки в отбельном цехе красильно-отделочного производства. Аналогичные задачи решаются в швейном производстве при определении последовательности запуска изделий новых моделей на швейных потоках с учетом текущих запасов и поставок партий ткани разных артикулов.

Особую группу организационных задач составляют учетные задачи (учет выпуска продукции, составления запасов сырья и

полуфабрикатов, загрузки оборудования и т. п.). Сложность производственных задач организационного типа заключается в их большой размерности при одновременном множестве жестких ограничений на время принятия решений. Решение таких задач, кроме того, связано с необходимостью учета влияния социальных факторов из-за участия человека в организации и управлении производством. Из-за текучести кадров разработанные планы функционирования производства могут нарушаться.

Другими возмущающими факторами в организационном плане могут служить неравномерность подачи сырья, простои оборудования, срывы поставок полуфабрикатов и отгрузки готовой продукции, которые устраняются, как и в приведенных примерах, с помощью АСУТП. Эта система автоматизации реализуется с помощью вычислительных средств, как правило, с большой памятью по заранее подготовленным алгоритмам.

Отдельную группу средств автоматизации производства составляют системы РТС.

Все рассмотренные системы автоматизации действуют при отработанных алгоритмах их функционирования, которые должны быть обеспечены математическим, программным и информационным видами обеспечения. Это обеспечение готовится в рамках специальных систем автоматизации АСНИЭ и САПР (см. рис. 1.1). Обе системы автоматизации относятся к обслуживающим системам в том смысле, что они готовят подсистемы АСУТП, АСУП, РТС к работе в режимах, обеспечивающих высокую гибкость производства.

Под АСНИЭ понимается комплекс технических, информационных, программных и математических средств и методов, направленных на проведение исследований и экспериментов по совершенствованию технологических процессов, конструкции машин и аппаратов, организации управления производством и оборудованием.

Так, например, одна из основных задач АСНИЭ заключается в предварительной подготовке базы данных параметров технологических режимов, например, процессов прядения с учетом разброса состава сырья технического состояния прядильных, чесальных и других машин прядильного производства.

Количественная оценка этих параметров определяется в результате проведения теоретических и экспериментальных исследований технологического процесса на производственном оборудовании или в лабораторных условиях. Сформированные в АСНИЭ базы данных предназначены для применения АСПП, где они хранятся в автоматизированной информационной системе (АИС) и по мере надобности используются в АСУТП. Аналогично с помощью АСНИЭ заранее разрабатываются алгоритмы организационного управления для АСУП. Например, заранее разрабатываются алгоритмы, устанавливающие правила запуска партий суровья в крашение, исключаящие простой тех-

нологического оборудования с учетом того, чтобы на последующих запусках не получилось однотипных партий. При этом учитывается вариабельность состава волокон, из которого изготовлено суровье.

Также заранее разрабатываются математические модели, с помощью которых проводятся теоретические исследования кинематических и динамических параметров ПР с целью разработки рекомендации по проектированию конструкции манипуляторов и алгоритмов управления ими.

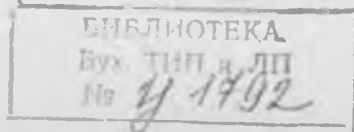
Таким образом, основное назначение АСНИЭ — набор и формирование информации для баз данных, которые в дальнейшем используются в функционирующей АСТПП и в другой обслуживающей системе — САПР.

В САПР могут решаться различные задачи. Например, с учетом структуры тканей и разного состава сырья, из которого они изготовлены (хлопок, искусственные или синтетические волокна), разного состава смеси, плотности материала проектируются технологический режим крашения, т. е. выбираются типы красителя, температурный режим и состав растворов. В САПР подобного типа для решения задачи необходимо иметь базы данных (БД) по характеристикам крашения отдельных волокон в зависимости от температуры и натяжения волокна. В той же БД хранится информация о том, как ведет себя волокно в нити, как формируется вокруг нити красильный раствор в зависимости от характеристик раствора в ванной и т. п. Эти БД формируются в рамках АСНИЭ.

Рассмотренные системы автоматизации АСНИЭ и САПР могут разрабатываться и функционировать самостоятельно, отдельно от производства, в специализированных научно-исследовательских и проектных организациях. Однако информационное и программное обеспечение этих систем для конкретного производства должно разрабатываться на самом предприятии и входить в состав конкретного гибкого автоматизированного производства, так как в реальном производстве могут быть свои особенности, а именно различные варианты снабжения, составы сырья, материалов. Например, растворы к крашению нужно готовить с учетом особенностей химического состава воды в местности, где расположено производство, или изменять этот состав в зависимости от времени года. В швейном производстве необходимо, например, учитывать антропологические особенности населения региона, в торговую сеть которого поступает изготовленная одежда.

В робототехнических системах в рамках предприятий текстильной и легкой промышленности САПР\* применяется для выбора и заказа рациональной компоновки РТС, для опреде-

\* В машиностроительных отраслях САПР имеет свои особенности, которые здесь не затрагиваются.



ления конструктивных параметров манипуляторов (длина звеньев, мощность приводов, кинематическая структура) применительно к конкретным видам технологического оборудования и условий, в которых ПР функционируют.

### § 1.3. ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

К числу основных технических факторов, определяющих гибкость производства в текстильной и легкой промышленности, относятся ПР, предназначенные для выполнения вспомогательных и основных технологических операций.

Системы РТС или комплекс РТК имеют в своем составе роботы ПР с системами управления. Рассмотрим более подробно общую характеристику и классификацию ПР.

*Промышленный робот (ПР)* — это автоматическая машина, представляющая собой совокупность автоматического манипулятора (АМ) и перепрограммируемого устройства управления, предназначенная для выполнения в производственном процессе двигательных и управляющих функций, заменяющих аналогичные функции человека при перемещении предметов и технологической оснастки. В случае простого перемещения предметов ПР относится к группе роботов, выполняющих вспомогательные операции; в случае оснащения ПР в качестве рабочего органа (РО) технологической оснасткой (лазерным излучателем, механическим резакон, фрезой, обжимным устройством и т. д.) робот выполняет основные технологические операции (лазерный раскрой материала, шерохование подошвы низа обуви, обмин бобин в крашении).

В соответствии с определением государственного стандарта *манипулятор ПР* — это дистанционно управляемое устройство, представляющее собой кинематическую цепь, оснащенную РО,

например, в виде захватного устройства или инструмента для обработки, и в общем случае приводами (П), размещенными в звеньях кинематической цепи, и предназначенное для выполнения двигательной функции, заменяющей аналогичные функции руки человека при перемещении предметов.

Промышленный робот ПР может быть представлен в виде двух взаимосвязанных систем (рис. 1.4): исполнительной системы в виде манипулятора М и связанного с ним устрой-

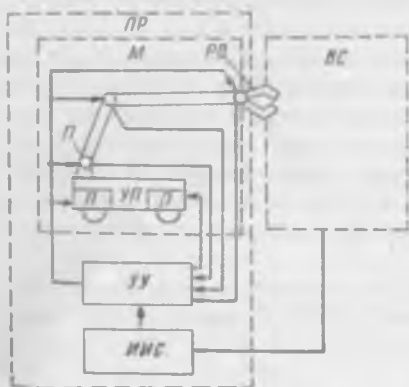


Рис. 1.4. Структура и состав ПР

ства передвижения УП и управляющей системы, именуемой системой управления (СУ), в виде двух подсистем: управляющего устройства УУ и информационно-измерительной системы ИИС.

ПР с помощью манипулятора воздействует на внешнюю среду ВС, под которой понимается технологическое оборудование, готовые изделия, обрабатываемые полуфабрикаты, например рулоны ткани, колодка с надетым на нее верхом обуви, тазы с лентой и т. д.

Учитывая специфику текстильной и легкой промышленности, дадим дополнительные пояснения, какие технические средства указанного типа производств относятся к ПР. Под ПР будем понимать средства механизации отрасли, оснащенные быстроперепрограммированной системой управления. К подобным средствам механизации можно отнести механизированные раскройные столы в швейном производстве, автоприсучальщик в прядильном производстве, устройство для съема чулочно-носочных изделий с форм, транспортные подвесные и напольные тележки, штабелеры на автоматизированных складах и т. д.

По степени универсальности ПР можно разделить на три основные группы: специальные, специализированные и универсальные. При этом под степенью универсальности понимается способность ПР выполнять возможно более широкий набор технологических операций без существенного изменения кинематической структуры, манипулятора ПР, т. е. при быстрой настройке на выполнение различных операций благодаря системе управления. В текстильной и легкой промышленности ввиду особенностей физико-механических свойств внешней среды (несимметричная форма материала, его сминаемость), особенностей технологических процессов (обработка низа обуви по контуру, обжим бобин) широкое распространение получили специальные и специализированные ПР.

Следует отметить, что границы между указанными группами ПР являются в большинстве случаев весьма условными. Все три группы ПР применяются для выполнения основных и вспомогательных операций. Причем для выполнения основных технологических операций, таких, как съем наработанных бобин и чистка камер на прядильных машинах, установка бобин с уточной пряжей в ткацком производстве, обжим бобин перед крашением в красильно-отделочном производстве, раскрой ткани в швейном производстве, обработка низа обуви в обувном производстве, как правило, применяются и разрабатываются специальные и специализированные ПР.

Роботы ПР, выполняющие вспомогательные операции, по функциональному назначению можно разделить на две категории:

ПР, обслуживающие технологическое оборудование (загрузка, выгрузка, транспортировка в зоне работы технологического оборудования);

ПР транспортного типа, осуществляющие транспортировку предметов труда вне зоны функционирования технологического оборудования (межцеховая транспортировка, транспортировка на склад и со склада, транспортировка предметов труда между отдельными технологическими переходами).

К первой категории можно отнести ПР для выемки деталей низа обуви на литьевых агрегатах, ПР для съема и перекладки обуви на конвейерных линиях, ПР для съема и укладки чулочно-носочных изделий и т. п.

Ко второй категории относятся транспортные ПР подвешного и напольного исполнения. Это подвесной ПР для загрузки и выгрузки тазов с лентой на чесальных машинах и для дальнейшей транспортировки тазов к прядильным машинам, напольный транспортный робот грузотянущего типа для перемещения тележек с рулонами ткани, бобинами пряжи, упаковок со швейными и обувными изделиями и т. п.

ПР для основных и вспомогательных операций будут рассмотрены в последующих главах данной книги.

Для управления ПР используются три типа систем: цикловые, позиционные и контурные.

Простейшими СУ ПР являются цикловые СУ, в которых число точек позиционирования ограничено (обычно двумя точками), при этом заданные линейные и угловые перемещения звеньев манипуляторов контролируются жесткопереналаживаемыми концевыми выключателями. Такие СУ ПР применяются в основном в ПР для выполнения простых вспомогательных операций, например съем рулона ткани с конвейера и укладка его в ряд стоящую тележку.

При необходимости обеспечения остановки звеньев манипулятора в промежуточных (контролируемых) точках применяют позиционные системы управления. Такие СУ обеспечивают программное движение звеньев от точки к точке. Примером ПР с позиционной системой управления может служить ПР для укладки бобин с волокном в многоместную тару.

Контурные СУ используются там, где необходимо реализовать движение рабочего органа манипулятора ПР по непрерывной контролируемой траектории с заданной скоростью, например, головки лазерного излучателя по контуру раскраиваемой детали одежды или верха обуви с учетом фактуры ткани и физико-механических свойств волокна, из которого она изготовлена.

Системы управления являются локальными системами автоматизации, имеют связь с верхним уровнем в автоматизации АСУТП и подробно в дальнейшем не рассматриваются.

Особую группу составляют сбалансированные манипуляторы. ГОСТ 25686—85 определяет сбалансированный манипулятор как манипулятор с ручным управлением, содержащий систему уравнивания рабочего органа.

Манипуляторы с ручным управлением, такие, как КШ-63, ШБМ-150, применяются в текстильной и легкой промышленности для съема и загрузки на транспортные средства ковровых изделий, загрузки рулонов тканей на промерочные столы и др.

В соответствии с ГОСТ 25686—85 сбалансированный манипулятор можно рассматривать как манипулятор с ручным управлением, содержащий систему уравнивания рабочего органа.

Сбалансированный манипулятор (рис. 1.5) содержит основание 1 с головкой 4, которая может поворачиваться вокруг вертикальной оси  $OX$  и где находится привод 2 вертикального перемещения (электродвигатель с системой управления, редуктор 3, зубчатое колесо 6, зубчатая рейка 5, укрепленная с помощью шарнира 7 с тягами 10, образующими параллелограмм с шарнирами 9 во всех его углах). Тяги 10 соединены с «рукой» 11, на конце которой расположен рабочий орган 12 с задающим органом 13, выполненным в виде рукоятки управления приводом 2.

При работе с манипулятором, имеющим рукоятку управления 13, оператор одной рукой ориентирует объект, закрепленный в рабочем органе 12, вместе с которым он может разворачиваться, другой управляет рукояткой 13 привода 2.

В зависимости от направления и значения отклонения рукоятки 13, формируется сигнал управления на привод 2. При вращении двигателя 2 происходит перемещение в соответствующую сторону (вверх или вниз) рейки 5. При этом рейка 5 через шарнир 7 перемещает тяги 10, которые, отклоняясь, перемещают вверх или вниз рабочий орган 12.

Горизонтальное перемещение рабочего органа 12 осуществляется самим оператором.

Для компенсации веса «руки» и рабочего органа служит специальная разгрузочная пружина 8.

Устройство разгрузки может быть выполнено, например, в виде противовеса.

Рассмотренные ПР с автоматическим цикловым, позиционным и контурным управлением, манипуляторы с ручным управлением, а также подвесные и напольные транспортные роботы составляют основу робототехнических (робототехнологических) систем РТС или комплексов РТК.

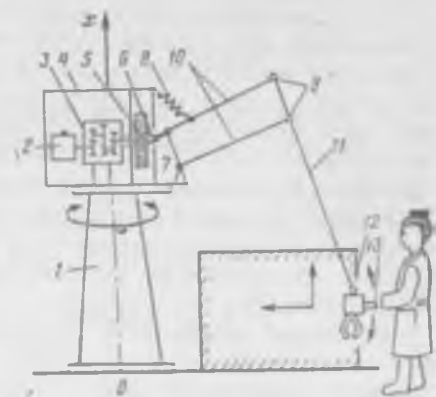


Рис. 1.5. Кинематическая структура манипулятора с ручным управлением

Под *робототехническим комплексом РТК* или *системой РТС* понимается совокупность средств технического и технологического обеспечения, включающая систему транспортных и ориентирующих устройств, накопителей исходного материала и готовой продукции, технологическую оснастку и инструмент, промышленный робот или несколько промышленных роботов в комплексе с несколькими единицами технологического оборудования, а также единые контрольно-измерительные и управляющие средства, предназначенные для выполнения нескольких технологических операций, объединенных единым технологическим процессом.

В общем случае РТС рассматривается как часть ГАП (см. рис. 1.1), но часто определение РТС трактуется как самостоятельное ГАП, в котором основные и вспомогательные операции выполняются ПР.

Тем не менее сами ПР относятся к локальным средствам автоматизации, позволяющим повысить гибкость производства благодаря быстрому программированию режима их функционирования для выполнения операций при освоении нового вида продукции, например, при использовании ПР в изготовлении обувных изделий, раскрое ткани или изменении технологического процесса.

Принимая во внимание необходимость использования в текстильной и легкой промышленности ПР специального и специализированного типов, большое значение приобретают вопросы их автоматизированного проектирования. Разработка автоматизированной подсистемы динамических расчетов в проектировании для отрасли требует большого объема исследований по кинематике, динамике и конструированию ПР в рамках АСНИЭ в интересах построения соответствующих БД.

Использование только этой подсистемы САПР позволяет установить первоначальные (эскизные) данные для проектирования или выбора ПР из серийных для прядильного, ткацкого, красильно-отделочного, швейного и обувного производств с целью повышения скорости проектирования и устранения избыточности в массогабаритных, динамических и технико-экономических характеристиках.

Проектирование ПР для текстильной и легкой промышленности необходимо осуществлять с максимальным учетом характера технологических процессов и оборудования. При этом необходимо учитывать, что отдельные элементы РТС, простейшие ПР для основных и вспомогательных операций могут проектировать и изготавливать сами предприятия текстильной и легкой промышленности.

Кроме того, информация о ПР, хранящаяся в БД автоматизированной системы проектирования ПР, может быть использована для реализации заказов на ПР, АТСС и загрузочно-ориентирующие устройства (ЗОУ) в процессе совершенствования и

реконструкции производства. С этой целью должны быть реализованы и использованы простейшие элементы САПР РТС.

#### § 1.4. ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Благодаря интенсивному развитию современных средств вычислительной техники стало возможным объединение (интеграция) на информационной основе всех рассмотренных систем автоматизации.

На рис. 1.6 приведена схема взаимосвязи указанных СА. Как уже рассматривалось (см. рис. 1.1), в состав технических факторов обеспечения гибкости производства, в том числе при реализации систем автоматизации АСУП, АСНИЭ, САПР, АСТПП, входят соответствующие автоматизированные рабочие места (АРМ): организатора производства и экономиста, исследователя и экспериментатора, конструктора-проектировщика, технолога. Особую группу технических средств составляют РТС, автоматизированные транспортно-складские системы (АТСС), технологическое оборудование (ТО) и АСУТП, входящие в состав ГАП.

Реализация отдельных систем автоматизации возможна с применением вычислительных систем, обладающих большим быстродействием и объемом памяти. Эффективность функционирования гибкого автоматизированного производства при этом зависит не только от эффективности функционирования каждой СА в отдельности, но и от того, насколько эффективно организовано информационное взаимодействие между ними. Базы данных в общем случае АИС систем АСУП, АСНИЭ, САПР, АСТПП, АСУТП должны быть интегрированы в единый информационно-вычислительный комплекс. Подобное объединение АИС указанных СА и перенос информации между ними осуществляются с помощью производственной вычислительной сети (ПВС) (см. рис. 1.6).

Техническая реализация АРМ проектировщика, технолога, исследователя и экспериментатора, а также реализация управляющих цифровых вычислительных комплексов (УЦВК) в АСУТП, а также построение ПВС могут быть осуществлены на базе либо единой цифровой вычислительной машины (БЦВМ) с большим объемом памяти и быстродействием, либо соединенных между собой в единую вычислительную сеть нескольких персональных электронных вычислительных машин (ПЭВМ), либо ПЭВМ, объединенных в сеть на более высоком уровне более мощной по вычислительным возможностям ЦВМ. В любом случае ЦВМ, входящие в состав ПВС, должны быть программно совместимы и иметь единую систему управления базами данных (СУБД). Интеграция СА через используемые в них общие дан-

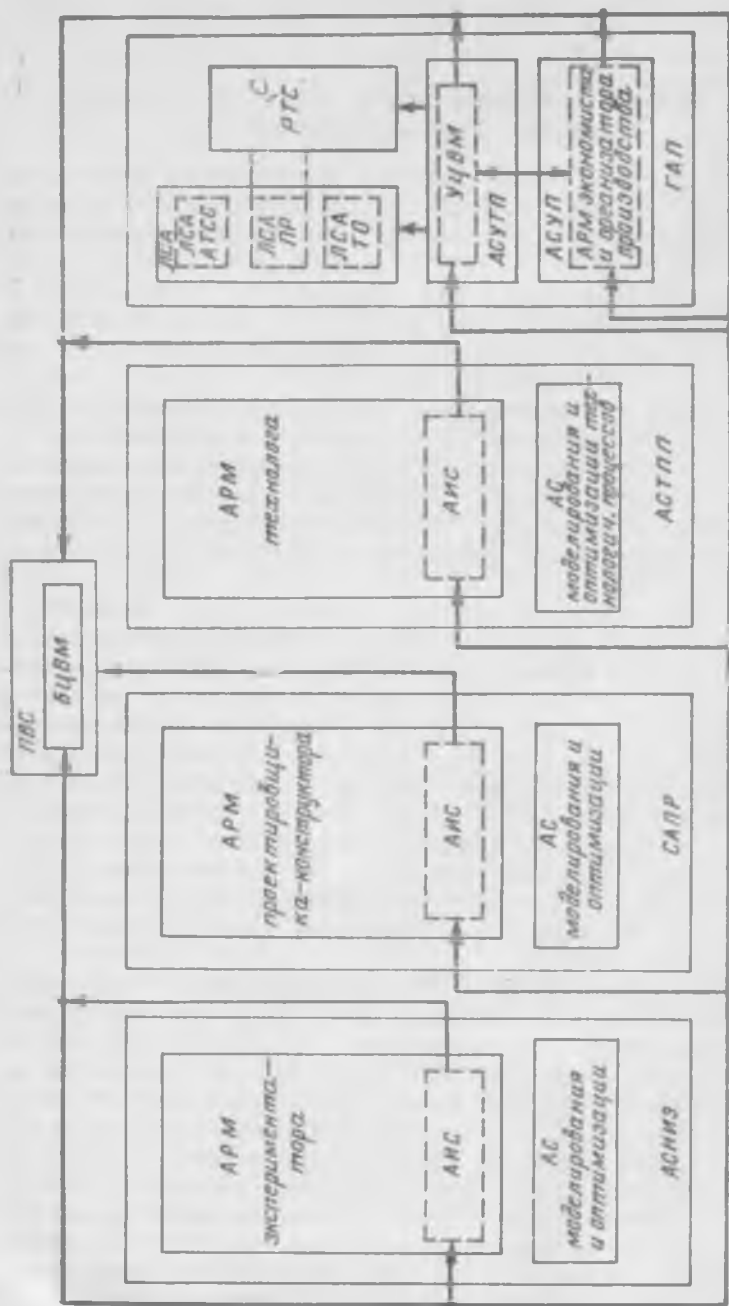


Рис. 1.6. Схема взаимосвязи СА

ные — наиболее характерная черта интегральной автоматизации в текстильной и легкой промышленности.

Подобная интеграция осуществляется первоначально на уровне заданий на технологические параметры и режимы в АСТПП и диспетчерским управлением производственными подразделениями в АСУП. Информация из БД АСТПП в параметрах режимов управления технологическими процессами учитывается при решении АСУП задач диспетчеризации производством и далее с помощью ПВС передается в БД АСУТП, формируя при этом программные значения параметров ЛСА.

Аналогичный обмен информацией происходит между БД САПР и БД АСУТП, а также БД АСНИЭ.

Локальные системы автоматизации (ЛСА АТСС, ЛСА ПР, ЛСА ТО) составляют нижний уровень управления АСУТП, и программные значения соответствующих параметров ЛСА формируются АСУТП на основе информации от других СА (АСУП, АСТПП и др.).

УЦВК в АСУТП формирует программу, по которой должен двигаться напольный транспортный робот между отдельными единицами технологического оборудования, либо между складом и ТО, программу управления ПР отдельной единицей технологического оборудования.

Основное назначение ЛСА — получать и обрабатывать информацию от УЦВК АСУТП. Подобные ЛСА обычно реализуются на базе микропроцессорных систем управления (МПСУ), технически и программно совместимых с УЦВМ АСУТП.

В интегрированном производственном комплексе (ИПК) швейного производства АСУП с помощью информации, хранящейся в БД АИС, формирует в соответствии со спросом и имеющимися запасами разбракованной и неразбракованной ткани выдачу ежедневных заданий на выпуск швейных изделий соответствующего фасона и типоразмера с учетом хранящихся в БД АСТПП описаний лекал деталей этих швейных изделий.

В свою очередь с АРМ технолога АСТПП эта информация поступает также в БД управляющих цифровых вычислительных машин АСУТП, где формируются программы управления раскройным технологическим оборудованием.

В соответствии с информацией, поступившей от АСУП и АСТПП с помощью АСУТП реализуются алгоритмы управления с помощью ЛСА ТО, САК, АТСС и РТС. Например, в систему числового программного управления (СЧПУ) ПР для раскроя ткани вводится программа реализации траектории движения технологической оснастки ПР (лазерной головки), циклограмма работы манипулятора ПР для съема деталей кроя с раскройного стола, программа работы транспортного напольного робота, определяющая траекторию его движения и т. п. ПВС осуществляет при этом организацию взаимосвязи всех входящих в ИПК систем автоматизации на информационном уровне.

Следует отметить, что разработка и внедрение современных СА связаны с приобретением предприятиями, отдельными производствами весьма дорогостоящего оборудования, агрегатов, промышленных роботов, УЦВМ. Одновременно внедрение СА сопровождается повышенными требованиями к квалификации обслуживающего персонала.

Приведенные соображения позволяют сформулировать первый принцип формирования ИПК в текстильной и легкой промышленности — *пошаговый принцип построения ИПК*. В соответствии с этим принципом, с учетом высокой стоимости технических средств СА и ограниченных возможностей предприятий в приобретении технических средств и подготовке квалифицированных кадров целесообразно осуществлять внедрение СА по отдельным этапам с последующим наращиванием до полного состава. Так, например, параллельно могут набираться базы данных по конфигурации лекал для различных фасонов одежды в АИС АСТПП, разрабатываться алгоритмы оперативно-диспетчерского управления и реализация их в АСУП, внедряются РТС для обработки деталей одежды, создаваться автоматизированные склады неразбракованной и разбракованной ткани и т. п.

Следует отметить, что, например, разработка математического описания конфигурации лекал, вывод формул кривых, с помощью которых происходит это описание, реализуется в рамках АСНИЭ и САПР швейного производства.

Второй принцип — *принцип равномерного развития* ИПК, который заключается в необходимости развития отдельных цехов предприятий и предприятий в рамках отрасли равномерно по всем показателям и подразделениям производства. Так, развитие СА подготовительного, раскройного, швейного цехов швейного предприятия должно обеспечивать равномерное повышение например, качества продукции и производительности оборудования на всех участках производства. Так, производственная мощность и техническое состояние оборудования швейных цехов должно соответствовать тем же параметрам оборудования раскройного цеха.

Создание идеального ИПК является практически нереальной задачей, так как построение подобных комплексов идет с запаздыванием по отношению к разработкам новых технических средств, на которых они реализуются, а в реальных условиях необходимо опираться на уже имеющиеся, реализованные в отрасли СА.

Последнее обстоятельство позволяет сформировать третий принцип — *принцип преемственности и прогнозирования*, в соответствии с которым не только учитывается прошлый опыт проектирования СА, но и возникает возможность прогнозирования появления, например, новых фасонов одежды, материалов и технологий изготовления изделий текстильной и легкой промышленности и их реализации с использованием перспективных СА.

Четвертым принципом формирования ИПК в текстильной и легкой промышленности может служить *принцип многокритериального выбора*, учитывающий не только наличие в отдельности большого количества возможных для реализации на каждом этапе и в конкретном производстве СА, но и возможность выбора их в различном сочетании с учетом взаимосвязей между СА. При этом количество СА и их состав в рамках ИПК зависят не только от многих требований, предъявляемых к производству, но и от финансовых возможностей предприятий. Все сказанное относится к формированию технических, технологических и организационных факторов внутри отдельных СА.

Так, в рамках швейного производства может быть определена количественная оценка параметров швейных изделий (качество, производительность, прибыль и т. п.) в зависимости от внедрения нового технологического оборудования, автоматизированных раскройных комплексов, ПР в подготовительном производстве, автоматизированных транспортных средств, внедрения автоматизированных систем диспетчеризации и учета продукции и т. д. Одновременно каждому предприятию известно, какими финансовыми возможностями оно располагает и будет располагать, например, в течение последующих нескольких лет. В этом случае необходимо сформировать программу построения ИПК таким образом, чтобы в условиях ограничения финансовых возможностей в рамках конкретных сроков определить, какие СА или их составные части внедрять, чтобы оптимизировать обобщенную количественную оценку работы производства.

Следует отметить, что указанными принципами не ограничивается задача формирования ИПК. Они могут развиваться и дополняться другими принципами в процессе разработки и внедрения ИПК.

Рассмотренные принципы формирования ИПК заложены, как уже указывалось, и в основы формирования отдельных СА, например в проектировании РТС и составляющих ее подсистем — ПР, АТСС и ЗОУ.

## Глава 2

### РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

#### § 2.1. СТРУКТУРА И СОСТАВ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Структура и состав роботизированного гибкого прядильного производства. В состав производства входят основные компоненты ГАП: автоматизированные транспортно-складские системы сырья и готовой продукции, технологическое оборудование чесального участка (кипорыхлительная машина, пневмопровод, че-

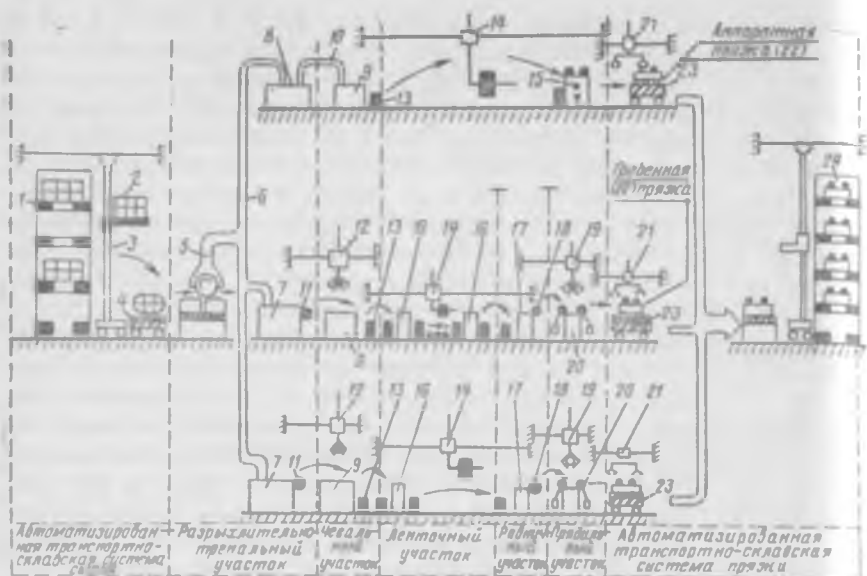


Рис. 2.1. Состав и структура роботизированного гибкого прядильного производства

сальные машины с тазами, в которых накапливается чесальная лента), ленточного и ровничного участка (ленточная машина, ровничная машина), прядильного участка (прядильные, пневмопрядильные и кольцепрядильные машины, оснащенные локальными системами автоматизации и АСУТП), а также напольный и автоматизированный транспорт. Особую группу СА составляют промышленные роботы для обслуживания технологического оборудования и загрузки автоматизированных транспортных систем. Перечисленные технические средства оснащены вычислительными машинами. Рассмотрим схему взаимодействия указанных технических средств с учетом взаимодействия с ними других систем автоматизации (рис. 2.1).

Автоматизированный склад сырья имеет устройство хранения 1 кип 2 с волокном. Загрузку и выгрузку кип осуществляет автоматический штабелер 3, который доставляет кипу 2 с волокном к напольному транспортному роботу (НТПР) 4. С помощью НТПР 4 кипы с волокном доставляются к кипорыхлителю 5 (например, типа АП-18). Штабелер, НТПР и кипорыхлитель управляются с помощью ЛСА, которые связаны локальной вычислительной сетью с АСУТП.

Учет волокна на складе, его количественного и качественного состава осуществляется с помощью АСУТП. Эта же СА формирует задание на загрузку кипорыхлителя.

Составление смеси волокон реализуется с помощью АСУТП подготовительного производства, в БД которых в рамках АСПП хранятся различные данные по волокну и алгоритмы подготовки смесок. Информация для этих БД готовится заранее. Описание технических средств роботизированного склада и НТПР будет дано в соответствующих главах книги.

Кипорыхлитель 5 разделяет кипы 2 с волокном, после чего волокно, имеющее определенный состав смеси, по пневмопроводу 6 поступает на разрыхлительно-трепальные машины 7, откуда подготовленное волокно поступает на чесальные машины (ЧМ) 9. При этом на ЧМ в зависимости от системы прядения волокно может поступать непосредственно по пневмопроводу 10 или в виде холстов 11.

Транспортировка холстов на ЧМ может осуществляться порталным промышленным роботом 12, конвейерной системой либо волокна непосредственно в бункер накопителя 8. Оснащенные весовым дозатором волокна и датчиками контроля качества ленты на выходе, а также локальными системами управления (ЛСУ) приводами чесальных валов ЧМ могут гибко реагировать на изменения в составе исходного сырья или состоянии оборудования с целью поддержания высокого качества чесальной ленты на выходе ЧМ. Режимы работы ЧМ управляет АСУТП, которая с помощью своей АСПП формирует уставки программы изменения режимов работы локальных систем управления, например, отдельными приводами чесальных валов.

Кроме того, АСУТП, связанная посредством ПВС с АСУП, позволяет учитывать продукцию чесального участка, поддерживать производственный ритм работы цеха и т. п.

Съем тазов 13 с лентой после их наработки и установка пустых тазов под лентоукладчик осуществляются с помощью подвижного транспортного робота 14 типа ЭМУ. Конструктивное описание этого типа ПР и компоновка такого РТК представлены в последующих параграфах данной главы. Все указанные на рис. 2.1 ПР 14 выполняют аналогичные задачи: переносят тазы с лентой от чесальных машин 9 либо к пневмопрядильным машинам 15, либо к ленточным машинам (ЛМ) 16 и далее, от ЛМ 16 — на ровничные машины (РМ) 17. Далее ровница 18 от РМ 17 доставляется с помощью ПР 19 на кольцепрядильные или пневмопрядильные машины 20. Технологическое оборудование (чесальные, ленточные, ровничные, прядильные машины) должно быть оснащено ЛСА, которые контролируют качество чесальной ленты, устраняют обрывность нити, чистят камеры, контролируют наработки бобин, диагностируют оборудование и определяют работоспособность машин и т. д.

Съем наработанных бобин с нитью с прядильных машин 15 и 20 может осуществляться специализированными ПР 21, которые перегружают снятые бобины в тару 22, доставляемую с помощью НТПР 23 на склад 24 готовой продукции.

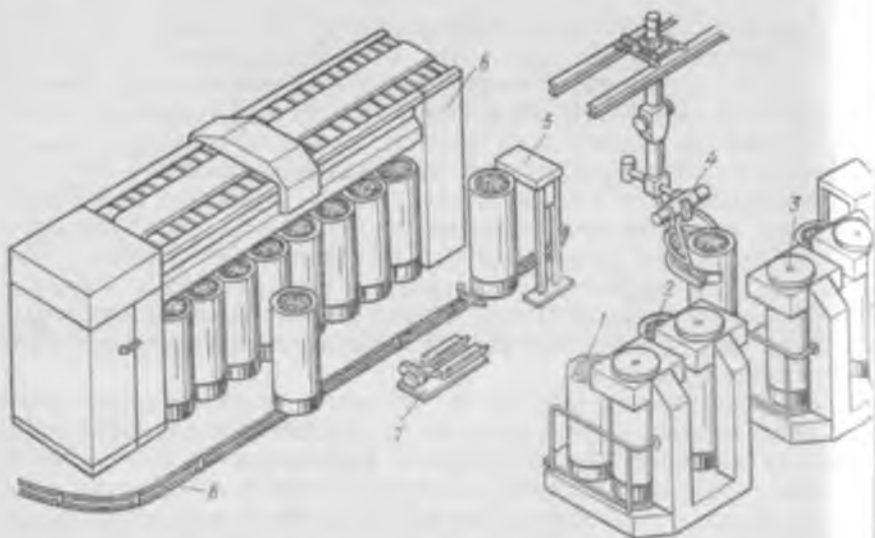


Рис. 2.2. РТК на чесальном участке прядильного производства

В табл. 2.1 приведены основные технические характеристики видов транспортируемых грузов в прядильном производстве. Следует выделить три группы ПР с различной грузоподъемностью: 100—250 кг portalного типа (ПР 12); 10—25 кг (для транспортирования больших тазов с лентой, ровничных катушек); 5—10 кг (ПР 21 для транспортировки и укладки бобин и початков с пряжей).

Описание промышленных роботов, выполняющих указанные функции, дается в последующих параграфах данной главы, описание специализированных роботизированных транспортных систем и роботизированных складов приводится в других главах книги.

На рис. 2.2 изображен вариант компоновки РТК на чесальном участке гибкого прядильного производства.

В лентоукладчик 3 поставляются пустые тазы 2. После наполнения тазов лентой полный таз 1 занимает позицию на выходе лентоукладчика 3. Манипулятор 4 ПР типа ЭМУ (см. § 2.2) с помощью захватного устройства забирает полный таз 1 с лентой и устанавливает его на щелевой транспортер 8, который доставляет чесальную ленту к рабочему месту соответствующей пневмопрядильной машины 6. После выработки ленты из таза пустой таз от прядильной машины работница возвращает на транспортер 8 и он движется по транспортеру вместе с полными тазами. Таким образом, транспортер 8 в данном случае играет роль транспортно-накопительной системы. С помощью информационно-измерительной системы распознавания 5 и 7 пу-

| АТСС сырая | Участок                   |           |          |            | АТСС пряжи |
|------------|---------------------------|-----------|----------|------------|------------|
|            | разрывательный-трепальный | чесальный | дегачный | ровнильный | придающий  |

Контейнеры  
с бобинами  
и початками

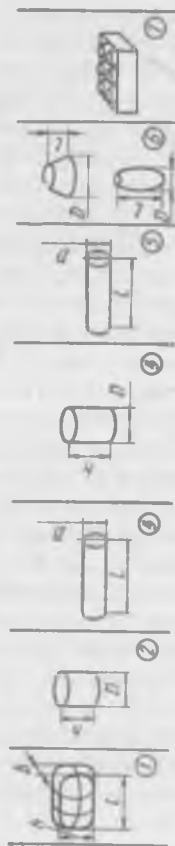
Бобины,  
початки

Ровнильные  
катушки

Тазы с лентой

Тазы с лентой

Холст



Габаритные размеры, мм

|           |                      |                     |                      |                     |                     |
|-----------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| $l = 980$ | $D = 200 \dots 500$  | $D = 400 \dots 600$ | $D = 200 \dots 500$  | $D = 300 \dots 500$ | $D = 100 \dots 500$ |
| $h = 735$ | $h = 700 \dots 1000$ | $l = 1800$          | $h = 700 \dots 1000$ | $l = 2000$          | $l = 200 \dots 250$ |
| $b = 620$ |                      |                     |                      |                     |                     |

Масса, кг

|         |      |     |      |       |     |       |
|---------|------|-----|------|-------|-----|-------|
| 200—250 | 8—25 | 100 | 8—25 | 10—15 | 2—3 | 20—50 |
|---------|------|-----|------|-------|-----|-------|

стые тазы выделяются среди полных и снимаются вспомогательным манипулятором со щелевого транспортера 8. В дальнейшем манипулятор 4 ПР для транспортировки тазов устанавливает пустой таз на вход лентоукладчика 1.

Комплекс РТК управляется от стандартной цикловой системы управления УЦМ-663.

**Структура и состав роботизированного гибкого ткацкого производства.** Основной задачей ткацкого производства является получение тканых материалов из прядильной пряжи. Перед переработкой пряжи на ткацком станке проводится ряд технологических процессов, включающих механические операции и физико-химические процессы технологической обработки. Схема ткацкого производства сразу после склада пряжи разделяется на два разных технологических потока: процесс обработки уточной пряжи и процесс обработки пряжи основы.

Пряжу для основы сначала перематывают на бобины паковки большого объема на мотальном участке. Эти паковки поступают на сновальный участок, где нити основы перематываются с бобин на сновальный валик. После операции снования пряжа перемещается в шлихтовальный цех, где проходит обработку специальным клеящим составом и наматывается на ткацкий навалой. Далее навалой транспортируется в проборный отдел, после чего навалой с основой поступает на ткацкий участок.

Рассматриваемая схема взаимодействия технических средств ткацкого производства не претендует на полноту отражения конкретных технологических переходов, состав которых варьируется в зависимости от особенностей конкретных производств. Она отражает основные направления развития технологических процессов и технологического оборудования.

Уточная пряжа после перемотки на мотальных машинах и последующей обработки (увлажнения или эмульсирования) поступает на ткацкий станок.

Изготовленная на ткацком станке суровая ткань в виде рулонов поступает на разбраковку и затем транспортируется на склад готовой продукции.

В ткацком производстве большинство основных технологических операций (снование, технологическая обработка пряжи, процесс ткачества) выполняется непосредственно машинами. Операциями, выполняющимися вручную, являются операции загрузки и выгрузки мотальных машин (ММ), сновальных машин (СМ), запарных камер (ЗК), шлихтовальных машин (ШМ) и ткацких станков (ТС). Другими подобными операциями являются межцеховое и межоперационное транспортирование.

На рис. 2.3 представлена схема, отражающая структуру и взаимосвязи технических средств гибкого ткацкого производства. Автоматизированная транспортно-складская система включает устройство хранения 1 тары 3 с пряжей (основной и уточной), штабелирующее устройство 2, осуществляющее перегрузку тары

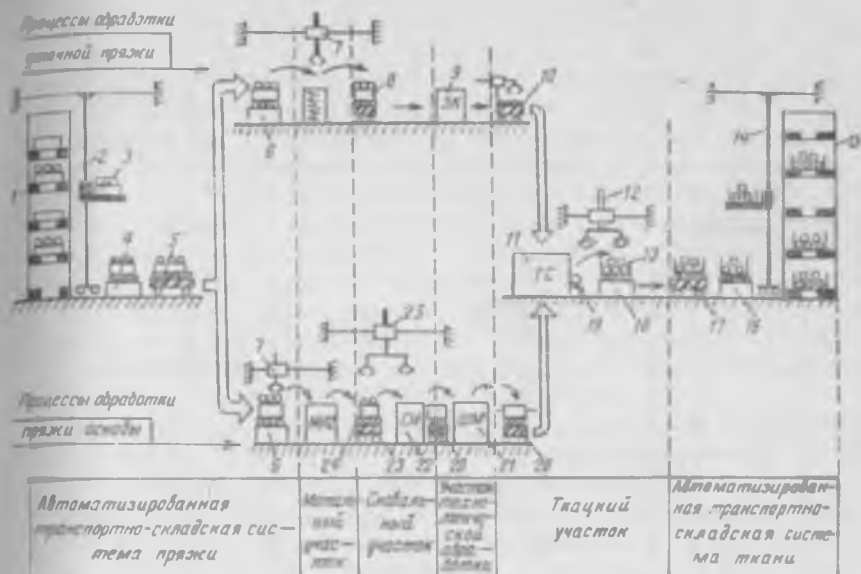


Рис 2.3. Состав и структура автоматизированного (роботизированного) ткацкого производства

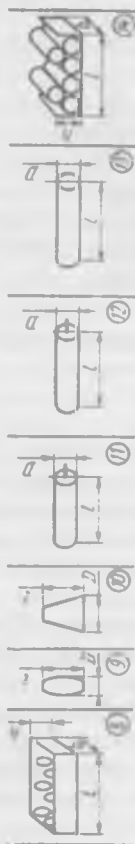
на накопительно-перегружающее устройство (НПУ) 4. НПУ далее транспортирует тару с пряжей на роботизированную транспортную систему 5, доставляющую на накопительно-перегружающие устройства 6 уточную пряжу для мотальных машин ММ1 и пряжу основы для мотальных машин ММ2.

Управление автоматизированным складом и транспортной системой осуществляется соответствующими локальными системами управления (ЛСУ). Координация работ ЛСУ, формирование транспортных потоков реализуется АСУТП складом. Учет поставок сырья, организационное формирование материальных потоков ведется с помощью централизованной АСУП. Более подробно особенности задачи выбора конструктивного решения технических средств и организации работы складов рассматриваются в гл. 6.

ПР 7, обслуживающий мотальные машины ММ1 и ММ2, должен иметь большую зону обслуживания и грузоподъемность 5—10 кг (табл. 2.2) для загрузки и выгрузки прядильных початков и бобин с пряжей. Для работы ПР с початками и бобинами они должны быть предварительно ориентированы.

Дальнейшая транспортировка уточной пряжи в таре 8 в запарные камеры 9 может осуществляться транспортными подвесными или напольными роботами (НПР) либо конвейерами. Использование напольных транспортных роботов в данном слу-

| АТСС пряжи           | Участок               |                    |                             |                  | АТСС ткани   |                        |
|----------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------------|------------------|--------------|------------------------|
|                      | моталый               | сшиваль            | технологический<br>швыротен | тканый           |              |                        |
| Тара с пряжей        | Прядильный<br>початок | Бобина<br>с пряжей | Сновальный валик<br>(навой) | Навой с основной | Рулоны ткани | Контейнеры<br>с тканью |
| 100                  | 2—5                   | 0,5—1,0            | 150—250                     | 250—500          | 5—20         | 30—150                 |
| —                    | 80—180                | 50—100             | 500—800                     | 500—800          | 100—200      | —                      |
| 800                  | 140—200               | 300—500            | 1500—3000                   | 1500—3000        | 1500—3000    | 2000                   |
| Ширина<br>$b=300$ мм |                       |                    |                             |                  |              | Ширина<br>$b=1000$ мм  |
| Высота<br>$h=500$ мм |                       |                    |                             |                  |              | Высота<br>$h=1000$ мм  |



Масса, кг

Диаметр  $D$ , ммДлина грузов  $L$ , мм

чае значительно облегчает операцию загрузки-выгрузки запарных камер.

Управление загрузкой-выгрузкой ЗК, поддержание в них параметров технологических режимов, например температуры, влажности и др., реализуется с помощью локальных систем управления, программные значения уставок для которых формируются АСУТП участка технологической обработки. Учет продукции, управление организацией работ, формирование маршрутов НТПР выполняются АСУТП. Параметры режимов работы ЗК хранит АСТПП участка технологической обработки уточной пряжи. Выгрузка тары с уточной пряжей, дальнейшее транспортирование ее к ткацким станкам 10 (ТС) осуществляются НТПР 10, оснащенным манипулятором для загрузки уточной пряжи на ТС 11. Описание подобного НТПР приводится в гл. 5.

Пряжа основы после перемотки ее мотальными машинами ММ2 в бобины перегружается ПР 7 в специальную тару 24 и далее транспортируется НТПР 23 на сновальный участок, где загружается с помощью ПР 25 на сновальные машины (СМ) 22. ПР 25 может быть выполнен в подвесном (как указано на рисунке) или напольном исполнении. Полученные на СМ 22 навои (см. табл. 2.2) транспортируются на участок технологической обработки с помощью управляемых погрузчиков 20. Указанный тип погрузчиков можно рассматривать как вариант напольного транспортного манипулятора с ручным управлением. С помощью данных погрузчиков осуществляется загрузка навоев на шлихтовальные машины (ШМ) 21, а также выгрузка навоев со шлихтовальных машин и транспортирование их к ткацким станкам. Целесообразность использования таких напольных манипуляторов именно с ручным управлением может объясняться большими габаритными размерами и массой навоев. Указанные характеристики сновальных валиков, а также сравнительно большое расстояние межцеховой транспортировки ограничивают использование подвесных ПР. Следует отметить, что управление погрузчиками, поддержание технологических режимов в шлихтовальных машинах (управление температурой, влажностью, подачей шлихты в ШМ) осуществляется ЛСУ, программные значения которых формируются в АСУТП участка технологической обработки (шлихтование). Учет расхода шлихты, обработанных навоев, решение других организационных задач возложено на АСУП.

Как рассматривалось выше, загрузка ткацкого станка может осуществляться автоматически уточной пряжей с помощью НТПР 10 и основной пряжей с помощью погрузчиков 20. Обслуживание ТС 11 (реализация технологических режимов, диагностика работоспособности ТС и др.) обеспечивается специальными СА, которые здесь не рассматриваются. Рулоны ткани 19 с ТС 11 в тару 13, расположенную на НПУ 18, выгружаются с помощью ПР 12. Грузоподъемность ПР 12 должна соответст-

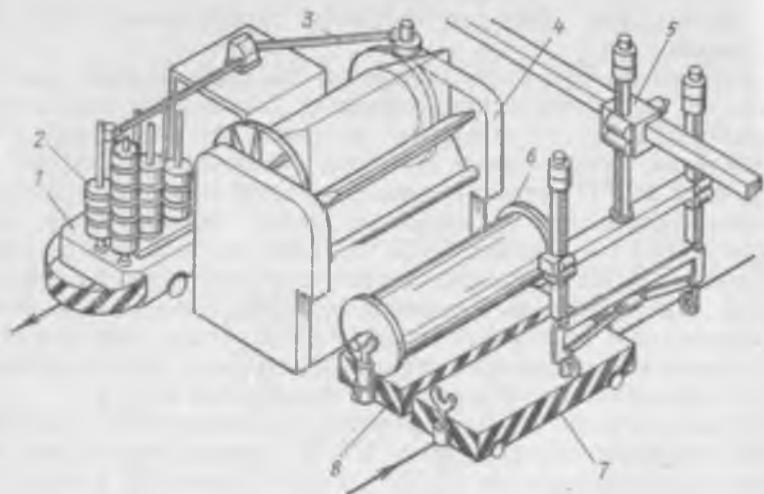


Рис. 2.4. Состав и структура РТК ткацкого производства

зовать характеристике рулона (см. табл. 2.2). Операция выгрузки рулонов возможна также в полуавтоматическом режиме с помощью манипуляторов с ручным управлением типа ШБМ (см. § 2.8 и 2.9). Тара 13 с уложенными в нее рулонами ткани 19 транспортируется с помощью НТПР 17, который доставляет ее на автоматизированный склад ткани. Технические средства автоматизированного склада ткани (НПУ 16, штабелирующее устройство 14, устройство хранения 15) и организация системы управления складами рассматриваются отдельно в гл. 3.

В качестве примера на рис. 2.4 изображена часть РТК участка ткацкого производства. Описание технических средств, представленных на рис. 2.4 (НТПР для загрузки уточной нити, погрузчик для загрузки навоев) дано в § 2.9 данной главы.

Навой 6 с пряжей основы доставляется к ткацкому станку 4 и с помощью НТПР 1 и ПР 5 большой грузоподъемности переносится с НТПР 7 на накопительно-перегрузочное устройство (НПУ) 8 или непосредственно на ткацкий станок 4. Пустые катушки после выработки пряжи основы перегружаются ПР 5 на НТПР 7 и транспортируются в цех подготовки пряжи или на межоперационный склад.

Бобины 2 с уточной пряжей доставляются к станку НТПР 1. Бобины 2 с уточной пряжей загружаются на ткацкий станок 4 с помощью манипулятора 3, смонтированного на НТПР 1. Съем пустых патронов и установка их в накопитель НТПР 1 реализуются также с помощью манипулятора 3.

Состав и структура гибкого автоматизированного (роботизированного) красильно-отделочного производства. В красильно-

отделочном производстве выполняется обработка волокна, полотен ткани, деталей трикотажных и швейных изделий и самих изделий в целом, в результате которой изменяется их цвет и изделия приобретают хороший товарный вид. К основным технологическим операциям рассматриваемого производства относится не только непосредственно само крашение, но и, например, влажно-тепловая обработка готовых текстильных изделий, сушка, аппретирование и разные физико-химико-технологические процессы.

Существуют и другие виды обработки нитей, тканей и изделий из них, такие, как крашение бобин с волокном, нанесение рисунка на ткань и стабилизация формы чулочно-носочных изделий.

К основным ручным операциям красильно-отделочного производства следует отнести загрузку и выгрузку рулонов ткани, швейных и трикотажных изделий в красильные аппараты, а также межоперационную транспортировку в тележках. Большое внимание в рассматриваемом типе производства уделяется созданию локальных систем управления технологическими параметрами красильно-отделочных машин, назначение которых — точное поддержание температурно-временных параметров, концентрации красильных растворов и их расхода.

Гибкость красильно-отделочного производства должна быть весьма высокой, что обуславливается разбросом характеристик волокна, неодинаковым составом ткани, различием характеристик красителей, требованиями разнообразия в рисунке и цвете, большим количеством поставщиков сырья, красителей и потребителей и другими факторами. Кроме того, красильно-отделочное производство относится к разряду вредных производств, в связи с чем особое внимание уделяется вопросу уменьшения обслуживающего красильно-отделочные машины персонала, развитию АСУТП крашения и отделки, а также автоматизации ручных операций на базе ПР, созданию АСУП с целью оперативного планирования и диспетчеризации производства.

Рассмотрим состав и структуру гибкого автоматизированного (роботизированного) красильно-отделочного производства на примерах производства по крашению нити в бобинах и влажно-тепловой обработки чулочно-носочных изделий после их крашения.

На рис. 2.5, а представлена линия по крашению волокна в бобинах. Из устройства хранения 1 бобины с неокрашенным волокном с помощью автоматического штабелерующего устройства 2 в таре 3 доставляются на накопительно-перегружающее устройство (НПУ) 4, с которого тара с бобинами перегружается на НТПР 5, либо на конвейер, который на рисунке не показан. Тара с НТПР 5 на НПУ 7 перегружается по роликам 6 и далее с помощью промышленного робота 8 бобины 9 с волокном — на устройство предварительной ориентации 10.

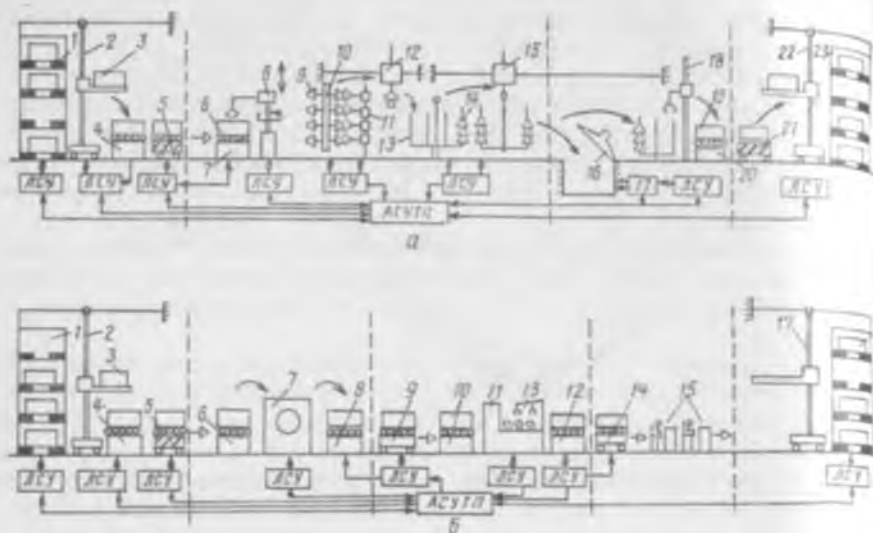


Рис. 2.5. Структура и состав гибкого автоматизированного (роботизированного) красильно-отделочного производства

Следует отметить, что иногда, когда при формировании бобин плотность намотки нити получается неравномерной, возможно сдавливание нижних слоев нити у патрона, вследствие чего происходит непрокрас нити, неравномерность качества крашения и, как следствие, большой процент брака окрашенной нити. Для уменьшения брака необходимо перед крашением сдвигать слои нити на бобине в продольном по отношению к патрону направлении. С этой целью перед крашением с помощью робототехнической системы, в которую входит ПР 8, устройство предварительной ориентации 10 и манипуляторы 11, осуществляется непосредственно обмин бобин с нитью, сдвиг слоев и обкатка бобин. Подробное описание робототехнической системы приводится в § 2.7.

После обжима бобины с нитью с помощью ПР 12 бобины доставляются на специальное загрузочно-накопительное устройство (ЗНУ) 14 и нанизываются на штыри 13 ЗНУ. Далее с помощью портального ПР 15 большой грузоподъемности (800—1000 кг) ЗНУ 14 поставляется и устанавливается в бак для крашения 16. С помощью автоматической раздаточно-дозировочной станции (АРДС) 17 в бак подаются красильный раствор и другие компоненты для химической обработки волокна. Станция АРДС 17 загружается химикатами в таре (бочки, канистры) с помощью манипулятора с ручным управлением типа ШБМ-160. Описание такого манипулятора типа ШБМ-150 приводится в гл. 3. Подобная система загрузки химреактивов на базе КШ-63

реализована в Московском промышленном ковровом объединении.

В процессе крашения параметры температуры, концентрации растворов поддерживаются локальными системами управления красильным оборудованием (ЛСУ КО). Выбор режима крашения с целью адаптации процесса крашения к разбросу параметров волокна или при изменении состава красителей реализуется с помощью АСУТП, в базах данных управляющих вычислительных машин которой хранятся параметры этих режимов.

После операции крашения ПР 15 вынимают из красильного бака 16 ЗНУ 14 и доставляют его к промышленному роботу 18, который поочередно снимает бобины с окрашенной пряжей со штырей ЗПУ, переносит и укладывает их в тару 19, установленную на НПУ 20. С НПУ 20 тара автоматически перегружается на НТПР 21, который доставляет ее к штабелирующему устройству 22, перегружающему тару в ячейки устройства хранения 23 автоматизированного склада окрашенной нити.

Таким образом, в рассмотренном случае построения гибкого автоматизированного (роботизированного) производства для крашения нитей в бобинах ПР 8, 12, 15, 18, как и штабелирующие устройства 2 и 22, выполняют функции автоматической загрузки-выгрузки бобин с нитью. Автоматические манипуляторы 11 выполняют основную технологическую операцию — обжим бобин перед крашением.

В другом случае построения гибкого автоматизированного (роботизированного) красильно-отделочного производства используются нестандартные специальные ПР для съема и укладки чулочно-носочных изделий в тару после их влажно-тепловой обработки и предыдущего крашения. На рис. 2.5,б изображена схема такого гибкого производства. Из устройства хранения 1 автоматизированного склада неокрашенных и необработанных чулочно-носочных изделий штабелирующим устройством 2 тара 3 с изделиями подается на НПУ 4, с которого автоматически перегружается на НТПР 5, доставляющий ее на НПУ 6. Далее чулочно-носочные изделия (ЧНИ) перегружаются в красильные машины 7, где проводится обработка ЧНИ красильными растворами, затем они перегружаются из красильных машин 7 на НПУ 8, откуда НТПР 9 доставляет тару с ЧНИ к НПУ 10, расположенным около машин 11, выполняющих отделочные операции. Надевание ЧНИ на формы осуществляется вручную. Съем и укладку обработанных ЧНИ в тару, установленную на НПУ 12, осуществляют встроенным промышленным роботом 13. Далее тара с ЧНИ с помощью НТПР 14 доставляется на участок разбраковки и упаковки 15 и после этого участка — на автоматизированный склад готовых изделий, включающий устройство хранения 16 и штабелирующее устройство 17.

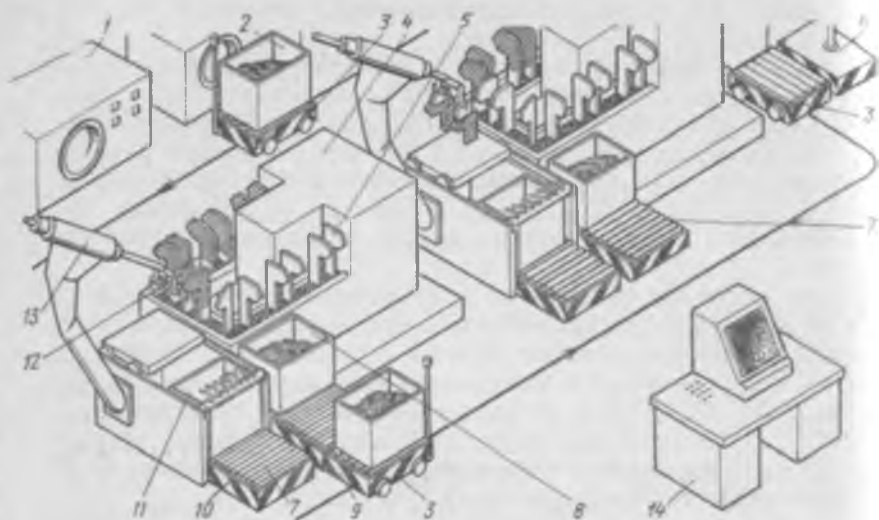


Рис. 2.6. Фрагмент гибкого автоматизированного участка красильно-отделочного производства ЧНИ

Управление штабелирующими устройствами 2 и 17, НПУ 4, 6, 8, 10, 12, НТПР 5, 9, а также машинами для отделки ЧНИ 11 и ПР 13 осуществляется своими локальными системами управления. Задание режимов работы оборудования осуществляется АСУТП.

На рис. 2.6 представлен пример компоновки автоматизированного (роботизированного) участка отделки ЧНИ. ЧНИ обрабатываются химическими растворами в красильных машинах 1 (например, типа «Калормат»), перегружаются в тару 2, установленную на НТПР 3. НТПР 3 доставляет тару к НПУ 9, куда она перегружается с помощью роликов 7. Далее работница берет из тары 8 ЧНИ и надевает их на отделочные формы 5, которые затем поступают в камеру 4 для тепловой обработки. После обработки ЧНИ в камере с формы, выходящей на позицию 12, с помощью манипулятора 13 осуществляется съем ЧНИ с формы и укладка их в тару 11, которая после заполнения автоматически выставляется на НПУ 10. С НПУ 10 по роликам тара с ЧНИ автоматически перегружается на освободившийся НТПР 3, с помощью которого тара доставляется к штабелирующему устройству 6, перегружающему ее в устройство хранения автоматизированного склада.

Управление технологическим процессом осуществляется АРМ технолога 14. Подробное описание робототехнического комплекса, включающего машину 4, манипулятор 13, устройства перегрузки, дается в § 2.5.

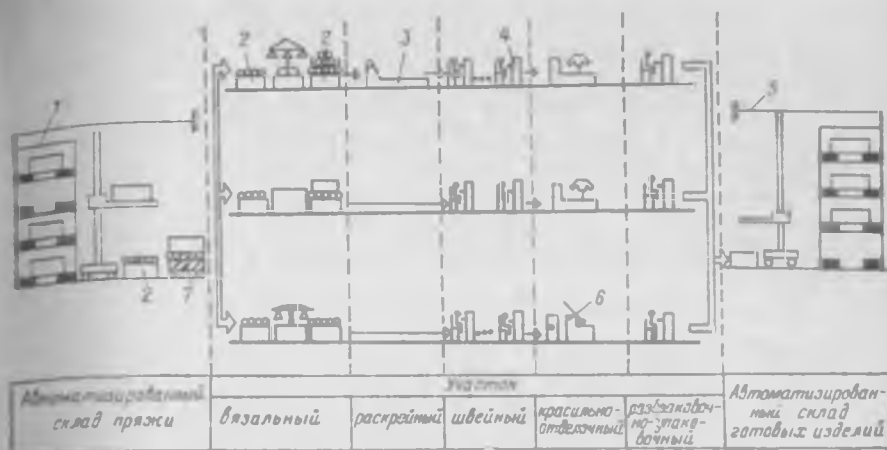


Рис. 2.7. Пример компоновки автоматизированного участка отделки ЧНИ

**Состав и структура гибкого автоматизированного (роботизированного) трикотажного производства.** Можно выделить, если рассматривать укрупненно, три основных типа технологии изготовления трикотажных изделий:

изготовление трикотажного полотна с последующим его раскромом, сборкой готовых изделий из деталей кроя на швейных машинах, крашением и отделкой готовых изделий, разбраковкой и упаковкой;

вязание отдельных деталей трикотажных изделий на специальных трикотажных машинах с последующей сборкой готовых изделий из деталей, крашением и отделкой готовых изделий, разбраковкой и упаковкой;

вязание трикотажных изделий целиком (например, ЧНИ) с последующими крашением, отделкой готовых изделий, разбраковкой и упаковкой.

Таким образом, для всех типов технологий гибкое автоматизированное (роботизированное) трикотажное производство (рис. 2.7) включает автоматизированный склад пряжи, автоматизированные вязальный, красильно-отделочный, разбраковочно-упаковочный участки и автоматизированный склад готовых трикотажных изделий. Кроме того, для первого типа технологий изготовления трикотажных изделий в состав производства входят также раскройный и швейный участки.

Если проводить укрупненный анализ, то видно, что трикотажное производство интегрирует в себе особенности структуры и состава гибких автоматизированных ткацкого, красильно-отделочного и швейного производств, из которых два уже рассматривались, а третье будет рассматриваться в § 1 следующей главы.

В построении систем автоматизации рассмотренных типов производств отражены основные положения, которые характерны и для трикотажного производства.

Специфические системы автоматизации для трикотажного производства (такие, как САПР трикотажных изделий), автоматизированная вязальная машина с электронным отбором игл, ПР для выворотки готовых трикотажных изделий (в частности, ЧНИ), АСУТП в крашении, однонастильный раскрой трикотажа и другие системы автоматизации подробно в книге не рассматриваются.

Вопросы построения автоматизированных складов пряжи 1 (см. рис. 2.7) и готовых изделий 5, а также использования НТПР 7 и накопительно-перегрузочных устройств 2, применения ПР в раскройном оборудовании 3 и на швейных участках 4, а также использование ПР 6 в красильно-отделочном производстве достаточно подробно изложены в соответствующих главах книги.

## **§ 2.2. ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ ДЛЯ ПРЯДИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

В данном параграфе нашли отражение конструктивные проработки промышленных роботов для прядельного производства. В конструкции манипулятора получил дальнейшее развитие модульный принцип построения электромеханических манипуляторов роботов для текстильной и легкой промышленности. В рамках указанного принципа разработаны и созданы действующие макеты двух манипуляционных роботов:

ЭМУ-Э1, имеющего манипулятор с шестью степенями подвижности (при грузоподъемности до 3,5 кг) и универсальной системой управления на базе микроЭВМ, который целесообразно использовать для выявления принципиальных возможностей электромеханических модульных промышленных роботов в текстильной и легкой промышленности и который в упрощенном варианте может быть использован для съема паков на прядельных машинах;

ЭМУ-Э2 модульной конструкции, имеющего четыре степени подвижности (при грузоподъемности до 25 кг) и предназначенного для смены наработанных тазов с лентой на лентоукладчиках чесальной машины, их дальнейшей транспортировки; ЭМУ-32 является разновидностью робота ЭМУ-Э1.

Ниже будут приведены результаты проработки конструкций и принципиальных электрических схем приводных модулей манипуляторов и элементов системы управления, даны компоновочные и кинематические схемы манипуляторов и компоновочные схемы РТК для прядельного производства на технологических переходах смены тазов на чесальных машинах и съема паков на прядельных машинах.

**Компоновочная и кинематическая схемы манипулятора робота ЭМУ-Э1.** Манипулятор робота построен по модульному принципу, позволяющему получать различные компоновочные схемы в зависимости от взаимного расположения двух типов модулей — поступательного и вращательного перемещения, и представляет собой механическую систему звеньев с приводами, расположенными непосредственно в шарнирах звеньев, на конце которой находится захватное устройство.

Компоновочная схема манипулятора робота ЭМУ-Э1 показана на рис. 2.8. В качестве приводов звеньев манипулятора использованы электромеханические приводные модули с двигателями постоянного тока.

Выбранная компоновочная схема манипулятора отвечает общим требованиям, предъявляемым к манипулятору, предназначенному для использования в текстильной и легкой промышленности. Большое число степеней подвижности позволяет работать в сложной пространственной зоне, обходить препятствия, обеспечивает доступ к объекту манипулирования с различных сторон и ориентацию объекта в пространстве в соответствии с технологическими требованиями выполнения операций.

Основными элементами манипулятора являются приводные модули. Модули манипулятора представляют собой устройства, в которых в качестве приводов использованы электромеханизмы, имеющие серийные двигатели постоянного тока со встроенными электромагнитными фрикционными тормозными муфтами и планетарными или цилиндрическими (в модуле вертикального поступательного перемещения) редукторами. С выходным валом редуктора каждого модуля сопряжен датчик положения, на валу двигателя модуля установлен тахогенератор. В модулях имеются элементы механической и электрической стыковки.

В манипуляторе модули формируют его состав вместе со звеньями таким образом, что корпус каждого модуля представляет собой одно целое (жестко) со своим звеном (по номеру предыдущим), а его выходной вал — одно целое (кинематически или также жестко) со звеном следующим (по номеру совпадающим). В общем случае звенья представляют собой стержни. В отдельных случаях звеном может являться сам выходной элемент предыдущего модуля. Конструкции модулей будут приведены ниже.

Горизонтальное перемещение  $h_0$  манипулятора вдоль машины обеспечивает приводной модуль  $T$  транспортной степени подвижности (см. рис. 2.8), последняя представляет собой платформу, на которой закреплен манипулятор своим основанием  $O$ . Платформа может перемещаться по монорельсу в горизонтальном направлении  $x$ .

Вертикальное перемещение «руки» осуществляется модулем  $I$  со сдвоенным электромеханизмом, закрепленным на основании манипулятора  $T$ , а значит, и на платформе транспортной степе-

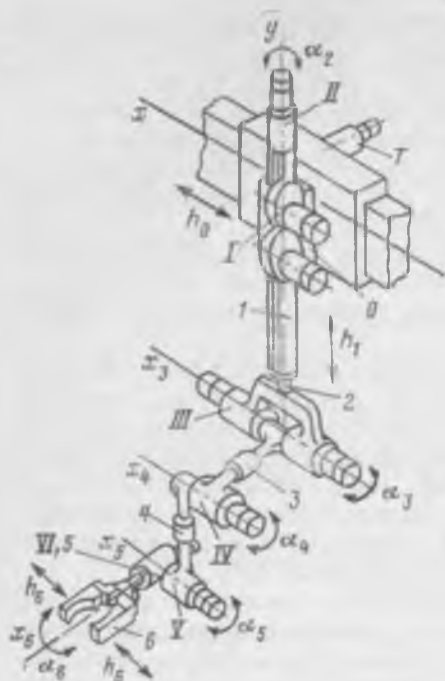


Рис. 2.8. Компоновочная схема манипулятора ЭМУ-Э1

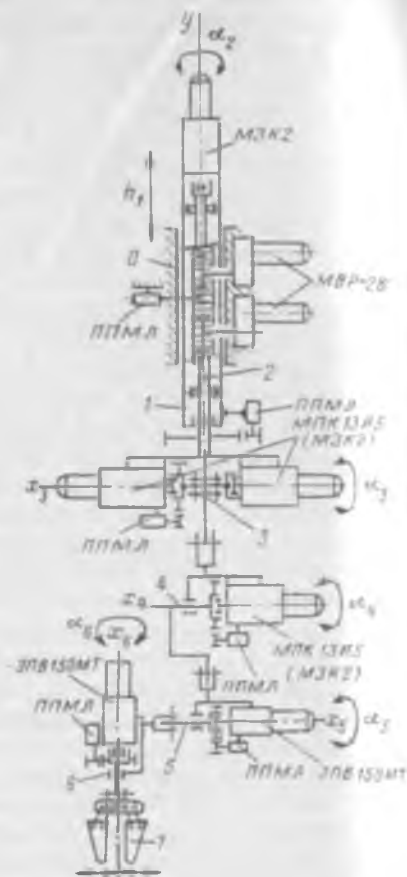


Рис. 2.9. Кинематическая схема манипулятора ЭМУ-Э1

ни подвижности. Модуль I обеспечивает перемещение звена I в направлении  $h_1$ . Следующий модуль II манипулятора является модулем поворота всей «руки» робота, и он осуществляет это движение поворотом звена 2 вокруг оси  $y$  в направлении  $\alpha_2$ . Как видно, приведенные модули вертикального поступательного перемещения и поворота руки конструктивно выполнены в едином блоке, при этом звено 2 располагается внутри звена I.

На выходном валу модуля поворота, на звене 2, установлен модуль III качания звена 3, осуществляющий поворот указанного звена и последующих звеньев в вертикальной плоскости вокруг оси  $x_3$  в направлении  $\alpha_3$ .

Последовательно с этим модулем установлены еще два модуля IV и V качания звеньев манипулятора, перемещающие звенья 4 и 5 вокруг осей  $x_4$  и  $x_5$  в направлениях  $\alpha_4$  и  $\alpha_5$  соответственно, и модуль VI ротационной степени подвижности\*, осу-

\* Модуль VI (его корпус) и звено 5 на рисунке не разделены.

существляющий вращение схвата  $b$  вокруг оси  $x_6$  в направлении  $a_6$ . На выходном валу ротационной степени подвижности установлен схват, привод схвата захватывает объекты сведения губок в направлении  $h_6$ .

Кинематическая схема манипулятора робота изображена на рис. 2.9. Как было отмечено, манипулятор робота построен по модульному принципу и включает два основных типа модулей: поступательного и углового (вращательного) перемещений. В свою очередь разработаны четыре типа вращательных модулей, отличающихся габаритными размерами, массой, развиваемыми моментами, скоростями перемещения звеньев, углами перемещения.

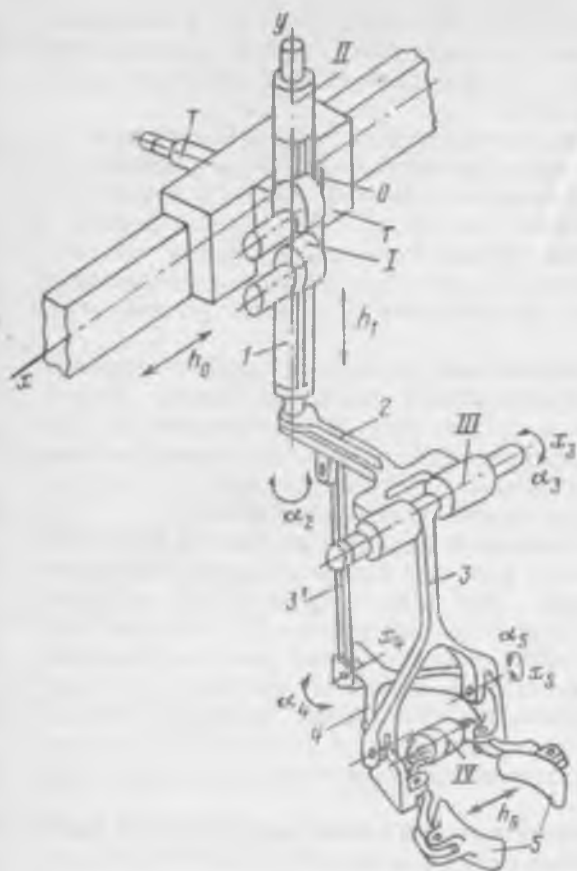
Одновременным перемещением различных звеньев возможно получить сложное пространственное движение схвата. Движения в направлениях  $h_1$  и  $a_2$  (см. рис. 2.9) используются для переноса объекта манипулирования в цилиндрической системе координат, движение остальных звеньев позволяет манипулировать с объектами в ангулярной системе координат.

В зависимости от конкретной задачи выбирается кинематическая схема манипулятора робота с использованием описанных типов приводных модулей. Это иллюстрируется на примерах двух роботов, которые можно рассматривать как частные случаи робота ЭМУ-Э1, предназначенные, как уже указывалось, для съема наработанных тазов с чесальной машины, их транспортировки и съема паковок на прядильных машинах. Оба робота рассматриваются непосредственно в составе РТС, а первый, кроме того, рассматривается самостоятельно и ему дано название ЭМУ-Э2.

Компоновочная и кинематическая схемы манипулятора робота ЭМУ-Э2. Компоновочная схема манипулятора робота ЭМУ-Э2, предназначенного для манипулирования с крупногабаритными объектами цилиндрической формы, например с тазами для пряди в прядильном производстве, показана на рис. 2.10. Робот имеет четыре степени подвижности при грузоподъемности до 25 кг. В манипуляторе робота использованы приводные модули, аналогичные приводным модулям предыдущего манипулятора. Данная компоновочная (как и показанная ниже кинематическая) схема манипулятора отвечает требованиям к манипулятору робота для смены тазов на лентоукладчиках. Введение в кинематическую схему манипулятора параллелограммного механизма с пассивным звеном  $3'$  позволило исключить приводной модуль из шарнира, а соответственно и упростить систему управления. При этом манипулятор при выполнении операций по съему и транспортировке тазов с лентой перемещается по траекториям, которые будут рассмотрены ниже.

Поступательное горизонтальное перемещение манипулятора вдоль ряда чесальных машин может происходить с помощью транспортного модуля  $T$ .

Рис. 2.10. Компонувочная и кинематическая схемы манипулятора робота ЭМУ-Э2



Поступательное вертикальное перемещение звена *I* осуществляется модулем *I* поступательной степени подвижности вертикального перемещения. Для поворота «руки» служит модуль *II* вращательной степени подвижности. Конструктивно модули этих степеней подвижности аналогичны модулям предыдущего манипулятора.

Модуль *III* качания звена *3* вынесен на консоль звена *2*. Звенья *2*, *3*, *3'*, *4* с приводом в одном из шарниров образуют параллелограммный механизм. На звене *4* расположен схват *5* с приводным модулем *IV*.

На рис. 2.11 приведена кинематическая схема манипулятора робота для смены тазов на чесальных машинах и их транспортировки.

**Приводные модули робота ЭМУ-Э1.** Приводные модули манипуляционного робота (см. рис. 2.9) построены на базе электромеханизмов типа: МЗК-2 с двигателями Д12ФТ (модуль поворота руки), МПК-13-И5 (или МЗК-2) с двигателем Д10АРУ

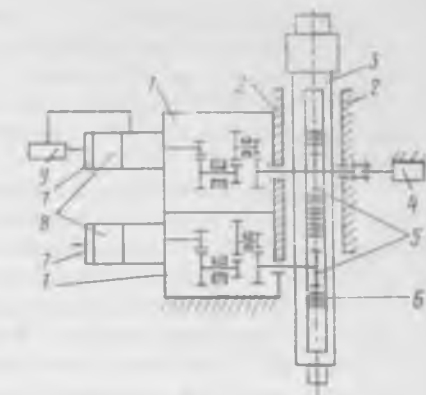
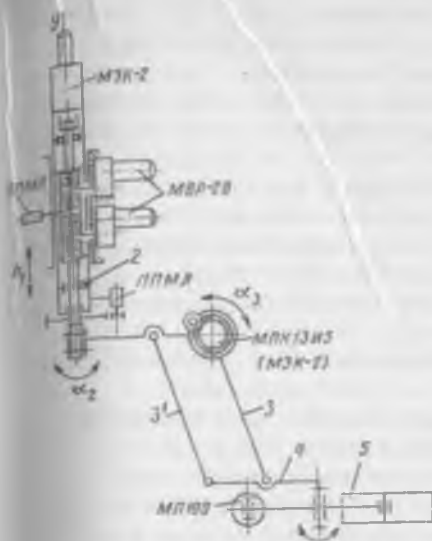


Рис. 2.12. Кинематическая схема модуля поступательного перемещения

Рис. 2.11. Кинематическая схема манипулятора робота для смены тазов на чесальных машинах и их транспортировки

или Д12ФТ (модуль качания *III* со сдвоенным электромеханизмом и модуль качания *IV*); ЭПВ-150МТ с двигателем Д14ФТ (модули качания *V* и ротации схвата *VI* манипулятора); МБР-2В с двигателем Д38 (модуль поступательного перемещения «руки» со сдвоенным электромеханизмом).

По кинематическим схемам модули имеют различия, за исключением модулей *IV* и *V* качания, схемы которых аналогичны.

Описываемые приводные модули используются в работе ЭМУ-Э2 и в работе для съема паковок.

Модуль поступательного перемещения предназначен для осуществления перемещения руки вдоль оси *y* (см. рис. 2.9). Модуль выполнен на базе двух электромеханизмов типа МБР-2В. Кинематическая схема модуля показана на рис. 2.12. Корпус 2 модуля имеет специальное крепление, посредством которого может устанавливаться на подвижную платформу, с помощью которой, например, в работе ЭМУ-Э2, происходит перемещение манипулятора робота в горизонтальном направлении. В корпусе 2 по направляющим перемещается шток 3. На штоке имеется зубчатая рейка 6, в зацепление с которой входят шестерни 5, расположенные на выходных валах цилиндрических редукторов 1 электромеханизмов. В движение шток приводится электродвигателями 8 типа Д38Т со встроенными тормозными муфтами 7. Корпуса двигателей 8 жестко соединены с корпусами редукторов 1. На выходном валу одного из редукторов находится потенциометрический датчик 4 типа ППМЛ. Обратная связь по скорости перемещения звена (штока 3) осуществляется с по-

мощью тахогенератора 9, расположенного на валу двигателя. В качестве тахогенератора используется электромашина постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов типа ДПМ-20-Н102\*. Перемещение штока 3 ограничивается конечными выключателями и демпферами-упорами, которые на схеме не показаны.

Максимальное перемещение штока 3, ограниченное конечными выключателями и упорами, не более 720 мм; полезное усилие продольного перемещения, обеспечиваемое приводами модуля, 600 Н; скорость перемещения 0,2 м/с.

Масса модуля поступательного вертикального перемещения вместе с модулем поворота руки 35 кг.

Модуль поступательного перемещения конструктивно скомпонован с модулем поворота руки в единый механизм.

*Модуль II поворота руки* предназначен для осуществления вращения (поворота) руки относительно оси  $y$  (см. рис. 2.8). Кинематическая схема модуля поворота руки показана на рис. 2.13. Двигатель 8 со встроенной электромагнитной фрикционной тормозной муфтой 9, расположенной на валу двигателя, жестко соединен с многоступенчатым (на рисунке показана часть ступеней) планетарным редуктором 7 и образует с ним единый блок. К выходному валу редуктора посредством шлицевого соединения 6 пристыкован вал 5, проходящий внутри цилиндрического штока 4. Внутри штока вал расположен в радиально-упорных подшипниках 12, предотвращающих осевое сме-

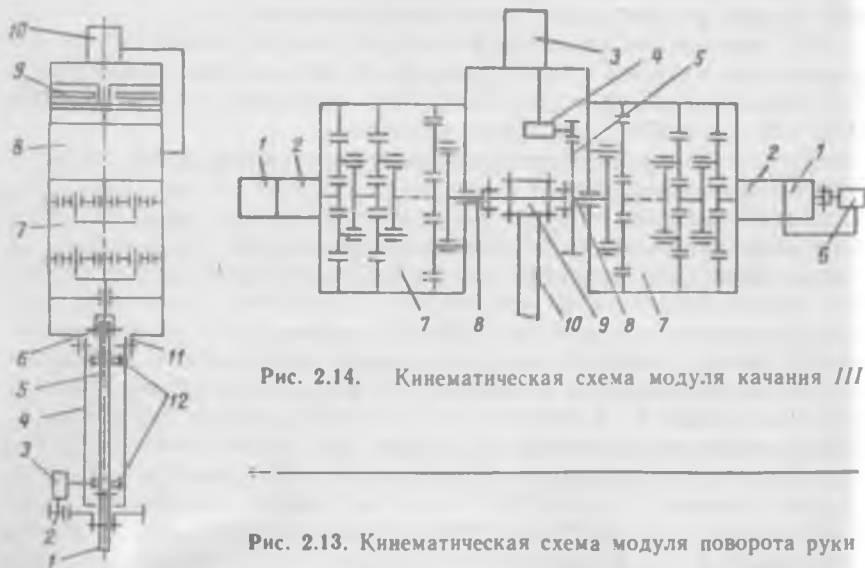


Рис. 2.14. Кинематическая схема модуля качания III

Рис. 2.13. Кинематическая схема модуля поворота руки

\* Тахогенераторы данного типа используются во всех модулях.

шение вала. С электромеханизмом шток 4 соединен фланцем 11. На выходном конце 1 вала 5 устанавливается последующий модуль руки. Зубчатая передача 2, выполненная на разрезных подпружиненных зубчатых колесах, служит для передачи вращения вала 5 на потенциометрический датчик 3 типа ППМЛ, закрепленный на корпусе редуктора. Обратная связь по скорости перемещения вала 5 осуществляется тахогенератором 10, соединенным с выходным валом двигателя модуля.

Модуль поворота руки обеспечивает вращение на угол до 5,76 рад. Номинальный момент, развиваемый приводом поворота, 25 Н·м. Скорость перемещения вала 5 не более 0,417 рад/с.

Модуль III качания предназначен для вращения (качания) звена 3 (см. рис. 2.8) относительно оси, перпендикулярной плоскости качания.

Кинематическая схема модуля качания III изображена на рис. 2.14. В модуле использованы два электромеханизма. Двигатели 2 со встроенными тормозными муфтами 1 через планетарные многоступенчатые (на рис. 2.14 показана часть ступеней) редукторы 7 приводят во вращение валы 8, которые жестко соединены между собой шлицевым валом 9. На валу 8 закреплен стыковочный узел 10, предназначенный для подсоединения последующего модуля и являющийся (см. рис. 2.8) звеном 3 манипулятора. Стыковочный узел 3 (см. рис. 2.14) предназначен для соединения с предыдущим модулем (модулем поворота руки и поступательного вертикального перемещения). Зубчатая передача 5 служит для передачи вращения вала 8 на потенциометрический датчик положения звена 4 типа ППМЛ.

Обратная связь по скорости перемещения звена осуществляется тахогенератором 6, расположенным на выходном валу двигателя модуля.

Угол поворота выходного вала приводного модуля ограничен конечными выключателями и упорами. Применение сдвоенного электромеханизма, работающего на один вал, позволяет получить нужный вращающий момент.

Максимальный угол поворота модуля, ограниченный конечными выключателями и упорами, 3,14 рад. Момент, развиваемый модулем, 56 Н·м; скорость углового перемещения с электромеханизмами типа МЭК-13И5 не более 0,265 рад/с, с электромеханизмами типа МЭК-2 — 0,415 рад/с. Масса модуля 5,9 кг.

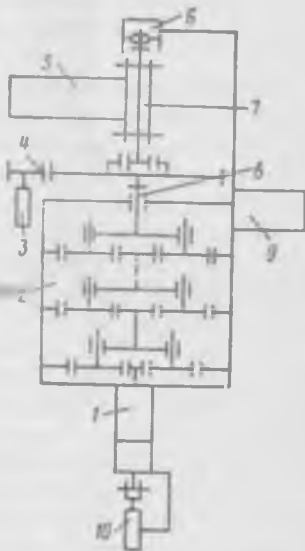


Рис. 2.15. Кинематические схемы приводных модулей качания IV и V

*Модуль IV качания* качает звено 4 (см. рис. 2.8), а *модуль качания V* ориентирует схват. Приводные модули IV и V качания имеют аналогичные кинематические схемы (рис. 2.15).

Двигатель 1 модуля IV через многоступенчатый (на рис. 2.15 показана часть ступеней) планетарный редуктор 2 приводит во вращение выходной вал 8, соединенный со шлицевым валом 7. Второй конец вала 7 закреплен в радиально-упорном подшипнике 6. На валу 7 расположен стыковочный узел 5, предназначенный для соединения с последующим модулем (звеном). Стыковочный узел 9 служит для соединения со своим звеном в одно целое.

Датчиком положения звена служит многооборотный потенциометр 3 типа ППМЛ, соединенный зубчатой передачей 4 с выходным валом редуктора электромеханизма. Зубчатая передача выполнена на разрезных подпружиненных зубчатых колесах, исключающих люфт в зацеплении.

Обратная связь по скорости перемещения звена в модуле осуществляется с помощью тахогенератора 10, расположенного на выходном валу двигателя модуля.

Углы поворота приводных модулей ограничены конечными выключателями и упорами.

Максимальный угол поворота выходного вала модуля качания IV, ограниченный конечными выключателями и упорами, около 3,14 рад. Вращающий момент, развиваемый приводом модуля, 28 Н·м; скорость углового перемещения звена с электромеханизмом типа МПК-13И5 не более 0,265 рад/с; с электромеханизмом типа МЗК-2 — 0,415 рад/с; масса модуля качания 3,4 кг.

Максимальный угол поворота выходного вала модуля V качания, ограниченный конечными выключателями и упорами, 3,14 рад. Вращающий момент, развиваемый приводом модуля, 15 Н·м; скорость углового перемещения выходного вала не более 0,65 рад/с; масса модуля качания V 1,8 кг.

*Модуль IV ротации схвата* предназначен для вращения схвата относительно продольной оси модуля при ориентации объекта манипулирования (см. рис. 2.8). Кинематическая схема модуля приведена на рис. 2.16.

Двигатель 4 со встроенной тормозной муфтой 5 через планетарный редуктор 3 приводит во вращение выходной вал 9, соединенный со шлицевым валом 10, на конце которого закреплен схват 11. Узел 6 служит для стыковки модуля ротации схвата со своим звеном в одно целое.

Датчиком положения схвата служит многооборотный потенциометр 7 типа ППМЛ. Вращение выходного вала модуля передается на датчик через зубчатую пару 8. Для исключения люфта в зубчатом зацеплении использовано разрезное зубчатое колесо. Угол поворота схвата ограничен конечными выключателями и упорами 2.

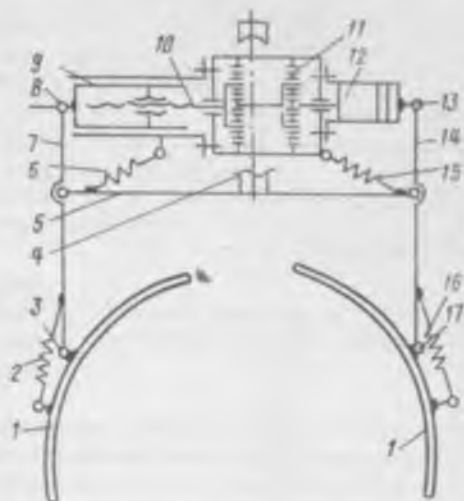
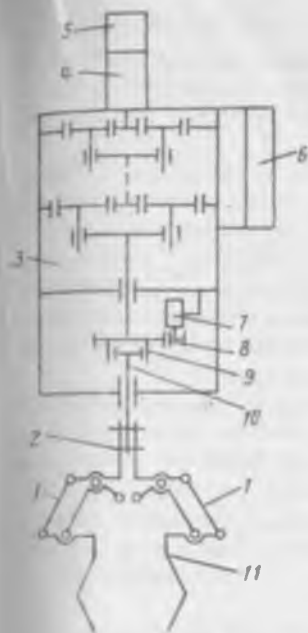


Рис. 2.17. Кинематическая схема модуля схвата

Рис. 2.16. Кинематическая схема модуля ротации схвата

Максимальный угол поворота схвата, ограничен конечными выключателями и упорами, 6,28 рад. Вращающий момент, развиваемый приводом модуля ротации схвата, 15 Н·м. Скорость углового перемещения выходного вала модуля 0,65 рад/с.

В качестве привода схвата использованы электромагниты. Усилие перемещения якорей электромагнитов посредством тяг передается рычагам 1. Сами электромагниты на рисунке не показаны.

Масса модуля со схватом 2,3 кг.

**Приводные модули робота ЭМУ-Э2.** Приводные модули I, II и III робота ЭМУ-Э2 аналогичны соответствующим модулям робота ЭМУ-Э1 (см. рис. 2.13 и 2.15). Пояснения необходимы только по модулю схвата.

В модуле использован электромеханизм типа МП 100 с двигателем Д10 АРУ. Кинематическая схема модуля схвата приведена на рис. 2.17. Двигатель 12 со встроенной тормозной муфтой через планетарный редуктор (на рис. 2.17 показана часть ступеней редуктора) 11 и винтовую пару 10 перемещает шток 9. Электромеханизм через шарниры 8 и 13 соединен с коромыслами 7 и 14, которые в свою очередь шарнирно соединены между собой стержнем 5. На стержне 5 имеется стыковочный узел 4 для соединения со звеном 3' параллелограмма (см. рис. 2.11).

Губки 1 схвата (см. рис. 2.17) шарнирно закреплены на коромыслах 7 и 14 и удерживаются в открытом состоянии пружинами 2 и 15.

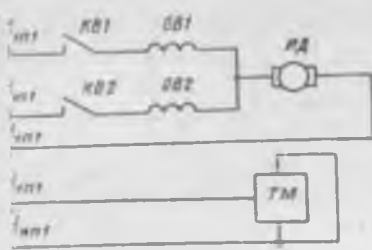


рис. 2.18. Общая схема включения двигателя модуля // поворота руки

нами 2 и 12. Для обеспечения самоориентации схвата электромеханизм модуля закреплен на пружинных растяжках 6 и 15.

Размер сведения губок схвата определяется ходом штока 9, перемещение которого ограничивается конечными выключателями. Установкой упоров на конечных выключателях можно изменять перемещение штока.

Максимальное перемещение бок схвата вдоль линии, соединяющей центры шарниров 3 и 4 составляет 150 мм. Диаметр тазов, на которые рассчитан ват (200—470 мм), устанавливается сменой коромысел 7 и 14 или, развиваемое приводным модулем при удержании объекта манипулирования (таза с лентой) и направленное по линии, проходящей через центры шарниров 3 и 17, составляет 250—300 Н. Масса модуля схвата 7,2 кг.

**Электрические схемы включения двигателей приводных модулей манипуляторов.** В приводных модулях манипуляторов используются современные двигатели постоянного тока с расщепленной сериесной обмоткой возбуждения (ОВ1 и ОВ2) и встроенной электромагнитной фрикционной тормозной муфтой ТМ, выдающие повышенными мощностями. В качестве примера на рис. 2.18 приведена достаточно общая схема включения двигателя модуля // поворота «руки».

Все двигатели приводных модулей работают следующим образом. При протекании тока через главную цепь двигателя — обмотку возбуждения ОВ1 и якорь двигателя — происходит вращение вала двигателя в одну сторону, при включении обмотки ОВ2 и якоря двигателя осуществляется реверс.

Для управления электромеханизмами используют усилитель-преобразовательные устройства с квазилинейным законом усиления и релейным законом регулирования, а также нелинейные корректирующие устройства. Усилительно-преобразовательные и корректирующие устройства выбирались в зависимости от требуемых характеристик манипуляторов.

#### Техническая характеристика работы ЭМУ-31

|                                            |     |
|--------------------------------------------|-----|
| Масса груза, кг                            | 3,5 |
| Число программируемых степеней подвижности |     |
| всего                                      | 7   |
| транспортирующих                           | 5   |
| ориентирующих                              | 2   |

|                                     |                     |
|-------------------------------------|---------------------|
| Тип привода                         | Электромеханический |
| Точность позиционирования, мм       | $\pm 1$             |
| Время, с                            |                     |
| подъема-опускания на 400 мм         | 2                   |
| поворота «руки» на 3,14 рад         | 3,2                 |
| качания модуля на 1,57 рад          | 3,8                 |
| »       »       » 1,57 рад          | 2,4                 |
| ротации схвата на 3,14 рад          | 4,8                 |
| Тип системы программного управления | Цикловая            |
| Стойка циклового управления         | УЦМ-663             |
| Датчики положения                   | Типа ППМЛ           |
| Мощность, потребляемая, кВт         |                     |
| приводами манипулятора              | 0,5                 |
| системой управления                 | 0,5                 |
| Масса, кг                           |                     |
| манипулятора                        | 61                  |
| системы управления                  | 120                 |

#### *Техническая характеристика робота ЭМУ-32*

|                                            |                     |
|--------------------------------------------|---------------------|
| Масса груза, кг                            | 25.                 |
| Число программируемых степеней подвижности |                     |
| всего                                      | 4                   |
| транспортирующих                           | 4                   |
| ориентирующих                              | —                   |
| Тип привода                                | Электромеханический |
| Точность позиционирования, мм              | $\pm 2$             |
| Тип системы программного управления        | Цикловая            |
| Стойка циклового управления                | УЦМ-663             |
| Мощность, потребляемая, кВт                |                     |
| манипулятором                              | 0,4                 |
| системой управления                        | 0,4                 |
| Масса, кг                                  |                     |
| манипулятора                               | 53                  |
| системы управления                         | 62                  |

Примечание. Датчики положения используются такие же, как и в ЭМУ-Э1, а характеристики быстродействия совпадают с соответствующими данными по тому же роботу ЭМУ-Э1.

**Компоновочные схемы РТК в прядильном производстве.** На базе разработанных роботов возможно создание РТК в прядильном производстве. Предлагаются компоновочные схемы РТК для хлопкопрядильной фабрики «Возрождение» и Люберецкого коврового комбината. На Люберецком ковровом комбинате прошел испытания опытный РТК для смены тазов на чесальных машинах.

Один из вариантов схемы транспортировки тазов и расположения манипуляционного робота ЭМУ-Э2 относительно технологического оборудования — чесальных машин с лентоукладчиками — показан на рис. 2.19, а. Чесальные машины 1 запитываются волокном по пневмопроводам 2 через бункерные питатели

Рис. 2.18. Робот  
ЭМУ-Э2.

и — схема трансфор-  
тировки тазов в рас-  
положении робота;  
б — пример компонов-  
ки манипулятора

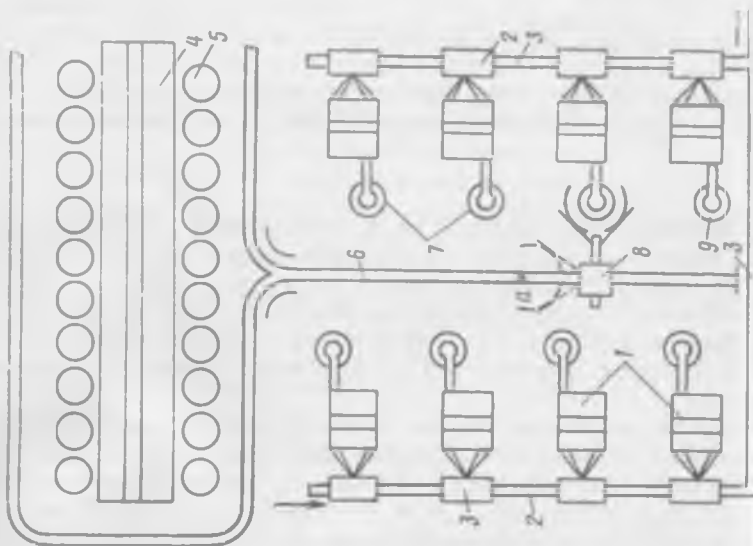
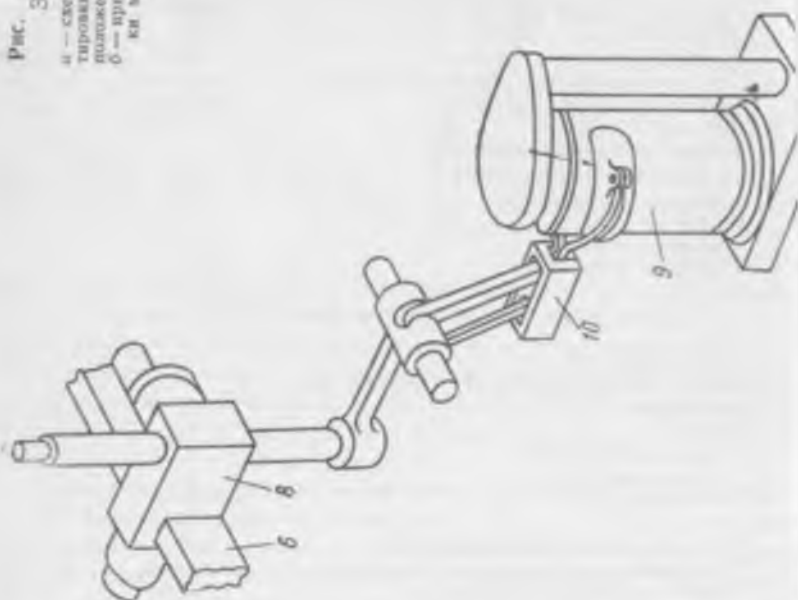
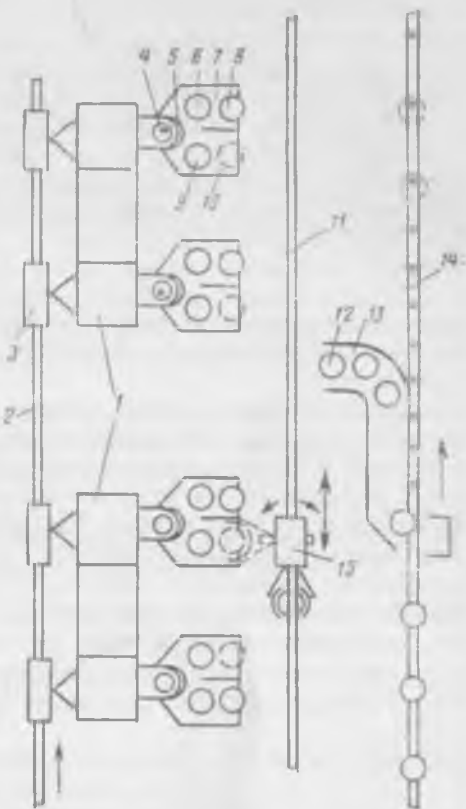


рис. 2.20. Вариант схемы транспортировки тазов с лентой от лентоукладчиков типа ВУ4

ли 3. Лента с чесальных машин 1 через лентоукладчики 7 укладывается в тазы 9. Манипулятор 8, перемещаясь по монорельсу 6, доставляет пустые тазы 5 с ленточной или прядильной машины 4 к лентоукладчикам 7. Заменяв очередной наработанный таз пустым, манипулятор доставляет таз с лентой к ленточной или прядильной машине 8.

На рис. 2.19, б изображена возможная компоновка манипулятора 8 робота ЭМУ-Э2, относительно лентоукладчика 7 типа ЛУ. Манипулятор робота установлен на транспортном модуле Т, звено которого перемещается по монорельсу 6. Манипулятор со специальным захватным устройством 10 позволяет заменять наработанный таз 9 пустым с последующей передачей полного таза на ленточную или пневмомеханическую прядильную машину. Отсечка ленты после наработки таза, заправка ее в пустой таз после его установки на лентоукладчик могут происходить автоматически при установке несложной дополнительной оснастки на головке лентоукладчика 7.

Вариант схемы транспортировки тазов с лентой от лентоукладчиков типа ВУ4 показан на рис. 2.20. Чесальные машины 1 запитываются волокном по пневмопроводу 2 через бункерные питатели 3. Лента с каждой чесальной машины 1 через свой лентоукладчик 4 укладывается в таз 5. После наработки в лентоукладчике таз автоматически заменяется. Полные тазы 6 и 8 устанавливаются в промежуточный накопитель 7 для полных тазов, а из промежуточного накопителя 10 для пустых тазов подается в лентоукладчик пустой таз 9. Манипулятор 15, перемещаясь по монорельсу 11, доставляет пустые тазы 12 из накопителя 13 и устанавливает их в промежуточные накопители 10 лентоукладчиков, а из промежуточных накопителей 7 полные



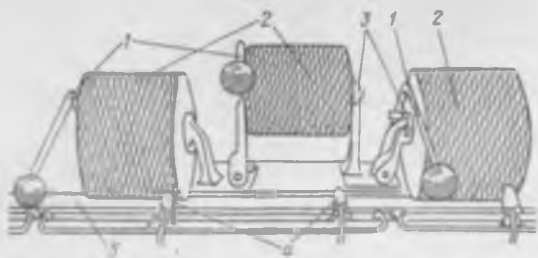


Рис. 2.21. Рабочее место  
прядельной машины

тазы 8 поставляются манипулятором 15 на транспортер 14 при полном использовании возможностей кинематической цепи манипулятора.

Кроме РТК для смены тазов на лентоукладчиках чесальных машин возможно использование разработанного робота ЭМУ-Э1 в составе РТК для съема наработанных бобин с прядельных машин, укладки их на встроенный транспортер и перекладку бобин с транспортера в тару. Рассмотрим эти операции. На рабочем месте прядельной машины (рис. 2.21) происходит наработка бобины (паковки). Пряжа подается к бобине через укладчик 4, совершающий возвратно-поступательное движение. Бобина 2 при намотке вращается, прижимаясь к вращающемуся мотальному валу 5. При этом рычаг 1 должен быть опущен.

После наработки паковки бобина автоматически откидывается от мотального вала. Снимается бобина отжатием рычага 1 в сторону на небольшой угол. При этом конусы 3 разжимаются и освобождают бобину. Бобина вынимается из конусов и укладывается на встроенный в машину и расположенный за линией бобин транспортер, доставляющий бобину к торцу машины, где она укладывается в тару.

На рис. 2.22 показана возможная компоновка манипулятора робота относительно прядельной машины. Манипулятор 2 может перемещаться вдоль прядельной

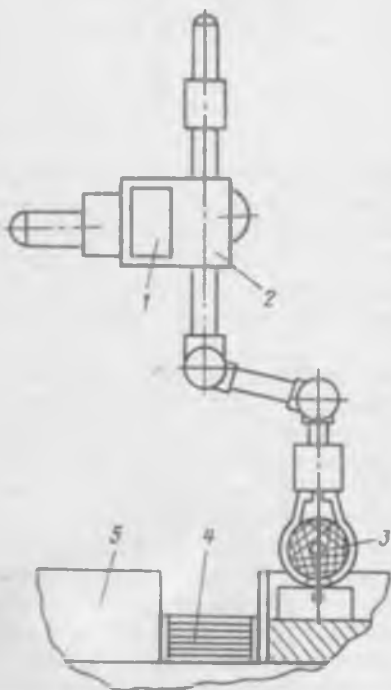


Рис. 2.22. Вариант компоновки манипулятора робота относительно прядельной машины

машины 5 по монорельсу 1. После наработки паковки 3 и ее автоматического откидывания вверх срабатывает датчик, сигнализирующий о необходимости съема бобины. Сигнал с датчика поступает в систему управления робота, и манипулятор перемещается вдоль машины к наработанной бобине. Выполняя съем бобины, манипулятор укладывает ее на транспортер 4, отводящий паковки к месту укладки в тару. Для укладки готовых бобин в тару может быть использован робот с аналогичной компоновкой манипулятора, который необходимо помещать с торца машины. Этот РТК (робот для съема бобин, робот для укладки бобин в тару, прядильная машина) должен быть оснащен системой датчиков. Информация с датчиков поступает в систему управления РТК, обрабатывающую информацию и выбирающую программу управления.

В качестве системы управления может быть использована серийно выпускаемая электронной промышленностью система цифрового программного управления УЦМ-663.

### **§ 2.3. РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ УЧАСТКА УПАКОВКИ И ПАКЕТИРОВАНИЯ БОБИН С НИТЯМИ И ПРЯЖЕЙ**

Рассматриваемый РТК может использоваться для упаковки и пакетирования бобин с нитями и пряжей, изготовленных из материалов различной физической природы. Удобно обратиться к описанию подобного РТК, получившего распространение в производстве химических нитей.

Типовая (для указанного производства) схема участка сортировки и упаковки продукта показана на рис. 2.23.

Технологический процесс состоит из следующих операций:

сортировщик 1 снимает бобины с нитями с цехового транспортера, определяет вид ассортимента, оценивает сортность и устанавливает бобины на сортировочный стол (сортировочный стол изготовлен в виде находящихся один над другим дисков уменьшающегося диаметра; каждому виду и сорту ассортимента соответствует свой диск; сортировочных столов может быть несколько);

упаковщик 2 вращает сортировочный стол, снимает с него бобины одного ассортимента и сорта, устанавливает их на технологический стол, заворачивает в конденсаторную бумагу и устанавливает по шесть штук на весы;

учетчица 3 снимает показания весов, вычитает массу конденсаторной бумаги и пустых патронов, выписывает ярлык, передает перегрузчику 4 и заполняет общую ведомость на всю партию продукции;

перегрузчик 4 разворачивает картонную коробку, укладывает ее на рольганг, перегружает в нее с весов бобины с нитями, устанавливает прокладки и фиксаторы, наклеивает на коробку ярлык и сталкивает ее по рольгангу на ленточный конвейер;

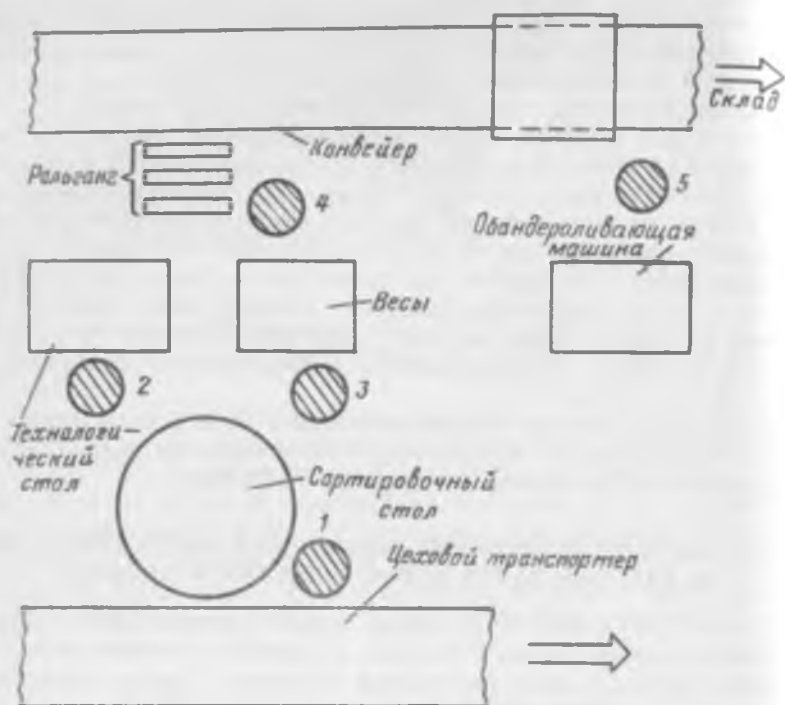


Рис. 2.23. Типовая схема участка сортировки и упаковки бобины

пройдя на конвейере через обандероливающую машину, которую обслуживает один оператор 5, коробки с бобинами попадают в склад, где их вручную снимают с конвейера и укладывают в штабеля;

при отгрузке продукции коробки вручную по одной штуке укладывают в транспортные средства.

Проведенный анализ технологического процесса позволяет сделать вывод, что операция сортировки является наиболее сложной с точки зрения автоматизации. Задача еще более усложняется многосортицей и значительным ассортиментом продукции на предприятиях по производству химических волокон (нитей). Таким образом, задача автоматизации операции сортировки требует сложнейших технических и программных средств, что делает ее на данном этапе работ неразрешимой. Кроме того, многосортица продукции значительно усложняет автоматизацию работы упаковщика 2. Следовательно, возникает необходимость в сохранении всего сортировочного узла (сортировщик, упаковщик, сортировочный стол). Однако дальнейшая часть технологического процесса может быть механизирована с приме-

нением автоматизации в результате использования РТК. Действительно, операция перегрузки бобин в коробки вполне может быть механизирована при использовании ПР, а остальное содержание технологического процесса требует применения блок-пакетной технологии при транспортировке и складировании с выполнением обандероливания сразу для всего блок-пакета. Переход к РТК, с другой стороны, требует применения вместо нежестких и дорогих картонных коробок специальной тары.

Из приведенного следует, что задача построения РТК в виде механизированной линии распадается на две подзадачи: разработка новой тары для упаковки бобин с нитями; разработка РТК.

Новая тара, являющаяся базовым элементом РТК, должна отвечать следующим требованиям: стабильность размеров, жесткость, герметичность, пригодность к пакетированию, приспособленность к захвату манипулятором, многооборотность (многократное использование до четырех-пяти лет, удобство при обратной транспортировке — возврате тары в смысле габаритных размеров и взаимной упаковки элементов тары при отсутствии бобин).

В лаборатории механизации производственного объединения «Химволокно» (г. Мытищи) разработана тара, удовлетворяющая всем заданным требованиям. Тара представляет собой полимерный ящик, состоящий из двух одинаковых деталей (поддона и крышки), каждая из которых выполнена в виде корытообразного лотка, имеющего трапециевидную форму, обеспечивающую компактность при обратной транспортировке порожней тары (лотки укладываются один в другой).

На днище с наружной и внутренней стороны имеются участки гладкой поверхности для вакуум-схватов ПР. На внутренней поверхности днища расположены узлы фиксации бобин, выполненные в виде конических выступов и являющиеся одновременно узлами фиксации самого лотка на накопителе, транспортере и т. д. в зависимости от компоновки РТК; на наружной поверхности находятся элементы пакетирования тары, выполненные в виде многочисленных малогабаритных выступов типа «шип-паз» с определенным шагом в продольном и поперечном направлениях. Наличие таких элементов обеспечивает формирование блок-пакетов (фиксация на крышке нижнего ящика верхнего поддона) с предотвращением их смещения в горизонтальном направлении. Для обеспечения монолитности (предотвращение вертикального перемещения) блок-пакета он стягивается обвязочной лентой. Для укладки ленты на наружных поверхностях лотков предусмотрено пять полос, свободных от выступов «шип-паз». Для обеспечения необходимой жесткости лоток снабжен ребрами и отбортировками.

Комплекс РТК предназначен для упаковки бобин с нитями в полимерные ящики и формирования блок-пакета (пакетиро-

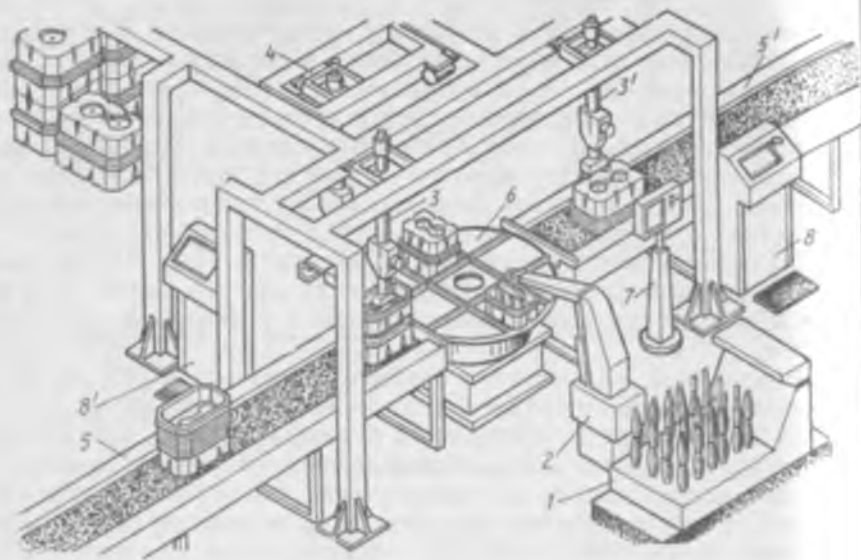


Рис. 2.24. Общая компоновочная схема РТК

вания) для дальнейшей транспортировки. Общая компоновочная схема РТК представлена на рис. 2.24. В состав РТК (см. рис. 2.24) входит следующее оборудование:

1 — автоматическая транспортная тележка для доставки нитей (пряжи) из прядильного цеха на участок упаковки;

2 — ПР типа ТУР-10 для съема бобин с нитями с транспортной тележки и укладки в поддон тары;

3, 3' — специализированные ПР типа МУП-1 (модульный универсальный пакетирующий) для подачи на поворотный стол поддонов и крышек полимерной тары, оснащенные вакуумными захватными присосками;

4 — специализированный ПР типа МУП-2 (модульный универсальный пакетирующий) для съема ящика тары с продукцией с поворотного стола и формирования блок-пакетов (пакетирования) из полимерной тары, оснащенный клещевым устройством для захвата ящика за отбортировки;

5, 5' — конвейеры для транспортировки поддонов и крышек ящиков (тары);

6 — тактовый поворотный стол (модернизированная разработка ВПТИ «Электро»);

7 — система управления ПР ТУР-10 (стойка позиционного управления);

8, 8' — системы управления специализированными ПР типов МУП-1 и МУП-2, тактовым поворотным столом и конвейерами (стойка циклового управления УЦМ-663).

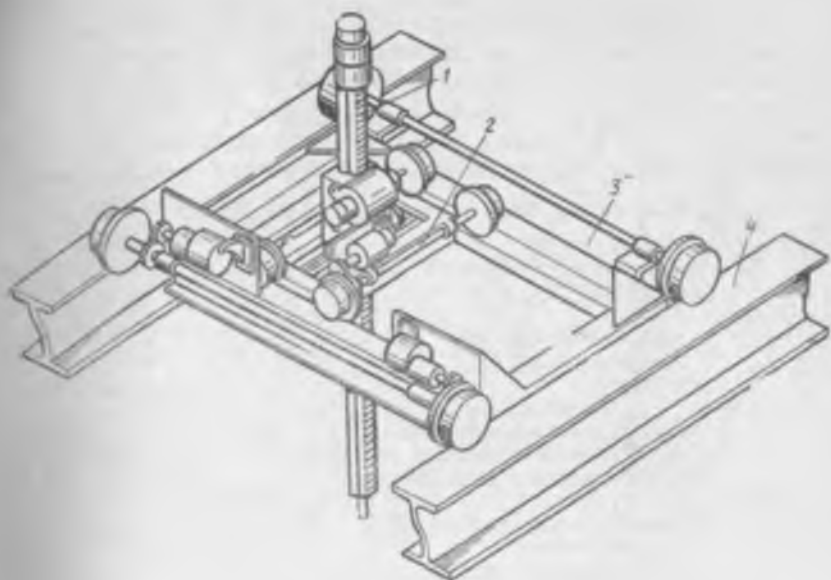


Рис. 2.25. Вариант компоновки специализированного ПР МУП-2

Комплекс работает следующим образом. После нажатия кнопки «Пуск» на пульте оператора стойки управления 8 происходит перемещение конвейеров 5 и 5', на которых находятся блоки поддонов и крышек тары (по 10—15 шт.). При их приближении к концам конвейеров срабатывают датчики наличия поддонов и крышек в зонах съема. Далее по команде от УЦМ-663 ПР 3 захватывает вакуумными присосками один поддон ящика, устанавливает его на поворотный стол 6 и возвращается в исходное для захвата следующего поддона положение. В это время на поворотном столе срабатывает датчик наличия на нем поддона тары и по сигналу от УЦМ-663 8 стол 6 поворачивается на 90° и включается программа работы ПР ТУР-10, который специальными захватами снимает три бобины и укладывает в тару, разворачивается, берет другие три бобины и помещает их в следующий ряд поддона. После этого стол поворачивается на 90° и в работу подключается ПР 3', который берет из блока крышку, накрывает нижнюю часть тары (поддон) и возвращается в исходное положение. При этом поворотный стол поворачивается на 90° и к работе комплекса подключается специализированный ПР 4, который опускается, специальным клещеобразным захватным устройством поднимает упакованный ящик с пряжей и по заложенной программе формирует блок-пакет ящиков с пряжей. В дальнейшем сформированный пакет стягивается обвязочной лентой и при помощи вильчатого погрузчика доставляется на склад готовой продукции.

При разработке данного робототехнического комплекса были использованы модули электромеханических промышленных роботов модульной конструкции ЭМУ-Э1 и ЭМУ-Э2 (см. § 2.2). Вариант компоновки специализированного ПР МУП-2 дан на рис. 2.25, где 1 — модуль вертикального перемещения; 2 — модуль поперечного перемещения; 3 — каретка; 4 — направляющие.

#### *Техническая характеристика ПР МУП-2*

|                                            |                      |
|--------------------------------------------|----------------------|
| Масса груза, кг                            | 30                   |
| Число программируемых степеней подвижности |                      |
| всего                                      | 4                    |
| транспортирующих                           | 3                    |
| ориентирующих                              | 1                    |
| Тип привода                                | Электрический        |
| Точность позиционирования, мм              | ±1                   |
| Тип системы программного управления        | Цикловой             |
| Стойка циклового управления                | УЦМ-663<br>(УЦМ-100) |
| Мощность, потребляемая, кВт                |                      |
| манипулятором                              | 0,4                  |
| системой управления                        | 0,4                  |
| Масса, кг                                  |                      |
| манипулятора                               | 75                   |
| системы управления                         | 62                   |

#### **§ 2.4. РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ СЪЕМА И ТРАНСПОРТИРОВКИ РОВНИЦЫ**

После предварительной обработки волокна, получения ленты на чесальной машине и последующей технологической обработки ленты на ленточных и ровничных машинах (см. § 2.2) полученный полуфабрикат поступает на прядильные машины в виде ровничных катушек, представляющих собой намотанную на металлические стержни длиной до двух метров ровницу. Диаметр намотки 0,5 м, масса ровничной катушки до 15 кг (см. табл. 2.2).

Межцеховая транспортировка ровничных катушек к прядильным машинам обычно осуществляется люлечными цепными транспортерами. Съем с люльки транспортера, доставка и установка ровничных катушек на прядильные машины являются тяжелыми ручными операциями. Кроме того, различные группы ровничных машин вырабатывают ровницу с определенными физико-механическими свойствами, т. е. с конкретным номером, каждому из которых при прядении соответствует известная группа прядильных машин. Таких номеров может быть до десяти.

В процессе съема, доставки и установки ровничных катушек на определенных группах прядильных машин кроме этого необходимо сортировать ровничные катушки по соответствующим номерам группы ровничных машин.

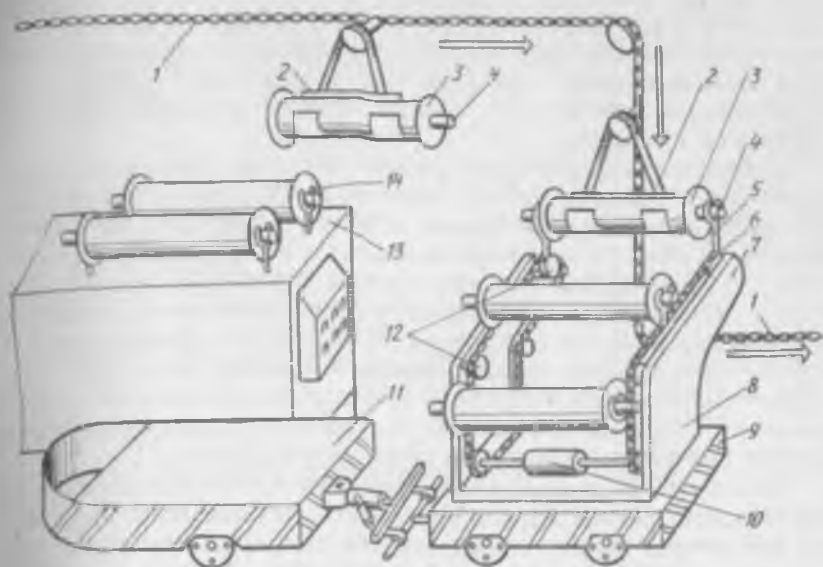


Рис. 2.26. Общая компоновочная схема РТК

Указанные операции реализуются робототехнической системой (рис. 2.26), в состав которой входят: цепной транспортер 1 с подвешенными на него люльками 2, в которых перемещаются ровничные катушки 3; автоматическое накопительно-перегружающее устройство (АНПУ) 8, состоящее из подвижного основания 9, внутри которого располагается индивидуальный источник энергообеспечения (аккумулятор, на рис. 2.26 не показан) и индивидуальный привод 10 АНПУ станины 7, к которой прикреплены ролики 12 цепной ленты 6. На цепной ленте 6 находятся держатели 5 ровничных катушек. АНПУ 8, выполняющее функции ПР, может перемещаться от места загрузки ровничных катушек с транспортера 1 к прядильным машинам с помощью напольного транспортного робота (НТПР) 11 грузотянущего типа (см. § 5.3).

Кроме транспортера 1, АНПУ 8 и НТПР 11 в состав рассматриваемой РТС входит группа прядильных машин 13, на которые перегружаются ровничные катушки с АНПУ 8. Управление РТК осуществляется локальной системой управления.

Если все ровничные катушки идут с одной группы ровничных машин, то сьем катушек происходит последовательно по следующему алгоритму.

Ровничная катушка 3, расположенная в люльке 2 транспортера 1 в зоне установки АНПУ 8 опускается вертикально вниз. При этом концы стержней 4 катушки входят в паз держателей 5 и под действием собственного веса замыкают контакты микровыключателей, расположенных на держателе 5. При замыкании

контактов подается сигнал на индивидуальный привод 10, который, поворачивая ролики 12, перемещает цепную ленту 6 на один шаг, выставляя при этом паз последующего держателя 5 на исходную позицию для захвата концов стержней следующей ровничной катушки.

Более сложный алгоритм работы системы управления и, следовательно, порядок работы элементов РТК реализуется в случае необходимости сортировки ровничных катушек по группам машин. В этом случае каждая люлька 2 снабжается адресоносителем, фиксирующим номер группы ровничных машин, с которых снимаются и подвергаются транспортировке ровничные катушки. В зоне расположения АНПУ 8 устанавливается устройство считывания адреса (номера ровничной катушки). В начальном положении держатель 5 не доходит до позиции «вылавливания» стержня 4 ровничной катушки 3 (остается расстояние, равное половине промежутка между держателями 5).

При входе люльки 2 в зону действия АНПУ с помощью устройства считывания адреса происходит считывание номера группы ровничных машин с адресоносителя. В случае совпадения номера с требуемым включается двигатель привода 10, перемещающий цепную ленту 6 вместе с закрепленным на ней держателем 5 на длину, равную половине промежутка между держателями, тем самым выставив пазы держателя 5 под концы стержней 4 ровничной катушки. Далее, так же как и в предыдущем случае, концами стержней замыкаются контакты микровыключателей и держатель 5 вместе с находящейся в нем ровничной катушкой перемещается на половину промежутка между держателями.

После съема четырех ровничных катушек одной группы ровничных машин выдается сигнал управления НТПР на транспортировку АНПУ 8 к соответствующей прядильной машине 13, где осуществляется перегрузка ровничных катушек на держатель 14 прядильной машины.

#### **§ 2.5. РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ СЪЕМА И УКЛАДКИ ЧУЛОЧНО-НОСОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Робототехнический комплекс (РТК) для съема и укладки чулочно-носовых изделий (ЧНИ) (рис. 2.27) состоит из чулочно-носовой отделочной машины 7 (ЧНО-86), на которой выполняются отделочные операции изготовления ЧНИ, автоматического манипулятора 1 со спаренным захватным устройством 2; приемного (переориентирующего) устройства 4 с кареткой 3, перемещающегося в плоскости, перпендикулярной плоскости рисунка; накопительного устройства 5 со съемной парой; монтажного каркаса 6, а также системы программного управления ЭЦПУ-6030М. Составные части РТК, представляющие единое целое, ниже рассматриваются более подробно.

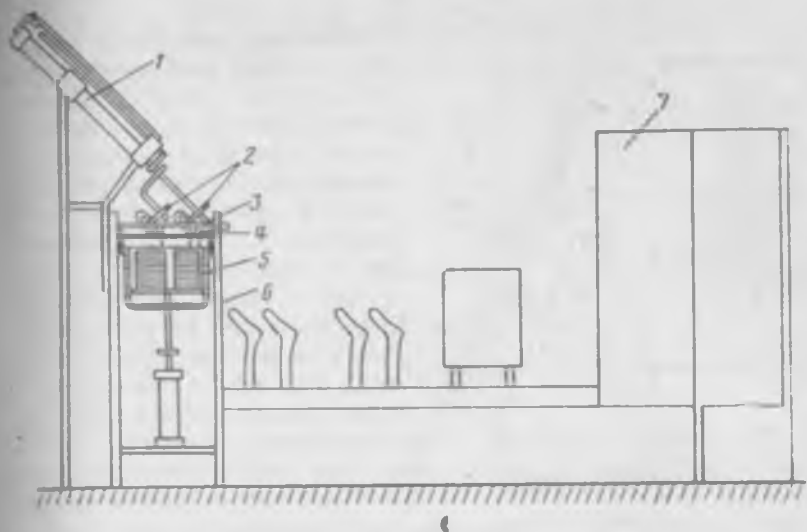


Рис. 2.27. РТК для съема и укладки ЧНИ

Технологический цикл машины, входящей в состав РТК, разбит на четыре зоны (рис. 2.28). В первой зоне 1 подготовленные к обработке ЧНИ вручную наделяются на отделочные формы, во второй 2 надетые на формы ЧНИ подвергаются тепловой обработке, в третьей 3 гладятся, в четвертой зоне 4 выполняются автоматический съем ЧНИ с отделочных форм и дальнейшая укладка их в тару. В четвертой зоне установлен датчик (на рисунке не указан), подающий сигнал системе управления о входе отделочных форм в зону.

Манипулятор (рис. 2.29) предназначен для попарного (с двух отделочных форм одновременно) съема ЧНИ после отделки и переноса их в зону действия приемного устройства. Манипулятор состоит из руки 5, спаренного захватного устройства 8 и опорной стойки 9.

Рука манипулятора служит для возвратно-поступательного перемещения захватного устройства по наклонной траектории в

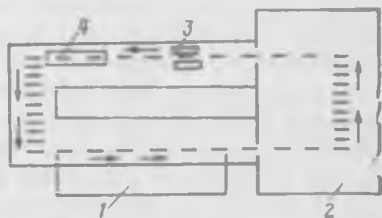
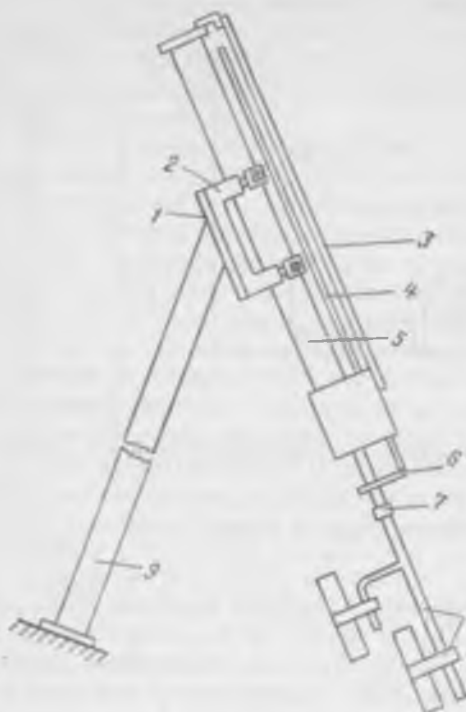


Рис. 2.28. Технологический цикл машины, входящей в состав РТК

Рис. 2.29. Схема манипу-  
гора для попарного съема  
ЧНИ



процессе съема с отделочных форм ЧНИ и транспортировки их в зону действия приемного устройства. Она представляет собой длинноходовой пневмоцилиндр двустороннего действия с выдвижным штоком, на конце которого закрепляется спаренное захватное устройство 8. В торце штока предусмотрено резьбовое углубление для установки соединительной муфты 7. Рука 5 закреплена с помощью кронштейна 2 на верхнем фланце 1 опорной стойки 9 под углом  $45^\circ$  к горизонтали для обеспечения соответствия траектории движения захватного устройства принятой траектории съема ЧНИ, отвечающей конфигурации отделочных форм. Реактивная рейка 4 соединена со штоком пневмоцилиндра с помощью серьги 6. Рейка предназначена для предотвращения поворота штока, частичной разгрузки последнего при его выдвижении, а также для определения положения штока путем взаимодействия с датчиками, установленными на линейке зон 3. Реактивная рейка перемещается в пазу, выполненном в передней крышке пневмоцилиндра. Для снижения сил трения в паз впрессована фторопластовая втулка прямоугольного сечения. Линейка зон крепится к крышкам пневмоцилиндра.

*Захватное устройство* (рис. 2.30) предназначено для попарного захвата ЧНИ, съема с отделочных форм и переноса их в зону действия приемного устройства. Захватное устройство со-

стоит из двух одинаковых схватов клещевого типа. Зажимные губки 3 крепятся на планках 2 и 4, причем планка 4 подвижная, а планка 2 неподвижная. Зажим осуществляется подвижной планкой 4. Неподвижная планка 2 с помощью жестко прикрепленных к ней кронштейнов 1 типа «хомут» монтируется на ветке несущей рамы 7, выполненной из сплавов алюминия трубчатого сечения. Подвижная планка шарнирно соединена с неподвижной с помощью шарнира 6. Размеры зажимных губок выбирают исходя из линейных размеров объекта манипулирования.

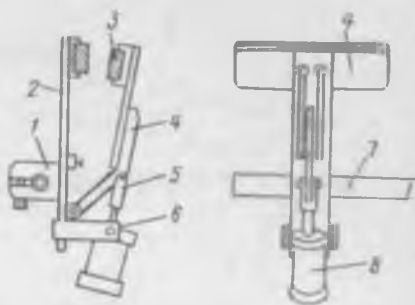


Рис. 2.30. Схема захватного устройства

Для предотвращения проскальзывания при съеме и повреждении ЧНИ при зажиме к внутренним (рабочим) поверхностям зажимных губок приклеены накладки из микропористой резины.

Движение подвижных планок осуществляется индивидуальным пневмоцилиндром 8 одностороннего действия с возвратной пружиной. Пневмоцилиндр шарнирно прикреплен к неподвижной планке. Движение штока пневмоцилиндра сообщается подвижной планке через наконечник 5, соединенный с рычагом подвижной планки. В торце несущей рамы захватного устройства со стороны соединения со штоком пневмоцилиндра руки выполнено резьбовое углубление, предназначенное для стыковки захватного устройства с соединительной муфтой.

Конструктивное исполнение захватного устройства позволяет в зависимости от размера снимаемых с отделочных форм ЧНИ регулировать расстояние между схватами и высоту крепления зажимных губок с помощью кронштейнов и продольных пазов, выполненных на планках. Для определения наличия или отсутствия ЧНИ на отделочных формах в зажимные губки схватов смонтированы датчики, что позволяет относить данное захватное устройство к числу тактильных. Эти датчики выполнены в виде двух электродов, к которым подводится электрическое напряжение. При отсутствии ЧНИ на формах электроды замыкаются через материал отделочных форм и образуют электрическую цепь. Захватное устройство также оснащено датчиками положения зажимных губок (зажаты, разжаты).

Для максимального уменьшения общей массы захватного устройства, что имеет важное значение при большом выдвигании штока пневмоцилиндра руки, зажимные губки, несущая рама и корпуса пневмоцилиндров схватов выполнены из сплавов алюминия. Для безударного останова штока в конце хода в пневмоцилиндре руки использованы гидравлические амортизаторы.

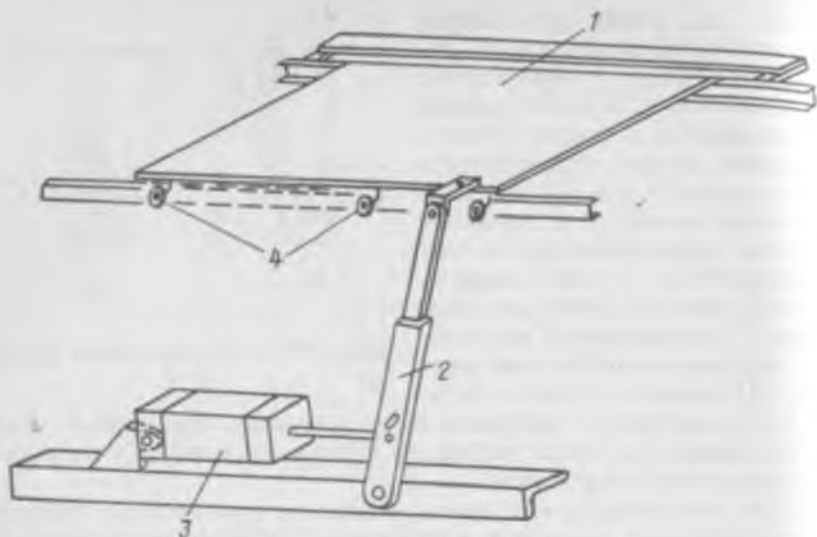


Рис. 2.31. Схема приемного устройства

*Опорная стойка*, являющаяся частью монтажного каркаса, выполнена из стальных фасонных профилей (швеллер, двутавр и др.) трубы.

Стойка крепится к основанию здания с помощью анкерных болтов через нижний фланец и распорных штанг к раме машины ЧНО-86.

*Приемное устройство* предназначено для перевода (переориентации) ЧНИ, находящихся в захватном устройстве манипулятора (после съема с отделочных форм и переноса в зону действия приемного устройства) в вертикальном положении, в горизонтальное и транспортировки их в зону действия накопительного устройства.

Приемное устройство (рис. 2.31) состоит из каретки 1, телескопического рычажного механизма 2 и пневмоцилиндра 3. Каретка выполнена из листового армированного слоистого пластика. Размеры каретки выбраны исходя из максимальных линейных размеров ЧНИ, обрабатываемых на машине ЧНО-86, и составляют 6×500×550 мм. Каретка имеет две группы роликов 4 (по три ролика в каждой), обеспечивающих возможность перемещения каретки в горизонтальных направляющих П-образного сечения.

*Механизм перекладки* (рис. 2.32) служит для перекладки ЧНИ с каретки в специальную съемную тару и состоит из лапок 3, прикрепленных к стержню 2, смонтированному на стойках 1, монтажного каркаса с возможностью поворота вокруг горизонтальной оси.

Поворотный рычаг 4 жестко прикреплен к стержню, с помощью которого последний соединяется со штоком 5 пневмоцилиндра 6. Пневмоцилиндр 6 одностороннего действия с возвратной пружиной посредством шарнира установлен на стойке монтажного каркаса.

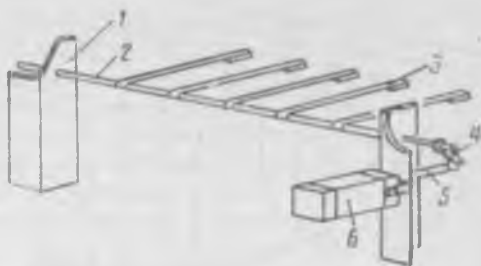


Рис. 2.32. Механизм перекладки

К рабочим концам лапок прикреплены «подушки» из микропористой резины для улучшения сцепления лапок с перекладываемыми ЧНИ, а сами лапки выполнены из упругой стальной ленты толщиной 0,7—1 мм шириной 5 мм. Механизм перекладки также оснащен датчиками положения лапок и счетчиком переложения в тару ЧНИ.

Специальная съёмная тара из полистирола предназначена для хранения и транспортировки ЧНИ, вложенных в нее в процессе укладки. Габаритные размеры тары 500×550×400 мм. Дно тары имеет поперечные прорезы, необходимые для прохода решетчатой платформы. Тара своими бортиками вставляется в направляющие, расположенные ниже направляющих каретки. Направляющие снабжены датчиками наличия и отсутствия тары в отсеке.

Механизм накопления (рис. 2.33) для равномерного накопления ЧНИ в таре в процессе укладки состоит из решетчатой платформы 1, пневмоцилиндра 4, тормозного пневмоцилиндра 3, линейки зон 5.

Решетчатая платформа выполнена из калиброванных стальных прутков диаметром 5 мм. Расстояние между шпильками выбрано таким образом, чтобы была исключена возможность провала ЧНИ в промежутки между шпильками. Решетчатая платформа смонтирована на торце штока пневмоцилиндра через фланец 2, приваренный к нижней перекладине.

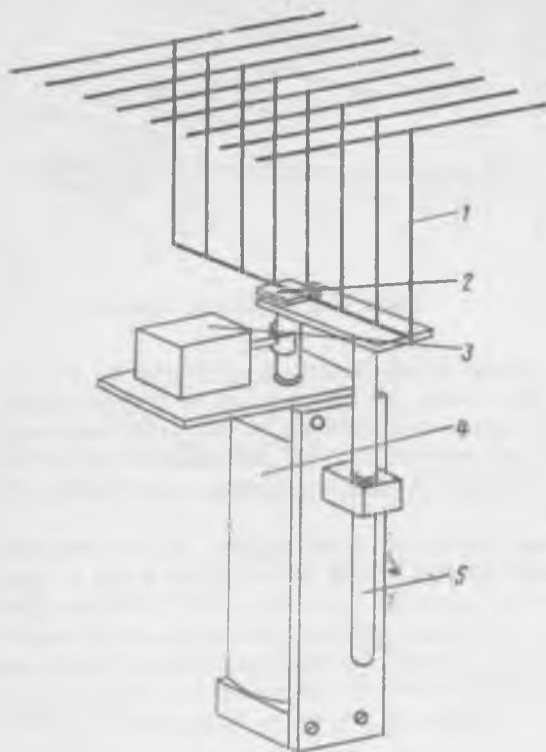
Пневмоцилиндр 4 двустороннего действия с выдвижным штоком служит для подъема и опускания решетчатой платформы и вертикально установлен на раме монтажного каркаса.

Тормозной пневмоцилиндр 3 одностороннего действия с возвратной пружиной служит для торможения хода штока пневмоцилиндра в целях обеспечения жесткости в дискретности опускания решетчатой платформы по мере накопления ЧНИ в таре.

В начале цикла работы комплекса РТК его составные части занимают следующие положения:

манипулятор (см. рис. 2.29) — шток пневмоцилиндра руки с захватным устройством находится в верхнем положении, губки схватов разжаты, контакты датчика верхнего положения штока

Рис. 2.33. Накопительное устройство



ка замкнуты, а контакты датчиков положения зажимных губок схватов разомкнуты;

приемное устройство (см. рис. 2.32) — каретка находится в правом крайнем положении (над тарой), контакты датчика правого крайнего положения каретки замкнуты;

накопительное устройство (см. рис. 2.33) — лапки механизма перекладки подняты, контакты датчика верхнего положения лапок замкнуты, пустая съемная тара установлена в направляющие (в товарный отсек), контакты датчика наличия тары замкнуты, шток пневмоцилиндра механизма накопления с прикрепленной к его торцу решетчатой платформой выдвинут в верхнее крайнее положение, решетчатая платформа находится на уровне верхних краев борта тары, контакты датчика верхнего положения штока пневмоцилиндра замкнуты, шток пневмоцилиндра механизма накопления заторможен тормозной колодкой пневмоцилиндра торможения. Терминология «контакты датчиков замкнуты и разомкнуты» — условная.

При входе отделочных форм в зону 4 (см. рис. 2.28), где происходит съем ЧНИ, по сигналу датчика зоны 4 рука манипулятора с захватным устройством выдвигается вниз в направлении

отделочных форм. По достижении захватным устройством отделочных форм по сигналу датчика нижнего положения руки манипулятора губки схватов зажимаются. При этом, если на формах отсутствуют изделия (пустые формы), электроды датчика наличия или отсутствия замыкаются через отделочные формы и подают сигнал на разжатие губок схватов вновь для пропуска пустых форм. При наличии изделий на формах по сигналу датчиков положения губок схватов подается команда на перемещение захватного устройства вверх, при котором ЧНИ снимаются с отделочных форм и одновременно транспортируются в зону действия приемного устройства.

Когда захватное устройство со снятыми ЧНИ достигнет верхнего крайнего положения, по сигналу датчика верхнего положения подается команда приемному устройству. Пневмоцилиндр приемного устройства через телескопический рычажный механизм перемещает каретку справа налево в направлении захватного устройства с ЧНИ, которые своими нижними частями окажутся на каретке, а верхними частями еще находятся в схватах. Еще до прихода каретки в крайнее левое положение по сигналу датчика среднего положения губки схватов разжимаются и ЧНИ плавно ложатся на движущуюся каретку без складок. При переходе каретки в левое крайнее положение датчик подает сигнал на возврат каретки на исходную позицию. По сигналу датчика четвертой зоны, как было показано выше, манипулятор снимает и транспортирует следующую пару ЧНИ. По достижении захватным устройством со снятыми ЧНИ верхнего крайнего положения по команде системы управления шток пневмоцилиндра механизма перекладки поворачивает стержень по часовой стрелке, вследствие чего лапки опускаются на ЧНИ, разложенные на каретке приемного устройства. В дальнейшем при перемещении каретки справа налево для укладки очередной пары на каретку, как было описано выше, одновременно происходит перекладка предыдущей пары ЧНИ, которые лежат на каретке, с каретки на решетчатую платформу. После полной укладки очередной пары ЧНИ на каретку по сигналу датчика крайнего левого положения приемного устройства система управления формирует команду на подъем лапок, потом по сигналу датчика верхнего положения лапок на возврат каретки на исходную позицию.

Процесс поддержания уровня укладки ЧНИ на решетчатую платформу и накопления происходит следующим образом: при перемещении каретки по сигналу датчика подблока системы управления, размещенного на линейке зон приемного устройства, шток пневмоцилиндра вертикального перемещения растормаживается и под действием давления в верхней полости опускается в течение времени замкнутого состояния контактов датчика. Давление сжатого воздуха в верхней полости пневмоцилиндра вертикального перемещения решетчатой платформы подбирает-

ся таким образом, чтобы за время замкнутого состояния контактов датчика подблоска системы управления решетчатая платформа опустилась на высоту уложенных на нее ЧНИ. В дальнейшем весь процесс съема и укладки повторяется до заполнения тары, что соответствует нижнему крайнему положению решетчатой платформы или же штока пневмоцилиндра вертикального перемещения, датчик которого подает звуковой и световой сигналы оператору, обслуживающему РТК. Специальная съемная тара после заполнения снимается с направляющих, а на ее место устанавливается пустая тара, после чего весь цикл работы РТК возобновляется и протекает в указанной последовательности.

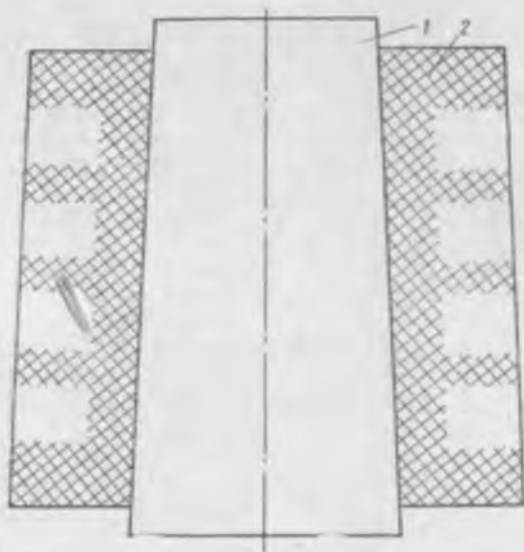
ЧНИ, уложенные в тару, подсчитываются электронным счетным устройством, которое получает сигнал от датчика нижнего положения лапок механизма перекладки.

В качестве системы автоматического управления для реализации требуемой траектории движения рабочих органов устройств и механизмов РТК для съема и укладки ЧНИ, а также для автоматического управления РТК в целом использована цикловая система управления (стойка циклового управления ЭЦПУ-6030).

## **§ 2.6. РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОБЖИМА БОБИН В КРАШЕНИИ**

Структура бобины (рис. 2.34) представляет собой сложное пористое тело намотки 2. Основным показателем структуры тела намотки бобины является плотность. Важно знать не только среднее значение плотности, но и характер ее распределения в продольном и радиальном направлениях, а также объемную долю межнитевых пор — пористость. Практика показывает, что плотность бобины неравномерна. Этот дефект получается естественным образом при намотке бобины и усиливается при последующей обработке. Существуют зоны повышенной плотности, а соответственно малой пористости: в продольном направлении — с торцов тела намотки бобины и в местах пересечения нитей, а в радиальном направлении — слои у перфорированного патрона 1.

В момент крашения раствору красителя необходимо пройти и заполнить все поры сложной структуры бобины. Пористость, таким образом, характеризует свойство распределения потока красителя через тело намотки бобины. Ввиду неравномерной пористости тела намотки неравномерным получается и распределение красителя, отсюда возникает непрокрас (оттеночность, пестрость) в более плотных зонах, точнее, у перфорированного патрона, в торцах бобины и в местах пересечения нитей бобины. Для полного прокраса необходим равномерный поток красителя через весь объем тела намотки бобины.



Сначала рассмотрим пути снижения непрокраса у торцов. Для снижения непрокраса с торцов тела намотки бобины применяют механический обжим бобин конусами, что приводит к деформации торцов. Эта дополнительная стадия формирования бобин перед крашением придает торцовым участкам криволинейные очертания и создает благоприятные условия для более равномерного распределения потока красителя через тело намотки бобины.

Реализовать механический обжим бобин конусами можно на РТК (рис. 2.35), в состав которого входят: устройство позиционирования *I*, на котором фиксируется транспортное средство *II* с размещенным на нем объектом обработки — бобиной; промышленный манипулятор *III* с программным управлением; упор *IV* и обжимная стойка *V*; технологическая оснастка в зоне механического обжима.

Составные части РТК представляют единое целое и ниже рассматриваются более подробно. Технологический цикл РТК как совокупность периодически повторяющихся операций состоит в следующем: первая операция осуществляет позиционирование транспортного средства в зоне работы РТК; вторая выполняет автоматический съем бобины с транспортного средства и перемещает бобину в зону механического обжима; третья реализует механический обжим бобины; последняя, четвертая, операция перемещает обработанную бобину из зоны механического обжима и автоматическим навешиванием бобины возвращает ее к транспортному средству. Далее цикл повторяется по отношению к следующему ряду бобин. Отметим, что все пневмоцилиндры, используемые в РТК, двустороннего действия.

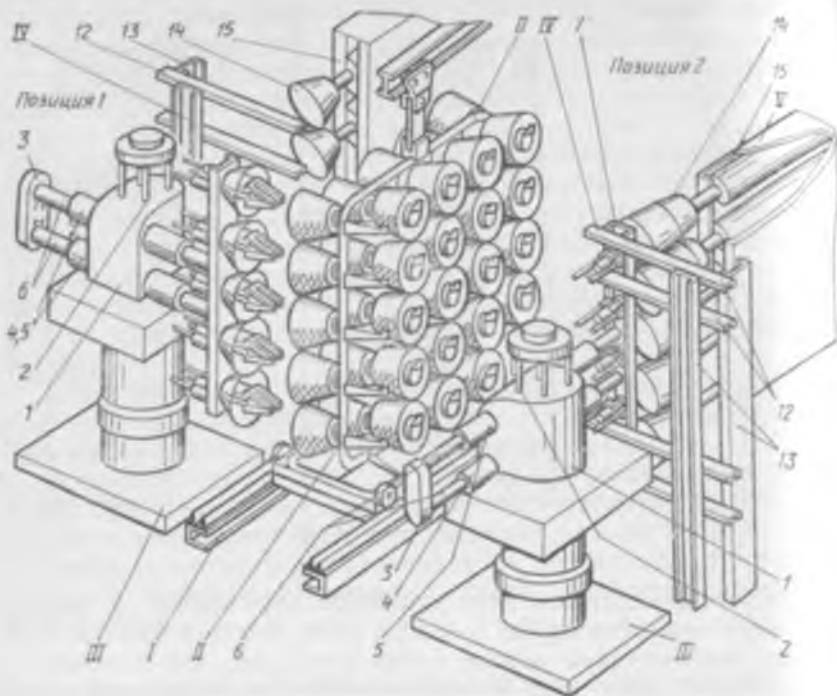


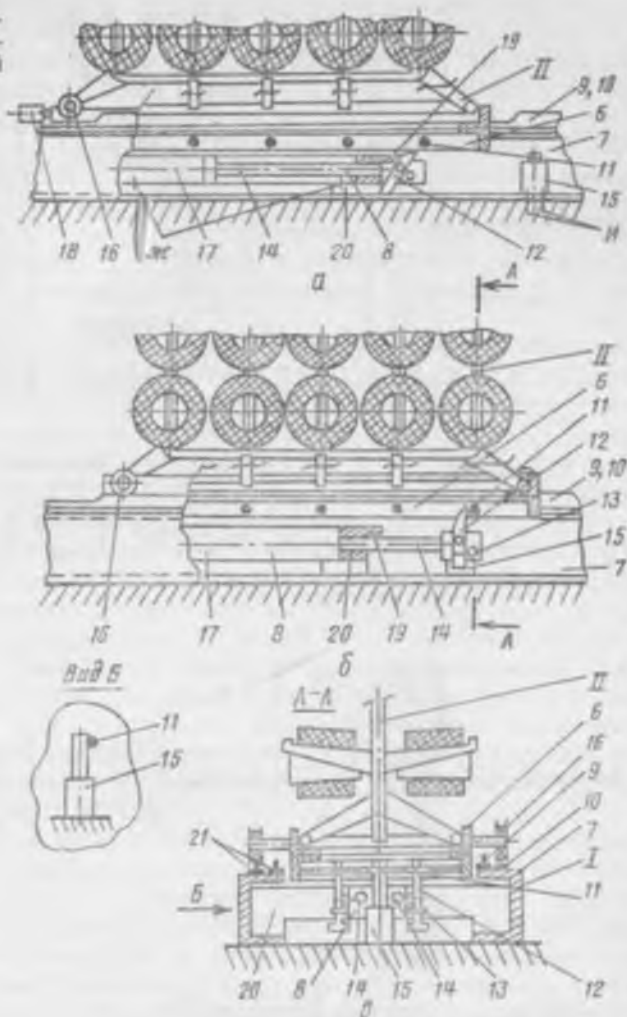
Рис. 2.35. РТК для операции «обжим» бобин

Рассмотрим более подробно элементы конструкции РТК (рис. 2.36 и 2.37).

Устройство позиционирования *I* состоит из рамы *7*, заделанной в фундамент, по направляющим *9* и *10* которой перемещается подвижная тележка *6*, приводимая в движение приводом *8*. Устройство позиционирования *I* предназначено для принудительного подъема подвижной тележки *6* из-за профилированных выступов направляющих. При этом подвижная тележка *6* увлекает за собой транспортное средство *II*. В последующем периодическим смещением подвижной тележки *6* вдоль направляющих с шагом, равным расстоянию между вертикальными рядами бобин на транспортном средстве *II*, обеспечивается периодический выход рядов бобин в плоскость размещения в начале и в конце цикла механизмов захвата на промышленном манипуляторе *III* и автоматический съем бобин с транспортного средства *II* и их возврат.

Рама *7* (см. рис. 2.36) выполнена из стального фасонного профиля (уголок, швеллер и т. д.) в виде двух параллельных балок, на верхних гранях которых жестко крепятся направляющие *9* и *10* соответственно для передних и задних роликов по-

Рис. 2.36. Устройство позиционирующей подвижной тележки РТК



движной тележки 6. Направляющие изготовлены из стального тавра с переменным профилем ребра, т. е. в зоне позиционирования ребро тавра (направляющая) по высоте больше, чем на других участках, причем расстояние между участками подъема для внутренних и внешних направляющих 9 и 10 равно расстоянию между передними и задними роликами подвижной тележки. Переменная высота направляющих 9 и 10 обеспечивает подъем подвижной тележки 6 вместе с транспортным средством II в зоне работы РТК и исключает все степени свободы у транспортного средства II. На рис. 2.36, а и б соответственно показаны

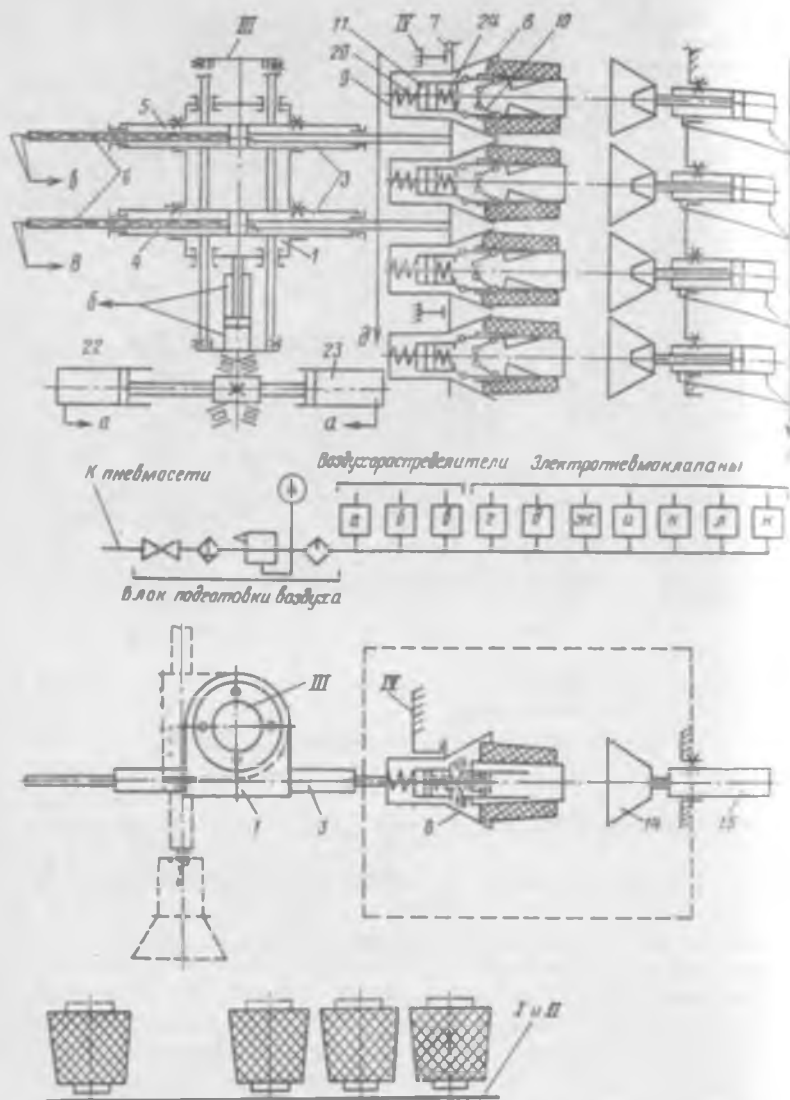


Рис. 2.37. Кинематическая схема РТК для полной механической обработки бобин

положения подвижной тележки 6 и транспортного средства II до подъема подвижной тележки и после подъема.

Подвижная тележка 6 изготовлена в виде прямоугольной рамы, сечение стороны которой имеет форму тавра, выполненного из двух уголков, причем со стороны захода транспортного

средства 11 в подвижной тележке отсутствует верхняя полка тавра. К боковым параллельным поверхностям по углам рамы с наружной стороны жестко крепятся оси, на которые установлены на подшипниках ролики 16, имеющие прямоугольные канавки для захода на направляющие 9 и 10. В нижней части подвижной тележки 6, под ребрами тавров, расположены поперечные перекладины 11 с шагом, соответствующим шагу расположения вертикальных рядов бобин на транспортном средстве 11. Поперечные перекладины входят в зацепление с собачками 12 привода 8, который после каждого цикла перемещает подвижную тележку 6 на один шаг.

Привод 8 состоит из двух горизонтально расположенных пневмоцилиндров 17, жестко связанных с рамой 7, и выполняет перемещение подвижной тележки 6 по направляющим 9 и 10. Штоки 14 горизонтальных пневмоцилиндров спарены хомутом в виде прямоугольной призмы. К торцам хомута крепятся оси, на которых шарнирно установлены собачки 12, и цилиндрические упоры 13, ограничивающие вращение собачек в момент контакта их с перекладиной при перемещении подвижной тележки 6 на один шаг. Постоянное вертикальное положение собачек 12 поддерживают противовесы, закрепленные в их нижней части. Кроме того, привод 8 имеет вертикальный пневмоцилиндр 15, который обеспечивает стопорение подвижной тележки 6 при возвратном движении штоков горизонтальных пневмоцилиндров 17 для следующего шага. Вертикальный пневмоцилиндр 15 расположен на расстоянии максимального вылета штока горизонтального пневмоцилиндра 17 и жестко прикреплен к раме 7.

Рассмотрим в работе взаимодействие устройства позиционирования 1 и транспортное средство 11. В исходном положении подвижная тележка 6 устройства позиционирования 1 находится на участке с пониженной высотой направляющих 9 и 10. Левый торец подвижной тележки 6, оттягиваемой противовесом назад, упирается в два пружинных демпфера 18, которые смягчают удар подвижной тележки 6 при возврате в исходное состояние и обеспечивают ее фиксированное положение перед началом движения. Собачки 12, установленные через хомут на штоках 14 пневмоцилиндров 17, находятся в крайнем правом положении и упираются верхней частью в упоры 19, которые обеспечивают им постоянный наклон вперед.

Первая правая перекладина подвижной тележки 6 находится на треть шага впереди от собачек 12, это расстояние позволяет собачкам 12 с момента отхода от упоров 19 до момента контакта с перекладиной 11 прийти в рабочее вертикальное положение за счет противовесов. Шток вертикального пневмоцилиндра 15 задвинут.

Сжатый воздух из центральной пневмосети через блок подготовки воздуха (см. рис. 2.37) и электропневмоклапан ж по-

ступает в левые полости пневмоцилиндров 17 (позиция «Вперед», см. рис. 2.36). Выдвигаются штоки пневмоцилиндров 17, спаренных хомутом, на котором установлены собачки 12. Собачки 12 в свою очередь контактируют с перекладиной 11 подвижной тележки 6 и перемещают ее в зону позиционирования по направляющим 9 и 10.

Одновременно подвижная тележка 6 поднимается с низкого участка направляющих на более высокий, совершая плоскопараллельное движение, ликвидируя зазор между верхней частью своей рамы и транспортным средством 11 и таким образом неподвижно фиксирует транспортное средство 11, совмещая крайний вертикальный ряд бобин на транспортном средстве 11 с вертикальным рядом механизмов захвата, установленных на траверсе манипулятора III.

Подвижная тележка 6 переместилась на один шаг, хомут, закрепленный на штоках 14, замыкает датчик положения. С пульта управления подается следующая команда. Сжатый воздух поступает в пневмоцилиндр 15, шток выдвигается и фиксирует подвижную тележку 6 в данном положении за счет контакта с перекладиной 11. По истечении временного интервала подается следующая команда. Сжатый воздух подается через электропневмоклапан ж в правую полость пневмоцилиндра 17. Штоки 14 задвигаются в пневмоцилиндры 17. Собачки 12 при прохождении второй перекладины подвижной тележки 6 наклоняются вперед, не препятствуя движению штоков 14, пневмоцилиндры 17 становятся в исходное положение.

После выполнения механического обжима цикл перемещения подвижной тележки 6 повторяется. Необходимо отметить, что в момент контакта собачек 12 со второй перекладиной шток пневмоцилиндра 15 задвигается. По выполнении пяти циклов пневмоцилиндры 17 приходят в исходное положение, а шток пневмоцилиндра 15 задвигается, освобождая подвижную тележку 6. Под действием противовеса, прикрепленного к левому торцу подвижной тележки 6, последняя перемещается в исходное положение, тем самым освобождая транспортное средство 11 с обработанными бобинами.

Промышленный манипулятор III (см. рис. 2.35) предназначен для автоматического съема бобин с транспортного средства 11, перемещения бобин с основным движением в виде поворота манипулятора в зону механического обжима и возврата обработанных бобин на транспортное средство 11. Манипулятор имеет три степени свободы: подъем по вертикали, перемещение по горизонтали и поворот. Каждая степень движения обеспечивается независимым приводом. Тип привода пневматический. Приводы подъема и поворота колонны 1 размещены под кожухом манипулятора III и на рис. 2.35 не показаны, а в кинематической схеме на рис. 2.37 отражены. Подъем колонны 1 (движение по вертикали) происходит при помощи пневмоцилиндра, корпус ко-

торого закреплен неподвижно, а шток перемещает колонну 1 по четырем направляющим 2 (см. рис. 2.35). Для предотвращения удара колонны в ней установлены два пружинных демпфера. Колонна 1 поворачивается через передачу рейка — шестерня двумя пневматическими цилиндрами, штоки которых являются одновременно и зубчатыми рейками. Угол поворота колонны ограничивается жесткими упорами, а для уменьшения удара применяются гидравлические демпферы. Привод выдвижения 3 (движение по горизонтали) состоит из двух пневмоцилиндров 4 и 5, корпуса которых жестко закреплены на колонне 1, к одному из торцов двусторонних штоков 6 неподвижно крепится траверса 7 в виде швеллера (см. рис. 2.37). Для предотвращения ударов на приводе выдвижения 3 установлены пружинные демпферы.

На траверсе 7 с наружной стороны швеллера неподвижно установлены обжимные конусы 8, которые являются составной частью технологической оснастки для реализации механического обжима. С внутренних сторон полок швеллера (траверсы 7) жестко закреплены цилиндрические направляющие 9, по две штуки на один механизм захвата 10. Всего на траверсе может быть до пяти механизмов захвата, удобно также сопоставить рис. 2.37 с рис. 2.35 (позиция 1). Направляющие являются опорой для механизма захвата 10 и позволяют совершать ему поступательное движение в сторону манипулятора под действием второго обжимного конуса в момент механического обжима болта. Возврат механизма захвата происходит под действием пружины 20. Между парой направляющих 9 расположено прямоугольное сквозное отверстие, сделанное в траверсе и соответственно в днище обжимного конуса, где и размещен механический захват 10. Губки клещевого зажима 21 механического захвата 10 раскрываются односторонним пневмоцилиндром 11, а закрываются под действием пружины. При выходе на технологическую операцию механического обжима траверса 7 занимает положение прижима к упору, это состояние изображено на рис. 2.35 (позиция 2).

Упор IV (см. рис. 2.35) является частью монтажного каркаса, выполнен из стального фасонного профиля (швеллер, уголок и др.) в виде четырех консольных балок 12, заделанных между двумя колоннами 13, расположенными со смещением одна к другой.

Упор предназначен для снятия избыточных касательных нагрузок на поворотную колонну 1 промышленного манипулятора III, возникающих при механическом обжиме и действующих через обжимной конус 8, закрепленный на траверсе 7, на привод выдвижения 3, установленный на поворотной колонне 1. Для определения наличия или отсутствия контакта траверсы 7 с упором IV упор оснащен датчиком положения и механическими амортизаторами для мягкого контакта.

Обжимная стойка V предназначена для реализации технологической операции механического обжима бобины в результате перемещения второго набора обжимных конусов 14, закрепленных на штоках пневмоцилиндров 15. Обжимная стойка V выполнена из стального фасонного профиля (уголок, швеллер и т. д.) в виде прямоугольного параллелепипеда, внутри которого неподвижно установлены приводные пневмоцилиндры 15, штоки которых выходят за пределы объема параллелепипеда и на концах которых закреплен второй набор обжимных конусов 14. Внутри обжимных конусов 14 установлены цилиндрические центры, которые более точно обеспечивают центрирование бобин в момент операции механического обжима.

Продолжим рассмотрение работы РТК, учитывая, что работа устройства позиционирования уже рассмотрена. Отметим исходные положения оставшихся составных частей РТК (см. рис. 2.37).

Манипулятор III — привод выдвижения 3 механизмами захвата 10 повернут к транспортному средству II (на рис. 2.37 это положение показано штриховой линией). Механизмы захвата 10 находятся в позиции «Вперед», когда пружина 20 имеет наибольшую длину; губки клещевого зажима 21 закрыты.

Обжимная стойка V — штоки пневмоцилиндров 15 задвинуты.

Намотанные бобины поставляются транспортным средством II в зону работы РТК. Устройство позиционирования фиксирует транспортное средство II к манипулятору так, чтобы вертикальный ряд бобин на транспортном средстве совмещался с вертикальным рядом механизмов захвата. Включаем промышленный манипулятор III с программным устройством. Сжатый воздух из центральной пневмосети через блок подготовки воздуха и воздухораспределитель в поступает в левые полости пневматических цилиндров 4, 5 привода выдвижения 3 (позиция «Вперед») с установленной на нем траверсой 7, которая вводит механизм захвата 10 внутрь конических бобин на транспортном средстве II. При обработке временного интервала сжатый воздух через электропневмоклапаны подается в пневмоцилиндры 11, которые раскрывают клещевые зажимы 21, фиксируя бобины на механизмах захвата 10. По окончании следующего временного интервала давление воздуха через воздухораспределитель в подается в правую полость пневмоцилиндров 4 и 5 привода выдвижения 3 (позиция «Назад»), снимая бобины с транспортного средства II. При возвращении привода выдвижения 3 в исходную позицию замыкается датчик положения, пульт управления подает следующую команду. Давление воздуха через воздухораспределитель а подается в пневмоцилиндр 23, который поворачивает колонну I с приводом выдвижения 3, траверсой и механизмами захвата 10 вместе с бобинами в зону механического обжима.

В зоне механического обжима траверса 7 неподвижно фиксируется на упоре IV, механизмы захвата 10 с бобинами оказываются соосно выставленными второму набору обжимных конусов 14, одновременно замыкая датчик положения. Пульт управления подает следующую команду. Сжатый воздух через электропневмоклапан г поступает в правую полость пневмоцилиндров 15, штоки которых, выдвигаясь вперед, вводят обжимные конусы 14 в контакт с бобиной. Происходит механический обжим бобин. В момент механического обжима механизмы захвата 10 вместе с бобинами совершают поступательное движение влево по направляющим 9 до тех пор, пока торцы перфорированных патронов не упрутся в днища обжимных конусов 8 и 14. После механического обжима давление воздуха через электропневмоклапан г перераспределяется в левую полость пневмоцилиндров 15, второй набор обжимных конусов 14 возвращается в исходное положение. Механизмы захвата 10 с бобинами, установленные на направляющих 9 траверсы 7, под действием пружин 20 возвращаются в исходное положение. Поступает сигнал с пульта управления на воздухораспределитель а, который подает давление воздуха в полость пневмоцилиндра 22, поворачивающего колонну I с механизмами захвата 10 и бобинами в сторону транспортного средства II. Следующая команда подается в воздухораспределитель в, который перераспределяет давление воздуха в левые камеры пневмоцилиндров 4, 5 привода выдвижения 3. Штоки пневмоцилиндров выдвигают траверсу 7 с механизмами захвата 10 и с бобинами к транспортному средству II. Бобина заводится на штыри транспортного средства II, снимается давление с электроклапана д и под действием пружины 24 клещевые зажимы 21 закрываются. Таким образом, бобины после механического обжима возвращены на транспортное средство II. Подается команда воздухораспределителю а, который перераспределяет воздух в правые полости пневмоцилиндров 4 и 5 привода выдвижения 3, штоки которых задвигаются (позиция «Назад»), выводя из внутренней части бобин механизмы захвата 10. Манипулятор III занимает исходное положение для следующего технологического цикла.

#### § 2.7. РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПОЛНОЙ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ БОБИН В КРАШЕНИИ

Обратимся вновь к рис. 2.34, на котором штриховкой указаны зоны повышенной плотности, а не отмечены ей зоны малой пористости. В радиальном направлении зоны повышенной плотности — это слон у перфорированного патрона, а в продольном — с торцов тела намотки и в местах пересечения нитей. Для снижения непрокраса во всем объеме тела намотки бобины требуется более полная механическая подготовка бобин к краше-

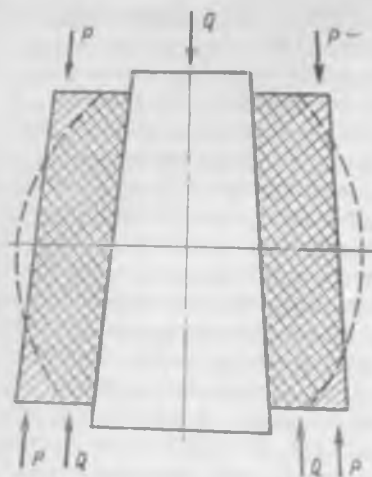


Рис. 2.38. Способ реализации операций «сдвиг» и «обжим»

перфорированного патрона от большего диаметра к меньшему, предварительно намотав тело бобины ближе к торцу большего диаметра перфорированного патрона. На практике операция «сдвиг» проводится при помощи приложения равных противодействующих сил  $Q$  (рис. 2.38), одна из которых приложена к малому торцу перфорированного патрона и направлена по оси в сторону большего диаметра; другая приложена к большому торцу тела намотки бобины и направлена по оси в сторону меньшего диаметра. Данная операция позволяет разуплотнить внутренние слои тела намотки у перфорированного патрона, тем самым уменьшить нажатие между витками ниток внутренних слоев тела намотки, снизить усилия сдавливания, действующие на перфорированный патрон, и усилия смятия в местах пересечения ниток. Изменилась структура и пористость тела намотки в радиальном направлении и создались более равные условия для крашения в радиальном направлении.

Для выполнения этой операции претерпел некоторые изменения обжимной конус 8 (см. рис. 2.37), закрепленный на траверсе 7 манипулятора III. Внутри обжимного конуса 8 устанавливается упорное кольцо 25 (рис. 2.39), внутренний диаметр которого больше наружного диаметра нижнего большего торца перфорированного патрона и которое обеспечивает приложение усилия к большому торцу тела намотки бобины, направленное по оси в сторону меньшего диаметра. Вторым объектом, который обеспечивает приложение усилия к меньшему торцу перфорированного патрона и направлен по оси в сторону большего диаметра, является второй комплект конусов 14.

нию, при которой достигается наиболее равномерная плотность по всему объему тела намотки, т. е. снижается плотность в горцах, в местах пересечения нитей и у перфорированного патрона. Полная механическая обработка включает соответственно три стадии — сдвиг, обкатку и обжим. Рассмотрим подробнее каждую стадию механической обработки, а также те конструктивные изменения и дополнения, которые необходимо ввести в рабочую зону РТК (на рис. 2.37 помечена штриховой линией в форме квадрата).

Для разуплотнения в радиальном направлении необходимо сдвинуть тело намотки по оси

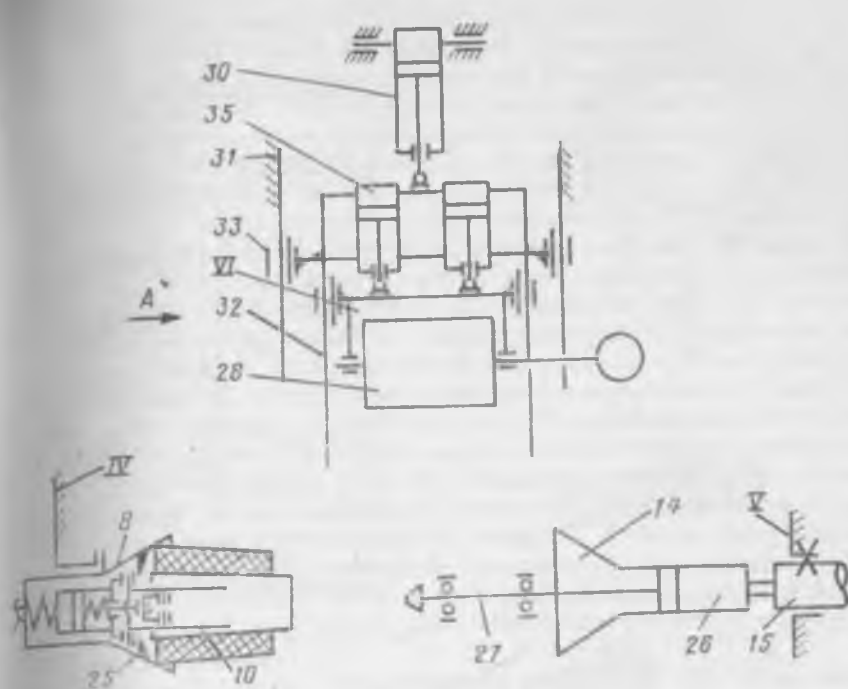


Рис. 2.39. Кинематическая схема механизма обкатки

Данный РТК выполняет операцию «сдвиг» одновременно с операцией «обжим», что не противоречит способу полной механической обработки бобин. Уровень обычного обжима ограничен расстоянием, равным высоте перфорированного патрона, и углом конусности обжимных конусов. При операции «сдвиг» уровень обжима сохраняется, но одновременно обеспечивается смещение тела намотки на поле перфорации патрона, поскольку ранее оно было намотано со сдвигом. Ниже операция «обжим» будет рассматриваться как отдельная стадия полной механической обработки.

Следующей стадией полной механической обработки является «обкатка». Реализуется она благодаря приложению встречно направленных радиальных усилий  $N$  по нормали к образующим внешней и внутренней поверхностей бобины (рис. 2.40). Усилия создаются при помощи оси с подшипниками 27, расположенной внутри бобины, и приводного конусного ролика 28, находящегося на ее поверхности. Конусный ролик одновременно обеспечивает вращение бобины вокруг оси, параллельной образующей перфорированного патрона.

При этом конусность ролика позволяет исключить образование осевого выталкивающего усилия в процессе обкатки и тем самым исключить повреждения внешнего слоя нитей. В месте

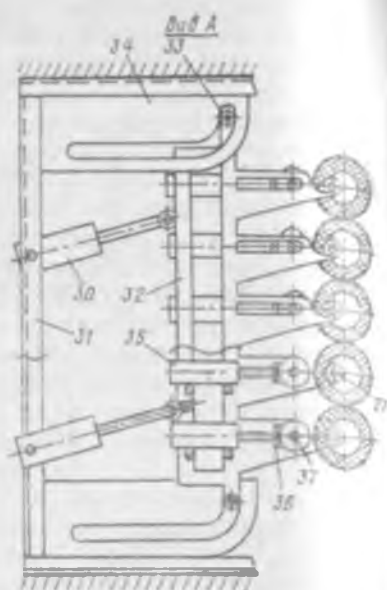
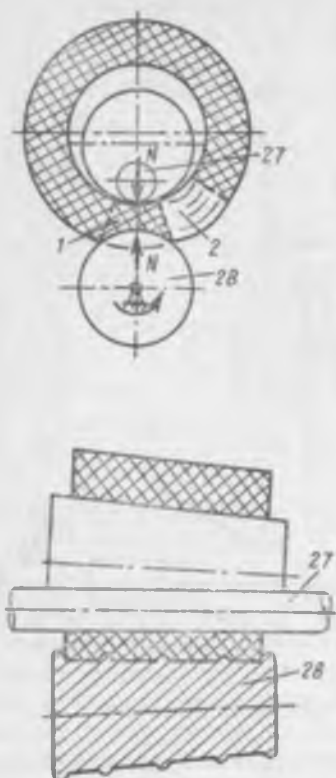


Рис. 2.41. Общая компоновочная схема механизма обкатки

Рис. 2.40. Способ реализации операции «обкатка»

приложения радиальных сил  $N$  появляется зона 1 повышенной плотности, а против хода вращения бобины образуется зона 2 вспучивания нитей, в которой происходит локальное разуплотнение и перекомпоновка структуры бобины. Вследствие вдавливания конусного ролика в бобину уменьшается радиус тела вращения, таким образом избыточная нить концентрируется в зоне 2 вспучивания нитей с одновременным увеличением высоты тела намотки. Чрезмерно длительная обработка приводит к неоправданному повышению высоты и снижению диаметра бобины, а чрезмерное увеличение усилия прижима может привести к разрушению бобины.

Для практической реализации стадии «обкатки» необходимо в рабочую зону РТК установить на штоках пневмоцилиндр 15 (см. рис. 2.39), дополнительные пневмоцилиндры 26, к ним закрепить вторые наборы обжимных конусов 14, центрами которых являются оси-штоки 27. Оси-штоки 27 — оси с подшипниками, расположенные внутри бобин, обеспечивают создание радиальных усилий, встречно направленных усилиям, образующимся от конусных роликов 28. Также в рабочую зону РТК необходимо

ввести дополнительный узел обкатки, который должен быть сбоку по отношению к оси движения штоков пневмоцилиндров 15 и 26 с противоположной стороны по отношению к транспортному средству II. Обкатывающие конусные ролики 28 имеют ребристую поверхность, радиальные ребра размещены по высоте роликов так, чтобы они совпадали с местами наибольшей плотности тел намотки, это способствует лучшему разуплотнению бобин, а крайние ребра обеспечивают постоянную высоту бобин. Оси 37 (рис. 2.41) обкатывающих конусных роликов через вилки 36 соединены со штоками пневмоцилиндров 35, корпуса которых жестко установлены на подвижной раме 32. В свою очередь подвижная рама 32 своими роликами 33 опирается на профиль кулачков 34 неподвижной рамы 31, которые задают роликам движение, позволяющее кронштейнам подвижной рамы 32 войти в зацепление с осями-штоками 27, зафиксировав их в неподвижном положении на все время технологической операции «обкатка». Подвижную раму 32 приводят в движение шарнирно закрепленные штоки пневмоцилиндров 30, корпуса которых шарнирно соединены с неподвижной рамой 31. Каждый обкатывающий конусный ролик приводится в движение индивидуальным приводом. Для определения исходного положения штоков пневмоцилиндров 30 и 35 узел обкатки оснащен датчиками положения.

Последней стадией механической обработки является «обжим», который не только изменяет внутреннюю структуру торцов бобин, но и окончательно формирует тело намотки бобин, придавая им наиболее рациональную форму с точки зрения прокраса и последующего безобрывного схода нити при сматывании. Подробно реализация операции «обжим» на РТК описана в предыдущем параграфе.

Первая стадия работы РТК аналогична описанной в предыдущем параграфе (см. рис. 2.35). Транспортное средство II поступает в зону работы РТК, затем фиксируется устройством позиционирования I так, чтобы вертикальный ряд бобин на транспортном средстве II совпадал с вертикальным рядом механических захватов 10 на траверсе 7 манипулятора III (см. рис. 2.37). Далее манипулятор III снимает бобины с транспортного средства II и перемещает их в рабочую зону РТК, где траверса 7 с бобинами неподвижно фиксируется на упоре IV. Следующая команда с пульта управления поступает на пневмоклапан 2, который подает сжатый воздух в пневмоцилиндры 15 (позиция «Вперед»), как и в предыдущем случае.

Штоки пневмоцилиндров 15 (см. рис. 2.39) перемещают второй набор обжимных конусов 14, закрепленных на дополнительных пневмоцилиндрах 26, до контакта с верхним меньшим торцом перфорированного патрона. Таким образом, в нижний боковой торец тела намотки упирается упорное кольцо 25, а в верхний торец перфорированного патрона — днище обжимного кону-

са 14. Перемещение обжимного конуса 14 продолжается до тех пор, пока нижний торец перфорированного патрона не упрется в днище обжимного конуса 8. Произошла операция «сдвиг»; подается сигнал с пульта управления на электропневмоклапан д, снимается давление воздуха в пневмоцилиндрах 11 механизма захвата 10 (см. рис. 2.37).

По сигналу с пульта управления электропневмоклапан д снимает давление воздуха в пневмоцилиндрах 11 механизма захвата 10. Под действием возвратной пружины 24 штоки пневмоцилиндров 11 приходят в исходное положение, при котором клещевые схваты 21 закрыты.

Через электропневмоклапан к давление воздуха подается в пневмоцилиндр 26, выдвигаются оси-штоки 27 (см. рис. 2.39). Бобины, освобожденные от механизма захвата 10, перераспределяются на оси-штоки 27. При отработке временного интервала электропневмоклапан г перераспределяет давление воздуха в пневмоцилиндрах 15 (позиция «Назад»), штоки которых задвигаются до предела. Замкнутые датчики положения обжимной стойки V подают сигнал на пульт управления. С пульта управления поступает команда на электропневмоклапан л, подающий давление воздуха в пневмоцилиндры 30 (позиция «Вперед»), штоки которых перемещают подвижную раму 32 к осям-штокам 27 по неподвижным профильным кулачкам 34 посредством роликов 33, жестко соединенных с подвижной рамой 32. Совершая сложное движение, кронштейны подвижной рамы 32 фиксируют оси-штоки 27 в рабочем положении.

После окончания блокировки, при отработке временного интервала, через электропневмоклапан н давление воздуха подается в пневмоцилиндры 35 (позиция «Вперед»), штоки которых через вилки 36 прижимают обкатывающие конусные ролики 28 к бобинам.

В этот момент включаются индивидуальные двигатели обкатывающих конусных роликов 28. Произошла операция «обкатка». Выполнив «обкатку» бобин, датчик времени выключает индивидуальные двигатели и дает команду через электропневмоклапаны л и н на перераспределение давления воздуха в камерах пневмоцилиндров 30 и 35 для выполнения позиции «Назад», что приводит в исходное положение вилки 36 и подвижную раму 32.

По команде с пульта управления через электропневмоклапан г давление воздуха подается в пневмоцилиндры 15 (позиция «Вперед»), штоки которых, выдвигаясь вперед, перемещают оси-штоки 27 с бобинами до контакта с механизмами захвата 10 и обжимными конусами 8. При столкновении механизмы захвата 10 отходят назад по ориентирующему элементу 9 до предела, а оси-штоки задвигаются в пневмоцилиндры 26 до тех пор, пока перфорированный патрон не упрется своими торцами в днище обжимных конусов 8 и 14.

Произошла операция «обжим». По отработке временного интервала через электропневмоклапан *д* сжатый воздух подается в пневмоцилиндры *11*, раскрываются клещевые схваты *21*, фиксирующие бобину на механизме захвата *10*. Следующий сигнал с пульта управления подается на электропневмоклапаны *г* и *к*, давление воздуха перераспределяется в пневмоцилиндрах *15*, *26* (позиция «Назад»), что приводит обжимную стойку *IV* в исходное положение. На этом заканчивается полная механическая обработка бобин. Далее манипулятор *III* перемещает бобины из рабочей зоны РТК и возвращает готовые бобины на транспортное средство *II*. Манипулятор *III* занимает исходное положение, цикл повторяется.

#### § 2.8. ПРИМЕНЕНИЕ МАНИПУЛЯТОРОВ РУЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ НА КОНВЕЙЕРНЫХ ЛИНИЯХ

Рассматривается применение серийно выпускаемого шарнирно-балансирного манипулятора ШБМ-150 с ручным управлением для погрузочно-разгрузочных операций на конвейерных линиях с габаритными грузами. Конкретное применение разработка СКБ СМ нашла в устройстве для выполнения операций разгрузки и загрузки подвесок цепного грузонесущего контейнера коробками с синтетическим волокном, движущегося с линейной скоростью цепи не более 8 м/мин.

Для увеличения зоны действия манипулятор (рис. 2.42) установлен на приводную тележку *1*, перемещающуюся по подвесным подкрановым путям. Тележка состоит из рамы *4*, привода *2*, приводных *5* и опорных *3* катков, поворотного устройства *11*. Тележка устанавливается опорными катками на подкрановые пути из двутавра. Опорные катки, опираясь на верхние контршины двутавра, предохраняют тележку от опрокидывания. Тележка имеет возможность последовательного включения трех передач, позволяющих двигаться соответственно со скоростями *6*, *8* и *12,1* м/мин.

Манипулятор ШБМ-150 имеет базовый узел *10*, рычаг *6*, качающееся плечо *7*, головку управления *8*, где также находится дополнительный кнопочный пост управления скоростями приводной тележки. К головке управления крепится специальный захват *9*, удобный для совершения операций с коробками и состоящий из опор и двух рычагов.

Тележкой и манипулятором оператор управляет с пола. При загрузке подвесок оператор поднимает захват манипулятора с коробкой, одновременно синхронизируя скорость движения тележки с конвейерной скоростью (путем последовательного включения передач), а затем опускает захват вниз. Вилы захвата проходят в прорези опорной поверхности подвески, и коробка остается на ней.

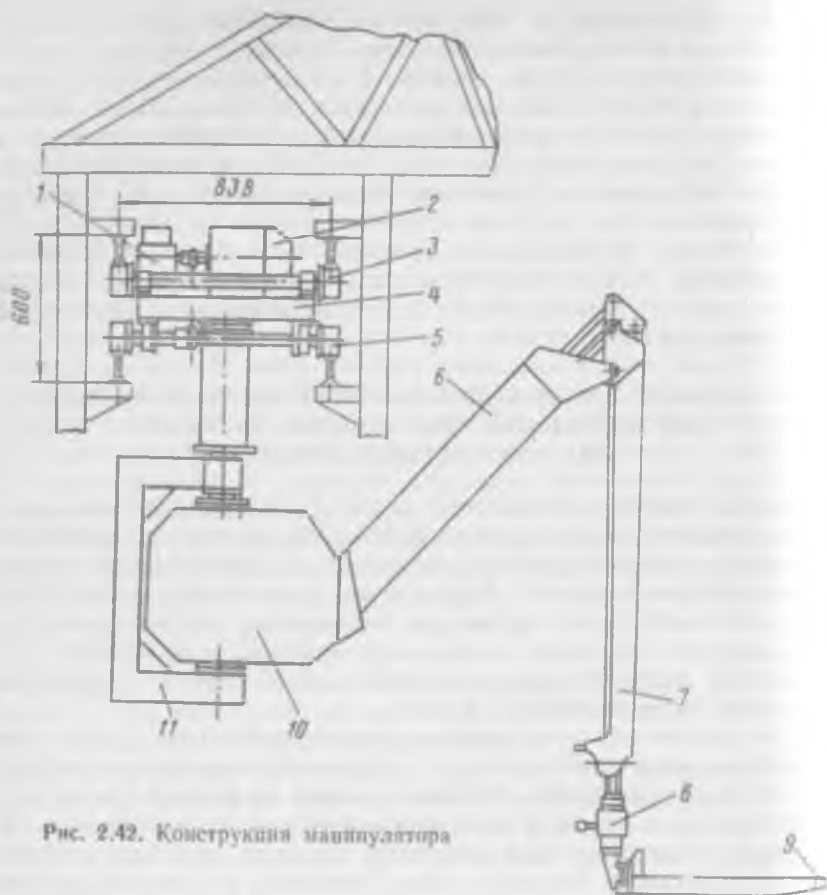


Рис. 2.42. Конструкция манипулятора

Разгрузка происходит в обратной последовательности.

Возможно совершенствование конструкции данной установки, в частности, благодаря созданию приводной тележки по принципу велосипедного крана-штабелера.

*Техническая характеристика манипуляционного устройства*

|                                                 |                |
|-------------------------------------------------|----------------|
| Масса груза, кг                                 | 150            |
| Вылет стрелы, мм                                |                |
| максимальный                                    | $3000 \pm 150$ |
| минимальный                                     | $600 \pm 30$   |
| Вертикальное перемещение захвата, мм            | 1750           |
| Скорость вертикального перемещения захвата, м/с |                |
| при 50 кг                                       | 0,29—0,35      |
| » 100 кг                                        | 0,25—0,35      |
| » 150 кг                                        | 0,23—0,35      |
| Поворот стрелы вокруг вертикальной оси, град    | 360            |

## 6 2.9. МЕХАНИЗАЦИЯ ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНЫХ РАБОТ НА ТКАЦКИХ СТАНКАХ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РОБОТИЗАЦИИ

В качестве примера решения механизации тяжелых ручных операций при транспортировке, снятии и установке ткацких навоев и роликов суровой ткани (применительно к ткацким производствам, оснащенным станками типа «П» (ЧСФР) могут служить электротележка для работы с навоями и комплекс средств напольного транспорта для работы с роликами ткани, внедренные на ткацкой фабрике им. 8 Марта (г. Иваново).

Электротележка предназначена для взятия навоя с пола или стеллажа, транспортировки к ткацкому станку и укладки навоя в гнезда станка. Тележка (рис. 2.43) состоит из рамы 3, силового агрегата 4, механизма укладки навоя 2, рулевого управления 1, гидросистемы и электрооборудования. Силовой агрегат крепится к раме и включает в себя два приводных колеса, имеющих редуктор с дифференциалом, соединительную упругую муфту и электродвигатель.

Механизм укладки навоя (рис. 2.44) представляет собой две параллельно расположенные стрелы 1, жестко связанные между собой в единую металлоконструкцию, закрепленную шарнирно на раме тележки. При помощи двух гидроцилиндров 2 стрелы могут наклоняться, что обеспечивает возможность перемещения навоя за пределы тележки. Через систему блоков внутри стрел запасованы два троса (рис. 2.45), на концах которых закреплены траверсы 1 с крюками 2 для захвата навоя. Изменение дли-

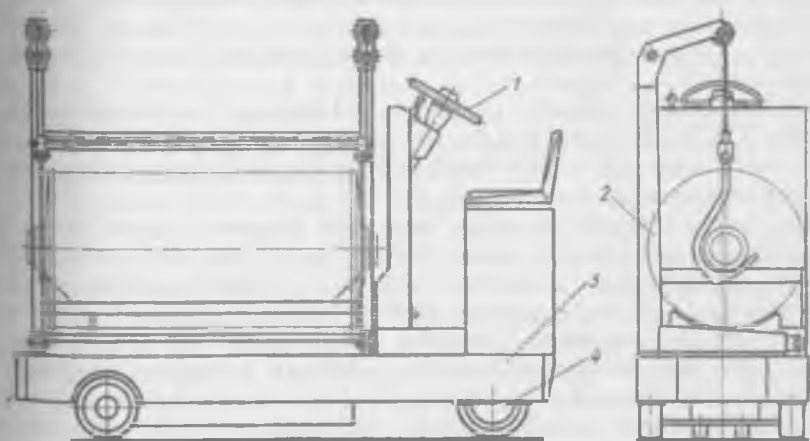


Рис. 2.43. Компонировочная схема электротележки

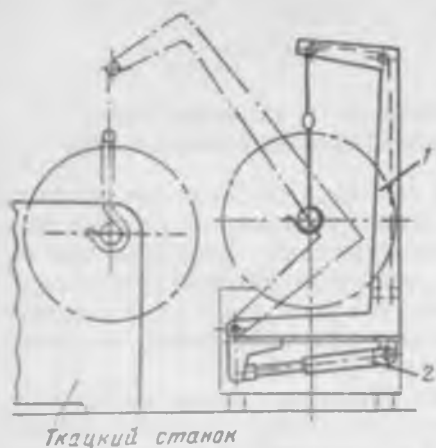


Рис. 2.44. Механизм укладки навоя

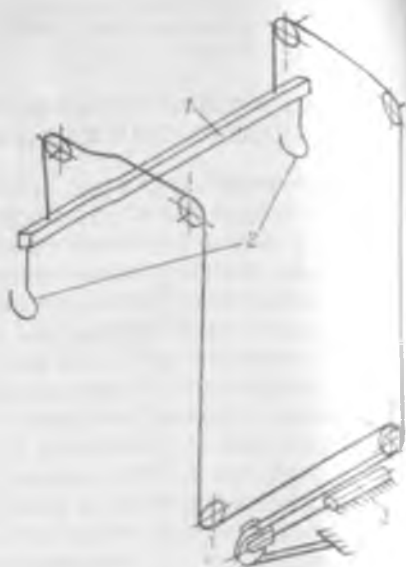


Рис. 2.45. Схема запасовки троса

ны троса с помощью гидроцилиндра 3 обеспечивает перемещение траверсы по вертикали. Наличие гибкого звена (системы тросов) позволяет перемещать траверсы в двух плоскостях, снизить требования к точности позиционирования, брать навой с пола или стеллажа и укладывать на платформу тележки, а затем в гнезда станка.

Рулевое управление состоит из рулевой колонки, связанной через зубчатую и цепную передачи с силовым агрегатом, который поворачивается на заданный угол с помощью руля.

Гидросистема состоит из гидропривода, цилиндров, распределителя, предохранительного клапана, соединительных шлангов и маслобака.

Электрооборудование включает в себя аккумуляторную батарею ТЖН-250 (напряжение 24 В), два электродвигателя постоянного тока для передвижения тележки и гидропривода, пускорегулировочную аппаратуру.

В опорной схеме тележки, как уже указано, задние колеса являются ведущими, но одновременно с их помощью можно изменять направление движения тележки. Два передних колеса неповоротные и оборудованы колодочными тормозами. Тележкой управляет водитель. Точность расположения тележки относительно гнезд станка составляет  $\pm 100$  мм в направлении продольной оси тележки и перпендикулярном направлении.

Эксплуатация электротележек показала, что оператор, сидя на своем рабочем месте, одной рукой за фланец навоя ориентирует последний относительно гнезда ткацкого станка, а другой включает гидросистемы («травит» трос) и навой спокойно

опускается в гнезда. Аналогично оператор выполняет и другие операции.

#### Техническая характеристика электротележки

|                                        |                |
|----------------------------------------|----------------|
| Масса груза, кг                        | 400            |
| Габаритные размеры, мм                 |                |
| длина                                  | 2610           |
| ширина                                 | 750            |
| высота                                 | 1815           |
| Масса тележки, кг                      | 1250           |
| Наибольшая скорость передвижения, км/ч | 5              |
| Рабочее давление в гидросистеме, Па    | $5 \cdot 10^6$ |

Комплекс средств напольного транспорта для работы с роликками ткани осуществляет съем роликов со станка, их транспортирование, перегрузку с выполнением промежуточных операций и обеспечивает сматывание ткани при браковке.

Комплекс включает напольную тележку, передвижной стеллаж и привод. Прошел испытания напольный манипулятор с ручным управлением, который может заменить тележку.

Напольная тележка используется для сбора рулонов роликов суровой ткани с ткацких станков и доставки их к стеллажу. Тележка имеет лоток и четыре поворотных колеса. Рабочий подводит лоток тележки под наработанный на ткацком станке рулон ткани, освобождает взойку (трубу) из гнезда станка, и рулон ложится на лоток. Загруженная таким образом тележка транспортируется к передвижному стеллажу, который совместно с приводом устанавливается в транспортном проходе ткацкого цеха и подается в зону перемещения тягового элемента стеллажа. Вращающиеся подвески заводятся внутрь взойки рулона, захваты фиксируются на связи, включением привода тяговый элемент перемещается на один шаг, и рулон снимается с лотка тележки. Передвижной стеллаж используется для накопления партии роликов с суровой тканью и их доставки в браковочный отдел. Рулон ткани на браковочную машину раскатывается непосредственно со стеллажа.

Передвижной стеллаж элеваторного типа (рис. 2.46) состоит из рамы 1, на которую крепятся приводной вал 11, натяжной вал 2 и отклоняющие звездочки 10. Ходовая часть выполнена в виде четырех рояльных колес 9 и пятого, направляющего 8, которое с помощью рукоятки 7 можно выводить из соприкосновения с опорной поверхностью (полом). Такая опорная схема позволяет улучшить маневренность стеллажа. Тяговый элемент выполнен в виде двух замкнутых цепных контуров 3, связанных штангами 6, с закрепленными на них захватами 4 для роликов ткани. На захватах имеются вращающиеся подвески 5, которые позволяют свободно сматывать ткань при браковке. Тяговый элемент перемещается при помощи автономного привода. Такое ре-

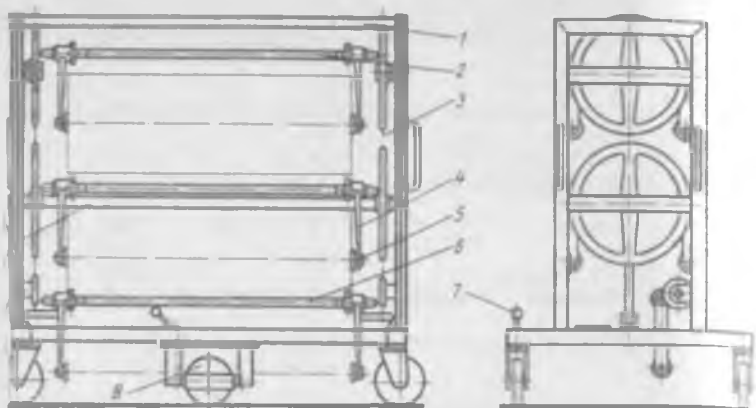


Рис. 2.46. Компонировочная схема стеллажа

е позволяет уменьшить габаритные размеры стеллажа и уменьшить его массу.

Транспортирование стеллажа из ткацкого цеха в товаробраный осуществляется аккумуляторным тягачом АТ-60 с поцепки 12. Перспективным является применение для указанной цели напольного транспортного промышленного робота А-АТС (см. § 5.3).

*Техническая характеристика передвижного стеллажа*

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| Грузоподъемность, кг           | 600        |
| Количество роликов, шт.        | 5          |
| Наименьший радиус поворота, мм | 1650—1750* |
| Габаритные размеры, мм         |            |
| длина                          | 1950—2250  |
| ширина                         | 1100       |
| высота                         | 1700       |

\* Размеры зависят от исполнения стеллажа на определенную рабочую ширину ткацкого станка.

Привод для перемещения тягового элемента передвижного стеллажа состоит (рис. 2.47) из сварной рамы 4, электродвигателя 1, редуктора 2 и электрооборудования. Привод с приводным валом стеллажа соединяется через накидную втулку и шаровую муфту 3, вращение последней передается от редуктора двухступенчатую открытую зубчатую передачу. Для передвижения привода предусмотрено четыре колеса, два из которых — поворотного типа (поворотные). Устойчивость привода при работе достигается подведением основания рамы привода под раму стеллажа. Питание кабельное, управление с пульта, расположенного на раме привода.

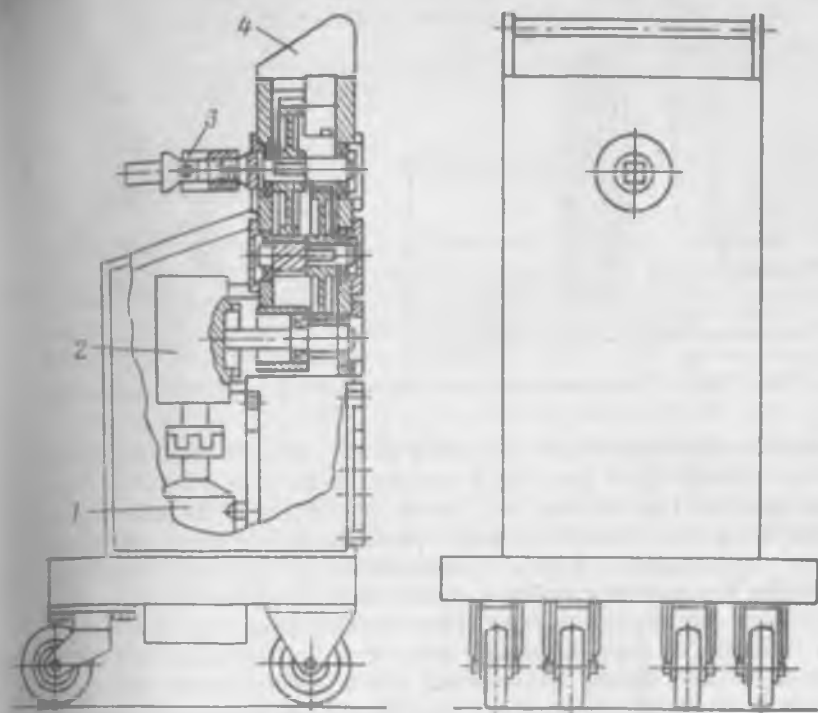


Рис. 2.47. Привод для перемещения стеллажа

*Техническая характеристика привода для перемещения стеллажа*

|                                       |              |
|---------------------------------------|--------------|
| Высота от пола до приводного вала, мм | 865          |
| Передаваемый крутящий момент, Н·м     | 640          |
| Габаритные размеры, мм                | 600×550×1115 |
| Масса, кг                             | 70           |

Взамен ручной напольной тележки был разработан, изготовлен и испытан напольный манипулятор с ручным управлением для съема роликов сурового товара и транспортирования их к передвижным стеллажам или месту хранения.

Манипулятор (рис. 2.48) состоит из рамы 6, механизмов подъема 2, захвата 4 и передвижения 7, толкателя 5, пульта управления 1, контейнера электрооборудования 3 и гидросистемы. Рама представляет собой жесткую сварную конструкцию, на которой смонтированы все узлы и механизмы манипулятора.

Механизм подъема перемещает захват в вертикальном направлении и выполнен в виде телескопической рамы, по которой передвигается каретка. Приводом подъема служит плунжерный гидроцилиндр, на штоке которого закреплена звездочка, по ко-

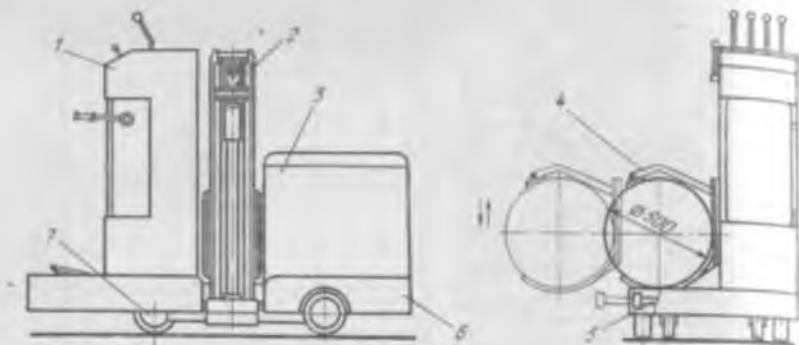


Рис. 2.48. Компоновочная схема манипулятора с ручным управлением

торой перекачивается грузовая цепь, связанная с кареткой. Захват служит для фиксации рулона ткани при съеме и транспортировании. Он состоит из лотка, прижима и механизма выдвижения, выполненного в виде рычажной системы, обеспечивающей перемещение лотка с прижимом за пределы рамы манипулятора в горизонтальном направлении. В качестве приводов прижима и механизма выдвижения применены гидроцилиндры.

Механизм передвижения состоит из электродвигателя, планетарного редуктора, конической зубчатой передачи, цепной передачи и приводного колеса. Механизм крепится на раме с помощью шариковой опоры, что позволяет приводному колесу свободно вращаться вокруг своей оси и обеспечивает изменение направления движения манипулятора в зависимости от положения рычага рулевого управления.

Толкатель предназначен для освобождения ролика ткани из зажимных опор ткацкого станка и закреплен на раме. В состав толкателя входят поворотная головка и гидроцилиндр, который обеспечивает выдвижение и поворот рычага толкателя.

Пульт управления является рабочим местом оператора при движении агрегата и выполнении операций, связанных со съемом и укладкой роликов ткани.

Аккумуляторная батарея и электрооборудование размещены в специальном контейнере.

Опорная схема манипулятора четырехколесная. Правое заднее колесо является ведущим и управляемым, левое заднее — следящее.

Общая компоновка узлов обеспечивает надежную устойчивость при работе.

#### *Техническая характеристика манипулятора*

|                                        |      |
|----------------------------------------|------|
| Масса груза, кг                        | 120  |
| Высота подъема захвата, мм             | 1050 |
| Наибольшая скорость передвижения, км/ч | 6    |

|                                                  |                |
|--------------------------------------------------|----------------|
| Номинальное напряжение аккумуляторной батареи, В | 26             |
| Рабочее давление в гидросистеме, Па              | $5 \cdot 10^6$ |
| Габаритные размеры, мм                           |                |
| длина                                            | 1900           |
| ширина                                           | 750            |
| высота                                           | 1400           |
| Масса, кг                                        | 712            |

Испытания манипулятора в производственных условиях показали, что манипулятор с ручным управлением работоспособен и выполняет все операции по съему, транспортированию и укладке рулонов ткани, но оператор затрачивает при этом больше времени, чем при применении ручной тележки. Так, время съема рулона механизированным способом составляет 35—40 с, а с помощью ручной тележки 8—10 с. Это объясняется тем, что конструкция крепления рулона ткани на ткацком станке создавалась без учета механизированного съема, а повторение средствами робототехники выполняемых сейчас ручных операций по съему требует создания нескольких механизмов и усложняет общую конструкцию манипулятора.

Производственная эксплуатация всего комплекса позволяет сделать вывод, что дальнейшая автоматизация работ по транспортированию, укладке и съему навоев и роликов ткани возможна лишь при совместной работе с разработчиками ткацких станков и оснащении последних специальными устройствами замены навоя и рулона.

### Глава 3

## РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В ШВЕЙНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

### § 3.1. СТРУКТУРА И СОСТАВ ГИБКОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО (РОБОТИЗИРОВАННОГО) ШВЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В швейном производстве можно выделить три основных участка:

подготовительный, на котором осуществляется приемка рулонов тканей, поступающих с ткацких и красильно-отделочных фабрик с последующей разбраковкой и промером рулонов, а также подбором рулонов для последующего раскроя;

раскройный, где происходит раскрой ткани и формирование партий кроя для швейного участка;

швейный, на котором выполняют сборку и отделку готового платья; здесь же его хранят перед отправкой в торговую сеть.

В последующих параграфах данной главы рассматриваются конструктивные особенности, компоновка робототехнических систем швейного производства, в котором технология изготовления

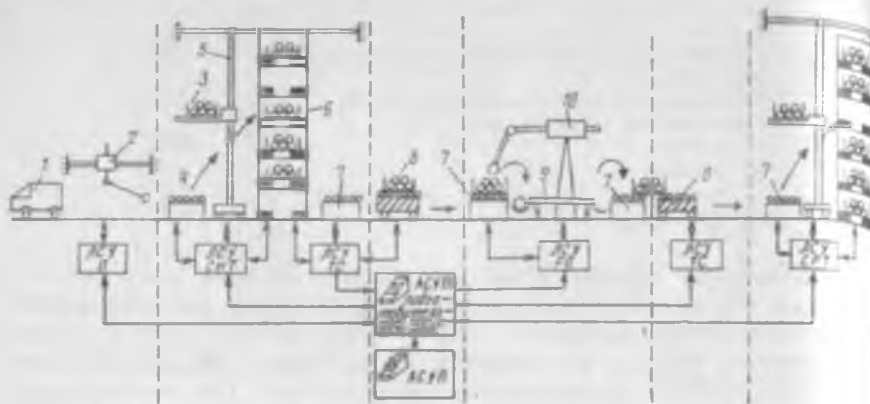


Рис. 3.1. Структура и состав гибкого автоматизированного (роботизированного) подготовительного производства швейных изделий

швейных изделий основывается на ниточном способе соединения деталей одежды. Сварные, клеевые, заклепочные и литые методы соединения деталей швейных изделий, позволяющие более широко использовать промышленные роботы на основных операциях швейного производства, в книге не рассматриваются.

Рассмотрим структуру и состав технических средств, реализующих гибкое автоматизированное (роботизированное) подготовительное производство швейных изделий (рис. 3.1).

Внешний транспорт 1 доставляет рулоны ткани с ткацких и красильно-отделочных предприятий в кассетах, это облегчает погрузочно-разгрузочные работы с помощью транспортных автоматизированных средств 2, например автопогрузчиков, оборудованных манипуляторами с ручным управлением, доставляющих и перегружающих контейнеры 3 на накопительно-перегружающие устройства (НПУ) 4 автоматизированного склада неразбракованной ткани (АСНТ).

В качестве манипуляторов 10 с ручным управлением могут использоваться манипуляторы ШБМ-150 (см. § 2.8 и 3.2).

В состав технических средств АСНТ входит автоматическое штабелирующее устройство (ШУ) 5, устройство хранения 6 и НПУ 7. Конструкция и описание функционирования указанных технических средств приведены в гл. 6.

Требуемый ассортимент и количество тканей в рулонах подбирают с учетом выпуска требуемого ассортимента швейных изделий с помощью автоматизированной системы управления производством (АСУП). Штабелирующее устройство 5, осуществляющее перегрузку контейнеров 3 из ячеек устройства хранения 6 на НПУ 7, управляется локальными системами управления склада неразбракованной ткани (ЛСУ СНТ) и транспортных средств (ЛСУ ТС), программу работ которых формирует автоматизиро-

ванная система управления технологическими процессами (АСУТП) подготовительного производства, задание режимов работы которой в свою очередь формируется АСУП.

Автоматизированная перегрузка контейнеров с НПУ 7 и дальнейшая межцеховая транспортировка контейнеров на участок разбраковки проводятся с помощью напольных транспортных роботов 8 грузонесущего либо грузотянущего типа (см. § 5.2 и 5.3).

Подробно конструктивные особенности столов 9, которые можно рассматривать как элементы РТС подготовительного производства, приведены в § 3.2. Манипуляторы 10 для загрузки и выгрузки рулонов могут быть встроены в столы или устанавливаться отдельно.

Техническими средствами ТС (РПС, манипуляторами и т. п.) управляют с помощью ЛСП разбраковочного оборудования (ЛСА РО).

Координируют работу ЛСА также АСУТП подготовительного производства. Одновременно ведется учет метража рулонов, характера повреждений, выработки работников и реализация решения организационных задач (в том числе формирование баз данных по разбракованным тканям с учетом указанных выше информационных характеристик) с помощью АСУП.

На рис. 3.2 представлен пример компоновки автоматизированного участка подготовительного производства, включающего автоматизированный склад неразбракованной ткани 1, в котором хранятся контейнеры 2 с рулонами 3 ткани, автоматическое штабелирующее устройство 8, перегружающий контейнер 2 на НТПР, который доставляет контейнер на НПУ 13. Перегрузка

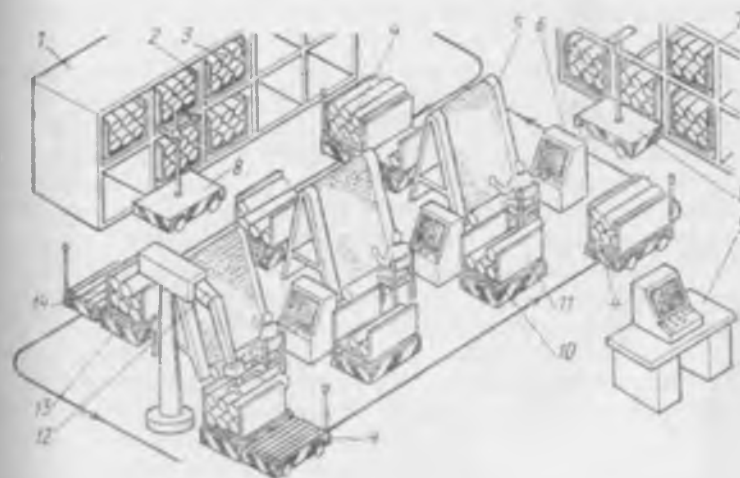


Рис. 3.2. Пример компоновки автоматизированного участка подготовительного производства

с НТПР на НПУ 13 происходит автоматически с помощью роликовых устройств 14, которые синхронно вращаются на НТПР и НПУ. Рулоны на всех разбраковочно-промерочных станках (РПС) 5 устанавливаются с помощью манипуляторов 12 с ручным управлением.

Аналогично этот же манипулятор 12 используется для перегрузки рулонов ткани с РПС 5 на НПУ 10, где размещают контейнеры 11 для разбракованной ткани. Контейнеры с разбракованной тканью на склад 7 разбракованной ткани доставляются с помощью НТПР 4.

Учет характера пороков, длины ткани, ввод информации о характеристиках разбракованной ткани ведутся с помощью устройств ввода-вывода 6 ЛСА, которые соединены в свою очередь с автоматизированным рабочим местом (АРМ) 9 начальника цеха подготовительного производства.

Формирование автоматизированного склада разбракованной ткани (АСРТ) 7 служит одним из основных элементов при построении автоматизированного раскройного производства.

В состав технических средств раскройного участка (рис. 3.3) входят автоматизированный (роботизированный) склад разбракованной ткани, включающий устройство хранения 1 контейнеров 2 с разбракованной тканью, автоматическое штабелирующее устройство (ШУ) 3, доставляющее груз на НПУ. ШУ 3 и НПУ входят в состав ЛСА склада разбракованной ткани (ЛСА СРТ).

Контейнеры с разбракованной тканью к НПУ 4 автоматизированного раскройного участка доставляются с помощью НТПР 5. Загрузку раскройных комплексов 6 можно осуществить с помощью подвесных манипуляторов 7 с ручным или автоматическим управлением. В качестве такого манипулятора может использоваться ШБМ-150 (см. § 2.8).

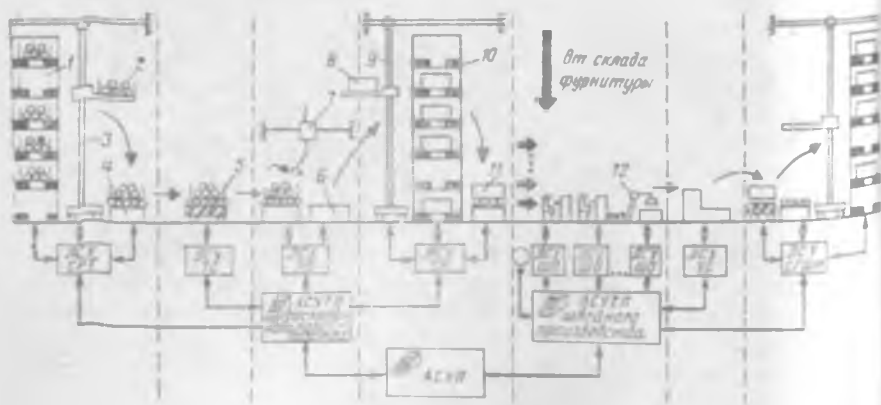


Рис. 3.3. Структура и состав роботизированного раскройного и швейного производства

Раскройный комплекс 6 является основным комплексом робототехнических средств, обеспечивающих гибкость производства — в случае изменения модели или конструкции одежды. В его состав, например, входят автоматизированные машины для технического размножения, вырезки, составления и вычерчивания лекал типа «Силуэт-С», «Силуэт-К» и «Силуэт-Р» (см. § 3.3), а также роботизированные настольные и раскройные комплексы (см. § 3.4). Примером использования раскройного роботизированного комплекса является робототехнический комплекс (система) с лазерным устройством (типа «Луч») для раскроя ткани (см. § 3.4).

Пачки кроя, рассортированные и подобранные в партии, укладываются в тару 8, которая с помощью ШУ 9 доставляется для кратковременного хранения в межоперационный склад (устройство хранения 10), откуда с помощью ШУ 9 поступает на НПУ 11, являющееся исходным пунктом при формировании запуска деталей кроя для сборки на швейных производственных потоках.

Применение универсальных ПР на сборочных операциях одежды швейного участка, особенно при ниточном способе соединения деталей кроя, весьма ограничено. Это объясняется, с одной стороны, сложной конфигурацией контуров соединяемых деталей и высокими требованиями к качеству строчки, а с другой — особенностями тканей — нежесткость, пористость и т. д., что затрудняет их обработку в автоматическом режиме. Поэтому на швейных участках особенно ярко выявилась необходимость применения специальных и специализированных ПР и робототехнических систем, в которых отдельные манипуляторы или группы манипуляторов встроены непосредственно в технологическое оборудование (швейные машины, машины для обработки деталей кроя, машины для влажно-тепловой обработки и т. п.).

Основными операциями при сборке одежды является подача деталей кроя на сборку и реализация сложной программной траектории обработки вдоль контура обрабатываемых деталей. В качестве первого примера в § 3.6 приводится описание конструкции робототехнического комплекса ОП-1, который предназначен для обметывания петель на манжетах сорочки и автоматически выполняет следующие операции: отделение манжет от стопы и подачу на рабочее место, ориентацию и базирование деталей, обметывание и прорубание петель, а также укладывание деталей в кассету.

Другим примером является робототехнический комплекс (РТК) «Узор» для фигурной прострочки одеял. Комплекс имеет систему числового программного управления и сложные механические узлы, реализующие указанную операцию.

Несмотря на наличие большого числа специальных РТС в швейном производстве, основная часть швейных операций (сборка) осуществляется вручную. Для полной роботизации руч-

ных операций сборки одежды необходимо переходить на новые технологии сборки одежды.

Отдельным технологическим процессом является влажностно-тепловая обработка деталей одежды и изделия в целом на специальном оборудовании 12 (см. рис. 3.3).

В качестве исполнительных элементов машин для влажно-тепловой обработки могут использоваться манипуляторы ПР (см. § 4.5).

Операции транспортировки деталей кроя на рабочие места на швейном участке выполняются с помощью специальных транспортеров (ленточных, цепных типа «Итон»), но могут осуществляться и с помощью напольных транспортных роботов (НТТР) малой грузоподъемности.

Рассмотренные выше робототехнические системы, включающие основное технологическое оборудование, промышленные роботы (ПР), автоматизированные транспортные системы управляются от локальных систем управления швейным оборудованием (ЛСУ ШО).

Отдельную группу оборудования составляет автоматизированное упаковочное оборудование (УО), применение в котором промышленных роботов в книге не рассматривается. Управление УО осуществляется локальными системами управления упаковочным оборудованием (ЛСУ УО).

Координация работы ЛСУ технологического оборудования и транспортных систем осуществляется АСУТП швейного участка.

Учитывая наличие большого объема полуфабрикатов, материальных ресурсов на швейных участках большое значение приобретает автоматизированная система управления производством (АСУП). Учет материальных потоков (деталей кроя, фурнитуры), затрат труда на производство швейных изделий, формирование порядка запуска изделий на швейный поток и другие организационно-технологические задачи — все это входит в задачи АСУП и является одним из основных факторов повышения качества, производительности и рентабельности швейного производства.

Состав, структура и особенности функционирования автоматизированных складов готовых швейных изделий, автоматизированных складов фурнитуры достаточно полно рассматривается в гл. 6.

### **§ 3.2. ПРИМЕНЕНИЕ МАНИПУЛЯТОРОВ С РУЧНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ДЛЯ ТРАНСПОРТНО-ПОГРУЗОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ В ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ЦЕХАХ ШВЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Общая характеристика манипуляторов с ручным управлением дана в § 1.3, где приведены манипуляторы с ручным управлением ШБМ-150 для транспортно-погрузочных операций

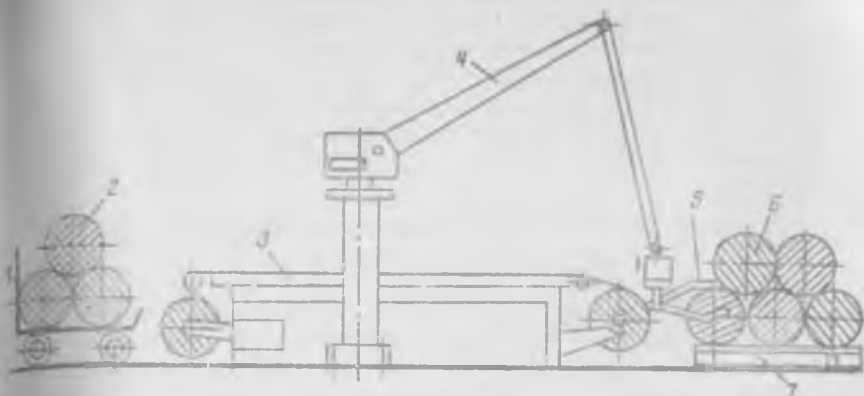


Рис. 3.4. Компоновочная схема РТК для загрузки и съема рулонов со столов

в подготовительном цехе предприятия ленинградского ПШО «Труд».

Два серийно выпускаемых манипулятора ШБМ-150 доукомплектованы специально разработанной дополнительной оснасткой (схваты, накопительные кассеты и др.). Один из манипуляторов предназначен для загрузки и съема рулонов с двух браковочно-промерочных столов, другой — для механизации транспортировки рулонов ткани от браковочно-промерочных машин на ленточный транспортер.

Схема компоновки РТК для решения первой задачи представлена на рис. 3.4. Порядок работы следующий: в зону разбраковки привозят на электропогрузчике кипу неразбракованных рулонов ткани 6 на поддоне 7. Работница с помощью схвата 5 манипулятора 4 захватывает один из рулонов (масса рулона до 70 кг), подводит его к месту установки на промерочном столе 3, вставляет в рулон металлический стержень и устанавливает на промерочном столе. Пока работница промеряет и разбраковывает ткань, манипулятором пользуется другая работница для установки рулона на втором браковочно-промерочном столе.

После промера и разбраковки рулона ткани при помощи того же схвата работница снимает рулон со стола и укладывает его в транспортно-накопительную тележку 1. Затем цикл повторяется. В конце смены работницы подготавливают рабочие места для своих сменщиц: откатывают заполненные тележки к ленточному транспортеру и выгружают разбракованные и промеренные рулоны 2 с помощью манипулятора на транспортер.

Использование манипуляторов позволяет облегчить тяжелый физический труд работниц, занятых на этой операции, и повысить производительность труда на 6 %.

На рис. 3.5 приведена схема компоновки РТК для решения второй из указанных задач. Цикл работы заключается в следующем. В начале рабочей смены к браковочно-промерочным ма-

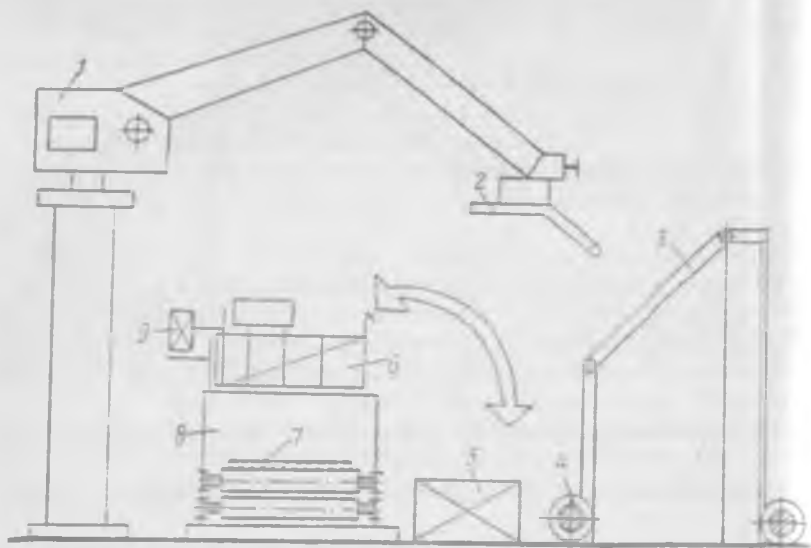


Рис. 3.5. Компоновочная схема РТК для механизации транспортировки рулона

шинам подводится накопитель с неразбракованными рулонами ткани. Работница заправляет машину, промеряет и разбраковывает ткань, затем укладывает рулон 4 вручную (масса рулона до 10 кг) в одну из свободных секций накопителя 6, расположенных в это время на столе 5. Разбраковав и промерив четыре рулона, работница последовательно укладывает их в накопитель. Затем с помощью схвата 2 манипулятора 1 работница перемещает накопитель на посадочное место 8 над ленточным транспортером и освобождает схват манипулятора. Нажатием кнопки «Пуск» включается система управления 9 накопителя, освобождающая его задвижку, и рулоны под действием своей массы падают на транспортер 7. После этого работница забирет пустой накопитель 6 и устанавливает его обратно на стол 5 возле браковочно-промерочной машины 3, заправляет машину 3 новым рулоном, и цикл повторяется в указанной последовательности.

Применение в данном случае одного манипулятора с дополнительной оснасткой позволяет при транспортировке рулонов на транспортер отказаться от грузчиков, т. е. все операции выполняет сама работница. Затраты времени на выполнение операций сокращаются, а изменение характера труда позволяет устранить монотонность работы.

Все вспомогательное оборудование к манипуляторам представляет собой сварные конструкции, выполненные из металлических уголков и прутков. Рациональность конструкции и техно-

логичность изготовления оснастки дают возможность реализовать разработку в условиях швейного предприятия.

Внедрение двух манипуляторов типа ШБМ-150 в подготовительном цехе ленинградского ПШО «Труд» позволило высвободить двух грузчиков, улучшить условия труда работниц, занятых промером и разбраковкой ткани, повысить производительность их труда.

### § 3.3. РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ПО РАБОТЕ СО ШВЕЙНЫМИ ЛЕКАЛАМИ

Работы по считыванию, техническому размножению, вырезке (вычерчиванию) и маркировке лекал, а также составлению и вычерчиванию раскладок лекал весьма объемны и трудоемки. Только на техническом размножении, вычерчивании, вырезке и маркировке лекал в Ленинградском Доме моделей одежды (ЛДМО) и швейных предприятиях Ленинграда занято около 200 человек.

Используя результаты работы Латвийского научно-исследовательского института легкой промышленности (г. Рига), специалисты разработали робототехнический комплекс, получивший название «Силуэт-С» (С — считывание), принятый за базовый и предназначенный для считывания базовых лекал (преобразование контурных лекал в цифровую форму, с которой оперирует ЭВМ), технического размножения и вычерчивания лекал (и их раскладок).

На его основе были разработаны еще две машины — «Силуэт-К» (К — координатограф) и «Силуэт-Р» (Р — резка). Машины имеют одинаковые размеры рабочего поля и исполнительные механизмы, но различаются набором и спецификой дополнительных функциональных систем в соответствии с назначением (например, система резки материала имеется только на одной из машин). Комплекс «Силуэт-К» предназначен для вычерчивания раскладок лекал, а «Силуэт-С» — для их вырезки.

Все машины имеют информационную и техническую совместимость с отечественными ЭВМ и могут быть использованы автономные или, в различных комбинациях дополняя стандартные средства вычислительной техники, образовывать целевые АРМ — техническую основу САПР швейных изделий, позволяя удовлетворить те специфические требования отраслей легкой промышленности, которые стандартными средствами не обеспечиваются.

В состав комплексов «Силуэт» входят микроЭВМ «Электроника-60». Это делает их достаточно гибкими, способными приспособиться к потребностям того или иного предприятия путем разработки соответствующих прикладных программ.

Машина «Силуэт-С» выполняет следующие функции: автоматическое и полуавтоматическое считывание контура базового лекала с выводом информации на печать, магнитные

диски, а также через интерфейс ввода-вывода на ЭВМ высшего уровня;

вычерчивание лекал в натуральную величину для контроля считывания;

размножение внутри ЭВМ базового лекала по размерностям при сохранении полученной информации в той же ЭВМ;

составление вручную раскладок лекал с применением мини-лекал\*;

считывание раскладок мини-лекал и их вычерчивание для контроля записи;

составление программ раскрытия раскладок лекал (последовательности перехода от лекала к лекалу).

Машина «Силуэт-С» выполняет также различные дополнительные функции технологического и производственного характера: расчет площадей и периметров лекал с высокой точностью, позволяя установить расход основных и вспомогательных материалов, длину швов, определить объемы и сложность работ и типы машин, необходимых для выполнения этих работ, планировать заработную плату, накапливать информацию о лекалах, модернизировать и усложнять лекала и т. д.

Конструктивно «Силуэт-С» имеет рабочий планшет (рис. 3.6), представляющий собой двухкоординатную систему, состоящую из неподвижного стола 1, где размещается чертежный материал или лекало 2, над поверхностью которых перемещается исполнительный механизм.

Стол представляет собой плоскую коробку на четырех опорах. Коробка разделена на три отсека, внизу которых вмонтировано по три вентилятора на отсек для создания вакуума, а сверху отсеки закрыты стальным листом с мелкими отверстиями, через которые чертежный материал или лекало присасываются к поверхности рабочего поля. Можно использовать и магнитные прижимы.

Исполнительный механизм является конструкцией порталного типа (портал), состоящей из двух тележек 3, соединенных несущей балкой 4, на которой укреплены направляющие 5 и зубчатая рейка 6. По направляющим балки на роликовых опорах перемещается каретка 7, приводимая шаговым двигателем (1ШД5-Д1М) и несущая рабочий инструмент 8 — чертежное или считывающее устройство (фотоголовка, оптический визир).

Портал перемещается вдоль стола на роликовых опорах по соответствующим направляющим 12 и 13 с помощью двух механически независимых приводов 14 с шаговыми двигателями (ШД5-Д1М) 15. Внутри балки портала размещен синхронизирующий вал 16, на концах которого закреплены две одинаковые зубчатые шестерни, находящиеся в безлюфтовом зацеплении с

\* Для формирования раскладок применяются мини-лекала ввиду ограниченности габаритных размеров машины.

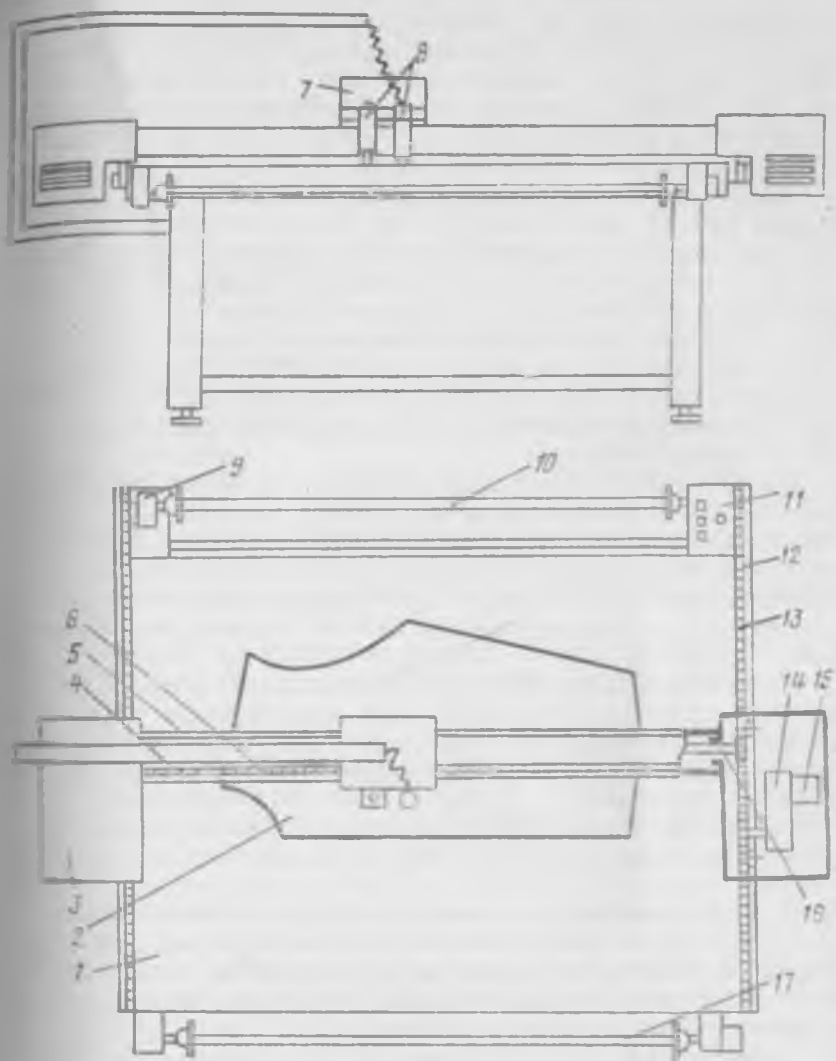


Рис. 3.6. Рабочий планшет «Салют-С»

зубчатыми рейками стола. Этот вал предохраняет от перекоса портал относительно стола при случайных механических воздействиях на ту или иную тележку. На портале имеются микровыключатели, ограничивающие ход каретки и портала относительно стола в пределах рабочего поля.

На двух краях стола параллельно portalу размещены подающая 17 и приемная 10 катушки с чертежным материалом,

например бумагой. На одном кронштейне подающей катушки находится устройство торможения рулона чертежного материала фрикционного типа, исключаяющее его инерционную размотку при настипании на поверхность стола. Внутри одного кронштейна на приемной катушке имеется электромеханический привод 9, а внутри другого — пульт перемотки 11.

Фотоголовка, осуществляющая считывание лекал в автоматическом режиме, представляет собой оптико-механическую систему для работы в отраженном свете. В фотоголовке применяется микрообъектив, через который изнутри головки фотодиодами освещается рабочее поле, а отраженный сигнал поступает на девять приемных фотодиодов. Этот сигнал усиливается и через плату компараторов передается в микроЭВМ. В зависимости от освещения или затемнения тех или иных групп фотодиодов ЭВМ вырабатывает управляющий сигнал, продвигающий фотоголовку вдоль контура лекала.

Визирное устройство, используемое оператором при полуавтоматическом считывании лекал, состоит из стеклянной пластины с перекрестием и расположенной над ней линзой с четырехкратным увеличением. В рабочем положении визирное устройство прижимается к лекалу. Наводится это устройство на выбранную оператором начальную точку и далее на все последующие.

Чертежный инструмент представляет собой грифель или шариковый стержень, опускаемый или поднимаемый электромагнитом, управляемым по программе или оператором. Бумагу можно перематывать в обоих направлениях с регулировкой оператором скоростью.

Вакуумный подсос при этом автоматически отключается.

Имеется специальный нож для отрезания выполненного чертежа.

Для управления планшетом без ЭВМ в состав машины входит специальный наладочный пульт, который позволяет перемещать исполнительный механизм с различной и плавно изменяемой скоростью отдельными шагами по 0,05 мм. Можно вручную включить и чертежный инструмент.

Работа оператора с ЭВМ выполняется с помощью специально разработанного пакета прикладных программ в режиме диалога. Вопросы ЭВМ оператору сведены к двум видам: в виде меню или в виде вопросов, на которые надо дать утвердительный или отрицательный ответ или ввести нужное значение параметра.

Система управления комплекса помимо микроЭВМ содержит стандартные блоки управления шаговыми двигателями БУШ-1, а также интерфейсные платы связи с микроЭВМ, блоки питания, пульта управления и наладочный, измерительные устройства и элементы блокировки.

# Техническая характеристика машины «Силуэт-С»

|                                                              |                              |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Размеры рабочего поля, мм                                    |                              |
| длина                                                        | 1500                         |
| ширина                                                       | 1800                         |
| Скорость перемещения рабочего инструмента, м/мин             | До 12                        |
| Дискретность, мм                                             | 0,05                         |
| Точность вычерчивания, мм                                    | $\pm 0,2$                    |
| Поле зрения фотоголовки — круг диаметром, мм                 | 2,0                          |
| Поле зрения визира — круг диаметром, мм                      | 40                           |
| Кратность увеличения фотоголовки                             | 15                           |
| визира                                                       | 4                            |
| Минимальная толщина линии для автоматического считывания, мм | 0,7                          |
| Масштаб черчения                                             | 1 : 1; 1 : 2; 1 : 5;<br>1 10 |
| Потребляемая мощность, Вт                                    | До 1000                      |
| Питающая сеть                                                | 3×380 В, 50 Гц               |
| Габаритные размеры планшета, мм                              | 2000×2500×1000               |

Машина «Силуэт-К» предназначена для выстраивания в натуральную величину зарисовок раскладок лекал, по контурам которых после наложения зарисовок на материал осуществляется ручную вырезку деталей одежды\*.

В связи с ограниченностью рабочего поля машины (рис. 3.7) после нанесения части раскладки бумага с изображением сматывается на приемную катушку 1 так, чтобы рабочее поле занимала чистая часть 2 рулона, сматываемая с подающей катушки 4. При этом чертеж и чертежный инструмент 3 перемещаются без смещения между собой, поэтому продолжение вычерчивания программы происходит без смещения относительно вычерченной части чертежа раскладки. Для реализации сказанного портал при смене участка воспроизводимой раскладки смещается автоматически специальной следящей системой. Вакуумный подсос при перемотке автоматически отключается.

Кроме того, требуется, чтобы чертежный материал перемещался по программе самим порталом, на котором находится и рабочий инструмент. На портале имеется два схвата, один закреплен неподвижно, а другой можно смещать при настройке на используемую ширину бумаги. Каждый хват имеет по две лапки, в разъем которых входит своим краем перемещаемая бумага. Одна из лапок (нижняя) неподвижная, а другая (верхняя) может перемещаться вертикально под действием программно-управляемого электромагнита, прижимаясь к нижней и захватывая при этом бумагу. Имеется возможность и ручного управления перемоткой с регулированием ее скорости.

\* Зарисовки раскладок лекал могут использоваться для дополнительного контроля их воспроизведения.

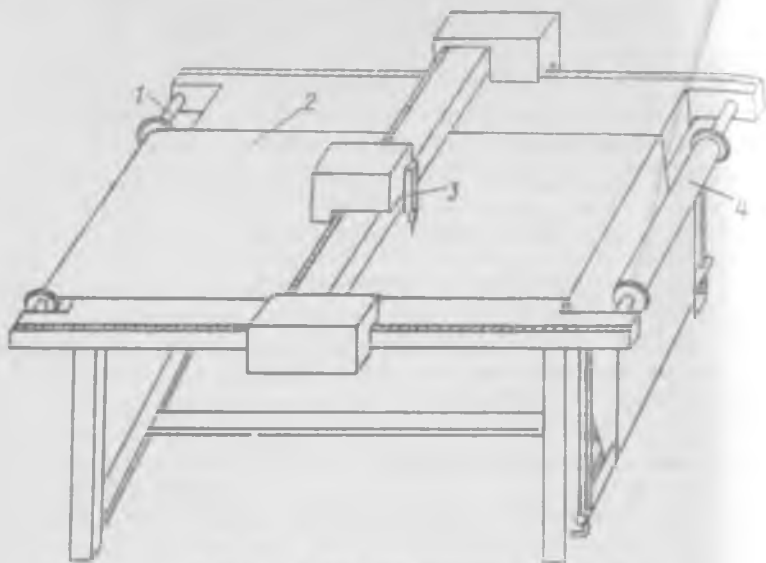


Рис. 3.7. Рабочий планшет «Силуэт-К»

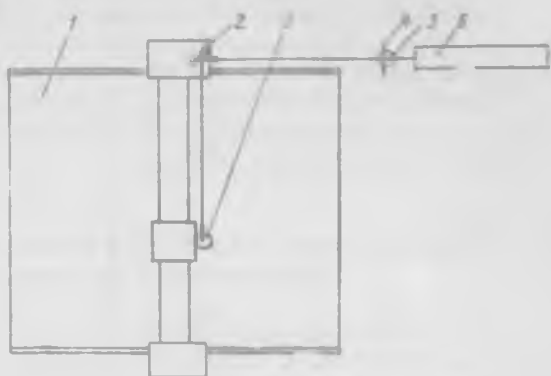
Максимальная скорость воспроизведения раскладки 10 м/мин, скорость ограничивается шаговыми двигателями. При необходимости, скорость «Силуэта-К» можно поднять, перейдя на следующий привод.

Кроме вычерчивания контуров в раскладке лекала удобно также автоматически маркировать, нанося различные надписи и линии. В настоящее время на «Силуэте-К» надписи выполняются тем же чертежным инструментом. Однако эффективность работы машины «Силуэт-К» в режиме маркировки лекал можно увеличить в десятки раз, применив электрокапеструйный (экс) инструмент, управляемый ЭВМ. Двух-трехстрочную надпись можно сформировать за один проход при линейной скорости инструмента свыше 1 м/с. При этом надпись можно получить при движении инструмента в прямом и обратном написаниях направлений.

Машина «Силуэт-К» позволяет, как сказано выше, осуществлять вырезку деталей одежды по контурам раскладки, воспроизведенным на бумаге. Бывает необходимость (например, при раскрое полотен с дефектами) вырезать детали по обмеловкам, выполняемым по контурам отдельно подготовленных лекал.

Лекала вырезают вручную либо механизированным способом. Это тяжелый и малопродуктивный труд. Точность вырезаемых лекал невелика, что отрицательно сказывается в швейном производстве на экономии материалов. После вырезки лекала маркируют (штампуют) также вручную. Для автоматизации этого процесса предназначена машина «Силуэт-Р» (рис. 3.8).

рис. 3.8. Машина «Сиду»  
ЭТ-Рх



В качестве режущего инструмента используется излучение стандартного лазера ИЛГН-701 мощностью 60 Вт и лазерный резак. Можно использовать любой другой лазер мощностью до 300 Вт.

Скорости вырезания лекал из бумаги зависят от вида и толщины разрезаемого материала и приведены ниже.

| Материал                                                                                      | Скорость<br>рези,<br>и мин |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Бумага оберточная (один слой)                                                                 | 36                         |
| Крафт-картон                                                                                  |                            |
| один слой (толщина 0,1 мм)                                                                    | 16,6                       |
| пять слоев                                                                                    | 3,3                        |
| Картон лекальный — три слоя картона<br>(толщина 1,3 мм) и два слоя бумаги<br>(толщина 0,4 мм) | 3,3                        |
| Картон (один слой)                                                                            | 4,0                        |

Ширина реза составляет 0,2—0,3 мм.

Стол 1 (см. рис. 3.8) машины покрыт алюминиевым листом с отверстиями для отсоса дыма и одновременно для вакуумного прижатия разрезаемого материала. Вся механическая часть машины закрыта прозрачным кожухом, непроницаемым для лазерного излучения. Разрезающий материал луч излучает лазер 6, установленный на самостоятельной несущей конструкции с регулируемым опорами. Зеркала 2 (металлические) расположены под углом  $45^\circ$  к направлению луча и отражают луч лазера в лазерный резак 3. Резак снабжен регулятором высоты его расположения над поверхностью ткани. Сигнал высоты формируется датчиком, имеющим скользящую по поверхности ткани тарелочку с отверстием посередине для прохода сопла резака. В резак под давлением подается воздух из магистрали. Луч лазера перекрывается программно или оператором с помощью управляемой заслонки 4, которая в закрытом состоянии отражает луч в ловушку 5.

«Силуэт-Р» удобно эксплуатировать совместно с «Силуэтом-С». Вместе они выполняют готовые к употреблению на производстве лекала различных размеров и ростов, применяя только базовые лекала. Аналогично, как уже указывалось, целесообразно использовать вместе «Силуэт-С» и «Силуэт-К» при производстве раскладок лекал.

#### § 3.4. РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС РАСКРОЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

При автоматизированном раскрое текстильных и других материалов достигается большая экономия затрат труда. Современные автоматизированные машины для раскроя настилов осциллирующим ножом кроют в 3—8 раз быстрее, чем вручную, в зависимости от типа ткани, количества раскраиваемых деталей и сложности контуров. Достигается и большая экономия затрат труда на швейных операциях. Точность кроя обеспечивает рост производительности труда непосредственно в швейном производстве на 6—8 %.

Кроме того, достигается экономия ткани 1—10 % в результате уменьшения припусков между деталями в раскладке, закругления уголков деталей, снижения обычных припусков на швы на 1,5 мм благодаря отсутствию отклонений от контура при раскрое.

Высокие качество и точность автоматизированного раскроя создают предпосылки для автоматизации швейных операций. Больше того, роботизация швейных операций вообще невозможна без высокой точности деталей кроя, которую может дать только автоматизированный раскрой.

Существует два способа получения кроя: в настилах и безнастильными (в один слой), каждый из которых имеет преимущества и недостатки и требует принципиально разных конструкций раскройных машин.

В качестве режущих инструментов могут использоваться нож, лазерный луч, струя воды высокого давления, плазма и т. д.

Рассмотрим основные технические характеристики машин для раскроя настилов и однослойного раскроя. Ширина рабочей зоны обоих видов машин принимается равной ширине тканей и составляет 1,8—2,2 м. Длина раскройных столов кратна трехметровому модулю с наращиванием до 6, 9, 12 м. Вентиляционная система конструктивно всегда встраивается в стол.

Рабочий инструмент: для настилов — нож, луч лазера, струя воды; для одного слоя — нож, луч лазера, струя воды, струя плазмы.

Мощность лазера 0,1—2 кВт в зависимости от скорости и способа раскроя (настил, один слой), вида материалов.

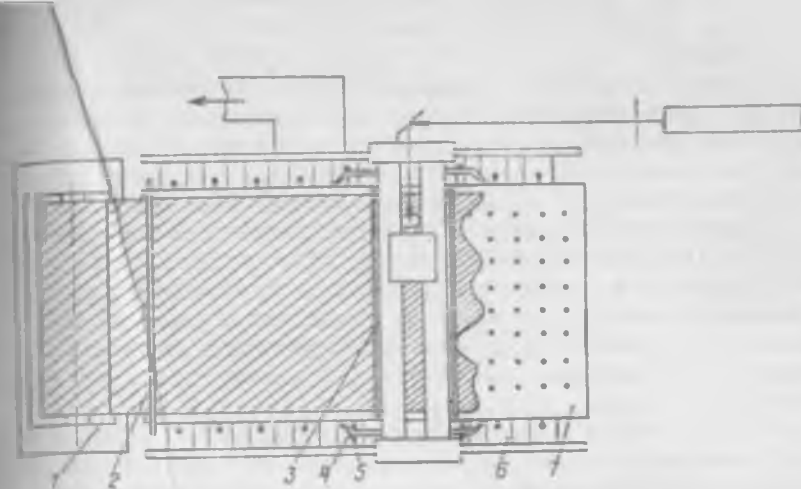


Рис. 3.9. Общий вид РТК «Луч»

Скорость раскроя: настилов 7—15 м/мин, одного слоя 50—70 м/мин.

Точность деталей кроя  $\pm 0,2$  мм для особо точных деталей,  $\pm 0,5$  мм для остальных.

В Ленинградском конструкторском бюро швейной промышленности созданы две раскройные машины с лазерным инструментом для раскроя настилов. Одна предназначена для раскроя настилов ткани бельевого ассортимента, другая (машина «Луч») была получена в результате модернизации первой в специфический РТК для однослойного раскроя искусственного меха, что технологически для лазерного способа является более сложной задачей, чем раскрой ткани. Сложность вызывается тем, что надо разрезать только основу без разрушения (обгорания) ворса. При этом затрудняется и выем детали из раскроенного полотна, так как ворсинки сцепляются, частично спекаются одна с другой и, не будучи разрезанными, цепко держат деталь в полотне.

Стол РТК «Луч» представляет собой (рис. 3.9) плоскую коробчатую камеру 7 длиной 3 м и шириной 1,5 м, разделенную на отдельные глухие секции, каждая из которых соединена патрубком 6 с системой отсоса. В патрубках имеются заслонки 5, механически открываемые элементами конструкции портала 4 при его нахождении над данной секцией. Поверхность стола покрыта алюминиевым листом с мелкими, но частыми отверстиями для всасывания дыма и прижима раскраиваемого материала. Так как полотно искусственного меха укладывается ворсом вниз и легко скользит по поверхности стола, автоматическое перемещение полотна по столу выполняется двумя управляемыми (программно или оператором) схватами 3 (размером по ширине стола), расположенными на портале.

Схваты управляются пневмосистемой. Опускаясь вертикально, они прижимают мех к столу и протаскивают его без проскальзывания (при перемещении портала вдоль стола) на заданное расстояние. Это позволяет перемещать в процессе раскроя полотно и резак без смещения между собой на новую позицию.

Рулон меха предварительно загружается в размоточное устройство (на рис. 3.9 не показано), а передний край полотна укладывается на раскройном столе под ближайший схват. Чтобы полотно не соскользнуло со стола, когда схват поднят, на самом краю полотна удерживается прижимной линейкой 2. автоматически поднимающейся при опускании схвата на момент протяжки.

Между столом и размоточным устройством 1 полотно образует свивающую петлю, перекрывающую луч света фотодатчика специальной следящей системы автоматической размотки рулона. Когда полотно начнет втягиваться на раскройный стол и петля уменьшится, открывая путь лучу света фотодатчика, срабатывает схема включения двигателя размоточного устройства, которое будет разматывать рулон до тех пор, пока снова петля не перекроет луч. Скорость размотки выбрана выше скорости подачи на стол.

По окончании полотна на размоточном устройстве срабатывает специальный датчик конца полотна, который выключает размоточное устройство при втягивании остатка полотна на раскройный стол.

Скорость раскроя на РТК «Луч» составляет до 12 м/мин, а маршевая скорость при переходах с детали на деталь 15 м/мин.

На контуре детали поддерживается постоянство вдоль контура установленной оператором скорости раскроя, зависящей от вида раскраиваемого материала. В РТК «Луч» используется лазер ИЛГН-709 мощностью 100 Вт. Лазерное оборудование и лазерный резак по конструкции аналогичны таким же элементам комплекса «Снлуэт-Р». Аналогично лазерный резак имеет следящую систему вертикальных движений, предназначенную для огнивания неровностей полотна и стола.

В качестве программного устройства используется линейно-круговой интерполятор с вводом программы с перфоленты. В программе учитываются особенности раскроя искусственного меха.

В РТК «Луч» используются следящие электроприводы для управления порталом и его кареткой, каждый из которых включает электродвигатель СЛ571К, тахогенератор ТГ102, вращающийся трансформатор ВТМ1Г, безлюфтовый редуктор и электронную систему управления.

Порядок раскроя раскладки лекал программируется так, чтобы были вырезаны целиком лекала на длине полотна (1—1,2 м). Затем схваты вытягивают на это место цельковое полотно,

крой выталкивают на край стола. Крой снимают вручную и укладывают в пачки на столе комплектации, установленном вблизи раскройного стола. Укомплектованные пачки маркируют и передают в швейный цех. Если раскладка короче 2,2 м, то ее нарезают целиком. В комплексе предусмотрено удаление обрезки специальной пневмосистемой.

РТК «Луч» установлен в раскройном цехе ЛПШО «Маяк». Участок отгорожен от остального помещения, на дверях и щитах установлены блокировки, выключающие лазер при несанкционированных действиях людей.

### § 3.5. РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ВЫСТЕГИВАНИЯ ОДЕЯЛ

Технологический процесс выстегивания одеял предусматривает в основном два способа выполнения этой операции — ручной и полуавтоматический. Первый применяется преимущественно для выстегивания детских одеял малых размеров, второй — для выстегивания остальных видов одеял — от полуторных до двойных. На выстегивание поступает полуфабрикат одеяла, представляющий собой тканевый чехол, заполненный наполнителем.

При *ручном способе* полуфабрикат растягивается на легком деревянном пяле с помощью зажимов, которые охватывают его по периметру. На полуфабрикат накладывают копир-шаблон, представляющий собой лист плотной бумаги или картона со сквозной перфорацией, определяющей будущий рисунок выстегивания, и с помощью тампона с меловой пудрой наносят рисунок на поверхность полуфабриката. Затем проводится выстегивание полученного рисунка на швейной машине, неподвижно закрепленной на консоли над поверхностью рабочего стола, по которому вручную перемещают пяло с полуфабрикатом. Процесс этот является весьма утомительным, причем качество строчки и рисунка полностью зависит от способностей и опыта работницы. Очевидно, что изделия, полученные таким образом, претендовать в массовом производстве на высокое качество не могут.

При *полуавтоматическом способе* выстегивания получают более качественные изделия. Этот способ предусматривает применение машин-полуавтоматов типа «Матрамастик» (Англия) или «Принц» (Япония). Принципиально эти машины не отличаются одна от другой и представляют собой (рис. 3.10) неподвижную раму 1 с двумя параллельными горизонтальными балками, расположенными одна под другой. На верхней балке 2 неподвижно закреплена швейная головка 3, на нижней 5 — челночное устройство 4 и устройство слежения за копир-шаблоном 6. Копир 7 закреплен на нижней горизонтальной плоскости подвижной двухэтажной каретки 8, а верхний этаж этой каретки представляет

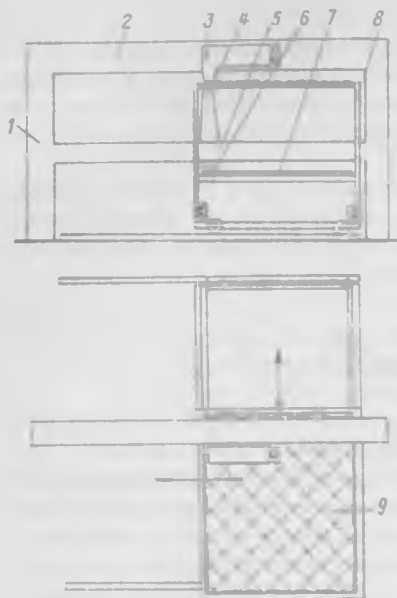


Рис. 3.10. Машина-полуавтомат типа «Матрамастик»

собой металлическое пяло с зажимами, где закреплена заготовка 9. Каретка перемещает копир и заготовку по двум координатам под швейной головкой и на заготовке выстегивается рисунок, как на копире.

Копир-шаблон представляет собой деревянный или металлический лист в натуральный размер одеяла, на котором закреплены фигурные направляющие — гибкая зубчатая рейка («Матрамастик») или резиновый жгут («Принц»), определяющие контуры выстегивания. Устройство слежения — привид-

ное зубчатое или профильное колесо — входит в контакт с фигурными направляющими и, обегая их, заставляет перемещаться каретку с полуфабрикатом под швейной головкой, которая его выстегивает. Таким образом, работа оператора на этих машинах заключается в том, чтобы вручную закрепить заготовку в пяле, подать пяло в машину, включить машину и после окончания выстегивания остановить машину и снять готовое изделие.

Однако нетрудно заметить и ряд существенных недостатков при использовании этих машин-полуавтоматов, а именно:

производственная площадь, занимаемая собственно машиной, должна быть не менее четырехкратной площади максимального одеяла (необходимо перемещение пяла с полуфабрикатом в горизонтальной плоскости по двум координатам);

копир-шаблоны представляют собой сложную и громадную конструкцию, дорогостоящую в изготовлении. По этим причинам разновидности копир-шаблонов, а следовательно, и рисунки одеял очень ограничены. Кроме того, контур всего рисунка должен быть обязательно замкнутым и скругленным.

Эффективным направлением совершенствования оборудования для выстегивания одеял является разработка и создание робототехнических систем указанного назначения.

Конкретным примером такого устройства является разработанный в ЛСПКБ ШП и внедренный на ЛПИШО «Волна» робототехнический комплекс «Узор» для стежки одеял с наполнителем. Опыт создания данной машины может быть использован

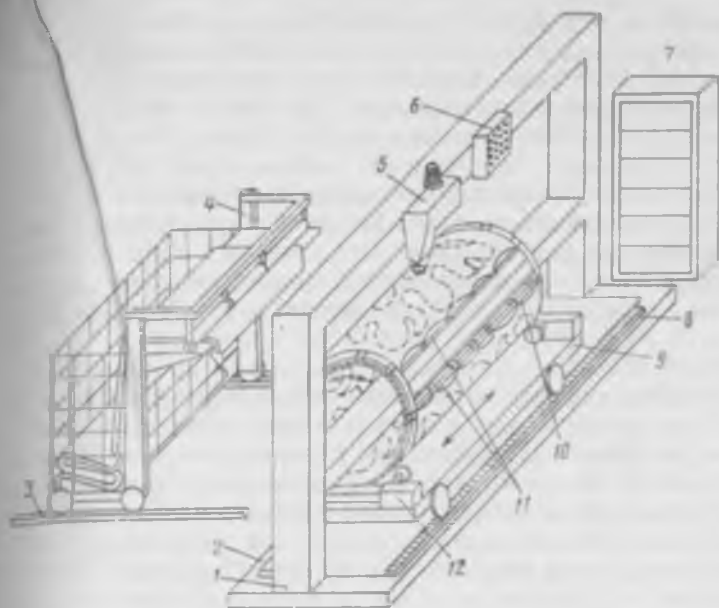


Рис. 3.11. Компоновочная схема РТК «Узор»

при конструировании других устройств типа вышивальных, например машин для обработки спальных мешков, отделки крупным рисунком деталей стеганых пальто и курток.

Робототехнический комплекс «Узор» (рис. 3.11) представляет собой двухкоординатную систему, имеющую неподвижную раму 1 (в дальнейшем именуемую портал) и каретку 9, которая сама перемещается вдоль портала, а на ней вращается барабан, несущий конструкцию пял 10. Таким образом организуется в машине двухкоординатное движение, обеспечивающее формирование узора.

Портал машины конструктивно состоит из двух вертикальных колонн (левой и правой) и двух горизонтальных параллельных балок (верхней и нижней). Обе колонны своими опорными нижними концами установлены на общее основание 2, которое в свою очередь закреплено в полу цеха. На верхней балке портала находится швейная головка 5, которая закреплена на суппорте и может, например, при устранении обрыва нити вертикально перемещаться от электропривода суппорта. Швейная головка снабжена электромагнитным отключением натяжения нити. На нижней балке под швейной головкой расположено челночное устройство (на рисунке закрыто натянутым одеялом). Головка и челночное устройство получают вращение от общего электропривода, размещенного в правой колонне портала, с помощью зубчато-ременных передач (на рисунке не показаны).

На общем основании 2 параллельно балкам портала закреплены два направляющих рельса 8, по которым перемещается каретка с помощью размещенного на ней же электропривода. Вращающийся барабан каретки имеет два кронштейна: правый — неподвижный, левый — с возможностью (для обеспечения натяжения) небольших перемещений вдоль продольной оси платформы с помощью самостоятельного электропривода и регулируемой фрикционной муфтой. На обоих кронштейнах на противоположных роликах установлены два кольцевых пята 10. На обоих кольцевых пятах закреплены расположенные по окружности защелки, срабатывающие автоматически от электромагнитов.

Между кольцевыми пятами параллельно их общей оси поворота установлены две штанги 11 с телескопическими концами, которые закреплены на кольцевых пятах, а на штангах смонтированы зажимы. Кольцевые пята приводятся во вращение самостоятельно, но работающими синхронно следящими электроприводами 12, размещенными соответственно на правом и левом кронштейнах. На верхней балке портала закреплен пульт оператора управления машиной 6, а на левой колонне — устройство для намотки шнура (на рисунке не показано). Внутри левой колонны портала находятся электрические коммутационные устройства. Подвод электропитания к каретке осуществляется подвижной кабельной подвеской.

Подающее устройство располагается с противоположной от оператора стороны портала и состоит из несущей конструкции 4, размещенной на катках и перемещающейся на направляющих 3, закрепленных на полу цеха. На несущей конструкции размещены: с передней стороны (обращенной в сторону портала) — система прижимных роликов для натяга заготовки, поднимаемых общей рукояткой; с противоположной — корзина для укладки заготовки; в нижней части имеется электропривод перемещения подающего устройства к portalу и от него. Кроме стойки в систему управления машиной входит нижняя педаль, подключаемая к исполнительному механизму и предназначенная для поворота пята в процессе заправки полуфабриката и съема готового изделия.

Система управления машиной имеет стойку управления 7, электроприводы, пусковую релейную аппаратуру, релейные исполнительные элементы, блоки питания, пульты управления, жгуты и кабели, концевые выключатели.

Электронные блоки стойки управления построены на микросхемах серии К155 малой и средней интеграции, серии К553 и К573 и включают в себя устройство числового программного управления (УЧПУ), дискретные фотоэлектрические датчики обратной связи, линейно-круговой интерполятор (ЛКИ), постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) программ выстрачиваемых узоров, систему поиска на строчке точки обрыва (оконча-

ния) нижней нити после ее заправки, схемы контроля значения питающих напряжений блоков питания.

В качестве приводных двигателей в машине используются двигатели постоянного тока серии СЛ различной мощности, а для привода швейной головки — асинхронный двигатель серии 4А мощностью 400 Вт.

Электроприводов на машине восемь, три из них используются в УЧПУ, один — для линейного перемещения каретки и два — для независимого и синхронного вращения п.л. Другие приводы служат для перемещения подвижного кронштейна при растяжке, съеме одеял, для подъема-опускания швейной головки, намотки шпули, движения подающего устройства, работы швейной головки.

Ручное и автоматическое управление приводами УЧПУ осуществляется с автоматическим разгоном и торможением приводов для большей сохранности механической части приводов.

В задачу линейно-кругового интерполятора входит не только интерполяция и обеспечение выполнения программы строчки в прямом направлении, но и осуществление обратного хода механизма по тому же контуру для обеспечения перекрытия строчки при обрыве нити.

Для сохранения постоянства длины стежка ЛКИ поддерживает постоянство вдоль контура рисунка скорости выстигивания одеяла. Если произошел обрыв нити, машина останавливается датчиком обрыва нити.

### § 3.6. РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ОБМЕТЫВАНИЯ ПЕТЕЛЬ ОП-1

Комплекс РТК ОП-1 предназначен для обметывания петель на жестких манжетах сорочки и автоматически выполняет следующие операции: отделение манжет от стопы и подачу на рабочую позицию, ориентацию правых и левых манжет, базирование деталей, обметывание и прорубание петли, а также укладывание обработанных деталей в кассету. Оператору помимо наблюдения за работой комплекса и устранения обрывов ниток остаются операции заправки стопы необработанных манжет и извлечения из кассеты стопы обработанных деталей.

Схема комплекса приведена на рис. 3.12. Помимо швейного полуавтомата 9 и промышленного робота 6 с захватными устройствами 7 и 10 в комплекс входят кассета-накопитель 4 заготовок и кассета-накопитель 11 обработанных деталей и устройство 8 ориентации манжет.

Работает комплекс следующим образом. Робот 6 захватным устройством 7 отделяет от стопы манжет, уложенной в кассету-накопитель 4, верхнюю заготовку, поворачивается на 60° и укладывает ее в устройство 8 ориентации. Из устройства 8 манжета подается в швейный полуавтомат 9. После окончания ее обра-

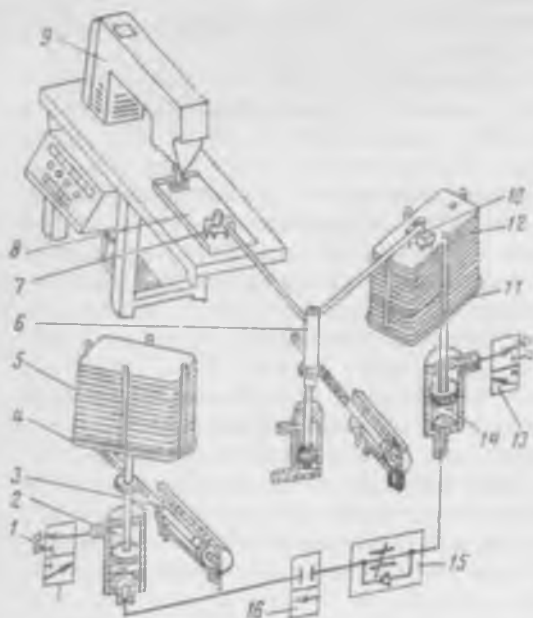


Рис. 3.13. Схема захватного устройства

Рис. 3.12. Схема РТК обметывания петель

ботки она захватывается устройством 10 и робот 6 укладывает ее в кассету-накопитель 11. Процессы захвата и переноса детали с исходной позиции 5 на позицию ориентации и предыдущей детали от полуавтомата 9 к позиции стопы 12 выполняются одновременно. Пневмоцилиндр 3 поворачивает кассету-накопитель 4 на  $180^\circ$  для ориентации правых и левых манжет.

Подъем стопы 5 заготовок на заданную высоту и опускание стопы 12 манжет осуществляется пневмогидравлическими устройствами. Каждое из них содержит цилиндры 2 и 13, бесштоковые полости которых заполнены маслом с малой вязкостью. Штоки цилиндров связаны с подвижными основаниями кассет-накопителей, в которых располагаются детали соответственно до и после обработки.

При получении сигнала от датчика захватного устройства кассеты-накопителя 4 об отсутствии верхней детали на заданном уровне включается клапан 13, который подает воздух в штоковую полость цилиндра 14 и переключает клапаны 16 и 1 в открытое состояние. Это вызывает выдвижение штока цилиндра 2 и втягивание штока цилиндра 14 из-за перетока масла по клапану 16. Скорость движения регулируется дросселем 15. Когда верхняя деталь стопы касается датчика захватного устройства, клапан 13 выключается, что вызывает запираание линии перетока масла клапаном 16 и выключение клапана 1. Верхняя деталь фиксируется на заданной высоте.

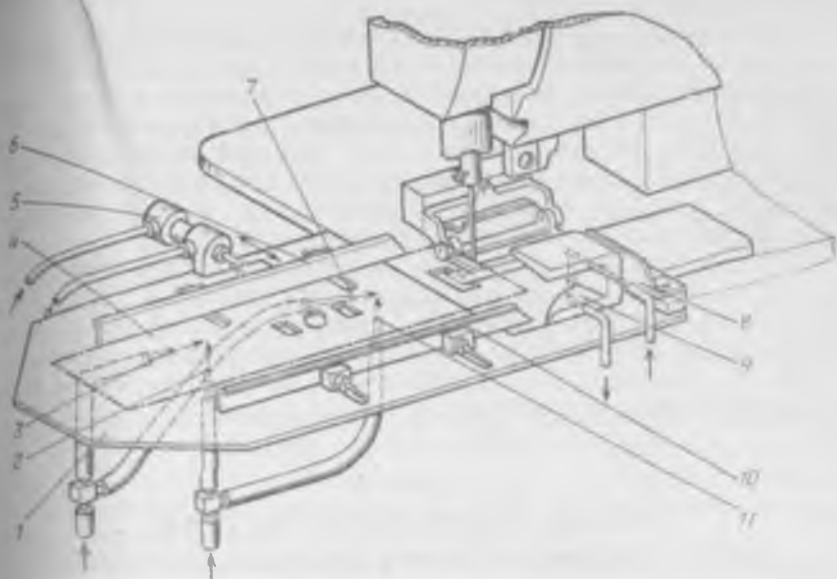


Рис. 3.14. Ориентирующее устройство

Захватное устройство (рис. 3.13) смонтировано на подпружиненной подвеске 4 и содержит две иглы 2, приводимые в движение штоком пневмоцилиндра 5. В основании 3 захватного устройства имеется сопло 1 датчика наличия захватываемой детали. Захватное устройство опускается на стопу деталей, иглы 2 прокалывают верхнюю деталь и по сигналу от сопла 1 в контакте с ней пневмоцилиндр 5 разводит иглы 2 в разные стороны. Смещением основания 3 относительно пневмоцилиндра 5 регулируется глубина захода игл в деталь. Далее устройство с захваченной деталью поднимается вверх.

Ориентирующее устройство (рис. 3.14) состоит из основания 1, сопел 2, 3, 7 и 11, выполненных в основании 1 под разными углами к его поверхности, смещаемых пневмоцилиндром упоров 6 и 10, неподвижного упора 8, датчика 9 положения заготовки 4. Заготовка 4 помещается роботом на основание 1. Пневмоцилиндр 5 в зависимости от того, какой манжет подвергается обработке, подводит упоры 6 или 10, соответственно подается сжатый воздух в сопла 2 и 11 или в сопла 3 и 7. Это вызывает движение заготовки 4, пока она не дойдет до упоров 6 и 8 или 8 и 10. Сигнал об этом поступает с датчика 9, что прекращает подачу сжатого воздуха в сопла 2, 11 (или 3, 7).

В РТК использован пневматический промышленный робот модульной конструкции ПР5-2 с системой управления, построенной по позиционной структуре на пневматической аппаратуре КОМПАС. Используются модули поворота и подъема робота, причем они снабжены конечными выключателями для контроля

положения исполнительных механизмов. Система управления позволяет выполнять работу комплекса в автоматическом и наладочном режимах, реализуется перепрограммирование в зависимости от порядка следования правых и левых манжет. В случае невзятия заготовки робот делает повторную попытку взять манжет. При потере заготовки, перекосе при ориентации, обрыве ниток и других сбоях робот прекращает работу и вызывает оператора подачей звукового и светового сигналов.

Рассмотренная конструкция комплекса является универсальной и с заменой швейного полуавтомата, захватных устройств, кассет и устройства ориентации может применяться для любых операций по обработке мелких деталей: пришивания пуговиц на манжеты и карманы, настрачивание этикеток на карманы, изготовления петель на полочках, клапанах и т. п.

## Глава 4

### РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В КОЖЕВЕННО-ОБУВНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

#### § 4.1. СТРУКТУРА И СОСТАВ ГИБКОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО (РОБОТИЗИРОВАННОГО) СУШИЛЬНО-ОТДЕЛОЧНОГО ЦЕХА КОЖЕВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Технологический процесс обработки кожевенного сырья и полуфабрикатов можно разбить на три основных этапа:

отделочно-зольные технологические операции, связанные с обработкой кож химическими растворами в сочетании с механической обработкой для обезволаживания, мездрения и чистки поверхности кожевенного сырья;

дубильные процессы, связанные с последующей обработкой кожевенного сырья, теперь уже дубильными растворами, и жиrowанием с целью придания кожевенному сырью требуемых физико-механических свойств (влагонепроницаемость, упругость, прочность и т. д.);

сушильно-отделочные процессы и операции по приданию коже красивого внешнего вида, необходимых физико-механических свойств (например, прочности), а также для увеличения выхода площади кожи.

Необходимость повышения степени гибкости автоматизированных кожевенных производств (в дальнейшем будем рассматривать в качестве примера производство жестких кож, в частности чепраков), вызывается, во-первых, большой вариабельностью физико-механических свойств и геометрических параметров (конфигурации и площади) кожевенного сырья, зависящих от большого числа случайных факторов (включая условия содержания крупного рогатого скота), во-вторых, вариабельностью в химическом составе растворов, и жиронакопителей, которыми

обрабатывается кожевенное сырье, в-третьих, широким использованием ручного труда в кожевенном производстве и, наконец, большим количеством взаимосвязей в организационной структуре кожевенных производств.

Разработка и создание гибких автоматизированных (роботизированных) кожевенных производств связано со следующими основными задачами:

разработкой новых технологий и реализующего их технологического оборудования с применением автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУТП);

комплексной механизацией и автоматизацией вспомогательных операций с использованием промышленных роботов (ПР);

разработкой информационной структуры управления на базе автоматизированной системы управления производством (АСУП).

С точки зрения повышения гибкости кожевенного производства первые два этапа технологии обработки кожевенного сырья, где технологические процессы в основном определяются процессами обработки химическими растворами, больше связаны с решением первой и третьей из указанных задач.

Решение задачи механизации и автоматизации технологических процессов на сушильно-отделочных операциях требует комплексного подхода и именно на этих операциях возможно широкое использование ПР, АСУТП, АСУП и других систем автоматизации.

На рис. 4.1 изображена примерная структура и состав гибкого автоматизированного (роботизированного) сушильно-отделочного кожевенного производства.

После предварительной обработки в отмочно-зольных и дубильных цехах кожевенное сырье доставляется на межоперационный склад сушильно-отделочного цеха в специализированных контейнерах 1.

Технологический процесс сушки кожевенного полуфабриката происходит в циклической сушилке (аналог такой сушилки разработан в Киевском технологическом институте легкой промышленности). Основным преимуществом подобной автоматической сушилки является возможность сокращения ручного труда и улучшения качества кожи (вследствие циклического изменения температуры уменьшается коробление кожи, что в свою очередь позволяет широко использовать вакуумные захваты в ПР). Кроме того, сушка кожи в горизонтальном положении (осуществляется предварительная ориентированная укладка при окончании дубильных операций) устраняет тяжелый ручной труд по завеске кож, например в туннельные сушилки. Горизонтальное расположение кожи также позволяет воспользоваться имеющимися типами ПР. Однако применение новой технологии сушки требует более качественного контроля и регулирования температуры и влажности в сушильных камерах, а также точной ре-



дизайна программы обработки кожевенного полуфабриката в циклической сушилке.

Реализация такой программы изменения температурного режима в камерах сушилки возможна на базе адаптивных (гибких) систем управления, позволяющих быстро реагировать на меняющиеся температурные и влажностные изменения и формирующих программу изменения температуры в секциях сушилки в зависимости от физико-механического состава кожевенного сырья, поступающего в сушилку. Управление (стабилизация) всеми указанными параметрами осуществляется локальными системами управления (ЛСУ).

Формирование программы изменения температуры и влажности в камерах, т. е. обеспечение гибкого реагирования на изменение внешних условий, реализуется АСУТП сушильно-отделочного цеха.

С автоматизированного склада подвижных контейнеров с кожевенным сырьем с помощью напольных транспортных роботов 2 грузотянувшего типа контейнер доставляется к циклической сушилке 3. Внутри циклической сушилки контейнер 1 перемещается внутренней транспортной системой (например, с помощью шелевого транспортера или подвесной конвейерной цепи). На выходе из сушилки 3 подвижной контейнер 1 транспортируется с помощью НТПР 4 грузотянувшего типа к ПР 5, который перекладывает кожевенный полуфабрикат из контейнера 1 на прокатный каток 6. В качестве прокатных катков могут использоваться проходные и непроходные катки.

После операции прокатки (при этом могут использоваться несколько катков, прокатывающие кожевенное сырье вдоль и поперек хребтовой линии) с помощью ПР 7 готовая кожа (чепрак) прокладывается на НТПР 8 (здесь может быть использован НТПР грузонесущего типа) и доставляется на браковочно-измерительный участок, в частности на площадемерную (измерительную) машину 10. Кожа с НТПР 8 на площадемерную машину 10 перекладывается с помощью ПР 9, который также осуществляет перекладку кож с площадемерной машины 10 в подвижные контейнеры 11, которые с помощью НТПР 12 грузонесущего типа доставляются на автоматизированный склад готовых кож.

Учет площади, сортности и категории готовых кожевенных изделий на браковочно-измерительном участке осуществляется системами АСУП и АСУТП, в задачу которых кроме этого входит формирование транспортных потоков, формирование программ работы ЛСУ, оперативное планирование и диспетчеризация производственных процессов.

В качестве НТПР 2, 4, 8 грузотянувшего типа могут быть использованы ПР, технические характеристики которых и описание функционирования даны в гл. 5, где также приведены характеристики и описание НТПР грузонесущего типа, который

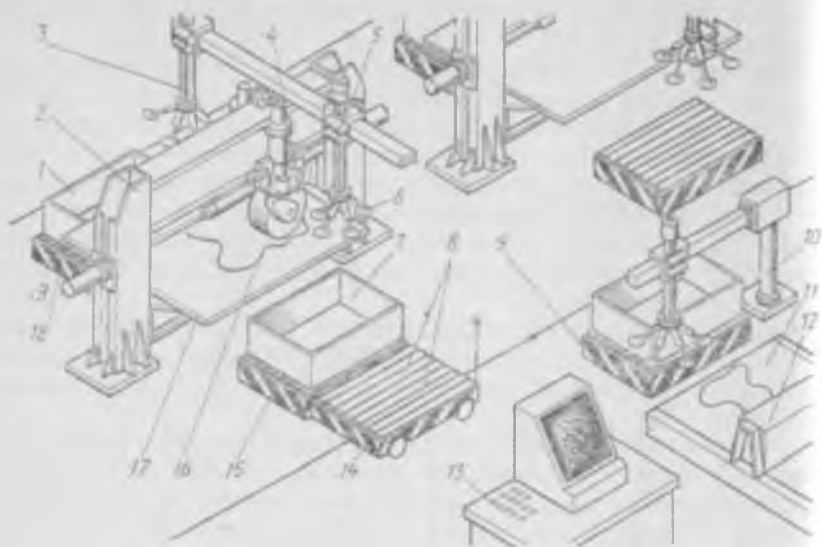


Рис. 4.2. Роботизированный участок отделочного производства кожи

при соответствующей модернизации может быть использован в качестве НТПР 8.

Техническое описание (и особенности функционирования) ПР 5, 7, 9, имеющих грузоподъемность 15—20 кг и реализованных в портальном исполнении, приведено в § 2.2.

На рис. 4.2 показан фрагмент робототехнического комплекса для автоматизированной прокатки кожи (чепрака) на непроходных катках. Кожевенный полуфабрикат 16 доставляется в контейнерах 7 с помощью НТПР 14 к непроходному катку 2. Перегрузка контейнера 7 с НТПР 14 на накопительно-перегрузочное устройство (НПУ) 15 выполняется автоматически по рольгангам 8. Кожевенный полуфабрикат 16 из контейнера 7 на стол 17 прокатного катка 2 укладывается ПР 5 с помощью вакуумных захватов 6. После прокатки кожевенного полуфабриката 16 катком 4 обработанная кожа поступает по столу 17 на ПР 3, который переносит ее в контейнер 1.

После наполнения контейнера 1 он автоматически перегружается на НПУ 18 и далее по рольгангам 20 на НТПР 14, доставляющий контейнер на НПУ 9, откуда с помощью ПР 10 происходит загрузка-выгрузка обработанной кожи (чепрака) 11 на площадемерную машину 12.

Управление робототехническим комплексом (режимом работы прокатного катка 2, ПР 5, 3, 10, НТПР 15 и НПУ 9, 15 и 18), обработка результатов работы площадемерной машины, учет готовой кожевенной продукции и реализация других технологических и организационных задач осуществляется с пульта авто-

материализованного рабочего места (АРМ) оператора 13 автоматизированного участка прокатки.

#### § 4.2. СТРУКТУРА И СОСТАВ ГИБКОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО (РОБОТИЗИРОВАННОГО) ОБУВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Обувное производство является производством со сложными технологическими процессами изготовления обуви, большим объемом и ассортиментом выпускаемой продукции. Оно включает автоматизированные склады кожевенного, текстильного сырья и фурнитуры, вырубочные швейные, литьевые и сборочные цеха, а также сложные транспортные системы, обеспечивающие межцеховую и внутрицеховую транспортировку грузов.

На рис. 4.3 представлена общая схема технологических переходов обувного производства, отражающая основную структуру РТК и входящего в них технологического оборудования для изготовления обуви, а также структуру и состав транспортно-складских систем.

Материалы для изготовления верха и низа обуви (кожа, текстильные материалы, химические и клеящие составы), а также фурнитура доставляются со склада сырья транспортными системами. В состав автоматизированных складов сырья входят устройства хранения 1, штабелирующие (ШУ) 2, накопительно-перегрузочные (НПУ) 3 устройства, на которые тара с материалами для изготовления обуви доставляется ШУ 2. Подробное описание конструктивных особенностей оборудования и функционирования автоматизированных складов описывается в гл. 6.

В зависимости от способа изготовления обуви (рантовый, сандалийный, клеевой, литьевой) варьируется состав оборудования. Все способы идентичны на этапе изготовления верха обуви, который по структуре и составу технологического оборудования имеет много общего.

Основное отличие в технологии изготовления обуви проявляется на последующих этапах. В одном случае технология предусматривает в добавлении к изготовлению деталей верха самостоятельное изготовление деталей низа с последующим их ниточным (в случае рантового или сандалийного метода) или клеевым соединением с верхом. В другом случае (литьевой метод) низ обуви одновременно формируется в литьевых формах и приливается к верху.

Рассмотрим структуру и состав автоматизированного (роботизированного) производства обуви на примере двух способов изготовления: клеевого и литьевого.

На рис. 4.3 представлены основные этапы изготовления обуви. В средней части рисунка изображены основные участки изготовления верха обуви. С помощью автоматизированных НТПР 4 кожевенное сырье и текстильные материалы доставляются на НПУ 5 автоматизированного участка изготовления де-

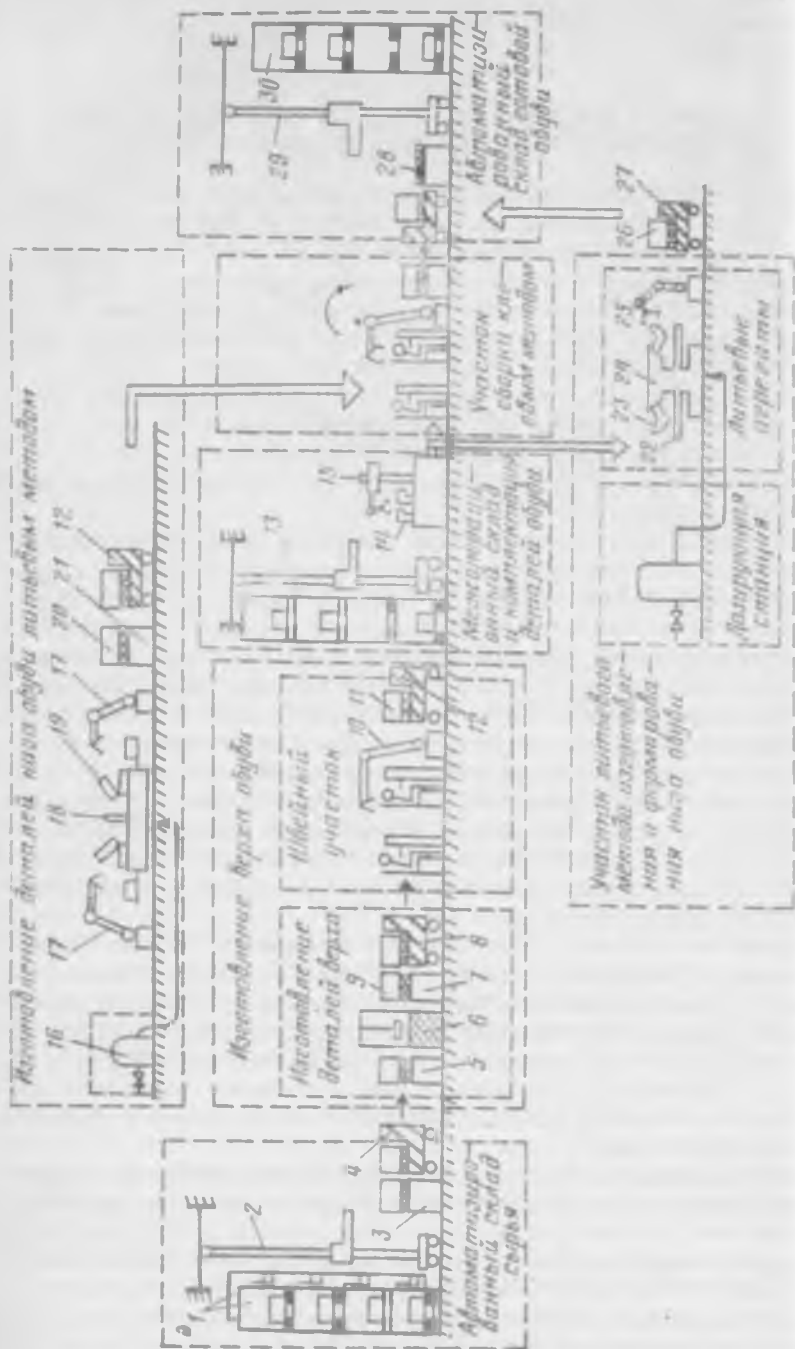


Рис. 4.3. Структура и состав автоматизированного (роботизированного) производства обуви

талей верха обуви, где их изготавливают с помощью раскройного или вырубочного оборудования 6. В качестве машин для раскроя деталей верха обуви из текстильных материалов и отдельных видов кожи могут быть использованы РТК, выполняющие раскрой лазерным лучом, механическим резаком или водяной струей. В случае вырубки деталей верха обуви из кожи возможно использовать специальные прессы.

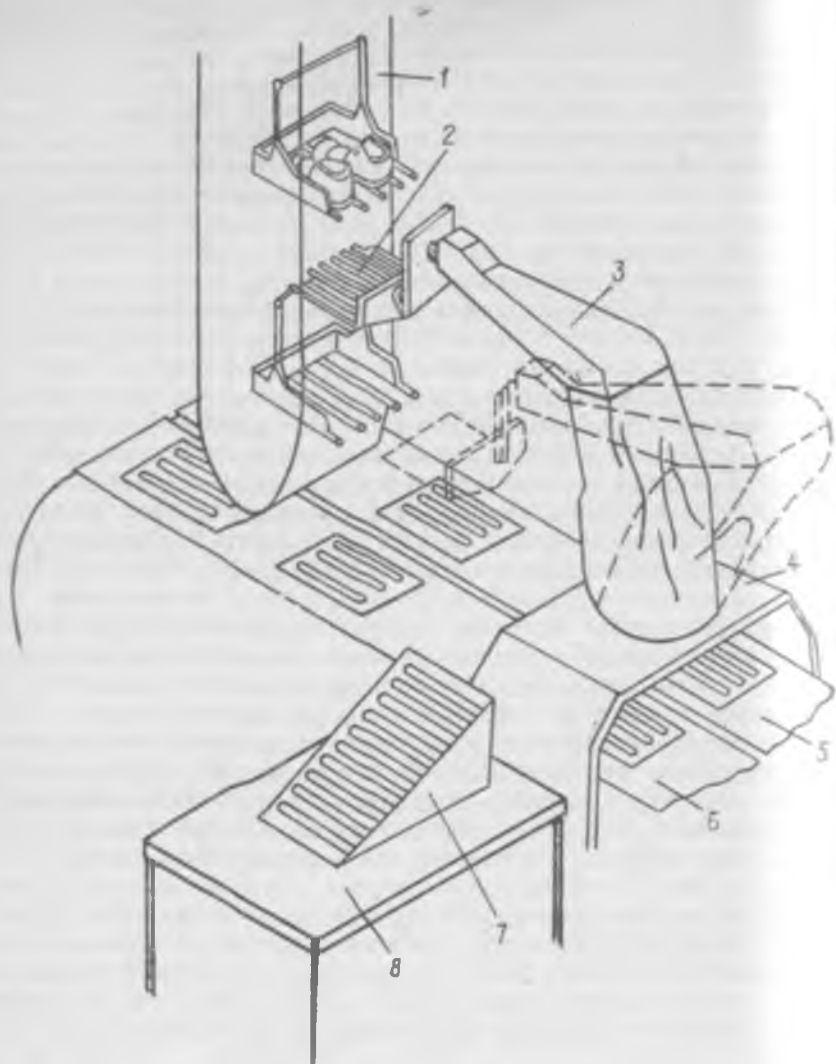
Готовые детали верха обуви после их клеймения, взъерошивания, шлихтования укладываются в тару 9, установленную на НПУ 7, которая автоматически перегружается на НТПР 8, доставляющий детали верха обуви на швейный участок обувного производства. Автоматизация операций на швейном участке обувного производства реализована аналогично подобным участкам швейного производства, структура и состав которых рассматриваются в § 3.1. С помощью ПР 10 реализуется загрузка готового верха обуви в тару 11, которая посредством НТПР 12 доставляется на межоперационный склад 13, где осуществляется хранение деталей обуви и их комплектация для запуска обуви на сборку.

Со склада 13 детали верха обуви доставляются на РТК для предварительной обработки. В состав указанных комплексов входит технологическое оборудование для взъерошивания затылочной кромки обуви, нанесение клея на затылочную кромку и т. д. Эти операции выполняются над деталями верха обуви, надетой на колодки 14 с помощью промышленного робота 15, имеющего контурную систему управления. Описание экспериментальной модели специализированного ПР для выполнения указанных операций приведено в § 4.6. После предварительной обработки верх обуви направляется на участок сборки обуви (соединения деталей верха и низа обуви).

В верхней части рис. 4.3 представлена схема, структура и состав автоматизированного производства деталей низа обуви. Эти детали могут изготавливаться путем вырубки, обработки и последующей сборки подошвы и каблука (например, склеиванием, а также литьевым методом на специальных литьевых агрегатах). В состав РТК входит литьевой агрегат 18 роторного типа, с установленными на нем литьевыми формами 19. Чистка форм, смазывание, выемка готовых деталей низа обуви и заправка формы расплавленными материалами осуществляется ПР 17.

Компоненты литьевой смеси подготавливаются на специальных дозирующих станциях 16. Управление температурными параметрами смеси на дозирующих станциях, а также температурой литьевых форм, реализуется с помощью ЛСУ. Задание программных значений температур концентрации составов смеси для ЛСУ формируется АСУТП.

Подробное описание состава подобного РТК и описание конструкции ПР, выполняющего указанные операции, приведены



ведения указанных операций на примере типового по своим габаритным размерам и функциональным параметрам технологического перехода. Предлагается компоновка, реализованная в макетном варианте на ленинградском производственном обувном объединении «Скорход» (рис. 4.9).

В состав РТК входят перекидной транспортер 1 (вариант люлечного конвейера), горизонтальные конвейеры 5 и 6, манипулятор 3 робота ЭМУ-ЭО, отводной лоток-склиз 7, рабочее место оператора 8, стол манипулятора 4.

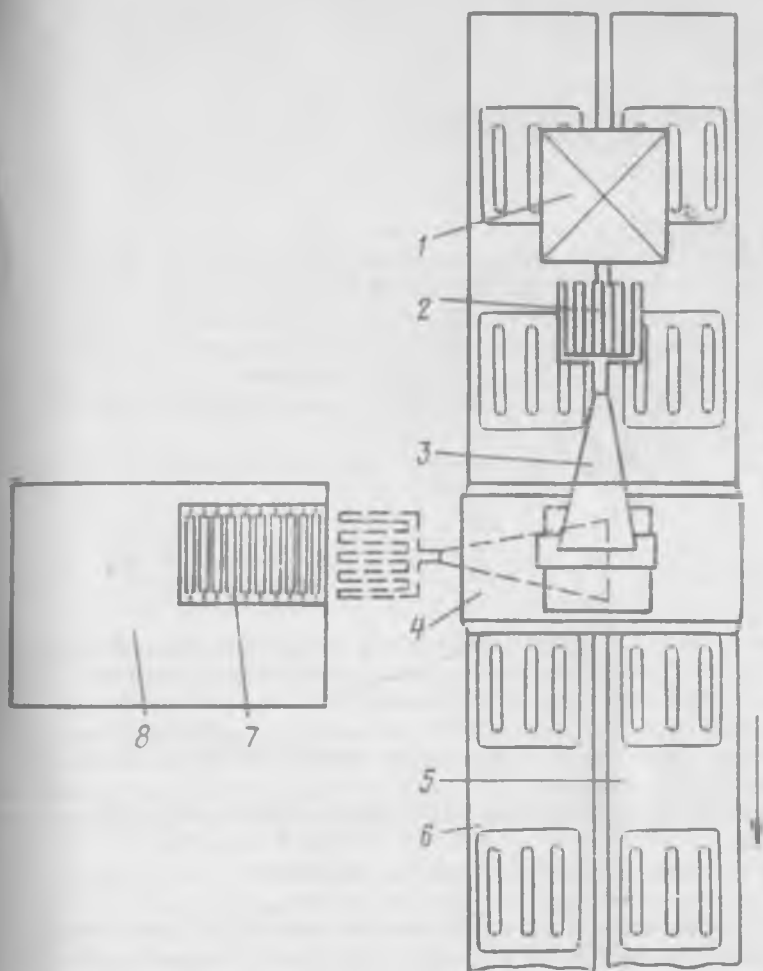


Рис. 4.9. Общий вид РТК

Комплекс предназначен для перекладки обувных изделий с перекидного транспортера на рабочий стол оператора. Последовательность работы комплекса следующая: перекидным транспортером 1 обувь доставляется на конвейерно-транспортный переход (КТП) с предыдущей технологической операции. Из исходного положения (на рис. 4.9 показано штриховыми линиями) при включении комплекса захватное устройство 2 манипулятора 3, расположенного на столе 4, перемещается в рабочую зону перекидного транспортера (ПТ). При поступлении сигнала о на-

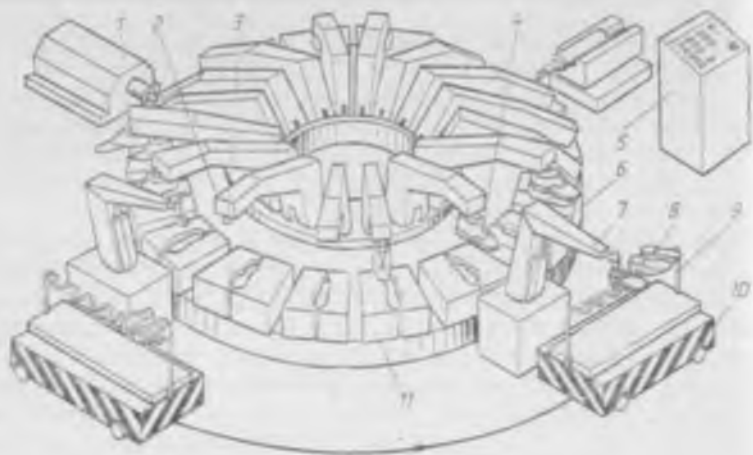


Рис. 4.4. РТК для изготовления обуви литьевым методом

в § 4.5. Детали низа обуви, уложенные в тару 20, установленную на НПУ 21, автоматически перегружаются на НТПР 12, доставляющие детали низа обуви на участок сборки обуви, где низ обуви приклеивается к верху обуви и после сушильной камеры и технического контроля отправляется на склад 30.

В нижней части рис. 4.3 схематично изображен РТК для изготовления обуви наиболее современным литьевым методом. В состав комплекса входит литьевая машина 24 типа «Десма» с установленными на ней колодками 23, на которые надевается предварительно обработанный верх обуви. Низ обуви из расплава (например, полиуретана) формируется в литьевых формах 22. Съем готовой обуви с колодок 23 и укладка ее в тару 26 осуществляется с помощью ПР 25, аналогичного рассматриваемому в § 4.5. Тара с готовой обувью на автоматизированный склад 30 доставляется с помощью НТПР 27. Тара 26 на НПУ 28 и с НПУ 28 на штабелирующее устройство 29 перегружается автоматически.

На рис. 4.4 изображен вариант РТК для изготовления обуви литьевым методом. На поворотном круге 6 установлены литьевые формы 11 и устройство 2 для загрузки колодок 8 с надетым на них обработанным верхом обуви в литьевые формы. ПР 7 (см. § 4.5) устанавливает колодки с верхом обуви в замок 3 устройства 2 для загрузки колодок.

Колодки 8 с надетым на них верхом обуви доставляются к ПР 7 напольным транспортным роботом 10 (см. § 5.3). После упаковки колодки с верхом обуви в замок 3 поворачивается поворотный круг 6, устройство 2 для загрузки колодок опускается и нижняя часть колодки и соответственно нижняя часть верху обуви опускается в раскрывающуюся литьевую форму 11, после

чего форма закрывается и с помощью манипулятора 1 в нее впрыскиваются жидкие компоненты материала, из которого формируется низ обуви. За время перемещения литейной формы с находящейся в ней колодкой и верхом обуви в результате вращения поворотного стола 6 смешанные компоненты из жидкой фазы переходят в твердую. После этого литейная форма раскрывается, ПР 7 с помощью захватного устройства снимает колодку с готовой обувью 8 и переносит ее на накопительное устройство 9, установленное на НТПР 10, который доставляет готовую обувь на склад готовой продукции. ПР для осуществления чистки литейных форм и смазывания на рисунке не обозначены.

Управление РТК и параметрами технологического процесса изготовления обуви (температурой, составом смеси) осуществляется устройством позиционного управления 5.

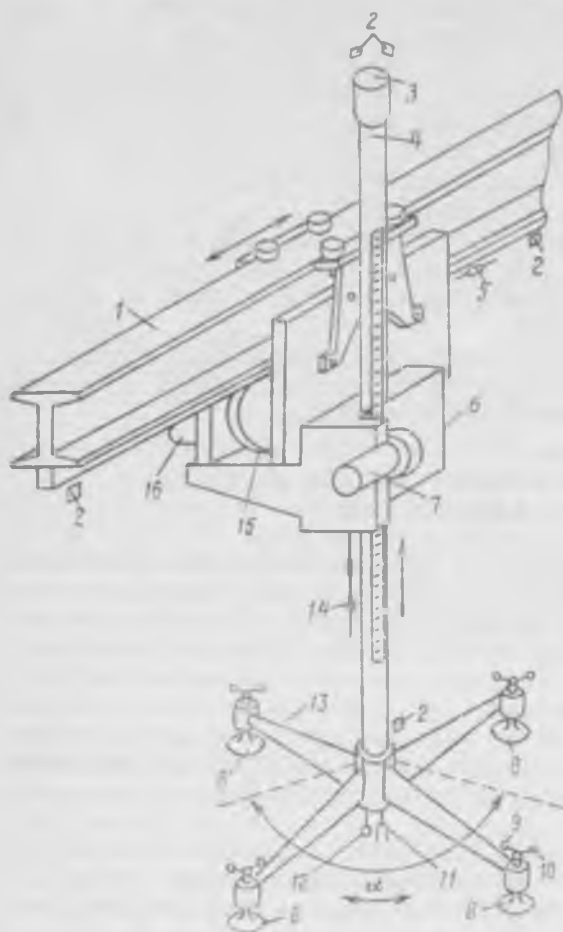
### **§ 4.3. ПРОМЫШЛЕННЫЙ РОБОТ ДЛЯ ПЕРЕКЛАДКИ ЖЕСТКИХ КОЖ**

Технологический процесс отделки жестких кож (чепраков) связан с необходимостью выполнения ручных операций в процессе перекладки чепраков с одного технологического оборудования на другое. Таким технологическим оборудованием являются, например, прокатные катки проходного и непроходного типов, площадемерные машины, а также транспортные средства (транспортеры и напольные транспортные роботы). Рассматриваемые ПР предназначены для перекладки кож после их сушки с транспортных средств на технологическое оборудование и обратно.

После предварительной обработки в отмочно-зольных, дуговых цехах кожевенного производства и сушки перед поступлением на отделочное технологическое оборудование, чепрак представляет собой жесткий кожевенный полуфабрикат толщиной от 5 до 10 мм, ширина которого от 0,8 м (для полупрозрака) до 1,5 м, а длина достигает 2 м. Чепрак имеет сложную конфигурацию. Масса его составляет 8—10 кг. Особенностью чепрака как объекта манипулирования является неровность (волнистость) поверхности, возникающая в процессе сушки и значительно затрудняющая работу с ним в автоматическом режиме. Поэтому в процессе создания ПР для автоматизации рассмотренных ручных операций необходимо, с одной стороны, изменить технологию сушки чепраков для уменьшения неровности его поверхности, а с другой — создавать специальные захватные устройства, обеспечивающие гарантированный захват чепрака.

Технические требования к ПР для работы с чепраками в основном определяются характеристикой технологического оборудования. Например, проходные катки для прокатки чепраков могут пропустить 300 чепраков в час. Вертикальное перемещение

Рис. 4.5. Схема манипулятора ПР



ПР для работы с чепраками на отделочных операциях должно составлять 0,5—1 м, горизонтальное — 2—2,5 м.

В состав РТК для работы на отделочном участке жестких кож входит специализированный ПР, состоящий из манипулятора portalного типа и цикловой системы управления УЦМ-663.

Манипулятор ПР представляет собой механическую конструкцию (рис. 4.5), передвигающуюся по двутавровой балке 1. На балке размещена каретка 6 манипулятора, которая перемещается электромеханическим приводом 16 типа МВР. Вал привода механически связан с обзрезиненным колесом 15, обеспечивающим перемещение каретки 6 относительно балки 1.

На каретке 6 смонтировано звено 4 для вертикального перемещения рабочего органа (вакуумных схватов) 13. Подробно кинематическая схема звена рассматривается в § 2.2. Верши-

кальное перемещение происходит при помощи электропривода 7 типа МВР. На звене 4 вертикального перемещения установлен электромеханический привод 3 типа МЗК для обеспечения разворота рабочего органа 13 на угол  $\alpha$ . Рабочий орган манипулятора представляет собой конструкцию из четырех вакуумных присосок 8, связанных с вакуумным насосом, каждая из которых подпружинена. Таким образом, обеспечивается три степени подвижности рабочего органа (вакуумного захватного устройства).

На манипуляторе ПР размещен ряд внутренних датчиков, информация от которых поступает в стойку управления УЦМ-663, обеспечивающую управление рассмотренными выше звеньями манипулятора (кареткой 6, модулем вертикального перемещения 4, захватным устройством 13, клапанами вакуумных присосок 8) в автоматическом и полуавтоматическом режимах по заранее введенной программе.

К датчикам относятся:

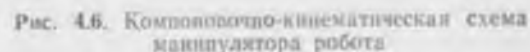
датчики 5, позволяющие выключать привод 16 при достижении кареткой 6 заданного программно положения в процессе перемещения манипулятора по балке 1; контактные выключатели 2, обеспечивающие соответствующий электропривод при достижении в процессе движения каретки 6 крайнего положения; герконовые датчики 14, фиксирующие в определенных точках захватное устройство 13 при его вертикальном перемещении, например при изменении высоты препятствий; микровыключатели 9, реагирующие на поджатие мембраны вакуумных присосок 8, а следовательно, контролирующие надежность его захвата; микровыключатели 10, ограничивающие максимальное перемещение подпружиненных вакуумных захватов 8; датчик 12, ограничивающий максимальный ход вертикального перемещения захватного устройства 13; датчик 11, фиксирующий наличие кожи под захватным устройством 13. Необходимость введения в конструкцию манипулятора трех последних датчиков объясняется волнистой поверхностью кожи для обеспечения контроля надежности ее захвата.

В процессе функционирования ПР манипулятор в начале работы находится в исходном положении. По команде со стойки управления УЦМ-663 каретка 6 начинает движение в заданную точку. При достижении заданного программно положения каретки относительно балки 1 срабатывает датчик 5, фиксирующий это положение. По информации от датчика 5 о достижении заданного положения кареткой 6 двигатель привода 16 останавливается, после чего начинается движение звена 4 манипулятора вниз. Движение звена обеспечивается работой привода 7. При достижении поверхности кожи захватным устройством 13 срабатывает датчик 12, двигатель привода 7 останавливается, прекращая движение вниз звена 4. Датчик 11 фиксирует наличие кожи в зоне захватного устройства 13. При отсутствии кожи (например, после переноса всей стопы кож) датчик 11 фор-

Таким образом, в процессе создания ПР для перекладки жестких кож предпринята попытка реализации адаптивного управления от цикловой системы УЦМ-663, т. е. получения обратной связи, обеспечивающей надежность выполнения операции по перекладке жестких кож в условиях высокой степени неровности поверхности кожи.

|                           |                      |
|---------------------------|----------------------|
| Грузоподъемность, кг      | До 15                |
| Перемещение, мм           |                      |
| горизонтальное            | До 1300              |
| вертикальное              | До 750               |
| Вращение схвата, град     | До 270               |
| Скорость перемещения, м/с |                      |
| горизонтального           | 0,03                 |
| вертикального             | 0,2                  |
| вращение схвата           | 0,018                |
| Тип привода               | Электро-механический |
| Габаритные размеры, мм    |                      |
| длина                     | 1800                 |
| ширина                    | 2100                 |
| высота                    | 2600                 |
| Система управления        | Цикловая (УЦМ-663)   |
| Тип захвата               | Вакуумный            |

Данный базовый вариант ПР реализован на базе использования подсистемы динамических расчетов в проектировании РТС в текстильной и легкой промышленности. Основной частью этой подсистемы являются рабочие массивы данных, из которых в исходном условии были найдены наиболее рациональные, с точки зрения предъявляемых к ним требований, характеристики манипуляторов — длины звеньев, массы отдельных элементов.



Композовочно-кинематическая схема манипулятора робота (рис. 4.6) образована шарнирно-рычажным механизмом, построенным с двумя замкнутыми кинематическими цепями, одна из которых в исходном положении имеет форму параллелограмма. Особенностью кинематической структуры является возможность больших горизонтальных и вертикальных перемещений рабочего органа (захватного устройства) манипулятора при малых перемещениях рабочих органов (штоков) приводных модулей. Манипулятор имеет четыре приводных модуля: *I, IV* — модули вращения (углового перемещения) и *II, III* — модули поступательного перемещения.

Модули II и III посредством шарниров 6, 8 смонтированы на поворотном столе 1 модуля I. С этим же столом шарнирно связан нижний конец звена 2 (рамы) манипулятора. Верхняя часть этого звена несет на себе шарнир 10, сочленяющий звено 2 со звеном 3 (консолью). При этом модуль II кинематически связан со звеном 2 посредством шарнира 9, который является со-

шипников 10 для шарнирного сочленения консоли с рамой 2 и затененный им на рис. 4.7 подшипник 11 (см. рис. 4.6) для шарнирного сочленения консоли со штоком 5 приводного модуля III. Кроме этих подшипников на консоли 3 с помощью болтов закреплён зажим 12, имеющий сквозное сверление для сочленения с консолью штанги 14. Для обеспечения фиксации положения штанги относительно зажима после регулировки необходимой длины штанги, нижняя часть зажима разрезана на две стягиваемые болтами щеки (на рис. 4.7 не показано), которыми полая внутри штанга, пропущенная через сквозное сверление зажима, может быть зажата с исключением проворачивания штанги вокруг продольной ее оси и поступательного смещения вдоль этой оси.

Все подшипники, использованные для шарнирного сочленения конструктивных элементов манипулятора, являются подшипниками скольжения, с отверстиями, выполненными в щеках подшипников по скользящей и ходовой посадкам, через которые при сборке манипулятора пропускаются оси вращения в виде стержней, имеющих на одном конце круглую головку, а на другом — концевую канавку для стопорного пружинного кольца (на рис. 4.7 не показаны). Кольца предохраняют оси от выпадения из подшипников.

Захватное устройство манипулятора 13 предназначено для съема обуви с перекидного транспортера и переноса последней согласно технологическому процессу. Затем устройство при обратном движении манипулятора переводится в исходное положение для выполнения следующего повторения операции. Захватное устройство представляет собой грузовую площадку, конструктивно связанную с модулем ориентации.

Захватное устройство (рис. 4.8) выполнено из стальных прутков 5, загнутых на близкий к прямому угол с неравными сторо-

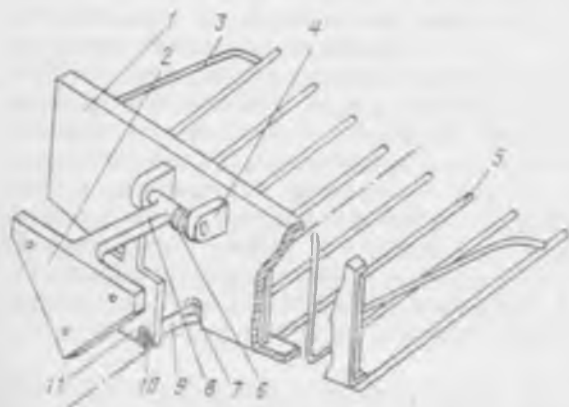


Рис. 4.8. Захватное устройство

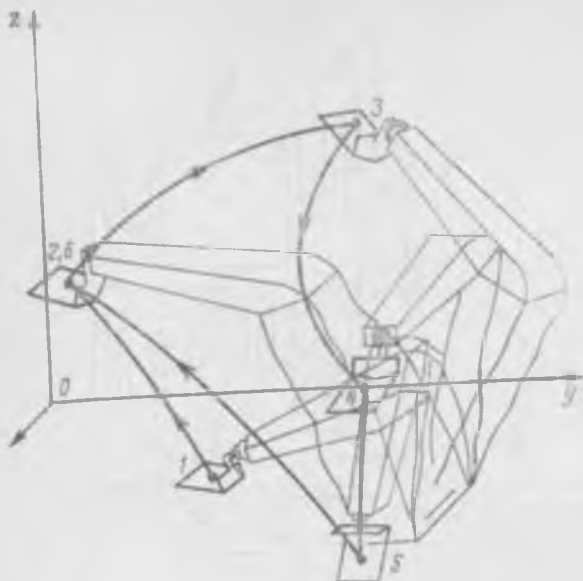
Короткой стороной прутки приварены к поворотной пластине 1 из листовой стали. Длина пластины выбрана с учетом минимальных размеров пары обуви, которую необходимо транспортировать на площадке, т. е. равняется суммарной ширине двух обувных изделий, поставленных рядом вплотную. Для исключения сброса обуви при достаточно резком передвижении рабочего органа манипулятора грузовая площадка снабжена боковыми ограничителями 3. Кроме того, длинные стороны прутков из-за формы нижней части пластины 1 образуют две плоскости, пересекающиеся одна с другой под тупым углом по продольной оси площадки, чтобы поставленная на площадку пара обуви стояла на ней в наклонном внутрь площадки положении. Грузовая площадка снабжена щеками 4, приваренными к ее обратной стороне. Через предусмотренные в этих щеках отверстия пропущена горизонтальная ось вращения площадки. Между боковыми поверхностями щек располагается сопрягаемая с площадкой посредством пропущенной относительно отверстия втулки 8. Стыковочный узел 2 служит для крепления устройства непосредственно к консоли манипулятора. На наружной поверхности втулки расположена возвратная цилиндрическая пружина кручения 6. Рабочая характеристика этой пружины назначена из расчета подъема и удержания пустой площадки (т. е. в условиях отсутствия крутящего момента, создаваемого весом пары обувных изделий минимального размера, установленных на площадку) в приподнятом верхнем положении. В то же время характеристика этой пружины такова, что она препятствует повороту площадки на ограниченный угол под действием веса пары изделий. Этот угол определяется положением регулируемого упора 9, имеющего на одном своем конце резбовой хвостовик 10, винченный в кронштейн 11 и прикрепленный к втулке 8, а на другом — головку 7, ограничивающую возможность поворота площадки под действием возвратной пружины. На этом же кронштейне закреплен датчик положения грузовой площадки, нажимная головка которого является одновременно другим упором, ограничивающим ее поворот под действием крутящего момента, создаваемого находящимся на ней грузом.

Наличие и отсутствие механического контакта площадки с нажимной головкой датчика положения использовано в схеме управления манипулятором в качестве командных сигналов включения и выключения соответствующих приводов при работе манипулятора по заданной программе.

На базе разработанного электромеханического робота ЭМУ-ЭО возможно создание РТК для вспомогательных операций обувного производства, а именно — комплекса для решения задачи автоматизации ручных операций по перекладке обуви на конвейерно-транспортных технологических узлах.

Рассмотрим конкретную компоновочную схему РТК для про-

Рис. 4.10. Траектории движения захватного устройства



личии объекта манипулирования в захватном устройстве, манипулятор 3, расположенный на столе 4, перекладывает изделия на отводной лоток-склиз 7, по которому под действием собственного веса изделие скользит и попадает на рабочий стол 8, где оператор выполняет следующую технологическую операцию, а затем ставит изделие на один из горизонтальных конвейеров (5 или 6), которыми оно транспортируется на следующие операции.

Траектория движения полюса захватного устройства манипулятора на операции перекладки обувных изделий с ПТ на рабочее место оператора приведена на рис. 4.10. Точка 1 на траектории движения соответствует исходному положению полюса схвата. Схват манипулятора по дуге перемещается в зону ожидания, находящуюся в рабочем окне ПТ между подвесными площадками (люльками) — точка 2 на траектории. Это движение осуществляется при работе приводных модулей поступательного перемещения. Изделие с подвесной площадки ПТ снимается захватным устройством и по дуге (работают модули поступательного перемещения) происходит выход схвата с объектом манипулирования из рабочей зоны ПТ — точка 3. Далее манипулятор поворачивается — положение полюса захватного устройства после окончания поворота соответствует точке 4, и, если необходимо, осуществляется также и ориентация захватного устройства над отводным лотком-склизом (на рисунке 4.10 приведен вариант траектории движения захватного устройства без ориентации). Поворот платформы манипулятора и ориентация

захватного устройства возможны благодаря работе приводных модулей углового перемещения. Точка 5 соответствует опусканию схвата, которое осуществляется модулем поступательного перемещения III. После того как объект манипулирования будет установлен на склиз, происходит перемещение захватного устройства в зону ожидания — точку 6. Робот готов к перекладке очередной пары обувных изделий. На этом заканчивается один полный цикл работы манипулятора робота.

Контроль за движением робота и наличием объектов манипулирования на подвесных площадках перекидного транспортера и в захватном устройстве выполняется, как уже отмечалось, с помощью датчиков. Вся информация о текущем состоянии манипулятора поступает в систему управления РТК, где она обрабатывается. В описанном РТК один робот, обслуживающий КТП, может перекладывать до 900 пар обуви в смену.

#### *Основная техническая характеристика робота ЭМУ-ЭО*

|                                            |                      |
|--------------------------------------------|----------------------|
| Масса груза, кг                            | 5                    |
| Число программируемых степеней подвижности | 4                    |
| Тип привода                                | Электро-механический |
| Устройство управления                      | Цикловое             |
| Погрешность позиционирования, мм           | ± 5                  |
| Максимальный радиус зоны обслуживания, мм  | 1300                 |
| Масса консоли, кг                          | 8.6                  |

### **§ 4.5. ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ РОБОТ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ЛИТЬЕВЫХ МАШИН ОБУВНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Современное обувное производство (ОП) обладает определенными типовыми специфическими особенностями, которые, как и в других отраслях текстильной и легкой промышленности, должны быть рассмотрены с точки зрения возможности применения средств робототехники. К таким особенностям следует отнести динамизм ассортимента, большое число типоразмеров деталей, изготавливаемых одновременно и используемых для сборки изделий, сложную форму изделий, сминаемость, низкие жесткостные характеристики объектов производства, высокие требования к сохранению товарного вида, множественность применяемых материалов с большим диапазоном колебания физико-механических свойств.

К специфическим особенностям ОП необходимо отнести также множественность методов изготовления обуви, обусловленную широким перечнем групп обуви (зимняя, летняя, рабочая, мужская, женская, детская и т. д.), продукции каждой из кото-

рых в процессе изготовления должны быть приданы особые свойства, определяющие качественные характеристики обуви. Получение требуемых свойств достигается применением для каждой из групп определенного метода изготовления обуви. Количество таких групп определяет множество методов изготовления обуви и связанное с этим многообразие технологических операций.

Рассмотренные специфические особенности ОП позволяют судить о трудностях, с которыми приходится сталкиваться при разработке РТК. Это связано с необходимостью разработки для различных методов изготовления обуви большого числа специальных и специализированных конструктивных решений, а также алгоритмов и программ управления и взаимодействия с основным технологическим оборудованием.

С целью выделения технологических операций, которые наиболее перспективны и реализуемы (с точки зрения роботизации), авторами была проведена классификация методов изготовления обуви. Из общего множества методов, применяемых в современном ОП, выделены две особые группы технологических операций, связанных с литьем (жидким формованием) низа обуви: литье деталей низа и литье на след затянутой обуви (сборочный литьевым методом). Об этих группах необходимо говорить особо. Такое их выделение из общего числа групп вызвано следующими причинами:

при изготовлении деталей низа литьевым способом, а также при литье на след затянутой обуви используются автоматизированные литьевые машины, где ручной труд операторов заключается в погрузке заготовок, выгрузке готовых деталей и подготовке (чистке) пресс-форм. При этом сами пресс-формы и готовые детали в них строго позиционированы, поэтому при разработке ПР для их обслуживания (или применении серийных образцов ПР) упрощаются задачи разработки технологической оснастки, захватных устройств и самих ПР;

в соответствии с тенденциями развития обувной промышленности технологические методы, использующие жидкое формование (литье) для изготовления обуви, получают все более широкое распространение в современном ОП;

условия труда операторов при обслуживании литьевых агрегатов связаны с вредным производством и желательна замена ручного труда на этом участке.

На основании сказанного можно сделать вывод о том, что наиболее перспективным для комплексной автоматизации ОП представляется применение робототехнических средств к литьевому методу (сборочные операции, т. е. приливание подошвы на след затянутой обуви) и к изготовлению отдельных деталей низа методом жидкого формования. Поэтому для определения параметров ПР, удовлетворяющего данному значению, проводился анализ технологического оборудования — литьевых машин (ЛМ).

также структуры ручных операций изготовления обуви методом литья.

В современном ОП различают ЛМ для литья низа на след затянутой обуви и ЛМ для литья отдельных деталей низа обуви.

Несмотря на существенные отличия конструктивного и технологического порядка, имеющиеся между машинами этих групп, машин для них являются состав основного оборудования и последовательность выполнения технологических операций, которые можно рассмотреть на примере конструктивно-компоновочной схемы и работы ЛМ фирмы «Лим» (рис. 4.11), относящейся к группе машин для литья низа на след затянутой обуви и включающей в себя карусельную установку 1 для размещения шестнадцати пресс-форм 2 с загрузочными устройствами 3 (последние имеются только у данной группы литьевых машин), блок впрыскивания 4, станцию питания 5, систему управления 6, схематично связанную со всеми устройствами ЛМ. Данная ЛМ находится в рабочей зоне внутрицехового транспортного устройства 7 (например, конвейера), также показанного на рисунке. Совместная компоновка ЛМ и внутрицехового транспортного устройства образует литьевой участок ОП, как и показано на рис. 4.11.

Принцип работы ЛМ опишем, предварительно представив структуру и рассмотрев основные особенности работы ее системы управления (СУ) 6.

На рис. 4.12 представлена структурная схема, включающая в себя объект управления (ОУ) с входящими в его состав исполнительными механизмами ИМ, число которых, различное для разных типов ЛМ, обозначим  $n$  ( $ИМ_1—ИМ_n$ ), а также систему СУ, состоящую из устройства ввода УВ, сумматора С, управляющего устройства УУ и датчиков положения ДП, число которых равно  $m$  ( $ДП_1—ДП_m$ ), где  $m$  — целое положительное число, значение которого может превышать значение  $n$ , поскольку каждый ИМ должен обеспечивать возможность остановки своего рабочего органа не менее чем в двух фиксированных точках траектории его перемещения, и в каждой из этих фиксированных точек необходимо устанавливать ДП для возможности контроля за положением рабочего органа ИМ.

Устройство управления УУ вырабатывает управляющие воздействия в виде электрических сигналов, поступающих на ИМ ОУ, например приводы карусельной установки, загрузочных устройств и т. д. Информация о выполнении исполнительными механизмами ОУ команд, вырабатываемых УУ, поступает с ДП, механически связанных с этими исполнительными механизмами (ИМ), в виде электрического сигнала на сумматор С, где происходит логическое суммирование сигналов ДП и задающего воздействия от устройства ввода. Задающее воздействие в устройстве ввода формируется оператором (в режиме настройки

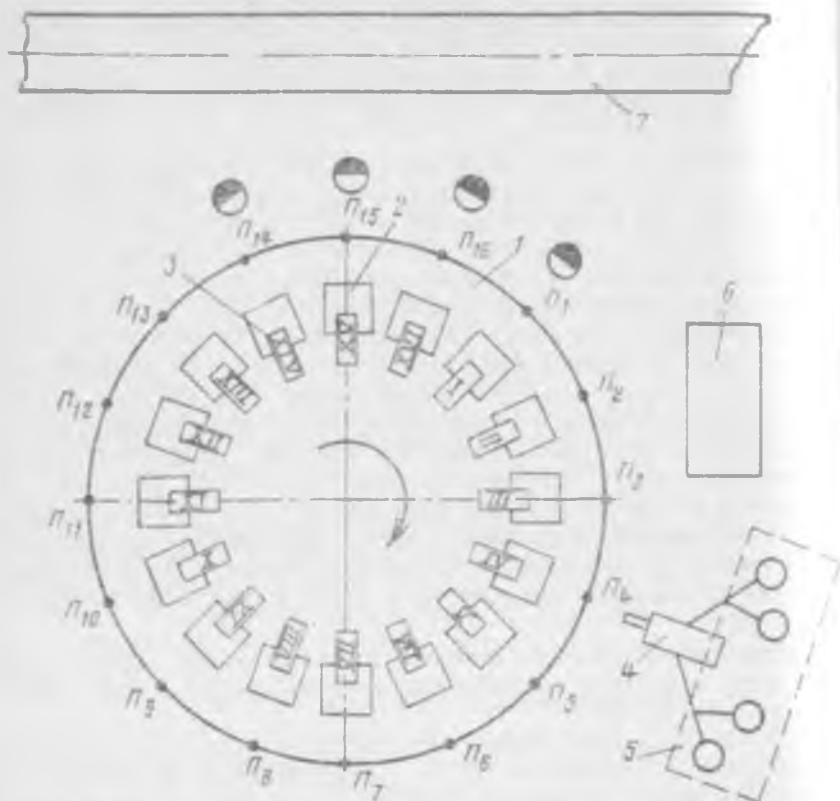


Рис. 4.11. Конструктивно-компоновочная схема ЛМ формы «Лини»

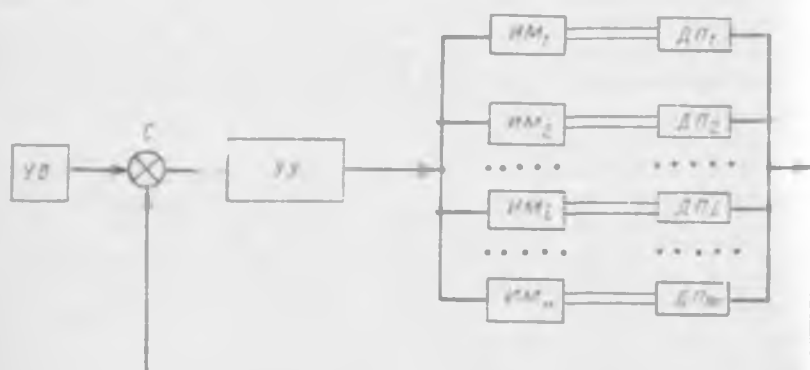


Рис. 4.12. Структурная схема системы управления литейной машиной

проверки оборудования посредством использования клавиатуры пульта ручного управления) или программноносителем в режиме автоматической работы. В качестве программноносителя в зависимости от типа выбранной СУ могут быть использованы магнитная лента, перфолента, коммутационное устройство и т. д. В соответствии с требованиями технологии ОП после завершения подготовительных операций колодки с заготовками внутридеховыми транспортными средствами доставляются для операции приливания низа на затянутый верх обуви на участок литья, где расположена ЛМ.

Для пояснения принципа работы ЛМ, входящей в состав литьевого участка (см. рис. 4.11), опишем один полный рабочий цикл, совершаемый с одной из пресс-форм 2, для чего выберем любую из этих пресс-форм, находящуюся в некоторый произвольно выбранный момент времени в позиции  $P_1$  надевания колодки с заготовкой. После операции ручного надевания колодки на захватный узел загрузочного устройства 3 по команде, поступающей с СУ 6, происходит поворот карусельной установки 1 на угол, обеспечивающий переход рассматриваемой пресс-формы 2 на позицию  $P_2$  загрузки заготовки в пресс-форму (на аналогичный угол поворачиваются и все остальные пресс-формы).

Загрузка заготовки выполняется приводом загрузочного устройства 3 по команде от СУ 6, подаваемой после получения сигнала от соответствующего ДП о выполнении предыдущей команды СУ 6 — поворота карусельной установки 1. СУ 6 после получения сигнала от ДП о выполнении команды на погрузку заготовки выдает следующую команду — на поворот карусельной установки 1 и рассматриваемая пресс-форма 2 с загруженной в нее заготовкой переходит в позицию  $P_3$  закрытия пресс-формы.

При дальнейшем рассмотрении работы ЛМ будут опускаться описания подачи команд от СУ 6 и получения ответов от ДП. При этом в описании выполнения функций исполнительными механизмами устройств ЛМ будет подразумеваться, что эти функции выполняются по командам от СУ 6 после получения сигнала от ДП о выполнении предыдущей команды.

На позиции  $P_3$  пресс-форма 2 закрывается, после чего карусельная установка 1 поворачивается, переводя пресс-форму 2 на позицию  $P_4$  впрыскивания, где блок 4 впрыскивает в пресс-форму 2 расплав, поступающий со станции 5 его подготовки.

После завершения процесса впрыскивания расплава карусельная установка, осуществляя дискретные угловые перемещения, последовательно переводит пресс-форму 2 от позиции  $P_4$  к позиции  $P_{12}$  за время, необходимое для завершения процесса полимеризации. В позиции  $P_{12}$  пресс-форма 2 открывается и вслед за этим карусельная установка 1 перемещает пресс-форму в позицию  $P_{13}$  выгрузки заготовки из пресс-формы 2. В позиции  $P_{12}$  начинается остывание заготовки, которое продолжает-

ся в позиции  $\Pi_{13}$ . К моменту завершения перехода в позицию  $\Pi_{14}$  (съем заготовки с захватного узла загрузочного устройства 3) температура отформованной подошвы снижается до необходимого значения. Далее оператор выполняет ручную операцию съема заготовки и переноса ее на внутрицеховое транспортное устройство 7. После этого карусельная установка 1 переводит пресс-форму 2 в позицию  $\Pi_{15}$  (чистка пресс-формы от выпрессовок), где оператор вручную чистит пресс-форму от выпрессовок полиуретана. После завершения чистки пресс-формы 2 и перевода ее в позицию  $\Pi_{16}$  выполняется еще одна ручная операция — нанесение разделительной смазки. Теперь пресс-форма 2 считается подготовленной к выполнению следующего рабочего цикла, который начинается после перевода пресс-формы 2 в позицию  $\Pi_1$ .

Подобный процесс идентичен для любой из 16 размещенных на карусельной установке 1 пресс-форм 2, каждой из которых условно присвоен порядковый номер от I до XVI.

Таким образом работа ЛМ, за исключением ручных вспомогательных операций, происходит в основном автоматически, посредством выполнения команд, поступающих на исполнительные механизмы в дискретном режиме в течение всего времени рабочего цикла ( $t_u$ ).

При обследовании предприятия «Скорострел» (Ленинград), а также ЦО «Труд» (г. Гомель) установлено, что время цикла для одной пресс-формы составляет 3—5 мин. Время выполнения одной операции в этом случае в зависимости от количества пресс-форм ( $n=16, 18, 32$ ) составляет 10—15 с.

Отличие в работе ЛМ, принадлежащих к группе литья отдельных деталей низа, заключается в составе выполняемых технологических операций, среди которых отсутствуют операции надевания и съема заготовок, погрузки заготовок в пресс-форму, а кроме того, в том, что расплав подается в открытую пресс-форму, после чего она закрывается.

При этом остальные операции (чистка, нанесение разделительной смазки, выгрузка заготовок), а также процесс полимеризации осуществляются на ЛМ обеих вышеназванных групп одинаково, в связи с чем не требуется дополнительного описания принципа работы ЛМ, принадлежащих к группе литья отдельных деталей низа для проведения анализа структуры ручных операций на ЛМ обеих групп.

Из ручных операций, выполняемых в литейном методе ОП, выделим вспомогательные и подготовительные операции по обслуживанию ЛМ. В полном объеме это следующие операции: надевание заготовок, съем заготовок, чистка пресс-форм, нанесение разделительной смазки.

Для сравнения характеристик ручных операций можно представить алгоритмы движений, которые изображены на рис. 4.13. Рабочими органами в данном случае являются руки оператора.

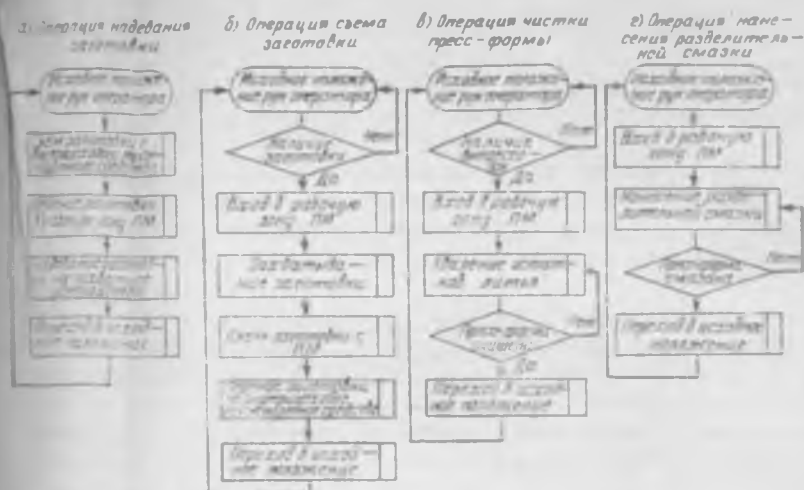


Рис. 4.13. Алгоритмы ручных операций ЛМ

Каждая из операций является совокупностью отдельных движений и характеризуется временными и геометрическими параметрами (временем выполнения и длиной перемещений), оценка значений которых весьма важна для выбора кинематических и динамических характеристик манипулятора, предназначенного для замены ручного труда.

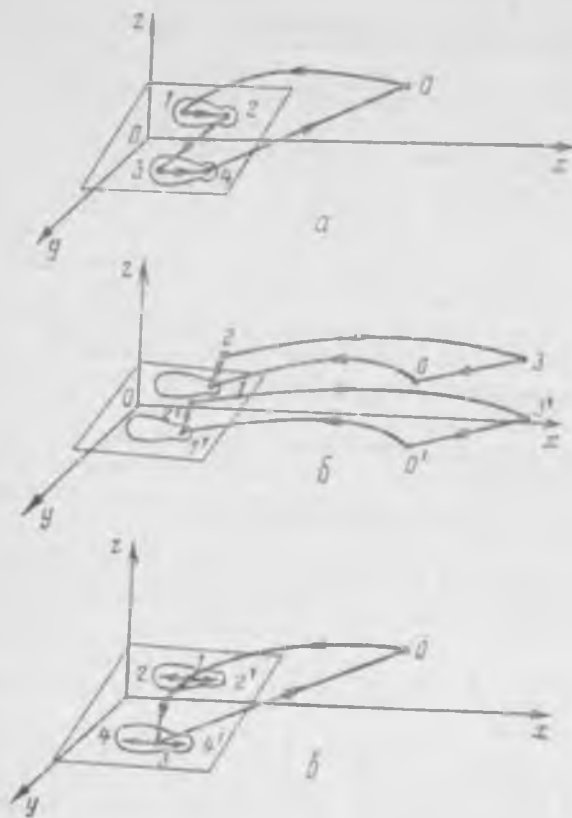
Для определения длины перемещений в каждой из ручных операций изобразим траектории этих перемещений, за начало координат при этом возьмем точку в углублении пресс-формы ЛМ, как это показано на рис. 4.14. Разбивая траекторию движения рук оператора при выполнении операции на отдельные движения, экспериментально получаем численные значения перемещений по отдельным координатам для каждого из движений. Определение геометрических параметров ручных операций будем проводить для ЛМ группы литья низа на затянутый верх и группы литья отдельных деталей низа.

В качестве примера рассмотрим перечень движений, составленный в соответствии с алгоритмом (см. рис. 4.13) ручной операции надевания заготовки на грузозачное устройство пресс-формы ЛМ для литья низа на затянутый верх (рис. 4.14, а): 0 — исходное положение рук оператора; 1 — переход к внутреннему транспортному средству, съём с него заготовки; 1—2 — перенос заготовки в рабочую зону ЛМ; 2—3 — надевание заготовки; 3—4—0 — переход в исходное положение.

Аналогично составляются перечни движений для остальных ручных операций по обслуживанию ЛМ (рис. 4.14, б и в).

В результате анализа приведенных на рис. 4.14 данных могут быть получены численные значения геометрических характеристик траекторий перемещения объектов манипулирования.

Рис. 4.14. Траектории ручных операций



Эти численные значения сведены в табл. 4.1. Время выполнения ручных операций на ЛМ 10—15 с. Исходя из этого можно определить время выполнения каждого из движений, составляющих

| Размерность | ЛМ для литья низа  |   |     |     |     |     |          |   |
|-------------|--------------------|---|-----|-----|-----|-----|----------|---|
|             | Погрузка заготовки |   |     |     |     |     | Выгрузка |   |
|             | 0—1                | 1 | 1—2 | 2—3 | 3—4 | 4—0 | 0—1      | 1 |
| с           | 1                  | 2 | 2   | 3   | 1   | 1   | 1        | 2 |
| м           | 0,5                | 0 | 1,0 | 0   | 0   | 0,5 | 0,5      | 0 |
| м           | 0                  | 0 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0        | 0 |
| м/с         | 0,5                | 0 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0   | 0,2      | 0 |
| м/с         | 0                  | 0 | 0,5 | 0   | 0   | 0,5 | 0,5      | 0 |
| м/с         | 0                  | 0 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0        | 0 |
| м/с         | 0                  | 0 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0,2      | 0 |

эти операции, как среднее от общего времени, затрачиваемого на выполнение всей операции в целом.

Результаты этих вычислений с учетом реальных данных, полученных при обследовании предприятий ОП, также указаны в табл. 4.1.

Полученные данные (численное значение перемещения и время перемещения) позволяют провести вычисление скоростей перемещения объектов манипулирования при проведении этих ручных операций. Полученные при этом значения скоростей также сведены в табл. 4.1.

Проведенный анализ ручных операций по обслуживанию ЛМ позволяет сформулировать требования к выбору или разработке специализированных ПР. Очевидно, для замены ручного труда каждое из названных рабочих мест, где выполняются эти ручные операции, должно быть оснащено специализированным манипулятором. Поэтому различают манипуляторы трех классов (по названию операции): загрузочные ПР, выгружающие ПР, ПР подготовки пресс-форм.

Анализ численных значений, приведенных в табл. 4.1, позволяет утверждать, что требуемые характеристики всех этих классов специализированных ПР являются близкими. Траектории, по которым необходимо транспортировать объекты манипулирования или перемещать полюс захватного устройства манипулятора, также сходны. Это позволяет сделать вывод о возможности использования для всех этих операций ПР одной модели, оснащенной для выполнения каждой из операций специализированным захватным устройством.

На основании всего сказанного и с учетом особенностей основного технологического оборудования могут быть предложены различные варианты компоновки РТК.

Схема компоновки РТК (рис. 4.15) на базе ЛМ для прилипания низа обуви на затянутый верх включает в себя загрузочный ПР1, ПР9 подготовки пресс-форм 6 (очистка и нанесение

Таблица 4.1

| на затянутый верх обуви (см. рис. 4.14) |     |   |     |                    |      |     |                                 |      |     |
|-----------------------------------------|-----|---|-----|--------------------|------|-----|---------------------------------|------|-----|
| заготовки                               |     |   |     | Чистка пресс-формы |      |     | Нанесение разделительной смазки |      |     |
| 1—2                                     | 2—3 | 3 | 3—0 | 0—1                | 1—2  | 2—0 | 0—1                             | 1—2  | 2—0 |
| 1                                       | 2   | 2 | 1   | 1                  | 8    | 1   | 1                               | 8    | 1   |
| 0,5                                     | 1,0 | 0 | 0,5 | 0,5                | 0,3  | 0,8 | 0—5                             | 0—3  | 0,8 |
| 0                                       | 0   | 0 | 0   | 0                  | 0    | 0   | 0                               | 0    | 0   |
| 0,2                                     | 0,3 | 0 | 0   | 0,1                | 0    | 0,1 | 0,1                             | 0    | 0,1 |
| 0                                       | 0,5 | 0 | 0,5 | 0,5                | 0,04 | 0,8 | 0,5                             | 0,04 | 0,5 |
| 0                                       | 0   | 0 | 0   | 0                  | 0    | 0   | 0                               | 0    | 0   |
| 0,2                                     | 0,5 | 0 | 0   | 0,1                | 0    | 0,1 | 0,1                             | 0    | 0,1 |

| Размерность | ДМ для изготовления |   |       |     |   |     |       |
|-------------|---------------------|---|-------|-----|---|-----|-------|
|             | Выпускаемая деталь  |   |       |     |   |     | Число |
|             | 0-1                 | 1 | 1-2   | 2-3 | 3 | 3-5 |       |
| с           | 2                   | 1 | 3     | 2   | 1 | 1   | 2     |
| м           | 0,4                 | 0 | 0     | 0,6 | 0 | 0,2 | 0,1   |
| м           | 0                   | 0 | 0     | 0,2 | 0 | 0,2 | 0     |
| м           | 0,1                 | 0 | 0,1   | 0   | 0 | 0   | 0,1   |
| м/с         | 0,2                 | 0 | 0     | 0,3 | 0 | 0,2 | 0,2   |
| м/с         | 0                   | 0 | 0     | 0,1 | 0 | 0,2 | 0     |
| м/с         | 0,05                | 0 | 0,033 | 0   | 0 | 0   | 0,15  |

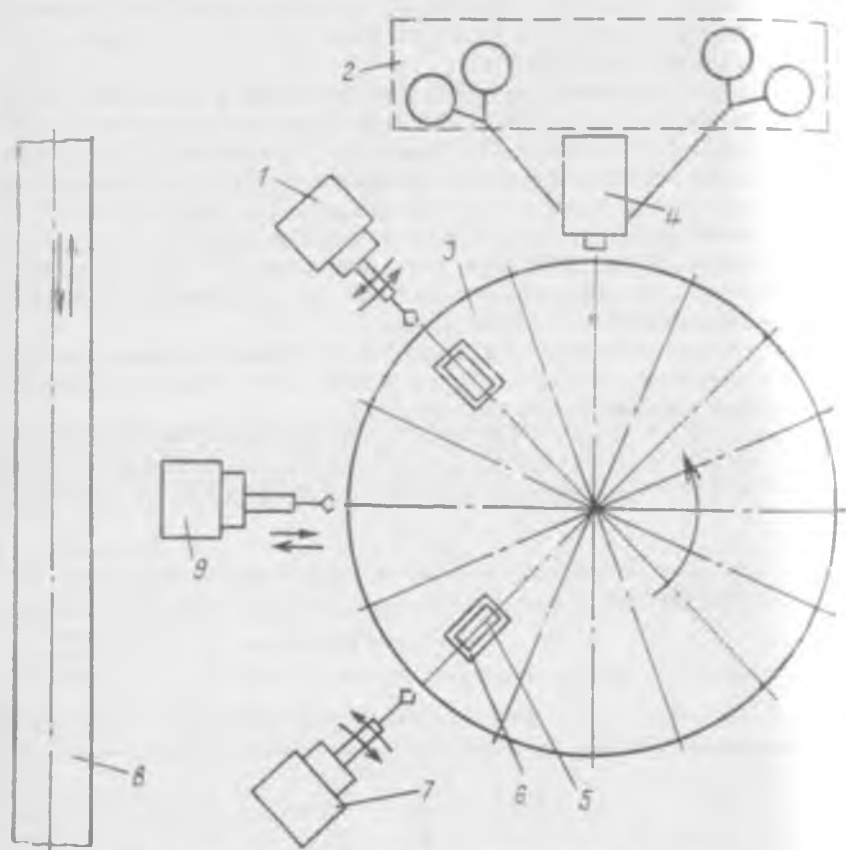


Рис. 4.15. Компонентная схема РТК литейного участка

| Литьевых деталей низа обуви (см. рис. 4.14) |      |        |      | Нанесение разделительной смазки |      |      |      |      |
|---------------------------------------------|------|--------|------|---------------------------------|------|------|------|------|
| Формы                                       | 2-3  | 3-4-4' | 4'-0 | 0-1                             | 1-2  | 2-3  | 3-1  | 4-0  |
| 3                                           | 0,5  | 3      | 0    | 2                               | 2    | 0,4  | 2    | 2    |
| 0,3                                         | 0    | 0,3    | 0,4  | 0,4                             | 0,3  | 0    | 0,3  | 0,4  |
| 0                                           | 0,15 | 0      | 0    | 0                               | 0    | 0,15 | 0    | 0    |
| 0                                           | 0    | 0      | 0,1  | 0,1                             | 0    | 0    | 0    | 0,1  |
| 0,1                                         | 0    | 0,1    | 0,2  | 0,2                             | 0,15 | 0    | 0,15 | 0,2  |
| 0                                           | 0,3  | 0,4    | 0    | 0                               | 0    | 0,3  | 0    | 0    |
| 0                                           | 0    | 0      | 0,05 | 0,05                            | 0    | 0    | 0    | 0,05 |

разделительной смазки), выгружающий ПР7, станцию 2 подготовки расплава, поворотную карусельную установку 3, впрыскивающее устройство 4 и внутрицеховое транспортное устройство 8.

Аналогичным образом может быть представлена схема компоновки РТК для изготовления отдельных деталей низа, построенная на базе серийных ЛМ. Отличием такой схемы от представленной на рис. 4.15 будет отсутствие загрузочного ПР в составе РТК.

Кроме того, одним из возможных вариантов представленной компоновочной схемы РТК литьевого участка ОП для приливания низа обуви на затянутый верх является схема, в состав которой входит ЛМ, оборудованная специализированными загрузочными устройствами, которые совмещают выполнение операций загрузки-выгрузки заготовок в пресс-формы ЛМ с выполнением операций загрузки-выгрузки этих заготовок с внутрицехового транспортного устройства на ЛМ. Специализированные загрузочные устройства имеют конструкцию, отличающуюся от конструкции стандартных загрузочных устройств. Загрузочное устройство (рис. 4.16) представляет собой закрепленные на основании 10 через шарнирные соединения 8 корпуса цилиндров 7 и 11 и через шарнир 9 несущее звено, два элемента которого 1 и 3 соединены между собой шарниром 2. На элементе 3 несущего звена есть захват с площадкой 4, на которой жестко закреплены рабочий штырь 5 цилиндрической формы и расположенные по обе его стороны ориентирующие конусообразные штыри 6.

Компоновочные схемы РТК позволяют наглядно представить характер работы ПР на конкретных рабочих местах и будут полезны далее при описаниях работы ПР на данных технологических операциях.

Указанные операции выполняются в характерной для каждой из них зоне обслуживания и должны обеспечиваться соответствующими грузоподъемностью и динамическими характери-

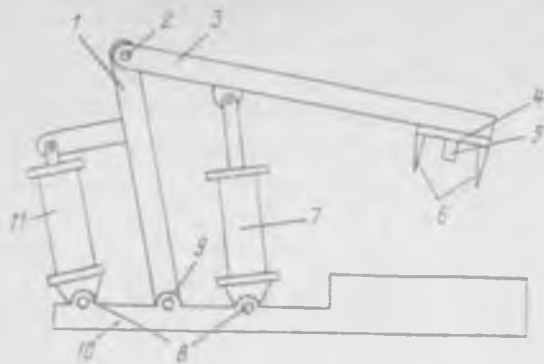


Рис. 4.16. Конструктивное устройство ЛМ

стиками ПР. Кроме того, учитывая сравнительно невысокую требуемую точность позиционирования, ПР должен обладать простотой конструктивного решения, минимальной стоимостью, высокой степенью унификации узлов, а также простыми, надежными и дешевыми исполнительными механизмами, каковыми являются пневматические механизмы. Немаловажным фактором необходимости разработки такого типа ПР является требование учета технологических и конструктивных особенностей ЛМ.

При разработке ПР за основу была взята кинематическая схема электромеханического манипулятора для вспомогательных операций обувного производства типа ЭМУ-ЭО (см. § 4.4). С учетом этого описания кинематической схемы и расположения приводных модулей для пневматического ПР опускаются, однако следует помнить, что в данном случае все приводные модули выполнены на пневмоприводах. Под модулем, как и ранее, будем понимать совокупность приводного механизма и элементов конструкции, обеспечивающую угловое перемещение по одной фазовой координате. Названия модулей, как и ранее, сохраняются: I — модуль поворота, II — модуль отклонения (качания), III — модуль подъема-опускания руки. Однако следует отметить, что в состав приводного модуля III включены два пневмопривода. Управляющее воздействие на пневмоприводы поступает от электропневмоклапанов (ЭПК), работа которых определяется программой специализированного управляющего устройства (в частности, системы управления литейной машины).

Разработка специализированного ПР для литейных агрегатов велась в два этапа. На первом этапе выбирался состав и структуры пневматических исполнительных механизмов, реализующих создание моментов для обеспечения углового перемещения по соответствующим фазовым координатам. На втором этапе проводилась оптимизация конструкции приводных модулей по критерию минимизации рабочего пространства манипулятора и максимальной унификации приводных механизмов. В результате этого на первом этапе был разработан и изготовлен опытный

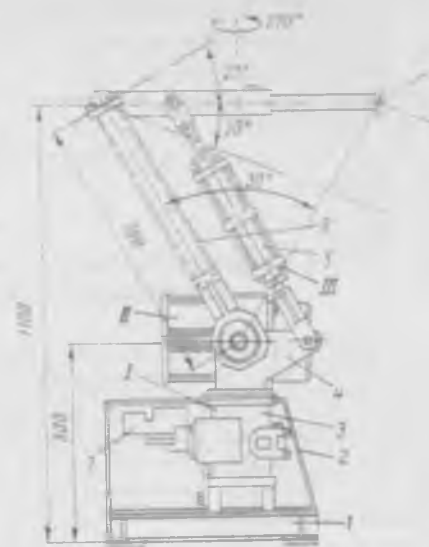
образец пневматического ПР. Проведены его экспериментальные исследования, по результатам которых и осуществлялась оптимизация конструкции. Опытный промышленный образец манипулятора типа ПУМ-Э (пневматический универсальный манипулятор с электрическим управлением), полученный в результате этой оптимизации, изображен на рис. 4.17.

Пневматический универсальный манипулятор ПУМ-Э включает четыре исполнительных механизма, обеспечивающих три степени свободы.

Манипулятор (рис. 4.17) состоит из основания — ресивер 1. На основании установлен механизм поворота 3 и механизм отклонения 4. Рычажная система 6 и механизм подъема 5 позволяют перемещать и поднимать или опускать плечо. На основании закреплено пневмооборудование 7.

Показанные на рис. 4.17 численные значения углов поворота дают представление о размерах зоны обслуживания манипулятора. Рабочая зона манипулятора является достаточно малой, как и у манипулятора ЭМУ-ЭО.

Рис. 4.17. Опытный промышленный образец манипулятора ПУМ-Э



*Техническая характеристика пневматического манипулятора с программным управлением ПУМ-Э*

|                                                                           |      |
|---------------------------------------------------------------------------|------|
| Число степеней свободы                                                    | 3    |
| Число программируемых остановок руки при повороте вокруг вертикальной оси | 2    |
| при всех остальных перемещениях                                           | 2    |
| Грузоподъемность вместе с захватами, кг                                   | 10   |
| Точность позиционирования                                                 | ±0,3 |
| Перемещение захвата, не более, мм                                         | 500  |
| по вертикали                                                              | 700  |
| » горизонтали                                                             | 1100 |
| Высота руки от пола, мм                                                   | 270° |
| Угол поворота руки вокруг вертикальной оси, не более, град                |      |
| Скорость, м/с                                                             | 0,5  |
| перемещения руки по горизонтали                                           | 0,3  |
| подъема захвата                                                           | 50   |
| поворота руки вокруг вертикальной оси, град                               | 500  |
| Давление воздуха не менее, кПа                                            |      |

|                                                      |                     |
|------------------------------------------------------|---------------------|
| Объемный расчетный расход воздуха, м <sup>3</sup> /с | До 0,003            |
| Напряжение электропитания, В                         | 220 + 10%,<br>— 15% |
| Потребляемая мощность, кВт                           | До 0,4              |
| Габаритные размеры не более, мм                      |                     |
| длина                                                | 750                 |
| ширина                                               | 750                 |
| высота                                               | 1200                |
| Масса не более, кг                                   | 250                 |

#### § 4.6. МОДУЛЬНЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ РОБОТ ДЛЯ ОБУВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Обувное производство связано со сложными технологическими процессами и большим объемом выпуска разнообразной обувной продукции. Основные технологические операции обувного производства высоко автоматизированы и механизированы. Наибольшая доля ручного труда приходится на подготовительное производство, транспортные операции, а также на вспомогательные операции в основных технологических процессах. К таким операциям, например, можно отнести перекладку обуви на конвейерно-транспортных переходах, установку и съем обуви с технологического оборудования, загрузку обуви в сушильные камеры, загрузку-выгрузку межоперационных складов заготовок верха, низа обуви или фурнитуры. Кроме того, существует ручной труд и в некоторых технологических операциях, таких, как взъерошивание затяжной кромки и нанесение клея на затяжную кромку.

Анализ ручных операций обувного производства показывает, что сильная вариабельность массогабаритных характеристик изделий обувного производства и соответственно зон обслуживания, характера операций, а следовательно, большой разброс в требованиях по точности, в реализации сложных траекторий движения затрудняет использование стандартных ПР из числа существующего парка. Для съема обуви с технологического оборудования нужен промышленный робот небольшой грузоподъемности с цикловой системой управления и манипулятором, имеющим одну-две степени подвижности.

Для загрузки обуви с колодками в сушильные камеры требуется ПР грузоподъемностью 10—15 кг с позиционным управлением, перемещающийся на расстояние до нескольких метров и имеющий три-четыре степени подвижности.

Выполнение отдельных основных технологических операций, например взъерошивание, нанесение клея на затяжную кромку, требует ПР с контурной системой управления, с грузоподъемностью до 15 кг, с манипулятором, имеющим пять-шесть степеней подвижности.

Для комплексного решения задач роботизации операций по перекладке обуви и основных технологических операций при из-

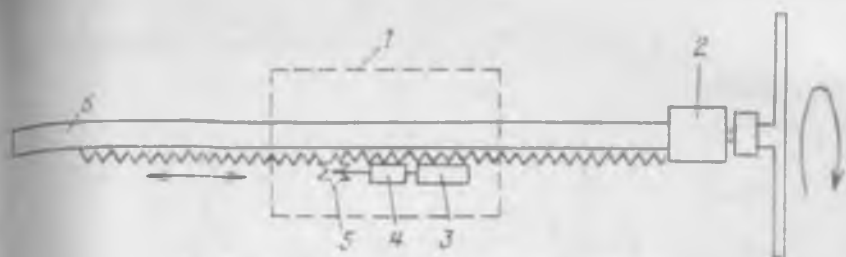


Рис. 4.18. Поступательно-поворотный модуль

готовлении обувных изделий Ленинградским специальным конструкторским бюро по проектированию кожгалантерейных, обувных, меховых машин и средств автоматизации (СКБКМО) и Ленинградским институтом текстильной и легкой промышленности (ЛИТЛП им. С. М. Кирова) были разработаны экспериментальные образцы модульных промышленных роботов типа МО (модульный, обувной).

Основной конструктивной единицей манипулятора ПР серии МО является поступательно-поворотный модуль (рис. 4.18). В качестве исполнительного механизма привода модуля использованы гидромоторы 1 типа Г15-22Н. Для реализации гидравлической следящей системы предусмотрены двухкаскадные сервозолотники типа УЭ-85-10-20. Гидромотор через редуктор 4 и зубчато-реечное зацепление 5 осуществляет поступательное перемещение скалки 6 модуля. Внутри скалки расположен гидромотор, выполняющий ротацию механизма крепления 2. Контроль за линейным и угловым перемещением элементов модуля ведется с помощью фотоэлектрических импульсных датчиков специальной конструкции, что позволяет стыковать модуль с микропроцессорной системой управления и реализовать контурное управление манипулятором.

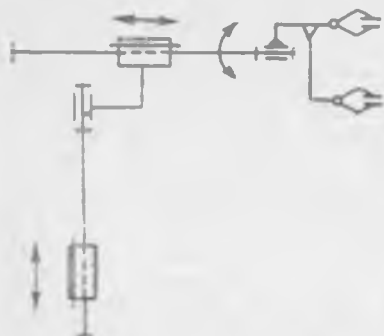
В зависимости от расположения, способов крепления модулей между собой возможно реализовывать различные кинематические структуры манипуляторов ПР для выполнения операций в обувном производстве, в том числе и основных технологических операций обработки обуви.

На рис. 4.19 представлены примеры различного расположения и компоновки модулей. При разработке экспериментальных образцов ПР серии МО использовались различные системы управления, так, в ПР МО-1 применялось ручное и цикловое управление, в ПР МО-2 для реализации позиционно-контурного управления использовалась стандартная система контурного управления типа УКМ-772. Позиционное управление поступательно-поворотным модулем реализовывалось с помощью программируемого универсального контроллера «Электроника МС 2702» («Электроника К1-20»).

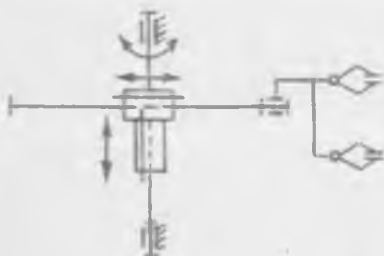
Один модуль  
2-й степени подвижности



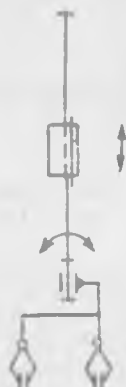
Два модуля  
4-й степени подвижности



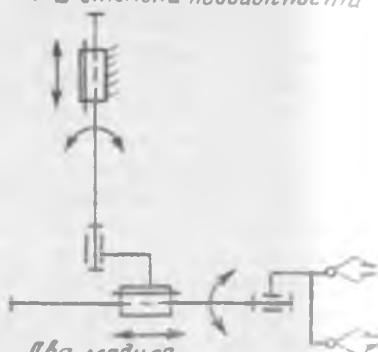
Два модуля  
4-й степени подвижности



Один модуль  
2-й степени подвижности



Два модуля  
4-й степени подвижности

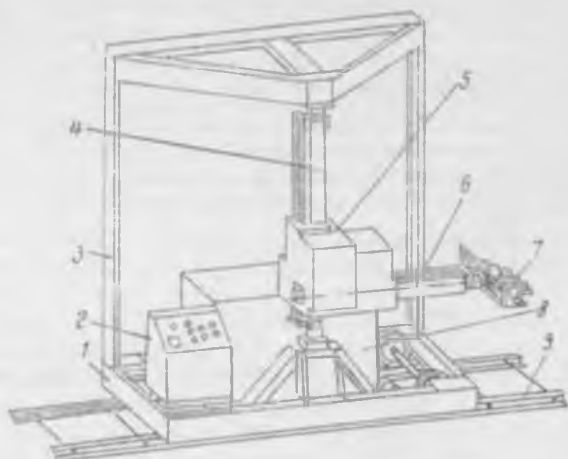


Два модуля  
4-й степени подвижности



Рис. 4.19. Примеры расположения и компоновки модулей

рис. 4.20. Эксперимен-  
тальный ПР типа МО-2



Манипулятор экспериментального ПР МО-2 (рис. 4.20) смонтирован на подвижном основании 1, которое перемещается по рельсам 9 на расстояние до 5400 мм. На основании 1 установлен портал 3, на котором закреплена стойка 4 первого возвратно-поступательного модуля 5, а к каретке модуля подсоединена каретка второго возвратно-поступательного модуля со скалкой 6 и сменным рабочим органом 7 (захватное устройство). Перемещение каретки 5 первого модуля относительно стойки 4, разворот модуля относительно вертикальной оси, выдвижение скалки 6 с закрепленным на ней рабочим органом 7 и ротация рабочего органа осуществляются с помощью гидроприводов, насосная станция 8 которых установлена на подвижном основании 1 и является одновременно балансирующим элементом для обеспечения устойчивости манипулятора ПР при движении по рельсам 9. Ручное управление гидроприводами манипулятора может осуществляться с пульта 2.

Экспериментальный промышленный робот МО-2, работающий в полярной цилиндрической системе координат, предназначен для выполнения в РТС в автоматическом режиме перегрузочных операций на межоперационных складах, технологическом оборудовании и в транспортных системах. Такими операциями могут быть: съем затянутых на колодках заготовок обуви с тележек конвейера и передача для обработки на технологическое оборудование, передача заготовок от одной группы технологического оборудования к другой, передача обработанных заготовок с технологического оборудования на конвейер и т. д.

#### *Техническая характеристика ПР МО-2*

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| Номинальная грузоподъемность, кг | 15  |
| Число степеней подвижности       | 5   |
| » рук захватов                   | 1/2 |

та по траектории необходимо обеспечить таким образом, чтобы усилие резания в месте контакта инструмента с верхом обуви всегда было направлено к середине (центру колодки) (см. рис. 4.22, вид А).

Вздерошивающий инструмент 1 удерживается специальным захватным устройством 2 с чувствительным элементом для контроля усилия прижима инструмента. Сигнал от чувствительного элемента через аналоговую цепь сервоусилителя 10 поступает на преобразователь 9, который непосредственно управляет двумя последними степенями подвижности 5 и 6. Параллельно через контрольную цепь управляющего логического элемента 8 сигнал поступает в систему управления 7 (стойка контурного управления УКМ-772). Управляющие сигналы со стойки передаются на приводы модулей 6 манипулятора ПР, чем достигается коррекция управляющих сигналов на степени подвижности в зависимости от усилия прижима инструмента.

## Глава 5

### ТРАНСПОРТНЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ ГИБКИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВ ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

#### § 5.1. СОСТАВ И ТИПЫ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

Как следует из §§ 2.1, 3.1 и 4.1, большое значение при организации гибкого автоматизированного производства (ГАП) имеет создание автоматизированных транспортных систем (АТС) на базе транспортных промышленных роботов (ТПР). За последние 10—15 лет в СССР и за рубежом накоплен определенный опыт по созданию ТПР. Различают подвесные и напольные роботы (рис. 5.1).

**Подвесные** ТПР выпускаются в виде монорельсовых, консольно-крановых и порталных роботов и позволяют перемещать изделия и тару с изделиями, а также осуществлять ориентацию, укладку, перенос и перестановку деталей, загрузку технологического оборудования. Отечественной промышленностью освоено производство подвесных ТПР («Спрут-1», МАК-1-50, МАК-2-320, ТРТ-250-1, МАПП-40 и др.). Подвесные ТПР целесообразно использовать при межоперационной транспортировке на небольшие расстояния.

**Напольные** ТПР (НТПР) являются универсальным перспективным средством межцеховых, межучастковых и межоперационных транспортировок сырья, полуфабрикатов, готовых изделий, инструмента, тары, вспомогательных материалов и отходов производства. Следует отметить следующие преимущества НТПР: малые габаритные размеры, выполнение погрузочно-раз-

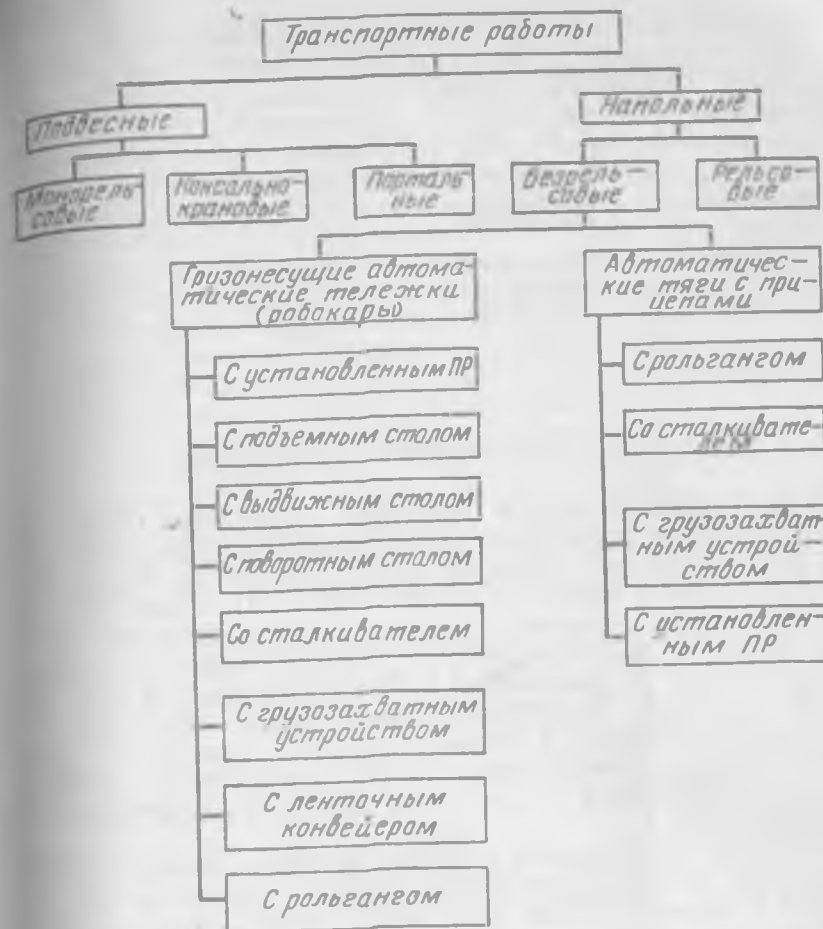


Рис. 5.1. Классификация ТПР

грузочных операций без участия человека, автоматическое перемещение, высвобождение проездов и проходов после их прохождения, автономность. НТПР могут быть рельсовыми и безрельсовыми. При организации АТС в ГАП наибольшее распространение в мировой практике получили безрельсовые автоматические грузонесущие тележки (робокары) и автоматические тягачи с прицепными платформами. НТПР оснащаются автоматическими погрузочно-разгрузочными устройствами различных типов.

НТПР состоит из подвижной тележки (шасси), на которой размещены тяговый и рулевой приводы, погрузочно-разгрузочное устройство или манипулятор, аккумуляторная батарея и система управления (СУ), содержащая ряд подсистем: маршруто-

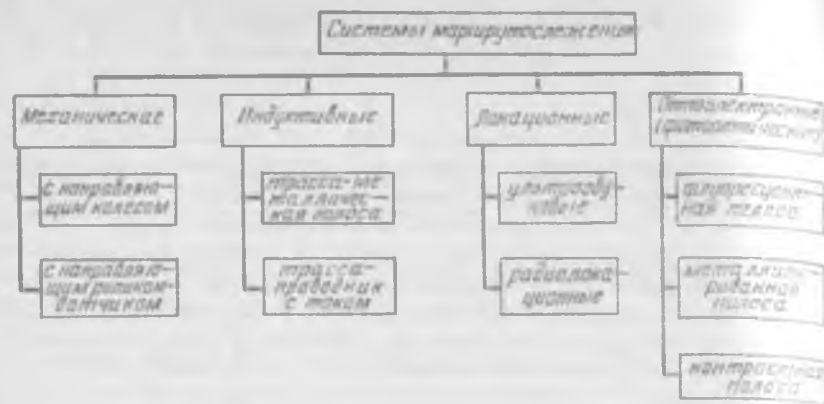


Рис. 5.2. Классификация маршрутослежения

жения, программирования движения, управления погрузочно-разгрузочными операциями, сигнализации и безопасности и др.

Для обеспечения движения НТПР в заданном направлении служат системы маршрутослежения (рис. 5.2). Существуют механические, индуктивные, локационные, оптоэлектронные системы маршрутослежения. Наиболее широкое распространение получили НТПР с индуктивной и оптоэлектронной (фотооптической) системами маршрутослежения. Системы маршрутослежения взаимодействуют с соответствующими элементами, размещенными вдоль трассы, например индуктивной трассой — ориентиром, заделанной в пол, и обычно работают по принципу следящих систем.

Система программного движения реализует повороты, выбор маршрута в местах разветвления трасс и вообще каждый конкретный маршрут. Для этого система имеет размещенные на НТПР датчики (контактных выключателей, фотооптических, магнитных или индукционных), программное устройство, запоминающее маршрут движения, анализирующее положение транспортного робота на маршруте и вырабатывающее сигналы останова и поворота в нужную сторону при взаимодействии с маркерами в местах остановки, поворота и разветвления трассы.

Система СУ НТПР должна обеспечивать решение нескольких задач. В связи с этим целесообразно реализовать СУ не в виде отдельных локальных подсистем, а на базе микроЭВМ. Это позволяет в целом уменьшить габаритные размеры и упростить структуру системы, расширить объем решаемых задач, реализовать движение НТПР по оптимальному маршруту, улучшить динамику транспортного робота.

Роботы НТПР только начинают внедряться на отдельных предприятиях текстильной и легкой промышленности. За рубежом эксплуатируется, в основном в машиностроении, значитель-

ное количество АТС на базе НТПР. Ведущими по производству НТПР являются фирмы «Вагнер» (ФРГ), «Коматсу» (Япония), «Вебб», «Кларк» (США), «Комау», «Пианелли» (Италия), «Конвейерсер» (Англия).

Анализ существующего парка ТПР и основных тенденций их развития показывает, что этот вид внутрифабричного транспорта широко применяется в различных отраслях промышленности. Быстрыми темпами идет развитие НТПР, которые являются основным перспективным транспортным средством ГАП.

В текстильной и легкой промышленности транспортные операции, как было показано, занимают значительное место, отличаются большим разнообразием и предъявляют специфические требования к характеристикам ТПР (габаритным размерам, маневренности, грузоподъемности, скорости и др.).

Анализ транспортных операций отрасли показывает, что наиболее перспективным типом ТПР для различных подотраслей текстильной и легкой промышленности являются напольные. В связи с этим задача разработки НТПР для предприятий отрасли становится актуальной, эффективное решение которой возможно на базе использования систем автоматизированного проектирования.

В СССР напольные транспортные роботы серийно промышленностью пока не выпускаются, однако имеется много разработок и созданы опытные образцы НТПР различных типов.

Высокой точностью позиционирования и маневренностью обладает транспортный робот МП-12Т (рис. 5.3), разработанный в ЦНИИ РТК (г. Ленинград). Он состоит из подвижной грузовой платформы 2 на четырехколесном шасси, манипулятора 1 и управляется бортовой микроЭВМ. Трасса движения выполнена в виде светоотражающей полосы, для слежения за ней используются специальные фотооптические датчики. Робот МП-12Т

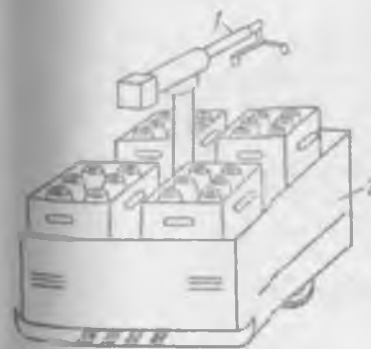


Рис. 5.3. НТПР МП-12Т



Рис. 5.4. НТПР «Электроника НЦ ТМ»

предназначен для систем межоперационного транспорта и осуществляет транспортировку грузов в 10 контейнерах по 20 кг в каждом.

Большое распространение в мировой практике как наиболее универсальное и мобильное транспортное средство получили НТПР, оборудованные подъемными и подъемно-поворотными столами, выдвижными штангами для подъема и фиксации на нужной высоте поддонов с грузами или пакета с заготовками (разработка фирм «Диджитрон», «Комау», «Коматсу» и др.). Подобные автоматические транспортные тележки разработаны и в СССР («Электроника НЦ ТМ», ЭТР-1001, ТУР-500). На рис. 5.4 представлен НТПР «Электроника НЦ ТМ», оснащенный фотооптической системой маршрутослежения, системой управления на базе микроЭВМ и грузоподъемными выдвижными штангами 1, позволяющими поднимать груз массой до 500 кг на высоту 80 мм.



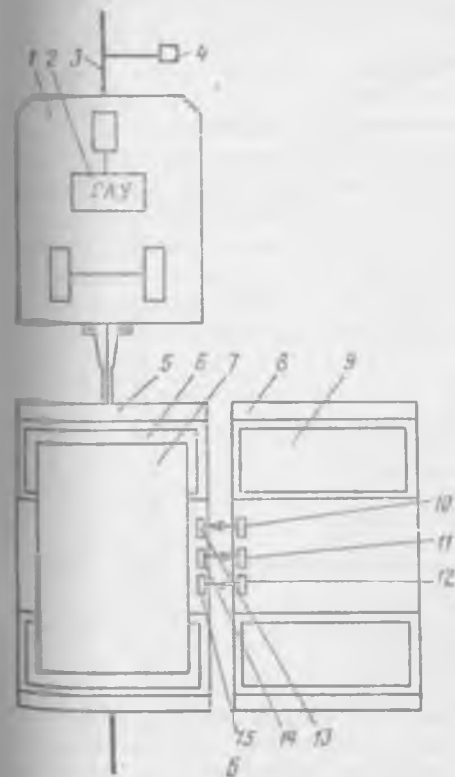
Рис. 5.5. НТПР АТ-60А:  
а — внешний вид; б — компоновочная схема

## § 5.2. НАПОЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТНЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ РОБОТ ГРУЗОТЯНУЩЕГО ТИПА С КОНВЕЙЕРНЫМИ ПЕРЕГРУЗОЧНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

В Латвии разработан НТПР грузотянущего типа АТ-60А (рис. 5.5), который состоит из аккумуляторного тягача 1 с системой автоматического маршрутовождения 2 вдоль индуктивной трассы-ориентира 3 с путевыми маркерами 4 и прицепной тележкой 5. Прицепная тележка оснащена конвейерным устройством 6 для перегрузки поддонов 7 на стол-накопитель 8 с конвейерным перегрузочным устройством 9. Стол-накопитель оснащен излучателем 10 и двумя бесконтактными датчиками 11 и 12. Тележка снабжена бесконтактным датчиком 13 и двумя излучателями 14 и 15.

При движении вдоль трассы-ориентира НТПР в соответствии с заданной программой переходит на получение поддона с грузом. Тягач 1 у заданного стола-накопителя по путевому маркеру 4 переходит на малую скорость и останавливается. Происходит опрос датчиком 13 тележки по сигналу излучателя 10 о наличии поддона 7 на столе-накопителе, а излучатель 14

информирует датчик 11 о возможности перегрузки поддона. Включаются рольганговые конвейерные устройства 6, 9 стола-накопителя и тележки, приводятся во вращение рольганги и поддон перемещается со стола-накопителя на тележку. Поддон получен. НТПР продолжает движение вдоль трассы-ориентира и в соответствии с программой переходит на выгрузку поддона. Тягач 1 у заданного стола-накопителя по другому путевому маркеру 4 переходит на малую скорость и останавливается. Происходит опрос датчиком 13 тележки отсутствия поддона на столе-накопителе по сигналу излучателя 10, а излучатель 15 передает сигнал датчику 12 на возможность включения перегрузки. Включаются рольганговые конвейерные устройства 6



и 9 и поддон перемещается с тележки на стол-накопитель. НТПР готов продолжить выполнение следующих погрузочно-разгрузочных циклов по заданной программе.

НТПР АТ-60А собран на базе малогабаритного напольного аккумуляторного тягача АТ-60 и представляет собой трехколесное шасси с передним рулевым колесом. Автоматический режим функционирования НТПР АТ-60А обеспечивается работой системы маршрутовоедения вдоль индуктивной трассы-ориентира, системой стабилизации тока и частоты вращения тягового двигателя, устройством адресования и устройством управления.

Бортовая аппаратура НТПР АТ-60 обеспечивает: слежение по кабелю; автоматические остановки; автоматические остановки на заданных ответвлениях трассы; пусковой, рабочий, формированный режимы и режим малой скорости НТПР; меры защиты (световую индикацию отказа в блоках с одновременной блокировкой форсированного режима, автоматическую остановку или принудительную остановку НТПР в тупик); возможность перехода с автоматического управления на ручное; меры безопасности (световую проблесковую и звуковую сигнализацию разряда аккумуляторной батареи, аварийную остановку тягача при наезде на препятствие с последующим автоматическим пуском, аварийную остановку НТПР с блокировкой пуска при исчезновении тока в трассе-ориентире).

#### *Техническая характеристика НТПР АТ-60А*

|                                                                                |       |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Габаритные размеры тягача, мм                                                  |       |
| длина                                                                          | 2000  |
| ширина                                                                         | 800   |
| высота                                                                         | 1960  |
| Колея тягача, мм                                                               | 522   |
| Габаритные размеры тележки, мм                                                 |       |
| длина                                                                          | 1650  |
| ширина                                                                         | 820   |
| высота                                                                         | 450   |
| Колея следящей тележки, мм                                                     | 522   |
| Грузоподъемность тележки, кг                                                   | 500   |
| Скорость движения по трассе-ориентире не более, км/ч                           | 3,5   |
| Скорость при позиционировании, км/ч                                            | 0,1   |
| Точность позиционирования, мм                                                  | ±20   |
| » движения вдоль трассы, мм                                                    | ±5    |
| Время перегрузки, с                                                            | 20    |
| Аварийный останов при сходе с трассы, не более, мм                             | 300   |
| Радиус поворота не более, мм                                                   | 2500  |
| Количество остановок + ответвлений трассы (по заказу может быть и больше), шт. | 16+16 |
| Потребляемая мощность, кВт                                                     | 1,4   |

НТПР АТ-60А эффективно вписывается в работу совместно со складами (основными и вспомогательными), управление которых осуществляется традиционными средствами и от АСУ.

НТПР АТ-60А передвигается по проложенной под покрытием пола трассе, в качестве которой служит проводник с током. Трасса может быть проложена в полах с любым покрытием. Адресование выполняется вручную с любой точки маршрута путем набора программы непосредственно на приборной панели тягача. Количество приемных столов определяется конкретным проектом.

### § 5.3. НАПОЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТНЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ РОБОТ ГРУЗОТЯНУЩЕГО ТИПА С АВТОМАТИЧЕСКОЙ БОКОВОЙ СЦЕПКОЙ

Существующая механизация транспортно-складских процессов в текстильной и легкой промышленности основана на широком использовании напольных грузовых тележек. Учитывая сложившуюся структуру транспортно-складских систем и возможности средств робототехники, было разработано транспортное средство, позволяющее в автоматическом режиме перемещать, устанавливать и забирать грузовые тележки в заранее заданных и подготовленных для этого местах.

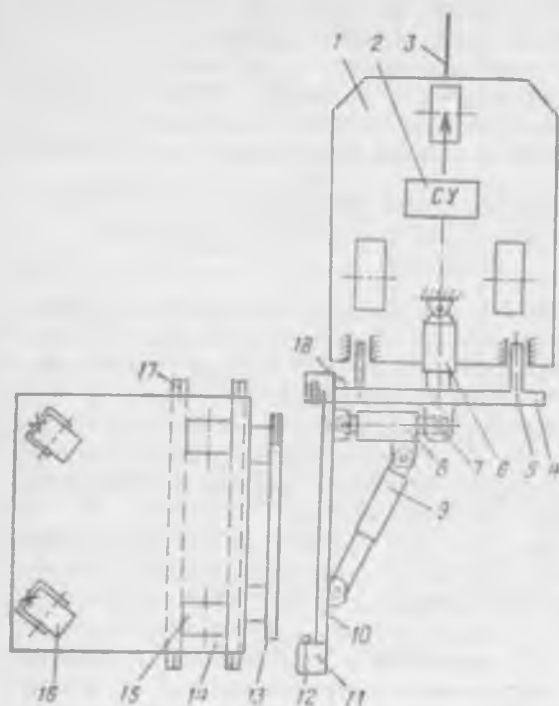
Транспортное средство (рис. 5.6) состоит из аккумуляторного тягача 2, снабженного системой маршрутоведения относительно индуктивной трассы-ориентира, и снабжено автоматической боковой сцепкой 1 — манипулятором грузовых тележек.

Манипулятор (рис. 5.7) выполнен в виде штанги 4, смонтированной на тягаче 1 посредством направляющих 5 и устройства 6 поступательного перемещения штока с электромеханизмом. Манипулятор снабжен схватом, выполненным в виде опирающейся на поддерживающие колеса (см. рис. 5.6) штанги 10 с выступом 18 и симметрично закрепленными на ней устройствами 11 поступательных перемещений пальцев 12, обеспечивающих возможность жесткого соединения со стыковочным элементом 13 грузовой тележки 14. Грузовая тележка 14 снабжена неповоротными колесами 15 и поддерживающими колесами 16 на



Рис. 5.6. Транспортное  
средство НТПР  
АТ-60-АТС

Рис. 5.7. Схема манипулятора НТПР АТ-60-АТС



поворотных площадках. Для фиксации неповоротных колес 15 в местах установки тележек 14 в пол вмонтированы призматические направляющие 17. Кроме того, со штангой 10 схвата манипулятора шарнирно соединены устройства относительных поступательных перемещений 8 и 9 (электромеханизмов), причем устройство 8 соединено также с серединой штанги 4 через шарнир 7, а устройство 9 шарнирно соединено с корпусом устройства 8.

При движении транспортного средства вдоль трассы-ориентира в соответствии с заданной программой режима поиска тележки тягач 1 и следующий за ним манипулятор, штанга которого 10, расположенная вдоль трассы, оказалась напротив тележки 14. Для этого предусмотрен на тягаче светодиодный датчик, а на стыковочном элементе грузовой тележки ответная метка. Если после торможения точность остановки оказывается недостаточной, то включается устройство 6 с поступательным перемещением штока, которое перемещает по направляющим 5 в горизонтальной плоскости штангу 4 и вместе с ней штангу 10 схвата до совмещения с ответным элементом 13 грузовой тележки 14. Затем включается устройство поступательного перемещения 8, которое выдвигает штангу 10 схвата к ответному

элементу 13 и с помощью устройств 11 поступательных перемещений пальцев 12 штанга 10 входит в зацепление с ответным элементом 13 грузовой тележки 14. После завершения захвата (сцепки) грузовой тележки 14 с тягачом 1 образуется грузовой поезд, который начинает движение по трассе-ориентире 3. Тележка 14, следуя за тягачом 1, начинает преодолевать неповоротными колесами 15 призматические направляющие 17, и изменением длин устройств поступательных перемещений 8 и 9 начинает разворачиваться относительно шарнира 7 до совмещения (совпадения) их продольных осей симметрии на прямолинейном участке движения. Устройство 6 возвращается в исходное положение. Поезд следует по заданной трассе движения. При подходе к заданному месту установки тележки тягач 1 снижает скорость и останавливается. Включается устройство 9 на выдвигание, и грузовая тележка 14 начинает разворачиваться, затем тягач 1 движется задним ходом до тех пор, пока продольная ось тележки 14 не станет близка к линии, перпендикулярной движению тягача 1 — тягач останавливается.

Подгонка продольной оси симметрии тележки перпендикулярно линии движения тягача (трассе-ориентире) достигается устройством с поступательным перемещением штока 6. Неподвижные колеса 15 фиксируются в призматических направляющих 17, движение тележки прекращается. Некоторая неопределенность в движении поддерживающих колес тележки манипулятора не сказывается на работе транспортного средства. Грузовая тележка 14 находится в заданном положении. Устройства 11 втягивают пальцы 12, освобождая ответный элемент 13 грузовой тележки 14, а устройство поступательных перемещений 8, изменяя свою длину, подтягивает штангу 10 схвата манипулятора к штанге 4 до жесткого зацепления выступом 18 — транспортное средство подготовлено к следующему циклу работы.

#### *Техническая характеристика НТПР АТ-60-АТС*

|                                       |               |
|---------------------------------------|---------------|
| Габаритные размеры, мм                |               |
| длина                                 | 1446          |
| ширина                                | 700           |
| высота                                | 750           |
| Ширина колеи, мм                      | 522           |
| Колесная база, мм                     | 832           |
| Диаметр ведущих колес, мм             | 280           |
| Минимальный радиус поворота, мм       | 1500          |
| Максимальное тяговое усилие, кН       | 0,8           |
| Скорость, км/ч                        | 0,2—5,0       |
| Отклонение от трассы-ориентира, мм    | 10            |
| Точность автоматической остановки, мм | 20            |
| Точность позиционирования, мм         | 1,0           |
| Аккумуляторная батарея                | 22×ТНЖ-250-У2 |
| Мощность приводов, кВт                |               |
| тягового электродвигателя ГТ-3        | 1,35          |

|                                                                |            |
|----------------------------------------------------------------|------------|
| рулевого электродвигателя                                      | 0,095      |
| звеньев манипулятора МВР-2А(В)                                 | 0,09(0,04) |
| схвата манипулятора МПК-5И                                     | 0,003      |
| Масса с батареей, кг                                           | 780        |
| Шасси грузовой тележки                                         |            |
| неповоротные колеса                                            | 2          |
| поворотные самоустанавливающиеся колеса                        | 2(1)       |
| Расстояние неповоротных колес от ответного элемента сцепки, мм | 250        |
| Высота расположения ответного элемента сцепки от пола, мм      | 350        |
| Масса транспортируемого груза, кг                              | 400        |

Практическое применение транспортного средства предполагает использование получивших распространение на предприятиях текстильной и легкой промышленности специализированных, перемещаемых вручную грузовых тележек.

В ткачестве можно выделить следующие основные транспортные операции: перемещение навоев, подача к станкам уточной пряжи, сбор и перемещение ткани (товарных валиков).

Наработанный навой из приготовительного отдела вместе с ремизками, бердом и ламелями перекладывается на тележку для установки навоев, оснащенную стыковочным элементом. Тележка автоматически забирается транспортным роботом, транспортируется в ткацкий цех, где устанавливается в проходе у нужного станка. Далее тележка вручную подкатывается под станок и с помощью гидроцилиндра при опускании рычага захвата цапф навой устанавливается на станок. Порожние навои забираются в обратном порядке.

Уточные бобины укладываются на ручные тележки, оснащенные стыковочными элементами в приготовительном отделе. Загруженные тележки устанавливаются в местах позиционирования транспортного робота. ТПР автоматически забирает, перемещает и устанавливает тележки с уточными бобинами в проходах у ткацких станков, а порожние тележки транспортирует в приготовительный отдел.

Товарные валики, на которые навиваются один или два куска ткани, снимаются и укладываются вручную на тележку, оснащенную стыковочным элементом и установленную в местах позиционирования робота. Рулоны на станках большой ширины и диаметра снимаются специальными тележками для съема и транспортируются к грузовым тележкам-накопителям, выполненным в виде цепного конвейера; тележки устанавливаются в местах позиционирования ТПР и оснащены стыковочными элементами. Транспортный робот автоматически перемещает эти тележки в мерильно-браковочный участок.

В прядении можно выделить перемещения ленты, клубков, ровницы и пряжи.

Тазы с лентой от чесальных машин, автоматически установленные на тележку, перемещаются ТПР к ровничным машинам,

машинам ложного кручения и пневматическим прядильным машинам. Тележки для тазов с лентой оснащены стыковочными элементами для манипулятора транспортного робота.

Для автоматической транспортировки и хранения клубков между трепальными и кардочесальными машинами можно использовать тележки для клубков, оснащенные стыковочными элементами для ТПР.

Ровничные катушки укладываются на наклонное дно тележки, оснащенной стыковочным элементом, которая автоматически забирается с мест позиционирования ТПР и устанавливается в торец кольцепрядильных машин. Кроме ровничных катушек в тележке перевозятся пустые гильзы.

При автоматическом съеме пряжи с кольцепрядильных машин початки укладываются внавал в тележки с поддерживающим дном. Тележки оснащены стыковочными элементами для ТПР, который забирает их от торца кольцепрядильных машин и перемещает к основомотальным автоматам крестовой намотки.

Пряжа с пневмомеханических машин, оснащенных автосъемниками, укладывается в тележки с подпружиненным дном. Тележки оснащены стыковочными элементами для ТПР, который доставляет пряжу в упаковочный отдел.

При ручном съеме паковок с прядильных машин тележка перемещается вдоль машин вручную и устанавливается в местах позиционирования транспортного робота у торца машин.

В трикотажном производстве можно выделить основные транспортные операции: транспортировка пряжи, полуфабрикатов, изделий и транспортировка основ.

В цехах бельевого трикотажа помимо доставки пряжи к вязальным машинам, которую может выполнять ТПР в тележках, необходимо обеспечить доставку основы в основовязальный цех. Автоматическая транспортировка основы к основовязальным машинам может осуществляться в тележках с подъемным механизмом для укладки основы, оснащенных стыковочными элементами для манипулятора ТПР, аналогично транспортировке пряжи.

Учитывая необходимость сохранения полуфабрикатов и изделий, учета продукции по артикулам, размерам, цвету, сортам и другим признакам для оперативного управления производством и бесперебойной работы технологического оборудования, имеющего различную производительность, рационально применять тумбочки-контейнеры (рис. 5.8). В них из склада доставляется пряжа в цеха верхнего трикотажа, чулочного производства и отправляется полуфабрикат в швейный и швейно-кettelные цеха. Тумбочки-контейнеры закрепляются за вязальщицей и после приема полуфабриката возвращаются к ней. Тумбочки-контейнеры могут комплектоваться кроем, полуфабрикатами и перемещаться на швейном участке по рабочим местам, сохраняя партию. Эта же партия в тумбочках-контейнерах поступает в от-

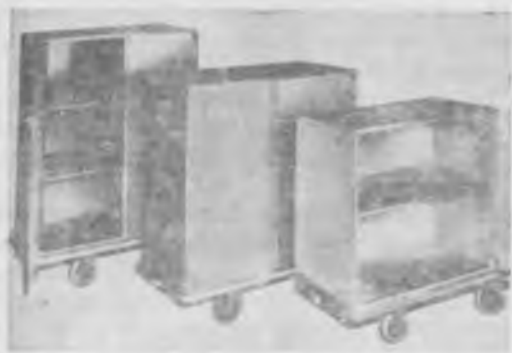


Рис. 5.8. Тумбочка-контейнер

делочно-выпускной участок, где производится влажно-тепловая обработка изделий, упаковка и отправка на склад готовой продукции. Из тумбочек-контейнеров можно создавать промежуточные склады полуфабрикатов. Для автоматизации транспортировки и учета тумбочки необходимо оснастить стыковочными элементами для манипулятора ТПР. Автоматическая транспортировка осуществляется ТПР аналогично рассмотренным транспортным операциям в прядении и ткачестве с мест позиционирования робота.

#### **§ 5.4. НАПОЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТНЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ РОБОТ для транспортировки и раздачи уточной пряжи**

В результате теоретических исследований и испытаний макетов был разработан и изготовлен экспериментальный образец специализированного РТК для транспортирования и раздачи уточной пряжи. Комплекс (рис. 5.9) состоит из тележки и установленного на ней манипулятора. Тележка представляет собой трехколесное транспортное средство. Два мотор-колеса установлены на раме тележки неподвижно, третье колесо является поворотным, колея которого устанавливается вдоль продольной оси тележки принудительно с помощью пружин. На раме также размещены система маршрутослежения, обеспечивающая движение по трассе за счет управления скоростью мотор-колес, система управления тележкой, система программного движения, система управления манипулятором, аккумуляторная батарея и грузовая платформа, на которой фиксированно устанавливается кассета с 48 бобинами пряжи. На передней части рамы закреплен прибор безопасности.

Манипулятор размещен над аккумуляторным отсеком. Привод поворота установлен на кронштейне рамы, на нем же закреплен линейный привод с механизмом схвата. Механизм подъема расположен на уровне грузовой платформы и снабжен специальными захватами для подъема уточных бобин. Угловая фикс-



Рис. 5.9. РТК для транспортировки и раздачи уточной пряжи

сация линейного привода со схватом осуществляется по упорам, расположенным на крышке отсека системы управления. НТПР движется по основной трассе, и по запросу с отдельных станков, переходит при срабатывании датчиков на ответвление трассы, огибающее группу станков, в которой находится станок, давший запрос. Трасса движения оборудуется также датчиками останова. При срабатывании датчика РТК останавливается и на счетчик команд поступает импульс, включающий код команд первого движения манипулятора. Манипулятор в автоматическом режиме выполняет цикл движений по съему первой бобины пряжи с колка кассеты на приемное устройство ткацкого станка. После укладки второй бобины манипулятор возвращается в исходное положение и с дешифратора команд идет разрешение на начало (продолжение) движения. После укладки последней бобины НТПР следует к месту загрузки без остановок.

РТК испытывался в производственных условиях на фабрике им. 8 Марта г. Иваново (на группе станков марки П-125).

*Техническая характеристика РТК для транспортировки  
и раздачи уточной пряжи*

|                                            |          |
|--------------------------------------------|----------|
| Скорость передвижения, м/с                 | 0,6      |
| Точность позиционирования вдоль трассы, мм |          |
| с грузом                                   | $\pm 25$ |
| без груза                                  | $\pm 25$ |

|                                                                                                     |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Точность соблюдения траассы в поперечном направлении движению (отклонения крайней точки робота), мм | $\pm 50$ |
| Время выполнения цикла укладки бобины, с                                                            |          |
| максимальное                                                                                        | 60       |
| минимальное                                                                                         | 40       |
| Радиус поворота, мм                                                                                 | 1500     |

## Глава 6

### АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СКЛАДЫ ГИБКИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВ В ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

#### § 6.1. СТРУКТУРА И СОСТАВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СКЛАДОВ

Производственные процессы в текстильной и легкой промышленности сопровождаются процессами приема, загрузки на склад, хранения, выгрузки, комплектации и выдачи сырья, готовой продукции, вспомогательных материалов и инструмента. Эти процессы предусматривают учет, оформление материальных потоков, т. е. организационное обеспечение.

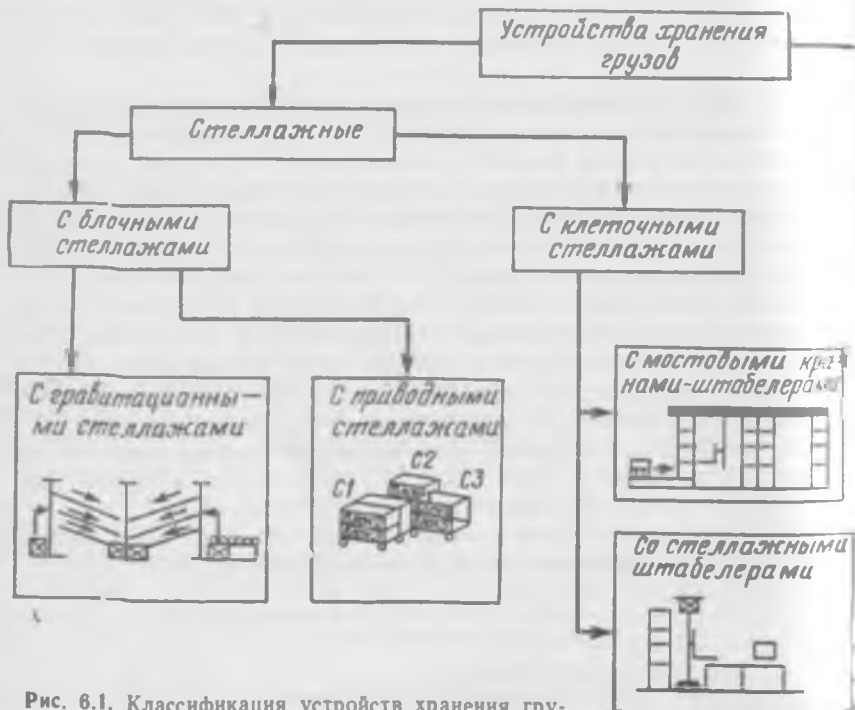
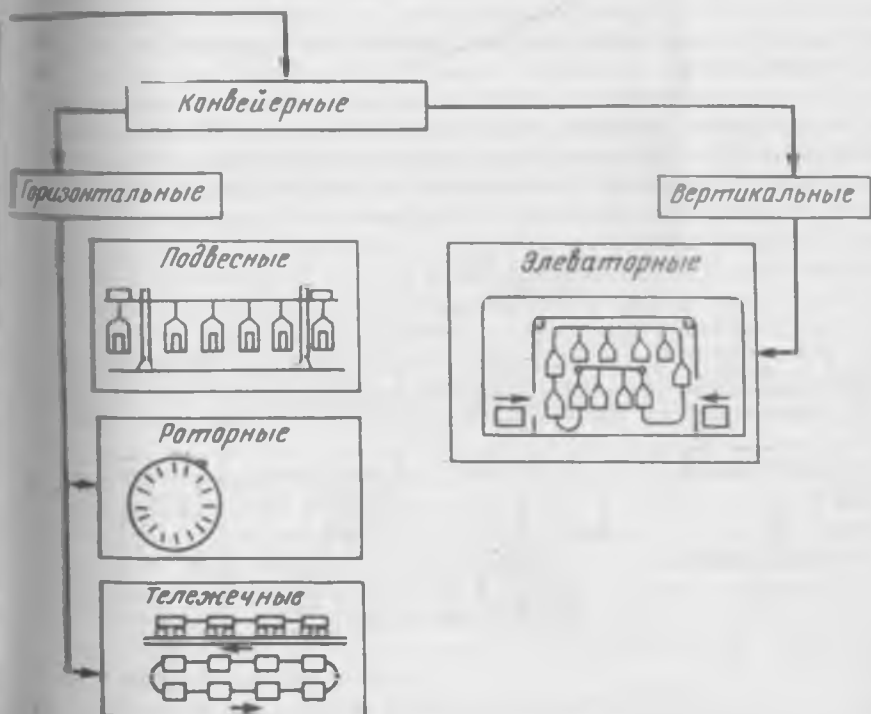


Рис. 6.1. Классификация устройств хранения грузов

В зависимости от сроков хранения, назначения и степени участия в производственном процессе можно выделить специальные централизованные (перевалочные) склады для равномерной работы производств, а также межцеховые и межоперационные склады, обеспечивающие непрерывность технологических процессов в самих производствах за счет накопительных свойств складов.

Современные автоматизированные склады, если учитывать их функциональное значение и решаемые ими задачи, а также используемые для выполнения указанных задач системы управления, могут рассматриваться как самостоятельные гибкие автоматизированные производства (ГАП). Это частично отражено в § 1.4. Техническая оснащенность, технология работы и разнообразность применяемых на конкретном предприятии складов зависит от объема запасов, сроков хранения грузов, ритмичности материальных потоков, характера грузов и других факторов.

В состав автоматизированных складов входят технические средства зоны хранения грузов, включающие устройства хранения, накопительно-перегрузочные устройства, на которые груз доставляется транспортной системой (не входящей в состав склада), штабелирующее оборудование, обеспечивающее транс-



Реализация в полной мере указанных факторов приводит к реализации АТСС, адаптивных к изменению ассортимента грузов, вариабельности массогабаритных характеристик, изменению характеристик складского оборудования и требований поставок сырья и полуфабрикатов.

## § 6.2. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СКЛАД ФУРНИТУРЫ

**Характеристика грузопотоков и анализ работы неавтоматизированного склада.** Рассмотрим склад фурнитуры ЛПШО «Трибуна». Склад представляет собой зону хранения, где происходят прием, загрузка в ячейки, хранение, выгрузка из ячеек, комплектация и выдача фурнитуры (комплектующих изделий).

Объем приема всех грузов при одновременном разовом прибытии составляет около 13 м<sup>3</sup>. При исследовании характеристик грузопотоков выявлено, что на складе хранится 74 вида номенклатуры. Кроме того, многие виды фурнитуры различаются по цвету, рисунку, размеру и другим характеристикам.

Фурнитура поступает на склад с различных предприятий страны и из-за рубежа. Регулярность поставки фурнитуры составляет: нитки, пуговицы, кружево, ляссе, резина — один раз в месяц; пряжки, регулятор для бретелей, чулкодержатели — 2 раза в месяц; эластичная лента, отделочная лента — 3 раза в месяц. Наиболее массовые грузы — ленты эластичные всех видов, кружево, пряжки.

Склад состоит из нескольких многоэтажных металлических стеллажей высотой 3,8 м и общим объемом хранения 55 м<sup>3</sup>. Фурнитура поступает на склад в лифте на тележках, упакованная в коробках, пакетах, мешках, связках, в ящиках различных габаритных размеров и массы. Максимальный размер (420×240×160 мм) имеют коробки с кружевом. К наиболее тяжелым грузам относятся пуговицы, держатели, ляссе и хлопчатобумажные нитки.

На складе фурнитура комплектуется в партии и в виде комплектов отправляется на швейные потоки в пошивочные цеха, цех подготовки фурнитуры, раскройный цех, а также может отправляться на предприятия-филиалы.

Отличительная особенность склада фурнитуры состоит в том, что в режимах загрузки склада и выдачи фурнитуры операции проводятся над частью содержимого одной ячейки склада. Может быть использовано не все содержимое, а часть его, т. е. необходимо учитывать не только число занятых и пустых ячеек, но и знать количество определенного вида фурнитуры в каждой ячейке.

Операции загрузки и разгрузки склада выполняются вручную. В одну смену склад обслуживает кладовщик и двое транспортных рабочих.

Анализ особенностей работы склада фурнитуры скрыл значительные недостатки в организации обслуживания склада рабочими и документировании. Наличие ручного труда, сложности в отыскании нужного наименования, многочисленные учетные документы, при большом грузообороте склада отрицательно сказываются на работе ЛПШО «Трибуна» в целом. Создавшаяся ситуация и имеющиеся трудности в работе склада могут быть преодолены путем создания АТСС.

**Структура АТСС фурнитуры.** Рассматриваемую АТСС предполагается создать на базе складского комплекса РСК-50 и многоуровневой системы управления.

Склад фурнитуры представляет собой централизованный участок, на который поступают комплектующие изделия от предприятий поставщиков. Склад обеспечивает прием, хранение и выдачу фурнитуры.

Предполагаемая структура и компоновка АТСС представлена на рис. 6.5.

Автоматизированный стеллажный склад состоит из двух или более рядов стеллажей 7, разделенных на несколько сотен ячеек, предназначенных для установки в них стандартных ящиков с фурнитурой. Между рядами стеллажей движется автоматизированное штабелирующее устройство 6 в качестве которого, как было показано в § 6.1, могут использоваться ПР, способные ставить в любую свободную ячейку стеллажного склада или вынимать из соответствующей ячейки ящик с фурнитурой требуемого типа. Автоматизированное штабелирующее устройство, двигаясь по монорельсу 4, достигает рабочего стола 3 (выполняет роль НПУ), на который устанавливает, или, наоборот, берет из него, ящик 5 с фурнитурой. Операции погрузки фурнитуры в ящики и выгрузки ее из ящиков на первом этапе предусматривают наличие оператора. При дальнейшем развитии АТСС эти операции могут быть также автоматизированы.

Помимо операций по разгрузке, загрузке и комплектации фурнитуры на рабочем столе 3 оператор 2 выполняет также функции по обслуживанию управляющего вычислительного комплекса 1. Работа оператора за пультом управляющего комплекса сводится к заданию режимов работы управляющей системы, занесению необходимой информации в память машины и к выдаче необходимой информации на печать.

Доставка фурнитуры от разгрузочного стола в цех подготовки фурнитуры, в раскройный цех и в пошивочные цеха осуществляется транспортным средством 9. В качестве транспортного средства на первом этапе автоматизации могут быть применены традиционные виды внутризаводского транспорта: электрокары, электротележки, ручные тележки. При дальнейшем развитии системы в качестве транспортного средства 9 может быть использован напольный транспортный робот, например типа ТУР-500

портировку грузов от устройств хранения до накопительно-перегрузочных устройств и обратно, и систему управления складом.

Склады по конструктивному оформлению устройств хранения можно разбить на две основные группы: стеллажные и конвейерные (рис. 6.1).

**Стеллажное устройство хранения грузов** представляет собой неподвижную блочную или клеточную конструкцию, в каждой клетке которой или в блоке располагаются хранимые грузы.

В случае *блочной конструкции* грузы располагаются на полках и различаются способом загрузки и выгрузки груза. Подобные конструктивные решения устройств хранения обычно используются для хранения однотипных грузов. Различают блочные устройства хранения с гравитационными и приводными стеллажами. В гравитационных стеллажах загрузочные окна блоков находятся выше окон выгрузки, благодаря чему перемещение тары с грузом происходит под действием веса. Примером гравитационного стеллажа может служить межоперационный склад обуви. В каждом блоке такого стеллажа хранится тара с обувью одинакового фасона и типоразмера. В стеллажных хранилищах с приводными блочными стеллажами каждая горизонтальная секция (С1, С2, С3) представляет собой набор отдельных блоков (блок 1, блок 2, блок 3, блок 4), в каждом из которых хранится однородная продукция. Конструкции с блочными стеллажами получили ограниченное распространение в текстильной и легкой промышленности.

Широко применяются стеллажные конструкции с клеточными стеллажами, которые различаются типом штабелирующего оборудования — кран-штабелер или стеллажные штабелеры (рис. 6.2). В швейной промышленности наибольшее распространение получил второй тип штабелирующего оборудования.

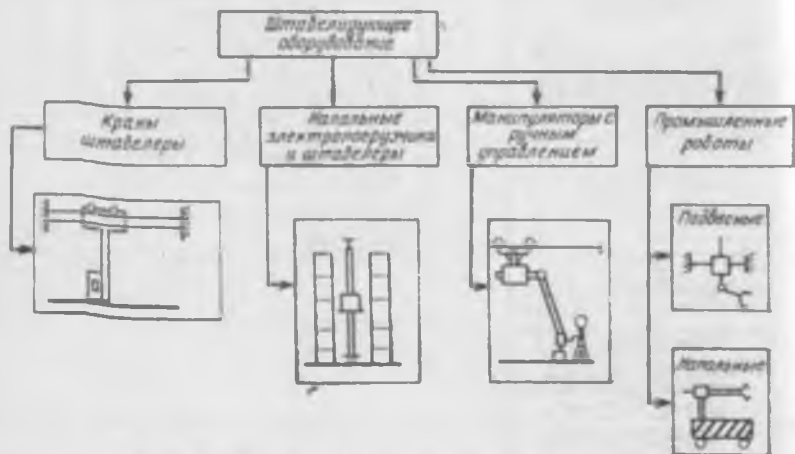


Рис. 6.2. Типы штабелирующего оборудования

В качестве штабелирующего оборудования могут использоваться манипуляторы с ручным управлением (например, ШБМ-150) либо подвесные или напольные ПР (типа ЭМУ, см. § 2.2), либо НТПР на базе АТ-60 с установленным на нем специальным манипулятором с большим вертикальным перемещением.

Другую группу устройств хранения составляют **конвейерные (подвесные) устройства** хранения, грузы в которых хранятся в специальных подвесных люльках.

Особенностью конструкции хранилищ данной группы является их возможность совмещения двух задач — конвейерной транспортировки между отдельными единицами технологического оборудования и одновременного хранения грузов. Движение конвейеров возможно в горизонтальной (подвесные, роторные, тележечные) или вертикальной (элеваторные) плоскости. Горизонтальные конвейерные подвесные устройства хранения широко используются в текстильной промышленности (транспортировка тазов с лентой, ровницы, тары с пряжей и т. д.), элеваторные устройства хранения большее распространение нашли в швейной и обувной промышленности на складах разбракованной и неразбракованной ткани и обуви, при хранении и протяжке галантерейной ленты, в межцеховых автоматизированных складах обуви и т. д.

В состав технических средств складов входят также накопительно-перегрузочные устройства, которые предназначены для промежуточного накапливания грузов и являются промежуточной ячейкой для кратковременного хранения. Загрузка и разгрузка накопительных устройств осуществляется с помощью перегружающих устройств, в частности ПР и манипуляторами. Некоторые типы накопительно-перегрузочных устройств, в частности роликовые устройства, выполняют функцию накопительных и перегрузочных устройств. При этом они оборудованы системой роликов, которые, вращаясь синхронно с системой роликов транспортного средства (ТС), осуществляют и перегрузку грузов (рис. 6.3).

В автоматизированных складах (рис. 6.4) устройства хранения оборудованы локальными системами автоматизации ЛСА, осуществляющими управление штабелирующими ШУ и накопительно-перегрузочными устройствами НПУ. В ЛСА входят локальные системы управления ЛСУ ШУ и НПУ, а также информационно-измерительные элементы склада, такие, как датчики внешней информации, установленные на устройствах хранения (сигнализирующие, например, о наличии тары в ячейке или ее отсутствии), и датчики внутренней информации, регистрирующие положение подвижных элементов ШУ и НПУ (например, высоту подъема штабелера).

Программу работы ЛСУ формирует АСУТП склада, которая в свою очередь получает информацию от АСУП.

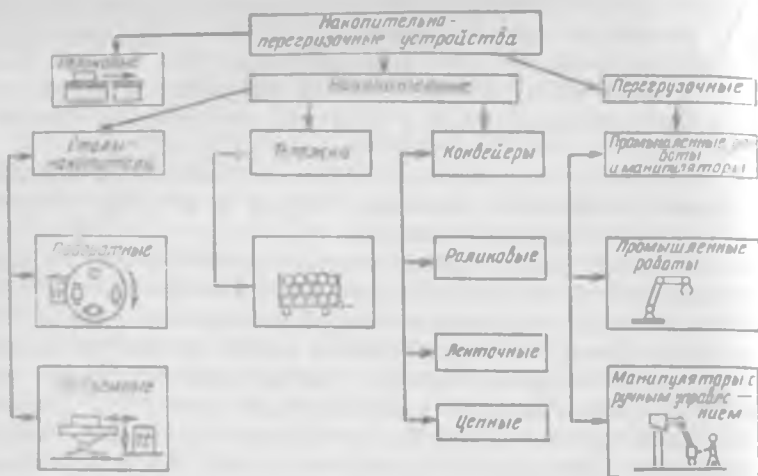


Рис. 6.3. Типы накопительно-перегрузочных устройств

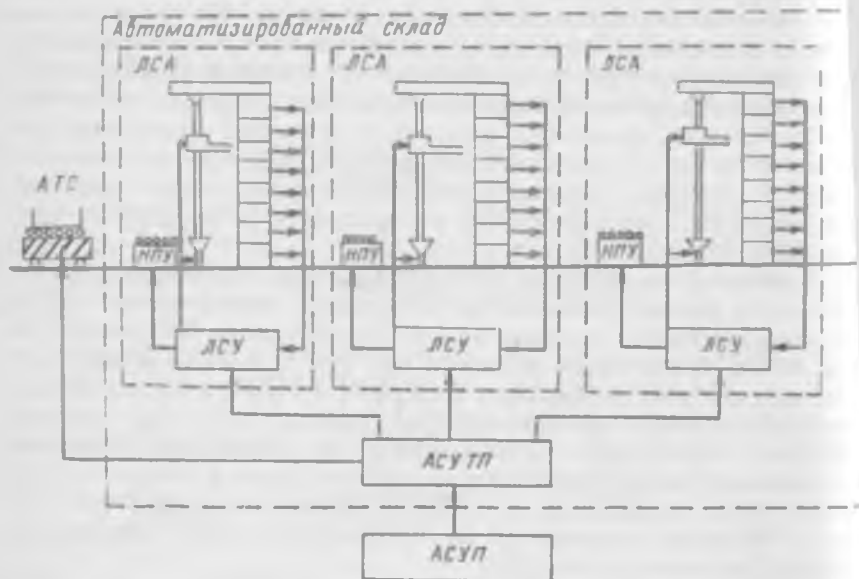


Рис. 6.4. Автоматизированный склад

Если автоматизированный склад рассматривается вместе с автоматической транспортной системой (АТС), то такая совокупность составляет автоматизированную транспортно-складскую систему (АТСС).

Причинами, требующими повышения степени гибкости АС и АТСС в текстильной и легкой промышленности являются все нерешенные общие причины (см. § 1.1), но характерными для автоматизированных складов можно выделить следующие:

большой ассортимент хранимых грузов, особенно в швейной и обувной промышленности с различными массогабаритными характеристиками (например, рулоны ткани массой до 70 кг и фурнитура);

вариабельность параметров штабелирующих устройств, НПУ технических средств, вследствие отказов в работе исполнительных механизмов, датчиков и т. п.;

большое сочетание вариантов отбора грузов (например, в швейной промышленности определенному фасону и расцветке одежды соответствует несколько вариантов фурнитурных изделий).

Устранению этих причин способствует указанный потенциал гибкости, к которому можно отнести, во-первых, технологические факторы повышения гибкости. Это, например, переход к автоматизированным складам, где алгоритм автоматического поиска и адресования требуемого груза может легко меняться, где существует возможность изменения режимов управления ШУ и НПУ в зависимости от интенсивности транспортных потоков и интенсивности отказов оборудования, а также, например, от изменения времени пролежки различных материалов (готовой ленты, паковок с нитью, кожаных изделий на пролежечных устройствах хранения).

Другой группой факторов повышения гибкости АТСС являются технические факторы, позволяющие реализовать рассмотренные технологические факторы, к которым можно отнести, например, использование подвесных транспортных роботов, автоматических штабелеров, локальных систем управления этими подвесными средствами и средства вычислительной техники, реализующей АСУТП складом. Использование ПР в качестве штабелирующего и перегружающего оборудования, применение локальных средств автоматизации ими и вычислительных средств для диспетчеризации работы ЛСА на базе АСУТП позволяет, с другой стороны, рассматривать такие АТСС как робототехнические складские системы.

К третьей группе факторов повышения степени гибкости АСС следует отнести организационные факторы, такие, как учет материальных ценностей на складе, формирование партий грузов, выбор оптимальных трасс движения штабелирующего оборудования и НТПР, на основании которых в АСУТП осуществляется планирование грузопотоков и управление ими.

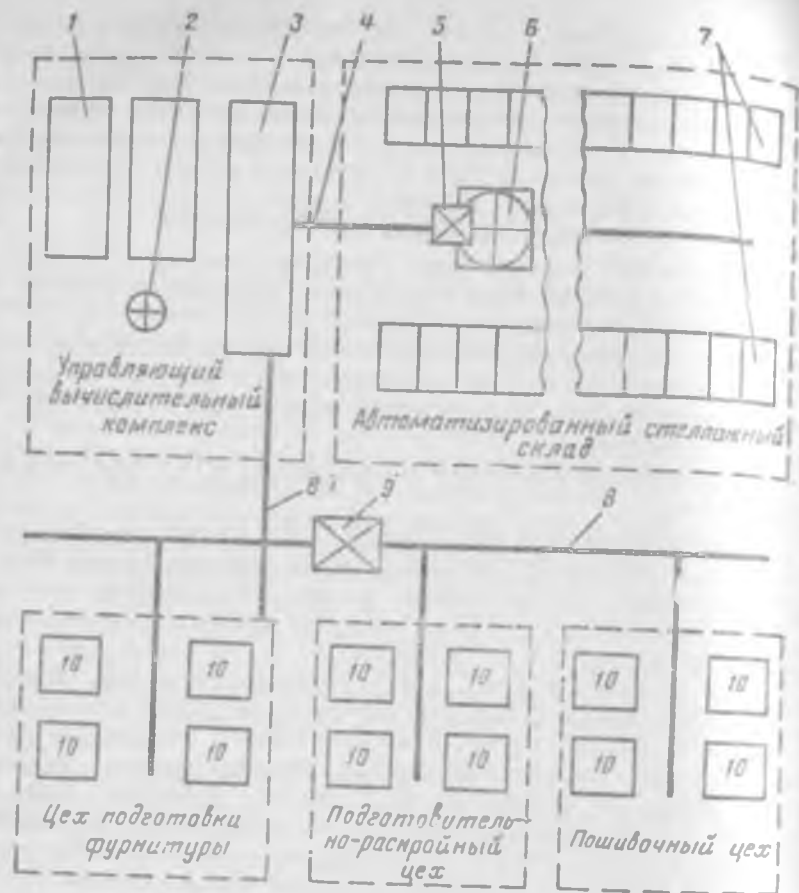


Рис. 6.5. Схема ГПС АТСС фурнитуры

(Смоленск), «Электроника НЦ-ТМ» (Зеленоград), ТРТ-250 (Калининград), или автоматический тягач АТ-60А (Рига). Указанные разновидности транспортных роботов освоены промышленностью и выпускаются отдельными сериями.

Транспортный робот (ТР) осуществляет транспортировку фурнитуры в таре и автоматическую загрузку и разгрузку ящиков с фурнитурой на рабочем столе 3 и на рабочих местах 10 в цехах. Перемещение ТР происходит вдоль трассы 8, задаваемой специальным образом (светотражающая полоса, проводник с током и т. п.). В местах остановки смонтированы в полу специальные маркеры, обнаруживаемые датчиками, установленными на нижней поверхности робота.

Операция по загрузке склада фурнитурой, поступающей от поставщиков, может осуществляться с помощью того же транс-

портного средства (ТР, электрокар, тележка) или другим способом.

Обобщенная структурная схема систем управления АТСС представлена на рис. 6.6. Двухуровневая структура системы управления содержит на верхнем (диспетчерском или информационном) уровне управляющий комплекс на базе «Электроника-60», называемый для краткости ЭВМ. На нижнем (исполнительном или управляющем) уровне используется микроконтроллер «Электроника МС 2702», в дальнейшем называемый контроллером.

Система управления данной структуры позволяет решать на верхнем уровне управления достаточно сложные и объемные задачи учета, контроля, диспетчеризации. Здесь же формируются задания по управлению роботом, использующимся в АТСС, которые реализуются локальными системами управления нижнего уровня (управление штабелирующим устройством, транспортным роботом и т. д.). Задания могут вводиться оператором Оп с пульта управления ПУ или формироваться программно в процессе работы над базами данных.

**Функции оператора по обслуживанию АТСС фурнитуры.** Внедрение АТСС предусматривает получение экономического эффекта вследствие сокращения числа работников, обслуживающих склад фурнитуры. Для обеспечения функционирования автоматизированного склада планируется использовать в одну смену одного оператора. При этом на оператора возлагаются обязанности по учету фурнитуры с помощью информационно-программного модуля ГПС и отбору необходимого количества фурнитуры из ящиков, доставляемых автоматизированным штабелирующим устройством на рабочий стол.

С целью облегчить нагрузку на оператора разработаны рекомендации по компоновке рабочего места. Компоновка рабочего места оператора (в двух видах) представлена на рис. 6.7.

Рабочее место оператора должно иметь такую компоновку, чтобы ему было удобно работать за пультом ЭВМ (дисплеем), обслуживать рабочий стол, на котором перекладывается фурнитура, а также иметь хороший обзор для контроля за манипуляциями и перемещением автоматизирующего устройства.

Для обеспечения указанных требований предлагается следующая компоновка рабочего места. Оператор складского комплекса располагается на вращающемся стуле 4 за столом 5, на котором установлен дисплей 3. ЭВМ, конструктивно выполненная в виде стойки (сварного шкафа) 1, располагается слева от стола 5. В стойке размещается собственно микроЭВМ «Электроника-60», а также накопитель на гибких магнитных дисках (НГМД-7012). Слева от оператора располагается печатающее устройство 2 типа Robotron-1156 либо Robotron-180. Такая компоновка УВК «Электроника-60» (ВУМС-28-025) является весьма удобной и обеспечивает возможность легкого доступа оператора

Рис. 6.6. Структурная  
схема системы управле-  
ния АТСС

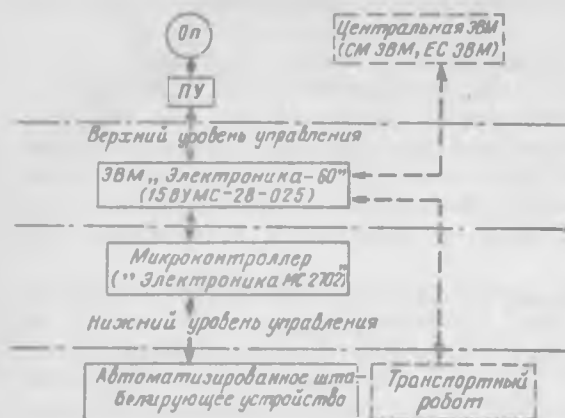
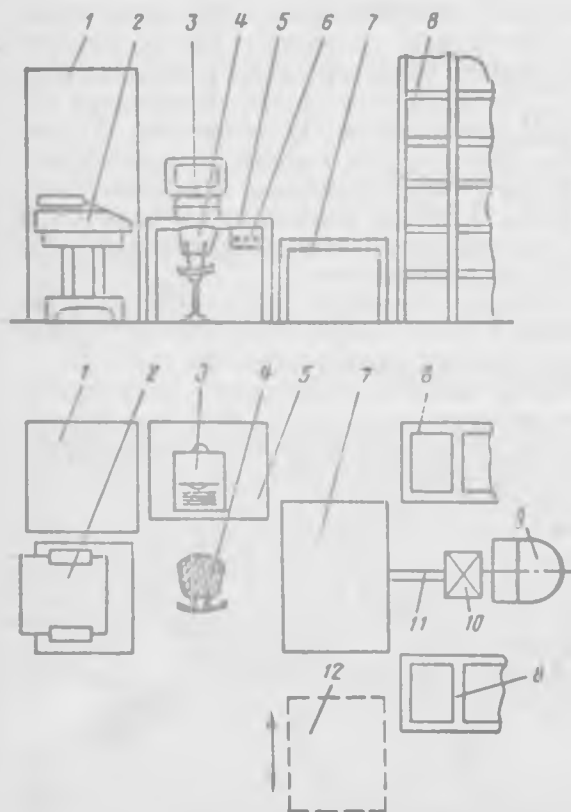


Рис. 6.7. Компоновка ра-  
бочего места оператора



и НГМД для загрузки дискет, а также к дисплею, АЦПУ и управляющему контроллеру «Электроника МС 2702». Контроллер 6 располагается под крышкой стола 5.

Вычислительный комплекс предлагается размещать в непосредственной близости от стеллажного автоматизированного склада таким образом, чтобы рабочий стол 7 располагался справа от оператора. Штабелирующее устройство 9 перемещается между стеллажами 8 по монорельсу 11, транспортируя ящичную тару 10 от рабочего стола 7 в требуемую ячейку стеллажного склада либо в обратном направлении — из ячейки на рабочий

Таблица 6.1

| Загрузка                                                                                                                                       | Выдача                                                                                           | Комплектация                                                                                    | Перемещение                                                                                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ввод информации в ЭВМ о поступлении фурнитуры                                                                                                  | Ввод информации в ЭВМ об изъятии фурнитуры                                                       | Ввод информации в ЭВМ об изъятии фурнитуры                                                      |                                                                                                       |
| Формирование команд управления для вызова ШУ к месту оператора                                                                                 | Формирование команд управления перемещением ШУ к устройствам хранения и далее к месту оператора  | Формирование команд управления перемещением ШУ к устройствам хранения и далее к месту оператора | Формирование команд управления перемещением ШУ и НТПР с целью изменения положения в нештатных случаях |
| Формирование команд управления для вызова НТПР к месту оператора                                                                               | Формирование команд управления перемещением НТПР к месту оператора                               | Комплектация партии фурнитуры                                                                   | Формирование и распечатка документов                                                                  |
| Перегрузка фурнитуры в тару для хранения                                                                                                       | Перегрузка фурнитуры в тару для транспортировки НТПР                                             | Формирование команд управления перемещением ШУ с целью возврата тары к устройству хранения      |                                                                                                       |
| Формирование команд управления перемещением ШУ к устройствам хранения для последующей загрузки и отправки НТПР в исходное или другое положение | Формирование команд управления перемещением НТПР к месту назначения и далее в исходное положение | Формирование и распечатка сопроводительных документов                                           |                                                                                                       |
| Формирование и распечатка сопроводительных документов                                                                                          | Формирование и распечатка сопроводительных документов                                            |                                                                                                 |                                                                                                       |

stood (либо из ячейки в ячейку) в соответствии с типом транспортно-складской операции. Фурнитура в цеха швейного предприятия доставляется с помощью транспортного средства 12.

Отметим несколько важных положений, определивших предлагаемый порядок работы оператора по обслуживанию АТСС. При создании АТСС предусматривается возможность поэтапного внедрения программных средств и реализации механической части (штабелирующих устройств, устройств хранения).

В соответствии с этим предусмотрена возможность внедрения отдельных модулей при условии установки на предприятии вычислительного комплекса типа 15 ВУМС-28-025 на верхнем уровне управления без механической части автоматизированного склада. Для этого разработан порядок действий оператора по обслуживанию склада, пригодный для работы как в «автоматизированном» режиме, при котором работают все уровни АТСС, так и в «ручном», когда функционирует только верхний уровень АТСС, т. е. решаются только информационные задачи.

Информация о порядке действий оператора в АТСС при различных режимах представлена в табл. 6.1. Из таблицы видно, что действия оператора во всех четырех режимах (загрузка, выгрузка, перемещение, комплектация) работы склада аналогичны. При этом режимы загрузки, выдачи и комплектации содержат одинаковые этапы, а при перемещении фурнитуры отсутствует этап ввода информации об изменении количества фурнитуры на складе.

## Глава 7

### АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ И ДИСКРЕТНЫХ ДАННЫХ В МАТЕМАТИЧЕСКОМ И АЛГОРИТМИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

#### § 7.1. КЛАССИЧЕСКИЕ ОРТОГОНАЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ КАК АППАРАТ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ АППРОКСИМАЦИИ

Существуют различные способы аналитического описания графических и дискретных данных. К ним относятся способы, основанные на применении метода наименьших квадратов [1], полиномов наилучшего приближения [35], сплайн-функций и атомарных функций [36], ортогональных полиномов и функций [38] и др.

Каждый из таких способов имеет свои преимущества и недостатки, однако основные качества классических ортогональных базисов [38] указывают на то, что использование их в за-

дачах аналитического представления является наиболее перспективным.

Наиболее важные свойства классических ортогональных базисов, которые определяют их ценность в задачах аналитической аппроксимации данных, перечислены ниже.

1. Функциональную зависимость, полученную в виде непрерывной кривой или цифрового массива данных, можно всегда описать аналитическим отрезком ортогонального ряда с любой наперед заданной точностью в среднеквадратичном значении.

2. Аналитическое представление функции усеченным ортогональным рядом требует знания самой функции и не требует знания ее производных или сведений о гладкости.

3. Разложение функции в ортогональный ряд является жестким, т. е. вычисление новых коэффициентов разложения для повышения точности аппроксимации не влияет на ранее вычисленные коэффициенты.

4. Разложение функции осуществляется не в точке (ряды Тэйлора), а на заданном промежутке, который, вообще говоря, может быть любым.

Значимость перечисленных свойств усиливается тем, что развиты прикладные аспекты применения классических ортогональных базисов в задачах аппроксимации, которые выражаются: в модификации известных классических базисов (придание им прикладной формы, удобной для задач аппроксимации) и получении таким образом системы модифицированных классических ортогональных нормированных (или иначе ортонормированных) базисов; изучении их аппроксимативных свойств; практическом создании на основе использования ЦВМ численных методов оптимизации в представлении функций. При этом в результате оптимизации возможно обеспечить такую точность аппроксимации, которая соответствовала бы практически точному описанию функции.

В качестве примера ортогонального базиса возьмем систему функций Лежандра, для которой общий  $n$ -й член записывается

$$P_n(x) = \sqrt{\frac{2n+1}{X}} \sum_{k=0}^n \frac{(n!)^2 (x-X)^k x^{n-k}}{(k!)^2 [(n-k)!]^2}.$$

Конкретные функции (рис. 7.1)

$$P_{0,le}(x) = 1/\sqrt{X}; \quad P_{1,le}(x) = \sqrt{3/X} (2x/X - 1);$$

$$P_{2,le}(x) = \sqrt{5/X} (6x^2/X^2 - 6x/X + 1);$$

$$P_{3,le}(x) = \sqrt{7/X} (20x^3/X^3 - 30x^2/X^2 + 12x/X - 1);$$

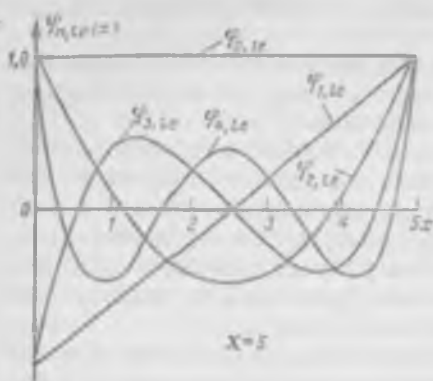


Рис. 7.1. Графическое представление функций Лежандра

В качестве второго примера возьмем систему функций Лагерра, для которой общий  $n$ -й член имеет запись

$$\varphi_{n, \alpha}(mx) = \sqrt{\frac{m n!}{(\alpha + n)!}} \sum_{k=0}^n \frac{(n + \alpha)!}{(n - k)! (\alpha + k)!} \times \\ \times \frac{(-mx)^k}{k!} (mx)^{0.5\alpha} e^{-0.5mx} \quad (7.2)$$

Конкретные функции

$$\begin{aligned} \varphi_{0, \alpha}(mx) &= \sqrt{\frac{m}{\alpha!}} (mx)^{0.5\alpha} e^{-0.5mx}; \\ \varphi_{1, \alpha}(mx) &= \sqrt{\frac{m}{(\alpha + 1)!}} \left[ 1 - \frac{1}{(\alpha + 1)} mx \right] (mx)^{0.5\alpha} e^{-0.5mx}; \\ \varphi_{2, \alpha}(mx) &= \sqrt{\frac{2! m}{(\alpha + 2)!}} \left[ 1 - \frac{2mx}{(\alpha + 1)} + \frac{2m^2 x^2}{2! (\alpha + 1) (\alpha + 2)} \right] \times \\ &\quad \times (mx)^{0.5\alpha} e^{-0.5mx}; \\ \varphi_{3, \alpha}(mx) &= \sqrt{\frac{3! m}{(\alpha + 3)!}} \left[ 1 - \frac{3mx}{(\alpha + 1)} + \frac{3 \cdot 2 \cdot 1 m^2 x^2}{2! (\alpha + 1) (\alpha + 2)} - \right. \\ &\quad \left. - \frac{3 \cdot 2 m^3 x^3}{3! (\alpha + 1) (\alpha + 2) (\alpha + 3)} \right] (mx)^{0.5\alpha} e^{-0.5mx} \end{aligned}$$

Функции (7.2) имеют параметры  $m$  и  $\alpha$ , за счет которых можно осуществлять оптимизацию разложений функций по базисам. Для значений  $m=1$ ,  $\alpha=0$  графически функции представлены на рис. 7.2, а, для значений  $m=1$ ,  $\alpha=2$  — на рис. 7.2, б.

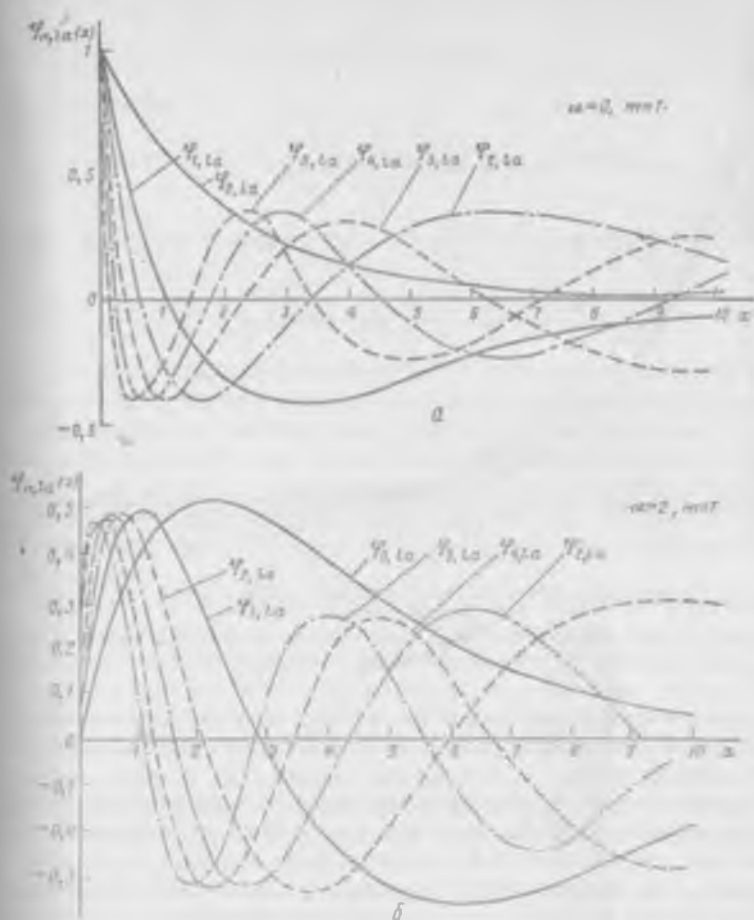


Рис. 7.2. Графическое представление функций Лагерра для значе-  
ний параметров:

$a = m-1$ ;  $\alpha=0$ ;  $\delta = m-1$ ;  $\alpha=2$

В основе аналитического представления — аппроксимация данных с использованием ортогональных базисов лежит возможность точного представления функции, удовлетворяющей указан-  
ным ниже ограничениям, в виде бесконечного ряда

$$y(x) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n \varphi_n(x), \quad (7.3)$$

или, как говорят, разложения функции в бесконечный ортого-  
нальный ряд.

В практических случаях вместо выражения (7.3) берут ряд  
с конечным числом членов  $N < \infty$ . В этом случае при заданной

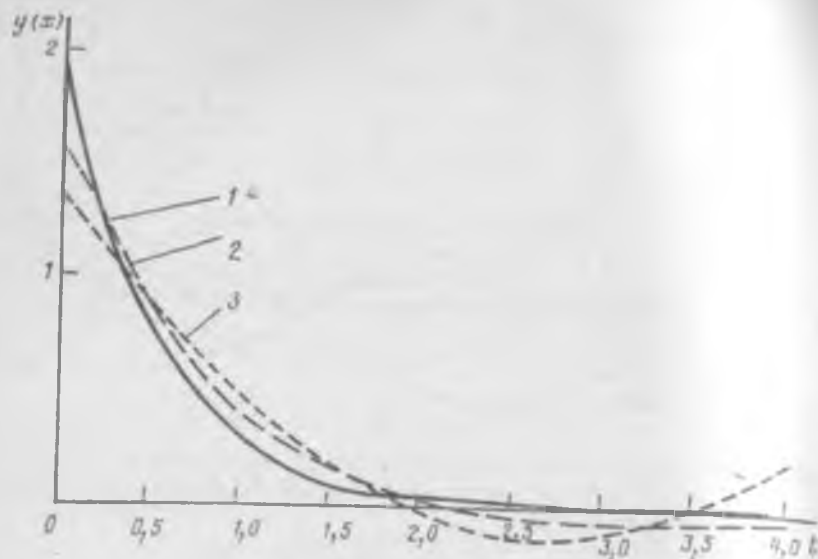


Рис. 7.3. Графическое представление функции вида  $y(x) = 2\exp(-2x)$  и ее аппроксимаций:

1 — график самой функции; 2 — аппроксимация функциями Лагерра при  $m=1$  и  $N=2$ ; 3 — аппроксимация функциями Лежандра при  $N=2$ .

точности аппроксимации  $y(x)$  глубина разложения (число членов ряда) будет изменяться в зависимости от выбранного ортогонального базиса.

Рассмотрим на конкретном примере, как влияет на точность аппроксимации  $y(x)$  применение различных ортогональных базисов, но с фиксированной и одинаковой для всех глубиной разложения. Тем самым поясним смысл указанной оптимизации в представлении функции — в их разложении в ряд по ортогональным базисам.

Пусть в результате некоторого экспериментального исследования получен цифровой массив, который для наглядности представим заранее известной функцией  $y(x) = 2\exp(-2x)$ , на промежутке  $[0, 4]$ . Получим его аналитическое описание в виде отрезка ортогонального ряда при  $N=2$ , используя для этого функции Лежандра и Лагерра (рис. 7.3).

Вычисление первых трех коэффициентов разложения по функциям Лежандра дает следующие значения:

$$A_0 = 0,5; A_1 = -0,648; A_2 = 0,496.$$

Разложение по функциям Лагерра выполним с варьированием масштабным коэффициентом  $m$ :  
при  $m=1$

$$A_0 = 0,8; A_1 = 0,48; A_2 = 0,288;$$

при оптимальном масштабном коэффициенте  $m = m_{\text{opt}} = 4$

$$A_0 = 1; A_1 = A_2 = 0;$$

следовательно,

$$y(x) = \sum_{n=0}^2 A_n \varphi_n, \quad \text{т.е. } y(x) = A_0 \varphi_0 + 0 \cdot \varphi_1 + 0 \cdot \varphi_2,$$

нулевая функция Лагерра  $\varphi_0, \text{ т.е. } \varphi_0 = \sqrt{m} e^{-0,5mx}$  при  $m=4$   $\varphi_0, \text{ т.е. } \varphi_0 = 2e^{-2x}$ , тогда

$$y(x) = A_0 \varphi_0, \text{ т.е. } y(x) = 1 \cdot 2e^{-2x}.$$

Таким образом, правильно подобранный ортогональный базис к конкретной функции повысит точность приближения при фиксированном числе членов разложения. Если к тому же адаптировать выбранный базис к свойствам функции (в нашем случае  $m = m_{\text{opt}}$ ), то точная аппроксимация  $y(x)$  будет обеспечена одним членом ортогонального ряда. На рис. 7.3 показана точная функция и варианты ее приближения принятыми ортогональными базисами.

Рассмотренный пример показывает, что одной из главных задач исследования, при использовании усеченных ортогональных рядов, для аналитического описания является разработка методов выбора такого ортогонального базиса, формы первых взвешенных членов которого наиболее близки к форме анализируемой функции. Это обеспечит удовлетворение заданной точности аппроксимации в среднеквадратичном или равномерном смысле минимальным числом членов ряда вплоть до одного члена.

Такое аналитическое описание функций можно называть оптимальным или квазиоптимальным.

По определению вещественные функции непрерывного аргумента  $\varphi_0(x), \varphi_1(x), \dots, \varphi_n(x), \dots$  называют ортогональными (взаимно ортогональными) на интервале  $[a, b]$  с весом  $\rho(x)$ , если

$$\int_a^b \tilde{\varphi}_n(x) \varphi_m(x) \rho(x) dx = \delta_{n,m};$$

$$\delta_{n,m} = \begin{cases} 0 & \text{при } n \neq m \\ N_n^2 & \text{при } n = m, \end{cases} \quad (7.4)$$

где вес — положительная невозрастающая функция, т. е.  $\rho(x) > 0$ ; а  $N_n$  — норма функций  $\tilde{\varphi}_n(x)$ , определяемая формулой

$$N_n^2 = \int_a^b [\varphi_n(x)]^2 \rho(x) dx. \quad (7.5)$$

С этой целью использована, например, линейная подстановка вида:  $\sigma = 2x/X - 1$ , которая сдвигает область существования ортогональных базисов с интервалом существования  $[-1; 1]$  на промежуток  $[0; X]$ . Такая модификация и нормировка базисов позволяет аппроксимировать (разлагать в ортогональный ряд) функции на любом конечном промежутке, подставляя каждый раз конкретную длительность функций  $X$  в формулу, задающую базис. При этом ортогональность и нормировка сохраняются.

Использованы и другие удобные подстановки и введены параметры, расширяющие многообразие базисов. Вычислены и построены графики наиболее характерных функций. Исследовано влияние параметров на изменение свойств ортогональных функций, построены соответствующие графики.

Изложенные теоретические положения и разработки стали практически значимыми вследствие создания численного аппарата аппроксимации. Этот аппарат затрагивает, во-первых, обеспечение требуемой точности вычисления интегралов, которые стоят в формулах (7.11; 7.12) коэффициентов разложения. Однако возможность удачной аналитической аппроксимации существенно возросла, когда удалось с помощью ЭВМ и при применении так называемого коэффициента формы  $K_\phi$  автоматизировать выбор из многообразия модифицированных классических ортогональных базисов именно того, который позволяет получить оптимальное или квазиоптимальное разложение кривой.

В основу использования коэффициента формы  $K_\phi$  для выбора «подходящего» базиса положены следующие соображения. В каждом конкретном случае выбор базиса был бы идеальным, если бы удавалось среди кривых различных базисов указывать ту, которая точно совпадает с аппроксимируемой функцией. Если же не удастся это сделать полностью, например, потому, что среди рассматриваемых базисов подходящий полностью отсутствует, то желательно осуществить приближенный выбор базиса. С другой стороны, если нельзя (или неудобно) сделать прямое сравнение аппроксимируемой и базисных кривых, то можно ориентироваться на сопоставление аналогичности взаимодействия кривых с «третьими», вспомогательными, функциями.

В качестве вспомогательных возьмем функции

$$B_1(x) = X_n - x; \quad (7.15)$$

$$B_2(x) = a; \quad (7.16)$$

$$B_3(x) = x, \quad (7.17)$$

где  $X_n$  — интервал аппроксимации;  $a$  — постоянное число.

Функции (7.15) — (7.17) есть соответственно убывающая, постоянная и возрастающая функции.

Введем в рассмотрение зависимость для коэффициента формы

$$K_\phi = \frac{\int_a^{X_n} f(x) (X_n - x) dx}{\int_a^{X_n} f(x) x dx}. \quad (7.18)$$

Найдем значения (7.18) для функций  $B_1, B_2, B_3$ , т. е. получим выражение (7.18) при подстановке вместо  $f(x)$  указанных трех функций. Результатом будут характеристики, имеющие соответственно следующие данные:

$$K_{\phi 1} > 1; K_{\phi 2} \approx 1; K_{\phi 3} < 1. \quad (7.19)$$

Рассчитаем значения (7.18) для различных базисов, обозначив их  $K_{\phi, b}$ , и запомним в виде некоторой базы данных, по которой сможем различать путем сравнения с данными (7.19) убывающие, постоянные и возрастающие базисы. Однако это будут оценки поведения функций в среднем, оценки главного в их содержании — приближенные оценки, что уже является существенным. Расчет  $K_{\phi, b}$  выполняется при подстановке в выражение (7.18) базисных функций.

При подборе подходящего базиса для каждой конкретной функции  $y(x)$  рассчитываем для нее коэффициент формы  $K_{\phi, y}$ , выполнив в (7.18) замену  $f(x)$  на  $y(x)$ .

После получения числа  $K_{\phi, y}$  сравниваем его с информацией в базе данных о  $K_{\phi, b}$  и выбираем базис, который будет иметь такое же значение коэффициента формы, т. е. условие выбора базиса будет

$$K_{\phi, y} = K_{\phi, b}. \quad (7.20)$$

Выполнение условия (7.20) обеспечивает выбор базиса, кривая которого в главном совпадает с описываемой.

После выбора ортогонального базиса в порядке дальнейшей оптимизации разложения, если необходимо, выбираем масштабный коэффициент, а может быть и другие параметры базиса. Окончательная операция оптимизации состоит в выборе числа членов разложения (7.13) (и вычислении соответствующих коэффициентов), обеспечивающих заданную точность разложения в среднеквадратичном смысле.

Желательно отметить в общем плане, что разложение (7.13) может быть в дальнейшем преобразовано к более удобной для использования форме. Так, например, если базис представляется полиномными формулами, как базис Лежандра (7.1), то представление может быть записано в форме обычного полинома:

$$y(x) = \sum_{k=0}^N a_k x^k. \quad (7.21)$$

Разрабатываемые автоматизированные методы аналитической аппроксимации функций ортогональными рядами в силу их гибкости и универсальности легко обобщаются на задачи анали-

тического описания сложных конфигураций на плоскости и в пространстве, если последние заданы параметрически.

В прямоугольной системе координат проекции сложных конфигураций на координатные оси взаимно ортогональны. Поэтому аналитическое описание каждой одномерной проекции «подходящим» ортогональным базисом одной переменной позволяет получить сравнительно просто параметрическое описание  $n$ -мерной конфигурации любой сложности с любой наперед заданной точностью в равномерном или среднеквадратичном смысле.

Пусть в трехмерном пространстве в результате эксперимента определена сложная кривая. Она может быть описана уравнениями в формах:

параметрической

$$F[x(\gamma), y(\gamma), z(\gamma)] = 0 \quad (7.22)$$

векторной

$$\vec{F}(\gamma) = i\vec{x}(\gamma) + j\vec{y}(\gamma) + k\vec{z}(\gamma). \quad (7.23)$$

Эти уравнения полностью определяют искомую функцию в пространстве. В результате аналитической аппроксимации одномерные проекции будут представлены усеченными ортогональными рядами:

$$\left. \begin{aligned} x(\gamma) &= \sum_{n=0}^N A_n \varphi_n(\gamma) \\ y(\gamma) &= \sum_{k=0}^K B_k \psi_k(\gamma) \\ z(\gamma) &= \sum_{q=0}^Q C_q \gamma_q(\gamma) \end{aligned} \right\} \quad (7.24)$$

Система (7.24) задает аналитическое описание рассматриваемой кривой в параметрической форме. В векторной форме сложная кривая аналитически будет представлена так:

$$\vec{F}(\gamma) = i \sum_{n=0}^N A_n \varphi_n(\gamma) + j \sum_{k=0}^K B_k \psi_k(\gamma) + k \sum_{q=0}^Q C_q \gamma_q(\gamma). \quad (7.25)$$

При изменении  $\gamma$  вектор  $\vec{F}(\gamma)$  изменяется в общем случае по значению и направлению. Говорят, что  $\vec{F}(\gamma)$  есть вектор-функция от скалярного аргумента  $\gamma$ . В то же время вектор-функция (7.25) является уравнением некоторой пространственной кривой.

## § 7.2. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПОРЯДОЧЕНИЕ, ХРАНЕНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ФУНКЦИЙ МНОГИХ ПЕРЕМЕННЫХ

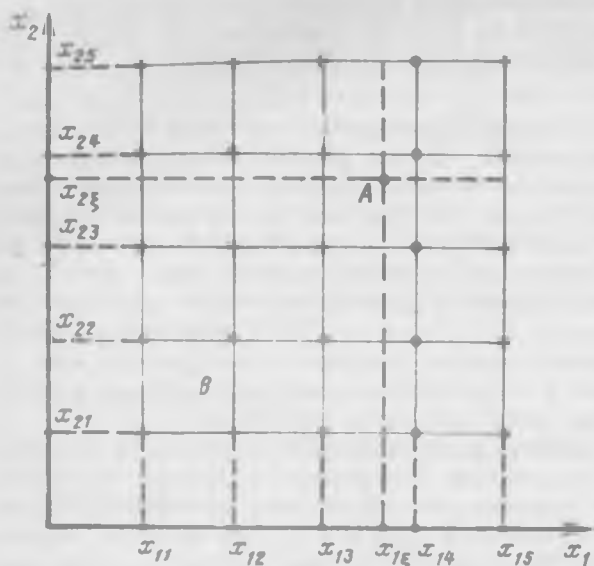
При разработке информационного обеспечения РТС, как и других автоматизированных систем, рассмотренных в гл. I (см. рис. 1.1) часто возникает необходимость в организации и хранении числовых массивов, полученных в результате сложных теоретических расчетов или экспериментально. В частности, такую информацию можно использовать при выборе и проектировании РТС (в автоматизированной системе динамических расчетов в проектировании РТК) или в АСПП для выбора режимов функционирования технологического оборудования при изменении требований к качеству выходного продукта и изменениям энергетических, материальных и других ресурсов.

Наибольшие трудности возникают при организации массивов функций многих переменных. Основными задачами являются: упорядочение экспериментально полученных значений функции, например получение значений функции с постоянным шагом; восстановление (идентификация) функций для любых сочетаний значений входных переменных. При большом интервале изменения аргументов сокращения требуемого объема памяти иногда можно достигнуть заменой числового массива функции массивом коэффициентов описывающего функцию полинома. Однако поиск аналитических зависимостей для функций многих переменных — достаточно сложная задача. Одним из методов описания предлагается метод скользящего описания функции, когда полиномы низких степеней описывают функции на определенных участках, перекрывающихся последующими участками. Скользящее описание обеспечивается использованием специальных функций. Но и в этом случае при наличии переменных более трех объем массива коэффициентов очень большой.

Поэтому предлагается организация «разреженного» упорядоченного массива каждой функции с использованием оперативной идентификации функции в промежуточных точках. Соответствующий упорядоченный набор значений входных переменных  $x_{ij}$  — это набор узловых точек, формирующих как бы узловую сетку. При этом каждой входной переменной выделяются значения, следующие одни за другими через определенный шаг, лучше равномерный. Узловая сетка имеет весь набор возможных сочетаний выделенных таким образом дискретных значений входных переменных. На рис. 7.4 представлен фрагмент узловой сетки для случая двух входных переменных со специальным выделением узловых точек, для каждой из которых должны указываться значения функции (функций) — выходной переменной (выходных переменных).

Для узловой сетки характерным является наличие так называемых линейных направлений, каждое из которых представ-

Рис. 7.4. Фрагмент узловой сетки



ляет собой набор следующих одна за другой узловых точек, отличающихся значением одной входной переменной при постоянных значениях других входных величин. На рис. 7.4 линейными направлениями, например, являются  $x_{12} = \text{const}$  при  $x_{23} = \text{const}$ .

Формирование упорядоченной базы имеет свои особенности, которые рассматриваются ниже. С использованием упорядоченной базы данных для функций многих переменных решаются следующие задачи: определение значения функции в точке (для произвольного сочетания значений входных переменных) — идентификация функции в точке; определение аналитического выражения функции в локальной области — идентификация функции в области.

Представим базу данных как математическую модель табличного типа некоторой функции  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ .

Для любой точки при любом сочетании значений входных переменных идентификация функции основывается на получении ее аналитических выражений для линейных направлений, что возможно для каждого линейного направления. Предлагается в качестве интерполяционных или аппроксимирующих использовать полиномные функции, хотя не исключается использование других функций.

Рассмотрим сначала случай использования интерполяционного полинома. Для осуществления интерполяции по линейному направлению  $i$  надо построить функцию  $y_{li} = y_l(x_i)$  вида

$$y_{li} = a_{i0} + a_{i1}x_i + a_{i2}x_i^2 + a_{i3}x_i^3 + \dots + a_{ik}x_i^k, \quad (7.26)$$

которая должна удовлетворять следующим условиям:

$$y_{nl}(x_{i,j}) = y_{i,j}; \quad y_{nl}(x_{i,j+1}) = y_{i,j+1}; \quad y_{nl}(x_{i,j+2}) = \\ = y_{i,j+2}, \dots, \quad y_{nl}(x_{i,j+k}) = y_{i,j+k} \dots, \quad (7.27)$$

Т. е. интерполяционная функция должна принимать заданные значения  $y_{i,j}, y_{i,j+1}, y_{i,j+2}, \dots, y_{i,j+k}$  для  $k$  узловых значений данного  $x_i$  аргумента  $x_{i,j}, x_{i,j+1}, x_{i,j+2}, \dots, x_{i,j+k}$  при постоянных значениях аргументов.

Коэффициенты  $a_{i0}, a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ik}$  определим, подставив в уравнение (7.26) узловые значения  $x_{i,j}, x_{i,j+1}, x_{i,j+2}, \dots, x_{i,j+k}$ . Тогда согласно условиям (7.27) получаем систему алгебраических уравнений с  $k+1$  неизвестными

$$\left. \begin{aligned} y_{ij} &= a_{i0} + a_{i1}x_{ij} + a_{i2}x_{ij}^2 + a_{i3}x_{ij}^3 + \dots + a_{ik}x_{ij}^k; \\ y_{i,j+1} &= a_{i0}x_{i,j+1} + a_{i2}x_{i,j+1}^2 + a_{i3}x_{i,j+1}^3 + \\ &\quad + \dots + a_{ik}x_{i,j+1}^k; \\ y_{i,j+2} &= a_{i0} + a_{i1}x_{i,j+2} + a_{i2}x_{i,j+2}^2 + a_{i3}x_{i,j+2}^3 + \\ &\quad + \dots + a_{ik}x_{i,j+2}^k; \\ &\dots \\ y_{i,j+k} &= a_{i0} + a_{i1}x_{i,j+k} + a_{i2}x_{i,j+k}^2 + a_{i3}x_{i,j+k}^3 + \\ &\quad + \dots + a_{ik}x_{i,j+k}^k. \end{aligned} \right\} \quad (7.28)$$

Из системы находим коэффициенты полинома (7.26) в соответствии с рекомендациями, которые должны быть выработаны при подготовке упорядоченной базы данных. Возможно использование полиномов даже второго порядка. Здесь нужно обратить внимание на то обстоятельство, что при невысокой степени полиномов для линейных направлений направление описания функции для всей области задания функции  $y = y(x_1; x_2; x_3; \dots; x_n)$  в общем случае может быть сложным.

Таким образом, в общем случае для идентификации функции в точке нужно получить полиномов вида (7.26) столько, сколько имеется входных переменных в базе данных.

Для дальнейшего пояснения идентификации функции в точке рассмотрим пример с двумя входными переменными и обратимся к рис. 7.4. Пусть требуется осуществить идентификацию функции в точке  $A$  с заданными координатами  $(x_{1\bar{t}}, x_{2\bar{t}})$ . Для этого выполняется интерполяция функции для линейных направлений  $x_{12}=\text{const}$ ,  $x_{13}=\text{const}$ ,  $x_{14}=\text{const}$ . По полученным аналитическим выражениям определяются значения функции в точках  $(x_{12}, x_{2\bar{t}})$ ,  $(x_{13}, x_{2\bar{t}})$  и  $(x_{14}, x_{2\bar{t}})$ . Теперь по этим данным проводится интерполяция функции по линейному направлению  $x_{2\bar{t}}=\text{const}$  и по полученному аналитическому описанию устанавливается значение функции в точке  $(x_{1\bar{t}}, x_{2\bar{t}})$  и тем самым задача решена. Интерполяцию можно осуществлять, и начиная с направления  $x_2$ . В данном случае пояснения давались в предположении, что интерполяционные полиномы имеют второй порядок и поэтому

по каждому линейному направлению достаточно брать по три точки.

Аналогично должна решаться задача идентификации функции в точке, если число входных переменных будет больше двух. При этом обращают внимание на возможное накопление ошибок идентификации в связи с приближенным интерполированием функции в промежуточных точках. Ошибки могут быть уменьшены выбором такой последовательности переходов идентификации, чтобы ошибки интерполяции при переходе к конечному результату взаимно гасились.

Ошибки можно снизить и подбором полиноминых описаний, дающих наименьшие ошибки в значениях функций вследствие увеличения степени полиномов или перехода к аппроксимирующим полиномам. Третий путь уменьшения ошибок — выбор оптимального числа узлов сетки. При составлении программ идентификации базы данных учитывают обычно все три пути снижения ошибок.

Содержание рассмотренных выше алгоритмов предполагает наличие упорядоченной базы данных. При активном эксперименте заранее готовят узловую сетку аргументов и для определенных их сочетаний получают значения функции. При пассивном эксперименте необходимо использование процедуры упорядочения массива функции в соответствии с желаемой узловой сеткой аргументов.

Процедуры упорядочения можно предложить следующие. Для узловой точки входных переменных задаются приближенно некоторые значения  $\bar{y}^{(v)}$  выходной переменной. С использованием методологии линейных направлений находим, ориентируясь на эти приближенные данные, значения выходной функции  $y^{(n)}$  в точках пассивного эксперимента, для которого имеются экспериментальные (или расчетные) значения  $y^{(n)}$ . В общем случае получаются невязки  $\Delta y = \bar{y}^{(n)} - y^{(n)}$ , которые устраняются любым оптимизационным методом. На каждом шаге оптимизации, т. е. при каждом уточнении приближенных значений  $\bar{y}^{(v)}$  в узловых точках, повторяются процедуры составления описаний по линейным направлениям для определения  $\bar{y}^{(n)}$ . После устранения всех невязок приближенные значения  $\bar{y}^{(v)}$  для узловых точек становятся искомыми  $y^{(v)}$ . Упорядочение закончено.

В предыдущих процедурах речь шла об интерполяционных полиномах. В то же время возможно и часто целесообразно использовать аппроксимирующие полиномы. Сравнение различных методов аналитического представления кривых дано в § 7.1. В задачах идентификации функций по информации дискретных баз данных целесообразно использовать аппроксимационные подходы на основе применения ортогональных базисов. Определяющим фактором здесь является возможность получения высокой точности аналитического описания функций по линейным

направлениям. Изложенный материал относится в основном к одномерным аппроксимациям и здесь достигнут существенный прогресс в точности описаний, хотя базируется весь метод на идеологии аппроксимации, не требующей где-либо совпадения описывающей и описываемой кривых.

На основе излагаемых здесь алгоритмов идентификации лежат подходы линейных направлений, т. е. тоже используются, хотя и многократно, одновременные описания.

Для иллюстрации эффективности одномерной аппроксимации приведем два примера аналитических представлений по методу ортогональных базисов. Возьмем два контрольных полинома

$$f(x) = 1 + x - x^2 - x^3 - x^4 + x^5 + 2x^7 + 2x^8 - 2x^9 + 2x^{10}; \quad (7.29)$$

$$f(x) = 1 - x + 0,2x^3 - 0,2x^4, \quad (7.30)$$

существенно различающихся порядками. Диапазон изменения переменной  $x$  (полагается, что она соответствует рассматриваемому линейному направлению) принимается  $[-1; +1]$ . Кривые по полиномам (7.29) и (7.30) представлены на рис. 7.5, а и б соответственно. При аппроксимации полиномами Лежандра получается относительная точность аппроксимации соответственно  $0,789 \cdot 10^{-4}$  и  $0,367 \cdot 10^{-4} \%$ , если ошибки описаний относятся к наибольшим значениям полиномов. Аппроксимирующие функции

$$y = 1 + x - x^2 - x^3 - 0,999x^4 + 0,999x^5 + 0,999x^6 + 2x^7 + 2,0004x^8 - 2x^9 + 1,999x^{10}, \quad (7.31)$$

$$y = 1 - x + 0,2x^3 - 0,2x^4 \quad (7.32)$$

графически совпадают с кривыми рис. 7.5, а и б.

Данные примеры и проведенные исследования свидетельствуют о том, что высокая точность описаний получается, если порядок описывающего полинома совпадает с порядком полинома описываемой кривой.

Для примеров (7.29) и (7.30) можно для описания взять и полиномы меньших порядков (в первом случае седьмого порядка и во втором — третьего). Тогда наилучшие описания получаются такими

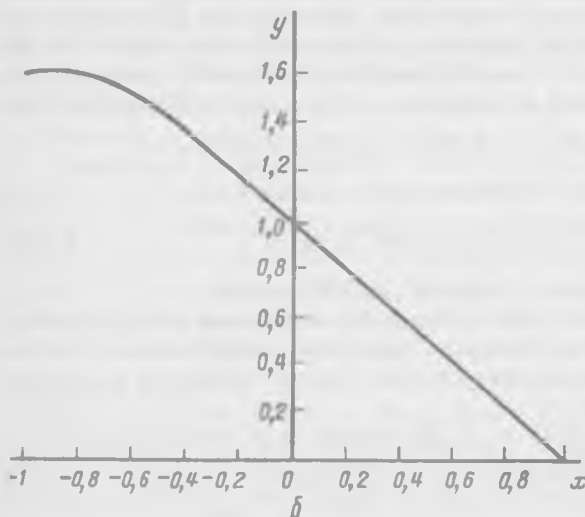
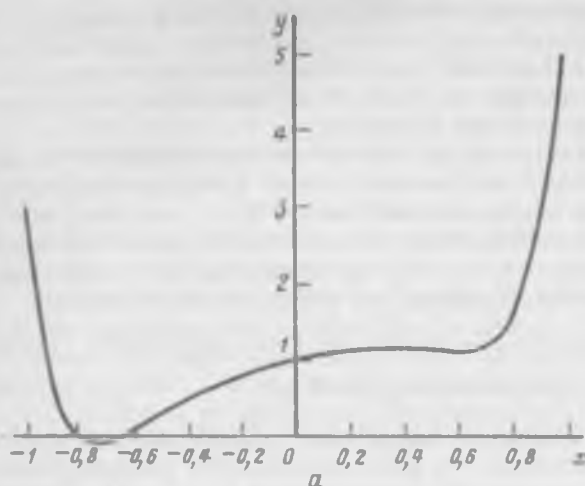
$$y = 0,966 + 1,052x + 0,169x^2 - 1,76x^3 - 6,95x^4 + 3,96x^5 + 9,67x^6 - 2,235x^7; \quad (7.33)$$

$$y = 1,017 - x - 0,171x^2 + 0,2x^3, \quad (7.34)$$

а относительные ошибки соответственно составят 3,44 и 2,81 % (рис. 7.6).\*

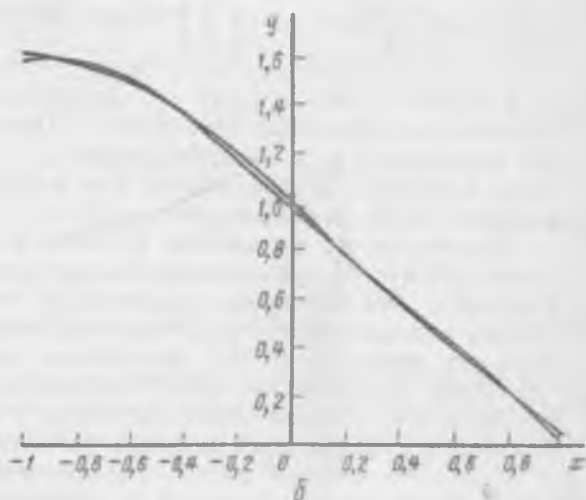
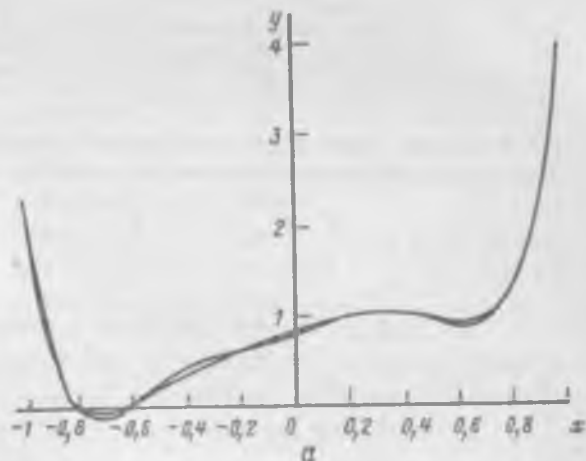
\* Расчеты по получению полиномов (7.31) — (7.34) выполнил Бал-тайс Д. Г.

Рис. 7.5. Под-  
номы:  
а — высокого  
б — среднего



Рассмотрим задачу определения аналитического выражения функции в локальной области, т. е. задачу идентификации функции в области. Ориентироваться будем на метод скользящего описания функции многих переменных, изложенный в литературе [1]. Предположим, что нужно получить аналитическое выражение функции в области (см. рис. 7.4), ограниченной прямыми  $x_{11} = \text{const}$ ,  $x_{12} = \text{const}$ ,  $x_{21} = \text{const}$  и  $x_{22} = \text{const}$ . Составим аналитические выражения для функции  $y$  в узловых точках  $(x_{11}, x_{21})$ ,  $(x_{12}, x_{21})$ ,  $(x_{11}, x_{22})$  и  $(x_{12}, x_{22})$ , которые как бы окаймляют рас-

Рис. 7.6. Приближенное описание кривых: а — высокого порядка; б — среднего порядка



смаатриваемую область входных переменных. При составлении аналитических выражений для  $y$ , как функции многих переменных, воспользуемся методологией линейных направлений и ограничимся в описании функции по этим направлениям линейными слагаемыми. При этом сначала изложим результат, а потом дадим физические пояснения. Имеем:

$$\left. \begin{aligned} y^I &= y(x_{11}, x_{21}) + a^I_{1,x} \Delta x^I_1 + a^I_{1,x_2} \Delta x^I_2; \\ y^{II} &= y(x_{12}, x_{21}) + a^{II}_{1,x} \Delta x^{II}_1 + a^{II}_{1,x_2} \Delta x^{II}_2; \\ y^{III} &= y(x_{11}, x_{22}) + a^{III}_{1,x_1} \Delta x^{III}_1 + a^{III}_{1,x_2} \Delta x^{III}_2; \\ y^{IV} &= y(x_{12}, x_{22}) + a^{IV}_{1,x_1} \Delta x^{IV}_1 + a^{IV}_{1,x_2} \Delta x^{IV}_2, \end{aligned} \right\} (7.35)$$

где  $y(x_{11}, x_{21})$ ,  $y(x_{12}, x_{21})$ ,  $y(x_{11}, x_{22})$  и  $y(x_{12}, x_{22})$  — значения функции в узловых точках;  $a_1$ ,  $a_2$  — коэффициенты при линейных слагаемых описаний по линейным направлениям вида (7.35);  $\Delta x_i$  — отклонения координат от значений в соответствующих узловых точках

В соответствии с рекомендациями, имеющимися в [1], требуемое аналитическое описание получается следующим:

$$y = \frac{1}{4} y^I \left\{ 1 + \sin \left[ \frac{2\pi}{x_i} \Delta x^I_1 + \frac{\pi}{2} \right] \right\} \left\{ 1 + \sin \left[ \frac{2\pi}{x_i} \times \right. \right. \\ \times \Delta x^I_2 + \frac{\pi}{2} \left. \left. \right] \right\} + \frac{1}{4} y^{II} \left\{ 1 + \sin \left[ \frac{2\pi}{x_i} \Delta x^{II}_1 + \frac{\pi}{2} \right] \right\} \times \\ \times \left\{ 1 + \sin \left[ \frac{2\pi}{x_i} \Delta x^I_2 + \frac{\pi}{2} \right] \right\} + \frac{1}{4} y^{III} \left\{ 1 + \sin \left[ \frac{2\pi}{x_i} \times \right. \right. \\ \times \Delta x^{III}_1 + \frac{\pi}{2} \left. \left. \right] \right\} \left\{ 1 + \sin \left[ \frac{2\pi}{x_i} \Delta x^{III}_2 + \frac{\pi}{2} \right] \right\} + \frac{1}{4} y^{IV} \times \\ \times \left\{ 1 + \sin \left[ \frac{2\pi}{x_i} \Delta x^{IV}_1 + \frac{\pi}{2} \right] \right\} \left\{ 1 + \sin \left[ \frac{2\pi}{x_i} \Delta x^{IV}_2 + \frac{\pi}{2} \right] \right\}. \quad (7.36)$$

В записи (7.36)  $\Delta x^I_1 = x_1 - x_{11}$ ,  $\Delta x^I_2 = x_2 - x_{21}$ ; аналогично записываются и остальные отклонения. При этом предполагается, что координаты  $x_1$  и  $x_2$  нормированы, т. е. являются безразмерными и имеющими одинаковый шаг узловой сетки. Кроме того, в записи (7.36)  $x_i = x_{12} - x_{11} = x_{22} - x_{21}$ .

Аналитические выражения функции  $y$  записаны так, как рекомендуется в [1] при скользящем описании функций многих переменных. Аналитическое обоснование метода изложено в [1], а здесь для пояснения представим последнее слагаемое в аналитическом описании (7.36) графически (рис. 7.7). Как видим, слагаемое представляет собой четвертую часть колоколообразной функции, которая имеет экстремум в узловой точке и равна нулю (при нулевых производных) по контуру области описания.

В сумме четыре колоколообразные функции дают описываемую.

Одно из преимуществ скользящего описания функций многих переменных состоит в возможности ограничиться полиномными описаниями лишь по линейным направлениям и не рассматривать слагаемые полиномов, учитывающие взаимовлияние входных переменных в описании функции. Это взаимовлияние частично

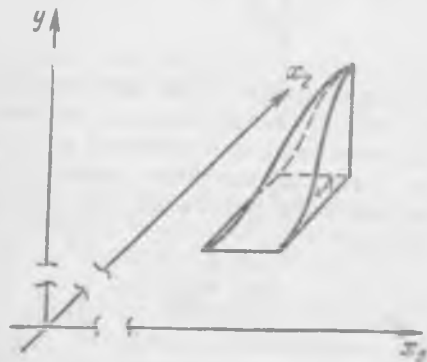


Рис. 7.7. Графическое представление слагаемого

учитывается согласующими синусоидальными функциями (7.36). Рассмотрим этот вопрос подробнее. Обратимся к анализу четвертого слагаемого в выражении (7.36) и соответственно последней функции в уравнениях (7.35). Не ограничиваясь в описании по линейным направлениям линейными слагаемыми и вводя в рассмотрение взаимовлияние переменных в описании функции, запишем для  $y^{IV}$  следующее выражение:

$$y^{IV} = y^{IV}(y) + \Delta y^{IV}(\lambda; x_1) + \Delta y^{IV}(\mu; x_2) + \Delta y^{IV}(\nu; x_1; x_2), \quad (7.37)$$

где  $y^{IV}(y)$  — значение функции  $y$  в узловой точке  $[y(x_{12}, x_{22})]$ ;  $\Delta y^{IV}(\lambda; x_1)$  и  $\Delta y^{IV}(\mu; x_2)$  — слагаемые, учитывающие зависимость функции  $y$  от переменных соответственно  $x_1$  и  $x_2$  по линейным направлениям;  $\Delta y^{IV}(\nu; x_1; x_2)$  — слагаемое, учитывающее взаимовлияние переменных в описании функции

В качестве примеров для трех последних слагаемых в (7.37) можно привести следующие записи:

$$\Delta y^{IV}(\lambda; x_1) = a^{IV}_{1, x_1} \Delta x^{IV}_1 + a^{IV}_{2, x_1} (\Delta x^{IV}_1)^2 + \\ + a^{IV}_{3, x_1} (\Delta x^{IV}_1)^3 + \dots \quad (7.38)$$

$$\Delta y^{IV}(\mu; x_2) = a^{IV}_{1, x_2} \Delta x^{IV}_2 + a^{IV}_{2, x_2} (\Delta x^{IV}_2)^2 + \\ + a^{IV}_{3, x_2} (\Delta x^{IV}_2)^3 + \dots \quad (7.39)$$

$$\Delta y^{IV}(\nu; x_1; x_2) = a^{IV}_{1, x_1, x_2} \Delta x^{IV}_1 \Delta x^{IV}_2 + a^{IV}_{2, x_1, x_2} (\Delta x^{IV}_1)^2 \times \\ \times \Delta x^{IV}_2 + a^{IV}_{3, x_1, x_2} \Delta x^{IV}_1 (\Delta x^{IV}_2)^2 + \dots \quad (7.40)$$

Как видно, слагаемые по линейным направлениям  $\Delta y^{IV}(\lambda; x_1)$  и  $\Delta y^{IV}(\mu; x_2)$  могут иметь высокий порядок полиномов, особенно если описание по линейным направлениям дается с использованием методологии ортогональных базисов (см. § 7.1).

При подстановке формул (7.36) в последнее слагаемое уравнений (7.35) будет формироваться колоколообразная функция, причем ошибки в описании  $y$  от этой функции, если не учитывать взаимовлияние входных переменных, будут

$$\Delta y^{IV}_0 = \frac{1}{4} \Delta y^{IV}(\nu; x_1; x_2) \left\{ 1 + \sin \left[ \frac{2\pi}{x_i} \Delta x^{IV}_1 + \frac{\pi}{2} \right] \right\} \times \\ \times \left\{ 1 + \sin \left[ \frac{2\pi}{x_i} \Delta x^I_2 + \frac{\pi}{2} \right] \right\} \dots \quad (7.41)$$

Это слагаемое не будет играть существенной роли в месте расположения своей узловой точки ввиду того, что в уравнении (7.40) степени и произведения еще малых отклонений  $\Delta x_1$  и  $\Delta x_2$  являются малыми высших порядков.

Интеграл (7.4) называют скалярным произведением функций  $\varphi_n(x)$  и  $\varphi_m(x)$  в функциональном пространстве  $L_2$  (определение пространства  $L_2$  приводится ниже).

Исходные ортогональные функции удобно нормировать

$$\varphi_n(x) = \bar{\varphi}_n(x)/N_n. \quad (7.6)$$

Нормированные ортогональные функции часто называют ортонормированными и для них справедливо соотношение:

$$\int_a^b \varphi_n(x) \varphi_m(x) \rho(x) dx = \delta_{n,m};$$

$$\delta_{n,m} = \begin{cases} 0 & \text{при } n \neq m \\ 1 & \text{при } n = m, \end{cases} \quad (7.7)$$

где  $\delta_{n,m}$  — символ Кронекера.

Если  $\rho(x) = 1$ , то выражение (7.7) можно переписать так:

$$\int_a^b \varphi_n(x) \varphi_m(x) dx = \delta_{n,m}. \quad (7.8)$$

Введем понятие ортогонального базиса. Его удобно употреблять тогда, когда необходимо подчеркнуть, что речь идет о какой-то ортогональной системе, совокупности ортогональных функций, обладающих общими свойствами и имеющих одну порождающую их форму.

Непрерывную функцию  $y(x)$ , заданную аналитически или в виде цифрового массива, можно аппроксимировать ортогональным рядом (разложить в ортогональный ряд) в том случае, если она относится к классу функций с интегрируемым квадратом с весом  $\rho(x)$  на промежутке  $[a, b]$ , т. е.:

$$\int_a^b [y(x)]^2 \rho(x) dx < \infty. \quad (7.9)$$

Если условие (7.9) выполняется при  $\rho(x) = 1$

$$\int_a^b [y(x)]^2 dx < \infty, \quad (7.10)$$

то говорят, что функция  $y(x)$  интегрируема с квадратом.

Функции, удовлетворяющие условиям (7.9) или (7.10), относятся к функциональному пространству  $L_2$ . Заметим, что все полученные в экспериментах конечные функции, заданные на конечном промежутке, относятся к пространству  $L_2$ .

При разложении функции  $y(x)$ , принадлежащей функциональному пространству  $L_2$ , по системе ортогональных функций

$\{\varphi_n(x)\}$  на промежутке  $[a, b]$  необходимо вычислить  $N+1$  коэффициенты разложения по формуле

$$A_n = \int_a^b y(x) \varphi_n(x) \rho(x) dx, \quad (7.11)$$

если  $\rho(x) = 1$ , то

$$A_n = \int_a^b y(x) \varphi_n(x) dx. \quad (7.12)$$

При известных  $A_n$  функция  $y(x)$  представляется в виде ортогонального ряда:

$$y(x) \approx y_N(x) = \sum_{n=0}^N A_n \varphi_n(x). \quad (7.13)$$

Количество коэффициентов разложения (глубина разложения) определяется заданной точностью аппроксимации (разложения) в среднеквадратичном смысле:

$$M_N = \int_a^b [y(x) - \sum_{n=0}^N A_n \varphi_n(x)]^2 dx. \quad (7.14)$$

Известно, что любая система линейно-независимых функций может быть ортогонализирована с помощью процесса Грама — Шмидта [6].

Таким образом, ортогональных систем функций, вообще говоря, может быть бесчисленное множество. В дальнейшем для решения задач аналитической аппроксимации данных экспериментов и расчетов используются хорошо изученные классические ортогональные функции (ортогональные базисы).

Большим преимуществом классических ортогональных базисов является то, что в них имеются параметры, изменение которых в различных соотношениях приводит к базисам с существенно различными свойствами. Такое многообразие ортогональных базисов позволяет практически всегда подбирать для конкретной функции оптимальный (квазиоптимальный) базис, обеспечивающий заданную точность аппроксимации минимальным числом членов ряда.

Проиллюстрируем пути преодоления основных трудностей, которые препятствовали широкому использованию значительной части классических ортогональных базисов в задачах аналитического описания данных экспериментов.

В ряде работ, например [8], известными математическими приемами классические ортогональные базисы были приведены к виду, удобному для решения задач аналитической аппроксимации данных на ЭВМ.

На границах области описания  $(x_{21}-x_{22})$  и  $(x_{11}-x_{12})$  слагаемое  $\Delta y^{IV}$  равно нулю из-за значений синусных сомножителей в равенстве (7.41).

Таким образом, наибольшее влияние погрешности в описании функции  $y$  (см. рис. 7.4) будет иметь в центре области определения функции (точка  $B$ ). Аналогичная картина будет наблюдаться и в описании функции  $y$  в других областях определения. В соответствии с этим при оценке точности описания функции следует делать проверку в районах точек типа  $B$  и при неудовлетворительной точности уменьшать шаг сетки — расстояние между узловыми точками.

Для конкретных пояснений содержания формулы (7.41) и смежных вопросов, определяющих ошибки от неучета взаимодействия переменных, обратимся к числовому примеру. Возьмем для рассмотрения функцию

$$f(x_1; x_2) = x_1 + x_2 + x_1 x_2 + 0,1 x_1^2 + 0,1 x_2^2, \quad (7.42)$$

которая пусть точно описывает исследуемую зависимость. Графически функция (7.42) представлена на рис. 7.8. Плоскость входных переменных  $x_1, x_2$  дана на рис. 7.9 и там же выделена та область их изменения, где будем рассматривать приближенное описание  $y$  функции  $f$ .

Для узловых точек значения функций  $y$  и  $f$  совпадают (для метода скользящего описания функций это всегда будет иметь место) и запишутся:

$$\left. \begin{aligned} f(x_{11}; x_{21}) &= y(x_{11}; x_{21}) = 3,2; \\ f(x_{12}; x_{21}) &= y(x_{11}; x_{21}) = 5,2; \\ f(x_{11}; x_{22}) &= y(x_{11}; x_{22}) = 5,5; \\ f(x_{12}; x_{22}) &= y(x_{12}; x_{22}) = 8,8. \end{aligned} \right\} \quad (7.43)$$

Ограничимся далее четвертой узловой точкой и для нее дадим сначала описания кривых по линейным направлениям.

Для этого в функции (7.42) сделаем замену

$$x_1 = x_{12} + \Delta x_1 \text{ и } x_2 = x_{22} + \Delta x_2 \quad (7.44)$$

и представим ее в виде

$$\left. \begin{aligned} f(x_1; x_2) &= f(x_{12}; x_{22}) + (x_{22} + 0,2x_{12})\Delta x_1 + 0,1\Delta x_1^2 + \\ &+ (x_{12} + 0,2x_{22})\Delta x_2 + 0,1\Delta x_2^2 + \Delta x_1 \Delta x_2 + \Delta x_1 + \Delta x_2. \end{aligned} \right\} \quad (7.45)$$

Теперь записываем кривые по линейным направлениям

$$\Delta y^{IV(x; x_1)} = \Delta x_1 + (x_{22} + 0,2x_{12})\Delta x_2 + 0,1\Delta x_1^2; \quad (7.46)$$

$$\Delta y^{IV(x; x_2)} = \Delta x_2 + (x_{12} + 0,2x_{22})\Delta x_2 + 0,1\Delta x_2^2. \quad (7.47)$$

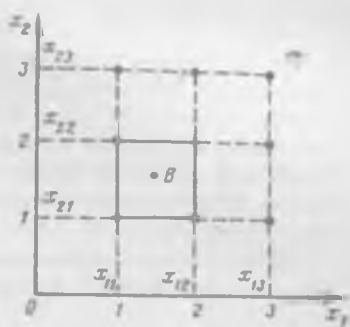
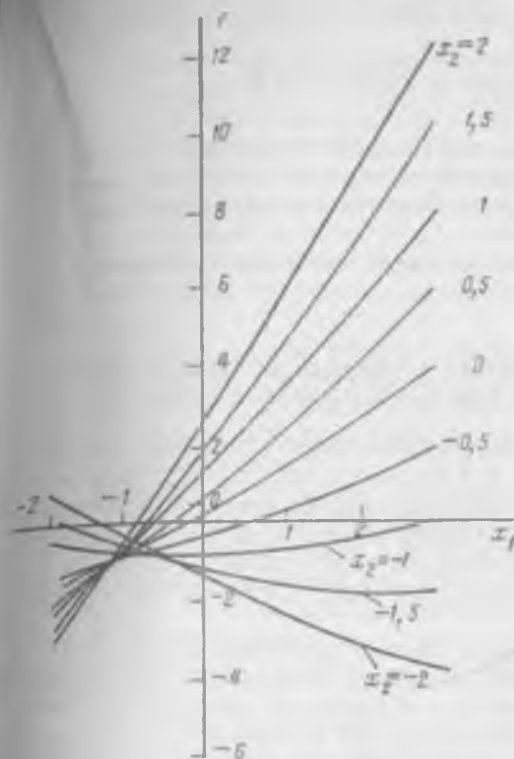


Рис. 7.9. Фрагмент плоскости входных переменных

Рис. 7.8. Графическое представление функции

Данные кривые  $\Delta y$  тоже совпадают с кривыми, которые дает функция (7.42) — они даже получены из нее, поскольку приближенное представление линейных направлений не проводилось.

Функция (7.41), определяющая ошибки неучета взаимодействия входных переменных в изменении  $f$ , записывается для зависимости (7.45):

$$\Delta y^{IV}_0 = \frac{1}{4} (\Delta x_1 \Delta x_2) \left\{ 1 + \sin \left[ \frac{2\pi}{x_1} \Delta x^{IV}_1 + \frac{\pi}{2} \right] \right\} \times \\ \times \left\{ 1 + \sin \left[ \frac{2\pi}{x_2} \Delta x^{IV}_2 + \frac{\pi}{2} \right] \right\} \dots \quad (7.48)$$

Здесь в круглых скобках стоит выражение  $\Delta y^{IV(B)}(x_1; x_2)$ .

В средней точке области определения  $B$  (см. рис. 7.9), имеющей коэффициенты  $x_1 = 1,5$ ;  $x_2 = 1,5$ , функция  $f$  имеет значение

$$f(x_1 = 1,5; x_2 = 1,5) = 5,7, \quad (7.49)$$

а функция (7.48)

$$\Delta y^{IV} = \frac{1}{4} (0,5 \cdot 0,5) 1 \cdot 1 \approx 0,06. \quad (7.50)$$

Таким образом, относительная ошибка описания будет

$$\Delta f = \frac{4\Delta y^{IV}_{om}}{f(x_1=1,5; x_2=1,5)} = \frac{4 \cdot 0,06}{5,7} \approx 4,0 \%, \quad (7.51)$$

что можно считать удовлетворительным. В выражении (7.51) от значения (7.49) берется четвертая часть, так как при формировании значения функции в средней точке участвуют все слагаемые записи (7.36).

Материал данного параграфа имеет непосредственное отношение к § 7.4, 9.2 и 9.3.

### § 7.3. АППРОКСИМАЦИЯ КРИВЫХ СЛОЖНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ И ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ ШВЕЙНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Современные подходы к математическому описанию кривых сложных конфигураций (см. § 7.1) могут быть эффективно использованы в различных прикладных задачах швейной промышленности, в частности в подготовительно-раскройном производстве. Это связано с тем, что контуры тела человека, одежды и деталей швейных изделий (лекал деталей) представляют собой сложные конфигурации.

Удобнее всего начать анализ рассматриваемых задач с математического описания швейных лекал, являющихся плоскими деталями. В настоящее время для получения описания лекала требуется выполнить его считывание, что возможно с использованием специальных автоматизированных систем считывания, которые дают наборы сочетаний значений двух координат для точек, лежащих на контурах лекал — на различных их участках. Обычно получается информация о большом количестве точек. Эта исходная информация должна быть сжато представлена математическими описаниями кривых, которые с допустимой точностью заменяют исходную информацию. В качестве описывающих кривых чаще всего используются дуги окружностей.

Подготовительно-раскройное производство швейных предприятий еще имеет большое так называемое лекальное хозяйство, где информация о конфигурации лекал хранится в виде картонных или бумажных шаблонов, трафаретов и т. п. Это требует дополнительных площадей, специальных условий хранения лекал, дополнительного персонала и др. С появлением современной вычислительной техники информацию о конфигурации лекал можно хранить в памяти ЭВМ, что позволит устранить лекальное хозяйство. Однако существующие способы аналитического описания конфигурации лекал требуют значительного объема памяти ЭВМ для хранения информации. Поэтому наряду с требованием обеспечения необходимой точности описания лекал необходимо и здесь применять такие методы аналитического описания лекал, которые обеспечивали бы сжатие информации,

т. е. в данном случае позволяли бы сократить требуемый объем памяти ЭВМ.

Для этой цели можно воспользоваться аппаратом аппроксимации кривых ортогональными базисами. Например, полиномиальные ортогональные базисы позволяют осуществлять аналитическое описание с высокой степенью точности и с большой экономией необходимой машинной памяти ЭВМ потому, что полиномы сравнительно невысоких порядков описывают, как показали некоторые расчеты, достаточно большие участки лекал, т. е. действительно наблюдается сжатие информации, так как требуется хранить только значения коэффициентов ортогональных рядов.

В целом в данной области имеются резервы в совершенствовании описания конфигураций лекал с точки зрения сокращения для участков лекал числа слагаемых описывающих или при данной сложности описания имеются резервы увеличения описываемых участков лекал.

Применение аппарата полиномов ортогональных базисов (см. § 7.1) дает приближенное аппроксимационное описание каждого участка лекала, но вследствие высокой точности аппроксимации предлагаемый подход приобретает высокую актуальность и может рассматриваться как практически решающий задачу интерполяции, тем более что предлагается прием повышения точности описания на концах участков — на их стыках (см. § 7.2).

Специфика подготовительно-раскройного производства требует размножения так называемых базовых лекал по размерам и ростам, т. е. получения производных лекал. Предлагаемый подход аппроксимации конфигураций лекал позволяет получать производные лекала, выполняя арифметические действия над коэффициентами представлений типа  $y(x) = \sum_{n=0}^N A_n \varphi_n(x)$  для базовых лекал, что в свою очередь также позволяет существенно сократить нужный объем памяти ЭВМ и существенно упростить процесс размножения лекал.

В реальном производстве требуется как раз воспроизводить рабочие лекала, по которым осуществляется реальный раскрой материалов. При наличии автоматизированных установок, предназначенных для решения задачи, аналитическое описание лекал полиномами ортогональных базисов экономит объем памяти, управляющей расроем ЭВМ, так же как это получается при обычном хранении информации о лекалах. Одновременно при этом имеется потенциальная возможность увеличения скорости режущего инструмента, так как описание полиномами ортогональных базисов отличается гладкостью. Тем более, что как будет показано в § 7.4, необходимая гладкость может достигаться и в местах стыковки отдельных участков описания в результате приемов, предназначенных для повышения точности

описания. Условия гладкости будут здесь выступать как дополнительные требования.

Предлагаемый подход, кроме того, позволяет исключить рабоче лекала как таковые и наносить при наличии соответствующего инструмента в автоматизированных установках контуры лекал (раскладок) швейных изделий непосредственно на полотно и настилы.

Дополнительный экономический эффект здесь будет достигаться, по крайней мере, за счет экономии материала рабочих лекал.

Наконец, при полностью автоматизированном раскрое то же математическое обеспечение можно использовать и при раскрое непосредственно одиночных полотен или настилов со всеми преимуществами, которые указывались ранее, для воспроизводства лекал и нанесения контуров раскладок (имеются в виду раскладки не только базовых лекал, но и производных).

При реализации изложенного появляется возможность накопления опыта использования вычислительных средств в указанной области в интересах усовершенствования методов аппроксимации кривых полиномами ортогональных базисов.

В перспективе накопление необходимого арсенала сведений по описаниям лекал и их участков позволит формировать описания новых лекал по базам данных (см. § 7.2), в которых входными величинами будут координаты характерных (реперных) точек лекал, а выходными — коэффициенты описывающих полиномов.

#### § 7.4. ОСОБЕННОСТИ И ЗАДАЧИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АНАЛИТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ШВЕЙНЫХ ЛЕКАЛ

Общая запись аналитического описания швейных лекал совпадает с предложениями по параметрическому описанию плоских и пространственных кривых (см. § 7.1). Для швейных лекал требуется вариант плоских кривых, которые можно представлять (рис. 7.10) в виде

$$y=f(l); x=f(l), \quad (7.52)$$

где  $l$  — некоторый параметр, который должен отсчитываться вдоль описываемой кривой.

Применение записи (7.52) позволяет избежать трудностей в случае многозначности функций при обычной записи. Однако при описании швейных лекал многозначность практически всегда удастся обойти соответствующим выбором расположения осей координат, в каждом примере можно взять участок IV (см. рис. 7.10, а), где вместо зависимостей (7.52) можно взять общую запись  $y_{IV}=f(x_{IV})$ .

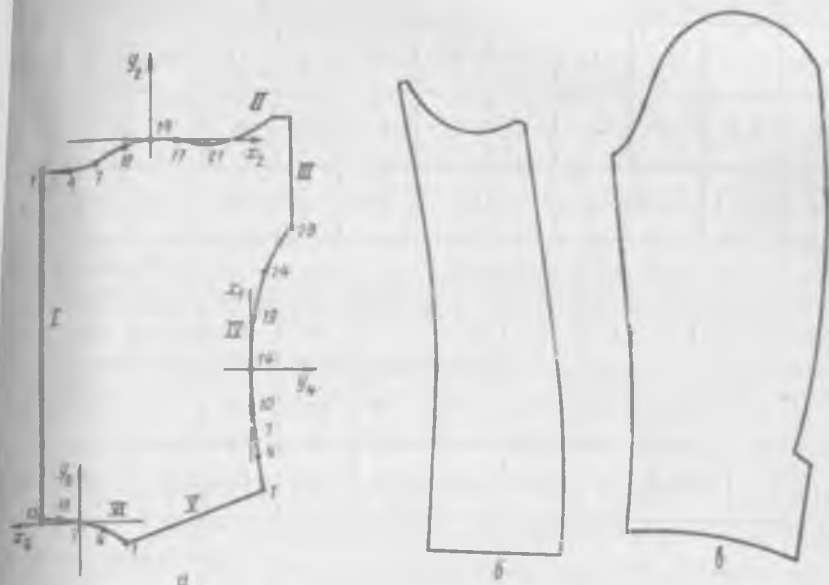


Рис. 7.10. Примеры изображения лекал

В качестве примеров, иллюстрирующих особенности рассматриваемых конфигураций, возьмем то же лекало (рис. 7.10, а) и в порядке общей характеристики возможных контуров — еще два (рис. 7.10, б и в). В первом примере всего имеется шесть участков, причем три из них I, III и V не являются характерными и их аппроксимация рассматриваться не будет. Для трех других (I, IV и VI) представлены данные по их конфигурациям соответственно в табл. 7.1, 7.2 и 7.3. Результаты аппроксимации, выполненные по методу ортогональных базисов (см. § 7.1), представлены соответственно на рис. 7.11, а, б и в. Аппроксимация для участков IV и VI выполнена едиными полиномами, а для участка II показана аппроксимация на части участка и при этом предполагается применение на остальной части участка своего аппроксимирующего полинома при условии стыковки

Таблица 7.1

| Точка | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8     | 9     | 10   |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|
| x     | -13  | -12  | -11  | -10  | -9   | -8   | -7   | -6    | -5    | -4   |
| y     | -3,8 | -3,8 | -3,9 | -3,9 | -3,9 | -3,9 | -3,8 | -3,35 | -2,75 | -1,8 |

Окончание табл. 7.1

| Точка | 11   | 12    | 13   | 14 | 15  | 16  | 17 | 18  | 19  | 20  | 21  |
|-------|------|-------|------|----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|
| $x$   | -3   | -2    | -1   | 0  | 1   | 2   | 3  | 4   | 5   | 6   | 7   |
| $y$   | -1,1 | -0,47 | -0,2 | 0  | 0,1 | 0,1 | 0  | 0,1 | 0,6 | 1,2 | 1,5 |

Таблица 7.2

| Точка | 1   | 2    | 3   | 4   | 5  | 6   | 7   | 8   | 9    | 10   |
|-------|-----|------|-----|-----|----|-----|-----|-----|------|------|
| $x$   | -13 | -12  | -11 | -10 | -9 | -8  | -7  | -6  | -5   | -4   |
| $y$   | 4,5 | 3,75 | 3   | 2,5 | 2  | 1,5 | 1,2 | 0,8 | 0,55 | 0,45 |

Продолжение табл. 7.2

| Точка | 11   | 12   | 13  | 14 | 15 | 16   | 17 | 18  | 19  | 20   |
|-------|------|------|-----|----|----|------|----|-----|-----|------|
| $x$   | -3   | -2   | -1  | 0  | 1  | 2    | 3  | 4   | 5   | 6    |
| $y$   | 0,25 | 0,17 | 0,1 | 0  | 0  | -0,1 | 0  | 0,1 | 0,2 | 0,35 |

Окончание табл. 7.2

| Точка | 21   | 22   | 23  | 24   | 25   | 26  | 27  | 28  | 29  |
|-------|------|------|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|
| $x$   | 7    | 8    | 9   | 10   | 11   | 12  | 13  | 14  | 15  |
| $y$   | 0,45 | 0,62 | 0,8 | 0,93 | 1,25 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2,1 |

Таблица 7.3

| Точка | 1  | 2  | 3    | 4    | 5  | 6     | 7 |
|-------|----|----|------|------|----|-------|---|
| $x$   | -6 | -5 | -4   | -3   | -2 | -1    | 0 |
| $y$   | -5 | -4 | -2,8 | -1,8 | -1 | -0,35 | 0 |

| Точка | 8   | 9    | 10  | 11  | 12   | 13   |
|-------|-----|------|-----|-----|------|------|
| x     | 1   | 2    | 3   | 4   | 5    | 6    |
| y     | 0,2 | 0,25 | 0,3 | 0,4 | 0,56 | 0,57 |

описаний на частях участка по методике, которая дана ниже. При аппроксимации осуществлялось центрирование по оси абсцисс и оси ординат.

Описывающие полиномы имеют вид:

участок II

$$y_2 = 0,0808x_2 - 0,10885x_2^2 + 0,11917 \cdot 10^{-1}x_2^3 + \\ + 0,35626 \cdot 10^{-2} \cdot x_2^4 - 0,12047 \cdot 10^{-4} \cdot x_2^5 - 0,3599 \times \\ \times 10^{-4}x_2^6 - 0,233 \cdot 10^{-5}x_2^7 - 0,4564 \cdot 10^{-7}x_2^8; \quad (7.53)$$

участок IV

$$y_4 = -0,032x_4 + 0,0185x_4^2 - 0,5 \cdot 10^{-3}x_4^3 + \\ + 0,5 (10^{-5}x_4^4 + 0,1 \cdot 10^{-6}x_4^6); \quad (7.54)$$

участок VI

$$y_6 = 0,2692x_6 - 0,9099 \cdot 10^{-1}x_6^2 + 0,112 \cdot 10^{-1}x_6^3 + \\ + 0,83565 \cdot 10^{-3}x_6^4 - 0,15553 \cdot 10^{-3}x_6^5. \quad (7.55)$$

Относительные средние ошибки аппроксимации получились не более 2,5 %, что можно считать приемлемым. При уменьшении порядка полиномов ошибки возрастают. Сжатие информации (причем в несколько раз) получилось для всех участков лекала.

Подобным образом была выполнена аппроксимация трех участков второго и трех участков третьего лекал. Результаты получились аналогичные\*, использовались полиномы Лежандра.

В приведенных примерах участки описывались почти везде едиными полиномами. В общем случае это не всегда может удаваться и тогда аппроксимацию участка нужно проводить по частям, что иллюстрирует один из примеров. В то же время на стыках участков может иметь место несовпадение описывающих полиномов по координатам и производным кривых. Для устранения этого недостатка можно воспользоваться общим подходом

\* Для всех трех примеров расчеты выполнил Д. Г. Балтайс.

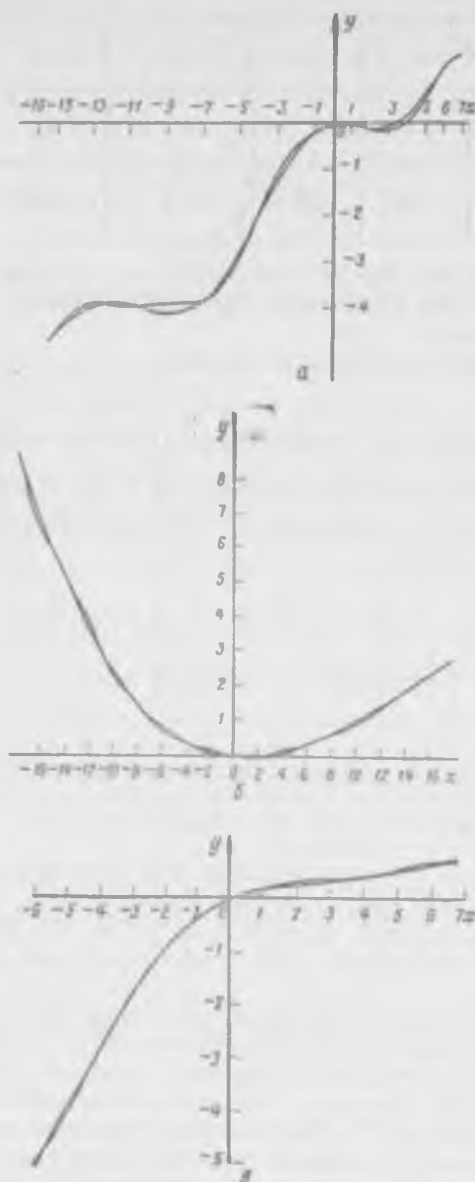


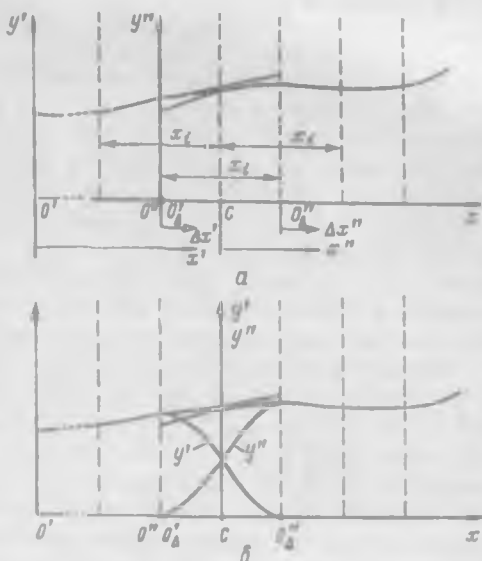
Рис. 7.11. Аппроксимация участков ле-  
кала:  
а — II; б — IV; в — VI

по скользящему описанию функций. Иллюстрацией может служить рис. 7.12. Место стыка частей участка обозначено буквой С. Для кривой части участка, начинающейся от точки  $O'$ .

рис. 7.12. График стыковки аппроксимации

имеется описание  $y'$ , а для части участка, начинающейся от точки  $O''$  — описание  $y''$ . На участке  $\Gamma$  слева и справа от точки  $C$  имеются оба описания. В точке  $C$  описания имеют несогласованность\* по координате и первой производной.

Аналогично § 7.2 для интервала  $[O'_\Delta, O''_\Delta]$ , располагающегося слева и справа от точки  $C$ , выражение для  $y$  записывается



$$y = \frac{1}{2} y' (x') \left\{ 1 + \sin \left[ \frac{\pi}{x_i} \Delta x' + \frac{\pi}{2} \right] \right\} + \frac{1}{2} y'' (x'') \times \\ \times \left\{ 1 + \sin \left[ \frac{\pi}{x_i} \Delta x'' + \frac{\pi}{2} \right] \right\} \quad (7.56)$$

как состоящее из двух слагаемых

$$y' = \frac{1}{2} y' (x') \left\{ 1 + \sin \left[ \frac{\pi}{x_i} \Delta x' + \frac{\pi}{2} \right] \right\} \quad (7.57)$$

$$y'' = \frac{1}{2} y'' (x'') \left\{ 1 + \sin \left[ \frac{\pi}{x_i} \Delta x'' + \frac{\pi}{2} \right] \right\} . \quad (7.58)$$

Графически слагаемые  $\bar{y}'$  и  $\bar{y}''$  представлены на рис. 7.12, сумма этих слагаемых на рис. 7.12,а показана штриховой линией и должна использоваться в качестве описания  $y$ . При этом несогласованность по координате исчезает, и в точке  $C$  координата равна среднему значению  $\bar{y}'$  и  $\bar{y}''$ . Согласование получается и по первой производной и при малых отличиях кривых  $y'$  и  $y''$ . На участке вокруг точки  $C$  производная суммарной кривой получается плавная. В точках  $O'_\Delta$  и  $O''_\Delta$  остаются соответственно кривые  $y'$  и  $y''$  со своими значениями по координатам и производным.

\* Если бы ее не было, то никаких мер по улучшению описания не требовалось бы: одно использовалось бы слева от точки  $C$ , а другое — справа от нее.

В выражении (7.56) аналогично § 7.2  $x_1$  — период участвующих в записи синусоидальных функций, а  $\Delta x'$  и  $\Delta x''$  — отклонения координаты от точек  $O'_\Delta$  и  $O''_\Delta$ .

Устранение неточности описания кривых на стыках уменьшает эффект сжатия информации, тем не менее в целом при применении аппарата ортогональных базисов сразу есть основания рассчитывать на эффективность результата. Кроме того, еще сохранились резервы дальнейшего сжатия информации в описании форм лекал. К этим резервам можно отнести оптимизацию в центрировании функций по осям  $x$  и  $y$  — смещение оси абсцисс и оси ординат (это уже делалось в примерах без оптимизации), и более широкое варьирование значениями параметров базисов при выполнении оптимизации в их выборе.

Можно воспользоваться также достигнутыми результатами в описании функций многих переменных, которые изложены в § 7.2 и где рассматривается применение этих результатов для формирования и использования баз данных. При этом участки лекал могут быть представлены группами по принципу аналогий в конфигурации. Для каждой группы назначаются реперные точки, например, через равные расстояния по какой-либо координате. Реперные точки принимаются за входные координаты. Для каждого сочетания значений координат реперных точек в базах данных можно получить тип ортогонального базиса и значения его параметров, обеспечивающих наиболее простое описание лекал.

Базы данных, о которых сейчас было сказано, должны быть заранее подготовлены.

## Глава 8

# ДАТЧИКИ И ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ — ЗАДАЧА ВЫБОРА И ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

## § 8.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Как указывалось, в создании РТС для текстильной и легкой промышленности к числу наиболее важных относятся задачи выбора общего облика систем, оценка удовлетворения требованиям намечаемых вариантов. С этой целью можно использовать рассматриваемый материал по разработке подсистем выбора основных характеристик в проектировании РТС текстильной и легкой промышленности с применением математических моделей и математического моделирования.

Однако оценка РТС в целом предполагает ориентацию на использование в ней конкретных составных частей, в частности, датчиков и исполнительных механизмов. При этом в случае, ес-

ли предполагается использование в той или иной их части нестандартных составляющих РТС, то оценивать их характеристики тоже желательно на основе математических моделей и математического моделирования.

В начале главы рассматриваются поставленные вопросы в отношении выбора специфических датчиков, пригодных к использованию в условиях предприятий текстильной и легкой промышленности, и их роли в составе многопараметровых измерительных систем, а в конце — вопросы применения систем двигателей переменного тока, отличающихся повышенной надежностью с анализом возможностей обеспечения заданных законов движения выходного элемента.

При постановке вопроса о датчиках имелось в виду, что в информационных измерительных системах роботов формируется и хранится информация о текущих положениях звеньев манипулятора рабочего органа с помощью датчиков первой группы (датчиков внутренней информации) и состоянии внешней среды, получаемой от датчиков второй группы (датчиков внешней информации).

## § 8.2. СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ КАК МНОГОПАРАМЕТРОВАЯ ЗАДАЧА

Решение практических задач в науке и технике, в том числе в области проектирования и эксплуатации РТС, предъявляет все более высокие требования к точности измерения и расширению набора измеряемых параметров. Одно из направлений, которое следует развивать в интересах достижения цели применительно к технологическим объектам текстильной и легкой промышленности, состоит в применении многопараметровых измерений, причем эта задача понимается здесь в широком смысле, т. е. в операции измерений следует учитывать параметры, характеризующие внешние условия, в которых проводятся измерения и находится технологический объект, а также взаимозависимость параметров, по которым оцениваются свойства объекта, и др.

В общем виде структурная схема системы многопараметровых измерений представлена на рис. 8.1. Главная отличительная особенность схемы со-

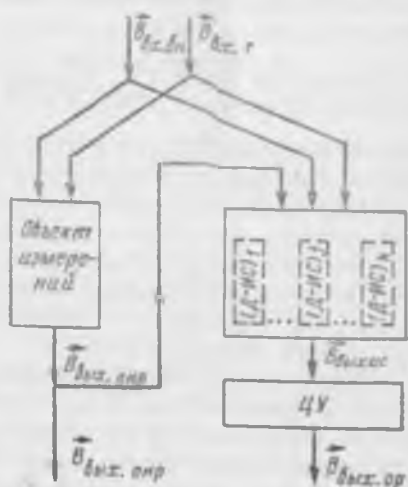


Рис. 8.1. Структурная схема системы многопараметровых измерений

стоит в параллельном выполнении набора  $k$  измерений с применением  $k$  датчиков  $D$ ,  $k$  измерительных схем  $ИС$  и цифрового устройства  $ЦУ$  для взаимной обработки сигналов измерений. Тем самым в схеме учитывается то обстоятельство, что для сложных технологических объектов трудно найти датчики и соответствующие им измерительные схемы, каждый канал которых сразу давал бы селективный результат только по одному какому-либо показателю качества объекта — одному из его выходных параметров. В общем случае в выходном параметре каждой измерительной схемы отражены все показатели качества объекта. По совокупному результату всех измерений с помощью цифрового устройства, где может быть заранее сформирована база данных или решены исходные математические модели, определяются показатели качества объекта.

На схеме приняты следующие обозначения.  $B_{вх.вн}$  — вектор входных параметров, характеризующих внешние условия, в которых находится объект (наружная температура, давление и другие компоненты);  $B_{вх.т}$  — вектор входных параметров (температуры, длительности, скорости обработки продукта и др.), характеризующих в общем случае все технологические стадии;  $B_{вых.опр}$  — вектор выходных параметров объекта, характеризующих свойства выходного продукта, причем в этом векторе количественно свойства продукта не определены, — как бы не разделены, и поэтому вектор в этом смысле является условным, это, по существу, сам объект измерений;  $B_{вых.ис}$  — вектор выходных параметров измерительных схем, его компоненты являются входными параметрами базы данных и «входными параметрами» математических моделей;  $B_{вых.ор}$  — вектор выходных параметров объекта (в векторе каждый компонент характеризует определенное свойство объекта, и в этом смысле в отличие от  $B_{вых.опр}$  данный вектор является конкретно количественным).

Отличительной особенностью рассматриваемой измерительной системы является важное для эксплуатации свойство оценки качества продукта неразрушающими методами. Таким образом, система обеспечивает многопараметровые неразрушающие измерения (МНИ), и, в частности, многопараметровый неразрушающий контроль (МНК).

Цифровое устройство обработки сигналов измерений может иметь в своем составе блоки статистической обработки сигнала, блоки составления и хранения математических моделей, обслуживающие блоки оптимизации и банки данных.

Главными элементами функционирующего в эксплуатации цифрового устройства являются блок математических моделей и банк данных с его базой данных, которые по вектору  $B_{вых.ис}$

позволяют найти компоненты вектора  $\bar{B}_{\text{вых.ор}}$ , т. е. решить задачу измерений.

Как математические модели, так и база данных формируются предварительно на основании конкретных сведений, которые получаются в результате экспериментов, в ходе которых для образцов продукта разного качества определяется вектор  $\bar{B}_{\text{вых.ис}}$  (это осуществляется, как и в эксплуатации, неразрушающим способом) и вектор  $\bar{B}_{\text{вых.ор}}$ , компоненты которого при необходимости находятся и разрушающими методами. Математические модели составляются с использованием известных методов регрессионного анализа и др. Базы данных представляют собой математические модели дискретного типа, и вопросы их формирования и использования рассмотрены в § 7.2. При эксплуатации измерительной системы, как уже указывалось, входными параметрами базы данных и входными параметрами математических моделей являются компоненты  $\bar{B}_{\text{вых.ис}}$ , а выходными — компоненты вектора  $\bar{B}_{\text{вых.ор}}$ .

Представленная схема наиболее полная для системы многопараметровых измерений. В конкретных случаях могут применяться упрощенные системы в зависимости от требований к качеству продукта, условий производства, особенностей объекта, на который могут, например, не влиять внешние условия. В предельном случае система может распадаться на самостоятельные каналы измерения (и даже может быть один канал), в каждом из которых имеется один датчик и измерительная схема, при наличии относительно простого цифрового устройства или даже при его отсутствии.

### § 8.3. МНОГОПАРАМЕТРОВАЯ ЗАДАЧА КОНТРОЛЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Контроль основных свойств текстильных материалов (физических, механических, диэлектрических и др.) базируется на задачах измерений, которые в общем случае должны рассматриваться как многопараметровые.

Текстильные материалы по составу являются многокомпонентными, содержащими определенное количество каждого из однокомпонентных веществ. Компонентами могут являться различные волокна и нити (натуральные, искусственные и синтетические), аппретирующие вещества, замасливатели, красители, отбеливатели и, наконец, воздушные пустоты, которые образуются между волокнами и нитями при образовании структуры материала. Причем применение термина «однокомпонентный» к некоторым из перечисленных веществ носит относительный характер, так как каждый из них в свою очередь состоит из нескольких составляющих.

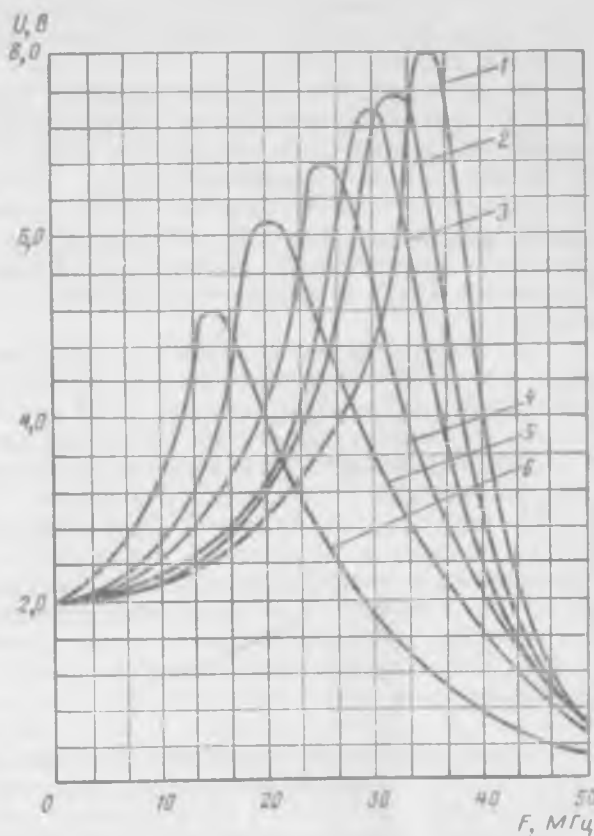
Каждый из компонентов вносит в материал свои индивидуальные свойства (прочность, упругость, электропроводность, диэлектрические характеристики и др.). Свойства материалов изменяются в зависимости от вносимых компонентами характеристик, но образуются не простым переносом характеристик в материал, а по сложным законам, в которых учитывается также взаимовлияние отдельных свойств компонентов. Последнее обстоятельство в значительной мере зависит от взаимного «расположения» компонентов материала, т. е. от его структуры и, конечно, объемного содержания компонентов.

Законы образования свойств материала по аналогичным свойствам компонентов весьма сложны и малоизучены. Существующие же зависимости для некоторых из свойств, например для диэлектрических характеристик, являются приближенными и не позволяют оценить эти характеристики материала с требуемой точностью [9].

В связи с изложенным контроль свойств текстильных материалов в современных условиях целесообразно осуществлять на основе формирования систем измерения, базирующихся на структурной схеме (см. рис. 8.1). В источнике [10] приведено описание системы МНК состава нетканого полотна, в которой контролируется содержание трех компонентов: пряжи, замасливателя и влаги. Здесь в качестве источника информации используется емкостный датчик. Это объясняется тем, что нетканое полотно, как и большинство текстильных материалов, является диэлектриком, и для него информативными являются диэлектрические характеристики — диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  и тангенс угла потерь  $\operatorname{tg} \delta$  [11]. Значения этих параметров сильно зависят от состава и структуры полотна. Малые изменения содержания того или другого компонента нетканого полотна приводят к существенным изменениям его диэлектрических характеристик, что в свою очередь вызывает соответствующие изменения емкости датчика, внутри которого перемещается контролируемый материал. Емкостной датчик включен одновременно в две высокочастотные ИС (контурную и автогенераторную) и влияет на их выходные параметры (резонансную амплитуду и частоту контурной и выходную частоту автогенераторной ИС). Далее по выходным параметрам ИС строится математическая модель, в которой устанавливается связь между параметрами состава нетканого полотна и выходными параметрами ИС.

Рассмотренный пример характерен тем, что один датчик обслуживает две ИС и тем самым упрощается измерительная система. Возможны варианты, когда одна ИС дает несколько выходных  $B_{\text{вых.ис}}$ . Например, в [10] анализировались свойства целлофановой пленки по составу (характеризуется процентным содержанием воды, глицерина и целлюлозы). Определялись при предварительных исследованиях амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) контурной измерительной схемы с емкостным

Рис. 8.2. АЧХ контурной измерительной схемы с емкостным датчиком



датчиком, в зоне измерения которого находится исследуемый материал с различным содержанием составляющих. В результате варьирования свойств помещенного в емкостной датчик текстильного материала на выходе ИС получалось семейство кривых АЧХ 1—6 (рис. 8.2), отличающихся одна от другой резонансными значениями амплитуд и частот, а также характером протекания во всем спектре частот. Это объясняется тем, что диэлектрические характеристики текстильных материалов в значительной степени зависят и от частоты воздействующего на них электрического поля [11]. Очевидно, разные свойства, значения которых формируются диэлектрическими характеристиками, на разных частотах проявились по-разному, что отразилось на емкости датчика и, следовательно, на выходных параметрах ИС. По данным предварительных исследований, как это описано выше, формировались базы данных измерительной системы.

Можно иметь в виду, что при рассматриваемом выше подходе информативными параметрами могут являться не только ре-

зональные значения амплитуд и резонансные частоты, но и наклон кривых в разных ее точках, отношения амплитуд в этих точках и т. д.

Аналогично можно проанализировать и различные характеристики других измерительных схем и выявить информативные параметры для каждого конкретного случая.

Таким образом, можно заключить, что при таком подходе вся характеристика ИС является информативной и, если аппроксимировать характеристики каким-либо образом, например полиномами ортогональных базисов (см. § 7.1), то коэффициенты полиномов будут в цифровом устройстве заменять компоненты  $B_{\text{вых.ис}}$ .

При формировании систем измерений для текстильных материалов следует также иметь в виду, что многие из них обладают дипольной структурой и поэтому в их реакции на различные воздействия внешними полями возможны явления «отставания» и «застоя». В связи с этим желательно влияние этих особенностей на результат измерения различным образом устранить. В [10], например, предлагается проводить измерения с применением аналога вибрационной линеаризации, которая широко применяется в системах автоматического регулирования. В развитие этого подхода при использовании емкостного датчика и автогенераторной измерительной схемы использован осредненный выходной сигнал, полученный на гамме частот питающего напряжения.

#### § 8.4. ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ДАТЧИКИ СЛАБЫХ ЭНЕРГИЙ

Электростатические и электромагнитные датчики рассмотрим с учетом того, что в текстильной промышленности наметились основные направления использования РТС в прядильном, ткацком, отделочном и других производствах. РТС можно эффективно применять для устранения обрывов нитей на прядильных, прядильно-крутильных машинах, мотальных, сновальных, шлюхтовальных машинах и ткацких станках, а также при обработке ткани на стригальных и каландровых машинах, для выполнения операций клеймения ткани. В случае разбраковки ткани РТС служит для обнаружения нарушения непрерывности свойств ткани и устранения их при выполнении соответствующих операций. В ковровом производстве с помощью робота разделяют ковровое полотно на отдельные изделия (ковры).

Использование РТС для автоматизации технологических процессов текстильной и легкой промышленности, отличающихся значительной сложностью и разнообразием, в значительной мере обуславливается возможностью получения информации об изменяющихся параметрах технологического продукта, процессов его получения и внешних возмущений. Сложности, возникающие

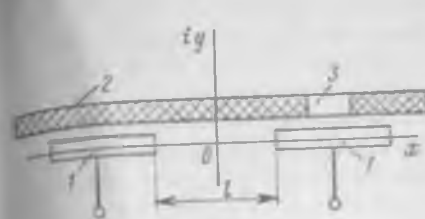


Рис. 8.3. Схема электростатического датчика с компланарными электродами

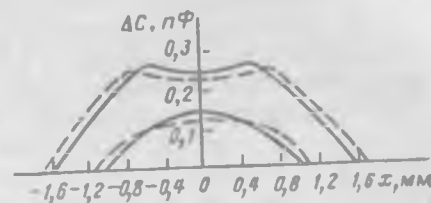


Рис. 8.4. График изменения емкости датчика

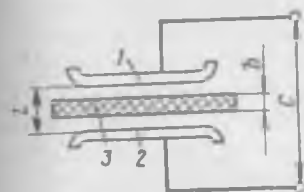


Рис. 8.5. Схема электростатического датчика с плоскими параллельными электродами

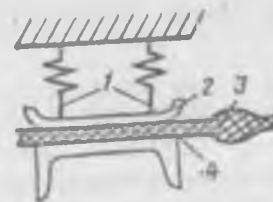


Рис. 8.6. Датчик с подвижным электродом

при контроле текстильного продукта, объясняются его малой механической прочностью (лента, ровница, пряжа, нить) и массой точек контроля. При автоматизации технологических процессов обработки ткани необходимо исключать воздействия со стороны датчиков, приводящие к изменению внешнего вида ткани или нарушению ее структуры.

Перспективным направлением в развитии систем контроля параметров является создание датчиков слабой энергии взаимодействия с продуктом. Особое значение имеет разработка бесконтактных датчиков и датчиков, чувствительными элементами которых являются детали машин и механизмов, выполняющие определенные технологические функции (нитепроводники, нитенатяжители и т. п.). К таким датчикам относятся электростатические, электромагнитные и разнообразные оптические устройства. Далее рассматриваются первые два вида датчиков, получивших распространение в текстильной и легкой промышленности.

К электростатическим датчикам относятся устройства, основанные на эффекте взаимодействия контролируемого продукта с электрическим силовым полем и системой электродов, возбуждающей поле (рис. 8.3—8.7). Свойства таких датчиков описываются механическими и



Рис. 8.7. Датчик массы волокнистого продукта

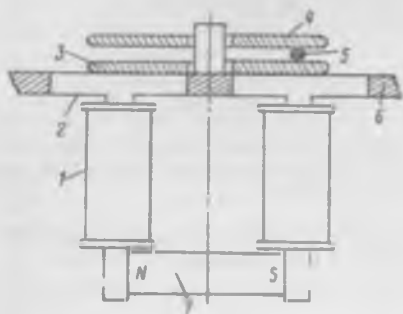


Рис. 8.8. Датчик обрыва одиночной нити

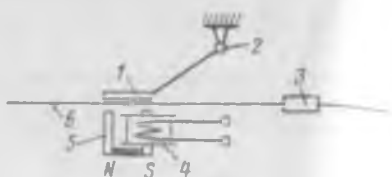
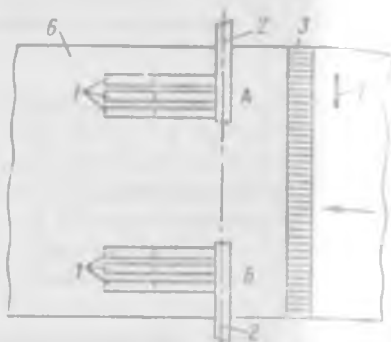


Рис. 8.9. Датчик шва ткани с преобразователем индуцируемой ЭДС логического действия



электрическими характеристиками. Электрические свойства датчика выражаются напряжением  $U$  между электродами, зарядом  $q = CU$ , где  $C$  — емкость, током  $i = dq/dt$  и энергией электрического поля  $W = qU/2$ . Если один из электродов (или диэлектрик между ними) имеет возможность перемещаться, то следует учитывать жесткость подвеса подвижного элемента, его перемещение  $x$ , скорость перемещения  $v = dx/dt$  и электрическую силу притяжения  $F = -dW/dx$ .

Выходной величиной электростатического датчика может быть изменение емкости, механическая или электродвижущая сила (ЭДС), генерируемая при взаимном перемещении электродов, находящихся в электрическом поле. В зависимости от вида взаимодействия продукта с датчиком емкость может измениться при изменении расстояния между электродами, диэлектрической проницаемости продукта, соотношения компонентов волокнистой массы, степени заполнения рабочей области датчика контролируемым материалом.

Электромагнитные датчики — устройства, основанные на взаимодействии контролируемого продукта с электромагнитным полем и подвижными элементами конструкции, деформирующими поле при изменении свойств продукта (рис. 8.8—8.10). Свойства

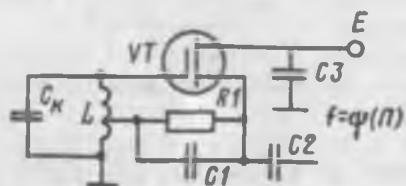


Рис. 8.10. Схема включения емкостного (или индуктивного) датчика в колебательный контур автогенератора

датчиков выражаются электрическими и механическими характеристиками. Основными электрическими характеристиками являются ток  $i$ , потокоцепление  $\Psi = Li$ , где  $L$  — индуктивность контура, противо-ЭДС  $e = -d\Psi/dt$ , энергия электромагнитного поля  $W = Li^2/2$ . К механическим свойствам датчика относятся жесткость подвеса подвижного элемента, перемещение  $x$ , скорость перемещения  $v$  и электромагнитная сила притяжения  $F$ . Выходной величиной электромагнитного датчика может быть изменение индуктивности, индуктируемая в контуре ЭДС и электромагнитная сила. Изменение индуктивности контура (катушки) достигается изменением геометрии катушки, магнитного сопротивления магнитной цепи, проницаемости материала магнитного провода, коэффициента связи между элементами катушки. Эти же причины могут вызвать появление индуктируемой ЭДС.

Разработана теория и методы расчета электростатических и электромагнитных датчиков слабых энергий [13]. При этом широко используется теория комплексного потенциала и конформные отображения, позволившие получить расчетные соотношения, которые следует рассматривать как базовые, в том смысле, что они дают результаты первоначальной ориентации. Далее необходимо уточнение результатов по данным лабораторных испытаний и реальным условиям эксплуатации. Кроме того, следует иметь в виду, что во многих случаях рассматриваемые электростатические и электромагнитные датчики вместе с их измерительными схемами наиболее целесообразно использовать в составе многопараметровых измерительных систем параллельно с другими измерительными каналами. В этом случае следует ожидать наибольший эффект.

Полевой датчик с компланарными пластинами для контроля текстильных полотен [14]. Текстильные полотна в виде ткани или ковров удобно контролировать с помощью датчика (см. рис. 8.3), схема устройства которого включает рабочие пластины 1, полотно 2 и элемент изменения 3, например, структуры полотна, отверстия. Измерение электрической емкости датчика наблюдается при отклонении структуры полотна или его физических свойств. Общая функциональная зависимость для емкости датчика, в зоне которого находится шов между полотнами ткани (контролируется момент, когда в зону войдет шов движущейся ткани), может быть записана в виде

$$C = \Psi_1 (T_{осн}, T_y, P_{осн}, P_y, \epsilon_{осн}, \epsilon_y, b_T, \alpha, P_{ш}),$$

где  $T_{осн}$ ,  $T_y$  — линейная плотность соответственно основных и уточных нитей;  $P_{осн}$ ,  $P_y$  — плотность полотна соответственно по основе и утку;  $\epsilon_{осн}$ ,  $\epsilon_y$  — относительная диэлектрическая проницаемость соответственно основных и уточных нитей;  $b_T$  — толщина полотна;  $\alpha$  — угол перекося уточных нитей;  $P_{ш}$  — обобщенный параметр шва, соединяющего куски ткани или ковры в единое полотно.

Обобщенный параметр шва полотна характеризуется толщи-

ной  $h_{\text{ш}}$  шва, его длиной  $L_{\text{ш}}$ , расстоянием  $l_{\kappa}$  между соединяемыми кусками полотна, толщиной  $T_{\text{н}}$  нити, используемой для сшивания, относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_{\text{н}}$  этой нити, плотностью  $l_{\text{н}}$  (шагом) стежков, способом соединения (тип шва) и относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_{\kappa}$  в случае соединения с помощью клея.

Формула, выражающая зависимость изменения емкости датчика от параметров контролируемого элемента полотна и координат положения его центра, полученная на базе теории электростатических датчиков малой мощности, записывается

$$\Delta C = \frac{16abc\epsilon_0}{\pi} \frac{\epsilon_{\text{ш}} - 1}{\epsilon_{\text{ш}} + 2} [(4x^2 - 4y^2 - l^2)^2 + 64x^2y^2]^{-1/2},$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $c$  — соответственно длина, высота и ширина шва;  $\epsilon_0 = 1/36\pi \cdot 10^9$  — электрическая постоянная;  $\epsilon_{\text{ш}}$  — относительная диэлектрическая проницаемость шва;  $l$  — расстояние между пластинами (см. рис. 8.3);  $x$  и  $y$  — координаты шва. Максимальное изменение емкости датчика наблюдается при  $x = y = 0$ .

На рис. 8.4 изображены расчетная (сплошные линии) и экспериментальная (штриховые линии) зависимости  $\Delta C = f(x)$  при  $y = \text{const}$ .

Выражая размеры датчика и шва в миллиметрах, емкость в пикофарадах и учитывая численное значение электрической постоянной, находим формулу, удобную для практических расчетов [14]

$$\Delta C = \frac{0,0452abc}{V} \frac{\epsilon_{\text{ш}} - 1}{\epsilon_{\text{ш}} + 2} [(4x^2 - 4y^2 - l^2)^2 + 64x^2y^2]^{-1/2}$$

В случае проектирования технологического процесса бесшовного соединения кусков ткани рекомендуется выбирать значение относительной диэлектрической проницаемости компонентов соединения  $\epsilon = 5 \dots 10$  для достижения наибольшей чувствительности датчика. Если куски в полотно сшиваются и диэлектрическая проницаемость шва численно совпадает с диэлектрической проницаемостью продукта — ткани, то приращение емкости, вызванное швом, находится по формуле

$$\Delta C_{\text{ш}} = \frac{0,0452ac}{V} \frac{l(\epsilon_{\tau} - 1)}{(\epsilon_{\tau} + 2)} (b - b_{\tau}),$$

где  $b - b_{\tau}$  — изменение толщины полотна, вызванное швом.

Из последнего соотношения следует, что приращение емкости датчика прямо пропорционально изменению толщины контролируемого полотна.

Представление об относительной диэлектрической проницаемости различных тканей можно получить из табл. 8.1.

Таблица 8.1

| Ткань     | Артикул | $\epsilon_r$ |
|-----------|---------|--------------|
| Бязь      | 276     | 1,049        |
| Сатин     | 528     | 1,324        |
| Флейта    | 975     | 1,245        |
| Костюмная | 3127    | 1,496        |
| Трик      | 4003    | 1,203        |

Датчики с плоскими параллельными пластинами (см. рис. 8.5). С помощью таких датчиков также возможен контроль текстильного продукта в виде холстов, лент, нитей, полотна ткани, ковров [18]. В качестве низкопотенциального электрода 2 целесообразно

использовать элементы технологических машин, выполняющих функции направляющих движения продукта 3. В этом случае устраняется дополнительное механическое воздействие на продукт. Высокопотенциальный электрод 1 тщательно изолируется от токопроводящих частей технологической машины. Приближенно емкость датчика

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{l - b + b/\epsilon_r}$$

где  $\epsilon_0 = 1/36\pi 10^9$  Ф/м — электрическая постоянная;  $S$  — площадь пластин;  $l$  — расстояние между пластинами;  $b$  — толщина продукта.

Связь между толщиной текстильного продукта и линейной плотностью  $T$  зависит от геометрической формы продукта.

В случае цилиндрической формы продукта имеем

$$b = 2 (T/\pi\rho)^{1/2},$$

где  $\rho$  — объемная плотность продукта, г/м<sup>3</sup>.

Если продукт представляет собой призму с квадратным сечением, то

$$b = (T/\rho)^{1/2}.$$

Для призматического продукта с прямоугольным сечением находим

$$b = T/a_n\rho,$$

где  $a_n$  — ширина продукта.

Относительное изменение емкости датчика с плоскими параллельными неподвижными пластинами при изменении толщины текстильного продукта равно [7]

$$\Delta C/C = \Delta b/b \xi \frac{1}{1 - \xi \Delta b/b}$$

Чувствительность датчика характеризуется коэффициентом

$$\xi = \frac{\epsilon_r - 1}{1 + \epsilon_r \psi}$$

где  $\epsilon_r$  — относительная диэлектрическая проницаемость ткани.

Коэффициент  $\psi = (l-b)/b$  определяет заполнение рабочей области продуктом. Линейность статической характеристики датчика улучшается при увеличении коэффициента  $\psi$ . Следует отметить, что одновременно при этом уменьшается влияние на емкость изменений относительной диэлектрической проницаемости продукта. Благодаря отмеченной особенности имеется возможность создания датчика для измерения толщины продукта с погрешностью от изменения его относительной диэлектрической проницаемости, не превышающей допустимых значений.

В устройствах контроля целостности и непрерывности свойств продукта целесообразно применять датчики, обладающие наибольшей чувствительностью к изменению толщины. Нужными свойствами обладают электростатические датчики с подвижными электродами (см. рис. 8.6), состоящие из подвижного 2 и неподвижного 4 электродов, пружины 1 и контролируемого продукта. Относительное изменение емкости при изменении толщины продукта на  $\Delta b = \Delta l$

$$\Delta C/C = \Delta l/l (1 + \Delta l/l)^{-1}.$$

Управление линейной плотностью волокнистой массы на входе чесальной машины требует непрерывного измерения массы волокна в бункере [13]. Схема устройства датчика уровня волокнистого продукта в бункере изображена на рис. 8.7. Приближенно емкость датчика при равномерной плотности волокнистой массы по высоте бункера определяется соотношением [20]

$$C = a/l [\epsilon_0 \epsilon_r h + \epsilon_0 \epsilon_v (H - h)],$$

где  $a$  — ширина электрода;  $l$  — расстояние между электродами;  $\epsilon_r$  — относительная диэлектрическая проницаемость волокнистой массы;  $h$  — высота заполнения бункера волокном;  $\epsilon_v$  — относительная диэлектрическая проницаемость воздушной среды;  $H$  — высота электрода.

Второе слагаемое в формуле делает статическую характеристику нелинейной. С увеличением уровня загрузки нелинейность уменьшается. Дополнительная нелинейность преобразования возникает за счет неравномерной плотности волокнистой массы по высоте бункера.

Рассмотренные принципы построения электростатических датчиков позволяют создавать необходимые датчики для РТС управления технологическими процессами и средствами механизации в текстильной и легкой промышленности с ориентацией в необходимых случаях на многопараметровые измерения.

**Датчик обрывов одиночной нити.** Значительный эффект может быть достигнут в случае замены ручного труда действием РТС при устранении обрывов нитей на текстильных машинах [15].

Использование элементов конструкций текстильных машин в качестве датчиков контроля технологических параметров поз-

возврат исключит дополнительные механические воздействия на продукт, неизбежно возникающие при установке специальных датчиков [12]. На текстильных машинах часто устанавливаются шайбовые натяжители. Поэтому представляет теоретический и практический интерес исследование устройства, совмещающего функции натяжителя и датчика целостности продукта.

На рис. 8.8 показана конструкция шайбового датчика-натяжителя, у которого основное усилие прижима создается магнитным полем. Здесь 1 — катушка, 2 — полюсные наконечники, 3 — установочная немагнитная шайба, 4 — прижимная ферромагнитная шайба, 5 — контролируемая нить, 6 — корпус датчика-натяжителя, 7 — постоянный магнит.

При движении нити в системе возникает стационарный шумовой процесс, обусловленный неровнотой нити, отсюда изменение индуктивности катушки:

$$\Delta L = \frac{4\pi a^2 b \mu_0 \omega_k}{N} \frac{1}{l^2 + 4y^2},$$

где  $\omega_k$  — число витков катушки;  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  — магнитная постоянная;  $y$  — вертикальное перемещение шайбы;  $N$  — намагничивающий фактор.

Сигналом обрыва нити является скачкообразное изменение индуктивности. Действительно, при обрыве  $y=0$  и величина

$$\Delta L_{\max} = \frac{4\pi a^2 b \mu_0 \omega_k}{N^2},$$

**Датчики швов.** РТС применяются для управления рабочими органами стригальных и каландровых машин, клеймения полотен ткани, разрезания ткани и ковров. Во всех случаях требуется обнаруживать шов ткани или полосу разделения коврового полотна на отдельные изделия. Признаком шва, соединяющего полотна ткани, является утолщение по всей ширине полотна вследствие наложения слоев ткани и соединительной нити. На ковровом полотне место, по которому оно должно быть разрезано на отдельные изделия, характеризуется утонением. Таким образом, в обоих случаях первичным сигналом для приведения в действие РТС является изменение толщины контролируемого полотна. В состав датчика шва ткани [21] (см. рис. 8.9) входят элементы А и Б, расположенные на некотором расстоянии от кромок полотна. Каждый из элементов состоит из лапок-якорей 1, держателей 2, магнитной системы 5 и катушки 4. Ткань 6 проходит между лапками-якорями 1 и магнитной системой. Шов 3 перемещает лапки-якоря обоих элементов. В результате на выходе формируется полезный сигнал. Перемещение отдельных лапок под действием случайных утолщений 7 вызывает появление сигнала помехи. Так как полезный сигнал образуется в случае одновременного перемещения всех лапок-якорей каждого элемента, сигнал помехи всегда меньше полезного.

Изменение индуктивности катушек датчика, состоящего из двух элементов А и Б,

$$\Delta L = \frac{8\pi abcs\mu_0 w_n}{N} \frac{1}{l^2 + 4y^2}.$$

Характер изменения индуктивности определяется формой шва и законом движения контролируемого полотна. В случае движения полотна с постоянной скоростью изменение индуктивности полностью зависит от формы шва, огибающая которого может быть выражена в виде функции  $y(x)$ .

В случае работы датчика в генераторном режиме при прохождении шва через рабочую зону в катушках элементов индуцируется ЭДС, которую приближенно можно рассчитать по формуле

$$e = \frac{\mu_0 F S w_n n}{(R_{с\tau} \mu_0 S_n + y)^2} \frac{dy}{dt},$$

где  $F$  — магнитодвижущая сила постоянного магнита;  $S$  — площадь поперечного сечения магнитопровода, приходящаяся на одну секцию якоря;  $n = 4,5$  — число лапок-якорей элемента датчика.

Производная  $dy/dt$  зависит от формы шва и скорости движения контролируемого полотна. Вследствие малости вертикального перемещения лапок-якорей датчика полагаем, что они движутся параллельно плоскости полотна. Если огибающую шва ткани представить аperiодической кривой второго порядка [21], то ЭДС будет

$$e = \frac{2\mu_0 F S w_n n}{[R_{с\tau} \mu_0 S_n + y(t)]^2} \frac{h v_{\tau}}{T_3 - T_4} \left[ \exp\left(-\frac{t}{T_3}\right) - \exp\left(-\frac{t}{T_4}\right) \right]_{t_n},$$

где  $h$  — толщина шва;  $v_{\tau}$  — скорость движения полотна;  $T_3, T_4$  — параметры огибающей шва ткани;  $t_n$  — время подъема секций якоря на высоту шва.

ЭДС, развиваемая в катушке при обнаружении шва, пропорциональна его толщине и линейной скорости движения полотна. В случае постоянства параметров полотна выходной сигнал пропорционален скорости движения полотна. Таким образом, датчик в генераторном режиме позволяет обнаружить шов и измерять скорость движения полотна.

Вид измерительной схемы должен соответствовать типу датчика и режиму его работы. В датчиках малой энергии в процессе измерений происходит изменение емкости, механической силы или электродвижущей силы, генерируемой при взаимном перемещении электродов в электрическом поле.

Для работы с электростатическими датчиками используются следующие измерительные схемы: цепь с источником постоянного тока и переменной емкостью, схема моста переменного тока с амплитудной модуляцией, схема генератора с частотной моду-

ланий, схема с импульсной модуляцией. Выбор вида схемы или цепи определяется условиями работы датчика, его конструкцией, характеристиками контролируемого продукта и технологического процесса.

**Датчик с частотным выходом.** В цифровых системах автоматического контроля и регулирования возникает необходимость преобразования аналоговой формы сигналов в цифровую, поскольку большинство измерительных датчиков выдает на выходе аналоговые сигналы, а их дальнейшая обработка цифровыми методами обеспечивает значительно более высокую точность результатов. В основу работы большинства цифровых приборов положен принцип преобразования измеряемой электрической величины в частоту.

По виду воздействия на колебательную систему автогенератора (см. рис. 8.10) емкостный датчик относится к устройствам, изменяющим реактивную составляющую контура. С изменением  $\Delta C$  емкости датчика изменяется частота автогенератора, что в системе с частотным выходом соответствует изменению выходной координаты на значение, мГц

$$\Delta f = 10 (253/L)^{1/2} (1/\sqrt{C_k + \Delta C} - 1/\sqrt{C_k}),$$

где  $L$  — индуктивность катушки контура, мкГ.

**Электростатический датчик в измерительной цепи постоянного тока.** Значительная зависимость свойств емкостных датчиков как элемента цепи переменного тока от электрических свойств контролируемого продукта затрудняет их применение. В связи с этим практический интерес представляет использование емкостного датчика в измерительной цепи постоянного тока (рис. 8.11, а). Эквивалентная схема (рис. 8.11, б) входной цепи устройства содержит датчик  $C$ , источник ЭДС  $E$  и нагрузочный резистор  $R_n$ . В рассматриваемом случае датчик работает по принципу преобразования измеряемой величины в электрический заряд. Во многих практических задачах можно полагать, что емкость датчика под воздействием контролируемого текстильного продукта изменяется по гармоническому закону

$$C = C_0 + C_m \sin \omega t,$$

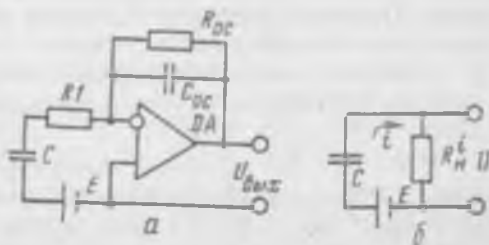


Рис. 8.11. Включение емкостного датчика в измерительную цепь постоянного тока (а) и эквивалентная схема (б)

где  $C_0$  — емкость, включающая все постоянные емкости цепи и среднюю емкость датчика, соответствующую заданному значению контролируемого параметра продукта;  $C_m$  — амплитуда изменения емкости, вызванного колебаниями параметра продукта;  $\omega$  — угловая частота изменения величины контролируемого параметра.

Изменение емкости определяется влиянием изменяющегося параметра и конструкцией датчика. Теоретически максимальное изменение емкости датчика с плоскими неподвижными параллельными пластинами при изменении толщины продукта (например, ткани) от  $b=0$  до  $b=l$  в сравнении с емкостью датчика без продукта

$$C_m = \Delta C = C_T - C_0 = \varepsilon_0 S / l (\varepsilon_T - 1).$$

На практике амплитуда колебаний емкости датчика определяется технологическим регламентом процесса, устанавливающим границы колебаний толщины продукта, и находится в пределах

$$\Delta C_{\min} < C_m < \varepsilon_0 S / l (\varepsilon_T - 1).$$

В случаях контроля продукта в реальных технологических процессах прядильного, ткацкого и отделочного текстильного производства начальная емкость  $C_0$  датчика обычно значительно превышает амплитудное значение  $C_m$  колебаний емкости при изменении контролируемого параметра ( $C_m/C_0 < 0,1$ ). Поэтому для всего диапазона изменений толщины продукта справедливо неравенство

$$C_m \sin \omega t \ll C_0.$$

Если в устройстве обеспечивается большая постоянная времени ( $C_0 R_n \gg 1/\omega$ ), то уравнение для расчета напряжения на выходе получается следующим

$$U(t) = \frac{\varepsilon_T \varepsilon_0 S}{C \Delta l} \frac{\Delta l}{l + \Delta l} \sin \omega t.$$

Таким образом, для малых изменений емкости ( $C_m/C_0 < 0,1$ ) и большой постоянной времени переменное выходное напряжение измерительной схемы постоянного тока пропорционально отношению изменению емкости и напряжению  $E$  постоянного тока. При этих условиях выходное напряжение и изменение емкости датчика находятся в фазе.

Свойства мостовых измерительных схем с емкостными датчиками достаточно полно представлены в специальной литературе.

Известны три основные измерительные схемы электромагнитных датчиков, удобные для практического использования: простая последовательная схема переменного тока; мостовые схемы переменного тока; схемы колебательного контура генератора.

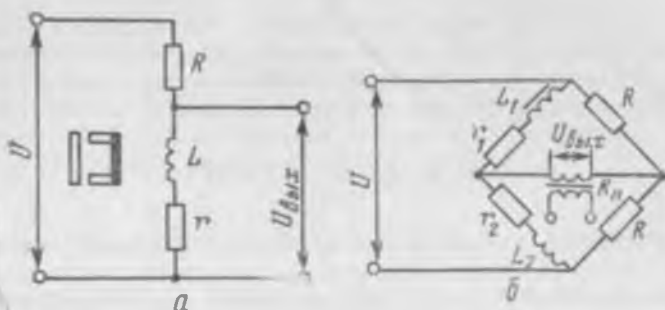


Рис. 8.12. Схема включения индуктивного датчика в цепь переменного тока:  
а — простую; б — мостовую

**Индуктивный датчик в простой последовательной схеме.** Если переменное напряжение  $U$  приложено к простой схеме (рис. 8.12, а), то напряжение на ненагруженной катушке индуктивности

$$U_{\text{вых}} = U \frac{Z}{R + Z},$$

где  $Z$  — полное сопротивление катушки датчика;  $R$  — последовательное сопротивление.

В случае, когда  $R \gg Z$ , приращение выходного напряжения пропорционально приращению  $\Delta Z$ :

$$\Delta U_{\text{вых}} = U \frac{Z}{R} \frac{\Delta Z}{Z}.$$

**Относительное изменение**

$$\frac{\Delta U_{\text{вых}}}{U_{\text{вых}}} = \frac{R}{2} \frac{\Delta Z/Z}{R/Z + \Delta Z/(Z+1)}.$$

При большом  $R/Z$

$$\Delta U_{\text{вых}}/U_{\text{вых}} = \Delta Z/Z.$$

Полное сопротивление катушки индуктивного датчика с ферромагнитным сердечником может быть представлено последовательным соединением индуктивного сопротивления  $\omega L$  и сопротивления потерь  $r$ . В этом случае имеем

$$\Delta Z/Z = \left[ \frac{(\Delta r)^2 + (\omega \Delta L)^2}{r^2 + (\omega L)^2} \right]^{1/2} = \left[ \frac{(\Delta r/r)^2}{1+Q} + \frac{\Delta L/L}{1+1/Q} \right]^{1/2}.$$

Здесь  $Q = \omega L/r$  — добротность катушки датчика. При расчете простой измерительной схемы следует иметь в виду, что линейность улучшается с увеличением отношения  $R/Z$ . Чувствитель-

ность системы при этом уменьшается. Повысить чувствительность индуктивного датчика можно подключением конденсатора  $C$  параллельно катушке. Действительно, реальное относительное изменение индуктивности в этом случае

$$dL_p/L_p = \frac{1}{1-\omega^2 LC} dL/L.$$

Индуктивный датчик в мостовой измерительной схеме переменного тока. Мостовые измерительные схемы часто используются для работы с дифференциальными индуктивными датчиками (рис. 8.12, б). При этом одинаковые изменения каких-либо параметров катушек взаимно компенсируются. В случае равновесия моста  $Z_1 = Z_2 = Z$ . При перемещении якоря датчика сопротивления  $Z_1$  и  $Z_2$  получают приращения:  $Z_1 = Z + \Delta Z$ ;  $Z_2 = Z - \Delta Z$ . На выходе моста появится напряжение

$$U_{\text{вых}} = U \frac{\Delta Z}{Z} \frac{R_n}{R + Z + 2R_n}.$$

В РТС измерительные системы нагружаются, как правило, входным сопротивлением усилителей ( $R_n \rightarrow \infty$ ):

$$U_{\text{вых}} = \frac{1}{2} U \frac{\frac{1}{Q^2} \frac{\Delta r}{r} + \frac{\Delta L}{L} + \frac{1}{Q} \left( \frac{\Delta L}{L} - \frac{\Delta r}{r} \right)}{1 + 1/Q^2}.$$

В преобразователях с одинаковыми относительными изменениями индуктивностей и последовательных сопротивлений потерь реактивная составляющая в выходном напряжении отсутствует. Для больших значений добротности катушек датчика ( $Q > 10$ )

$$U_{\text{вых}} = \frac{1}{2} U \frac{\Delta L}{L}.$$

**Индуктивные датчики в колебательных контурах генератора.** Индуктивный датчик может использоваться в качестве устройства, управляющего частотой генератора. При этом может применяться генератор, схема которого показана на рис. (см. рис. 8.10). В связи с тем что датчик обладает потерями, он вносит в контур определенное затухание. Колебательный контур может быть представлен индуктивностью с последовательным сопротивлением потерь, присоединенными параллельно емкости, или параллельным соединением  $r_n$ ,  $L$  и  $C$ . В обоих случаях сопротивление представляет собой потери контура и эквивалентное сопротивление нагрузки. При проектировании колебательного контура датчика РТС следует учитывать, что отношение  $L/C$  зависит от конструкции генератора [22]. При заданном напряжении и мощности наименьшее соотношение  $L/C$  обеспечивает

ся при высоких значениях добротности. В случае расчета датчика с частотным выходом необходимо иметь в виду, что изменение величины добротности катушки датчика ведет к небольшим изменениям частоты колебаний генератора. При малых изменениях  $L$  и  $Q$  относительное изменение частоты

$$\Delta\omega/\omega = \frac{\Delta Q/Q}{Q^2-1} - \frac{1}{2} \Delta L/L.$$

В колебательных контурах обычно используются недифференциальные индуктивные датчики. Расчет изменения индуктивности катушечных датчиков при изменении положения контролируемого объекта приведен в [19].

Так как недифференциальный датчик требует введения сложных цепей температурной коррекции, предпочтительнее является использование дифференциальных преобразователей, включаемых в два колебательных контура, изменяющих свои частоты в разных направлениях. Девияция частоты этих генераторов в функции изменения положения якоря датчика обладает хорошей линейностью, и кроме того, температурная коррекция в них осуществляется проще. Детальный анализ схем и колебательной системы автогенератора и энергетический расчет приведены в литературе [22].

#### § 8.5. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА В РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

При проектировании РТК важным моментом является обеспечение требуемого качества переходных и установившихся процессов, развиваемых их исполнительными элементами — электроприводами постоянного или переменного тока. Так как электропривод переменного тока является более экономичным и надежным по сравнению с электроприводом постоянного, то, учитывая целесообразность использования электропривода переменного тока во вновь проектируемых РТК, примем в дальнейшем в качестве основного объекта исследования именно этот электропривод.

Требуемое качество переходных и установившихся процессов электропривода переменного тока может обеспечиваться в РТК соответствующей системой управления, причем простота и надежность этой системы во многом определяется возможностью выбора эффективного закона управления для используемого в этом электроприводе двигателя переменного тока. Как показывает анализ современных исследований в области построения систем управления для электропривода переменного тока, вопрос о выборе эффективного закона управления для этого электропривода можно успешно решить с привлечением аспектов ма-

тематическое и численного моделирования лишь в рамках системы дифференциальных уравнений, адекватно отражающей характер развиваемых в этом электроприводе процессов. Такой системой в теории исследуемого электропривода является система дифференциальных уравнений [26]:

$$\left. \begin{aligned} d\psi_k/dt + r i_k &= u_k, \quad k=a, b, c; \\ d\psi_{rj}/dt + r_{rj} i_{rj} &= 0, \quad j=d, q; \\ \frac{1}{p} d\omega/dt + M_{ст} &= M_{эл}; \quad d\gamma/dt = \omega, \end{aligned} \right\} \quad (8.1)$$

записанная относительно фазовой системы координат  $(a, b, c, d, q)$ , причем входящие в эту систему величины имеют следующий физический смысл:

$r, i_k, \psi$  ( $k=a, b, c$ ) — соответственно активное сопротивление, искомые токи и полные потокосцепления статорных обмоток используемого в рассматриваемом электроприводе двигателя переменного тока;

$r_{rj}, i_{rj}, \psi_{rj}$  ( $j=d, q$ ) — соответственно активные сопротивления, искомые токи и полные потокосцепления эквивалентных роторных обмоток этого двигателя (к ним приводятся реальные короткозамкнутые обмотки на роторе);

$\omega, \gamma$  — соответственно угловая скорость ротора двигателя и угол, определяющий положение ротора в пространстве;

$J, p$  — соответственно момент инерции ротора двигателя и число пар его полюсов;

$M_{ст}, M_{эл}$  — соответственно статический и электрический моменты двигателя;

$u_k$  ( $k=a, b, c$ ) — функции напряжений питания.

При этом на основе принципа суперпозиции электромагнитных полей полные потокосцепления  $\psi_k, \psi_{rj}$  ( $k=a, b, c; j=d, q$ ) представлены в виде разложений:

$$\left. \begin{aligned} \psi_k &= \sum_{(n=a, b, c)} L_{kn}(\gamma) i_k + \sum_{(j=d, q)} M_{krj}(\gamma) i_{rj}; \\ \psi_{rj} &= \sum_{(k=a, b, c)} M_{krj}(\gamma) i_k + L_{rj} i_{rj}; \\ k &= a, b, c; \quad j = d, q, \end{aligned} \right\} \quad (8.2)$$

где  $L_{kn}(\gamma), M_{krj}(\gamma)$  ( $k, n=a, b, c; j=d, q$ ) — периодические коэффициенты индуктивностей, содержащие в общем случае весь спектр гармонических составляющих в разложениях этих коэффициентов в ряде Фурье, а электромагнитный момент  $M_{эл}$  — динамическая переменная

$$M_{эл} = -p \frac{\partial T}{\partial \gamma}, \quad (8.3)$$

в которой  $T = 0.5 \left( \sum_{k=a, b, c} \psi_k i_k + \sum_{j=d, q} \psi_{rj} i_{rj} \right)$  — энергия электромагнитного поля, а  $\partial/\partial\gamma$  — символ частной производной по углу  $\gamma$ .

При проектировании РТК входящие в систему (8.1) величины  $M_{ст}(t)$ ,  $M_{эл}(t)$ , а тем самым и  $\omega(t)$ ,  $\gamma(t)$ , считаются известными функциями времени  $t$ . При этом требуется, чтобы соответствующая система уравнений определяла такой характер изменений с течением времени  $t$  функций  $u_k(t)$  ( $k=a, b, c$ ), который в соответствии с выражениями (8.1) — (8.3) приводил бы к заданным зависимостям от времени  $t$  указанных функций. При этом эффективность соответствующего закона управления во многом определяется возможностью выбора наиболее простых форм для  $u_k(t)$  ( $k=a, b, c$ ). Для решения этой задачи найдем решение системы дифференциальных уравнений (8.1) с учетом (8.2) и (8.3) в виде аналитических зависимостей искомых величин этой системы от функций напряжений питания, на основе которых и можно выбрать наиболее простые формы для  $u_k(t)$  ( $k=a, b, c$ ), обеспечивающие заданное качество переходных и установившихся режимов работы электропривода переменного тока. При этом отметим, что поиск указанных аналитических зависимостей в рамках системы уравнений (8.1) на практике дело очень трудное, так как структура системы (8.70) с учетом выражений (8.2) и (8.3) является структурой нелинейных и неоднородных дифференциальных уравнений с периодическими коэффициентами и, следовательно, эти зависимости могут быть получены лишь на пути приближенного решения поставленной ранее задачи управления.

Для достижения поставленной цели вначале перейдем от системы дифференциальных уравнений (8.1) с периодическими коэффициентами к системе дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами, приняв в качестве основной систему координат  $(d, q)$ , вращающуюся вместе с ротором двигателя переменного тока. Принимая, что периодические коэффициенты индуктивностей, входящие в соотношение (8.2), содержат лишь основные гармонические составляющие и вводя в рассмотрение новые неизвестные функции  $\psi_d$  и  $\psi_q$ , определяемые формулами:

$$\left. \begin{aligned} \psi_d &= \frac{2}{3}[\psi_a \cos \gamma + \psi_b \cos (\gamma - \rho) + \psi_c \cos (\gamma + \rho)]; \\ \psi_q &= -\frac{2}{3}[\psi_a \sin \gamma + \psi_b \sin (\gamma - \rho) + \psi_c \sin (\gamma + \rho)]; \\ \rho &= 2\pi/3, \end{aligned} \right\} \quad (8.4)$$

после элементарных преобразований получаем

$$\left. \begin{aligned} d\psi_d/dt + \mu_d \psi_d - \bar{\mu}_d \psi_{rd} - \omega \psi_q &= u_d; \\ d\psi_q/dt + \mu_q \psi_q - \bar{\mu}_q \psi_{rq} + \omega \psi_d &= u_q; \\ d\psi_{rd}/dt + \mu_{rd} \psi_{rd} - \bar{\mu}_{rd} \psi_d &= 0; \end{aligned} \right\} \quad (8.5)$$

$$\left. \begin{aligned} d\psi_{rq}/dt + \mu_{rq}\psi_{rq} - \bar{\mu}_{rq}\psi_q &= 0; \\ \frac{J}{p} d\omega/dt + M_{CT} &= M_{ал}; \\ d\gamma/dt &= \omega, \end{aligned} \right\}$$

где  $\mu_j, \bar{\mu}_j, \mu_{rj}, \bar{\mu}_{rj}$  ( $j=d, q$ ) — постоянные коэффициенты, определяемые параметрами основных гармонических составляющих в разложениях коэффициентов индуктивностей в ряду Фурье;  $u_d$  и  $u_q$  — преобразованные аналогично формулам (8.4) напряжения питания.

Проведем несколько преобразований, приводящих первые четыре уравнения системы (8.2) к одному дифференциальному уравнению четвертого порядка, причем в качестве неизвестной функции примем поочередно функции  $\psi_{rd}$  и  $\psi_{rq}$  в силу более медленного характера их изменения по сравнению с функциями  $\psi_d$  и  $\psi_q$ . В результате будем иметь

$$\begin{aligned} & \left( \frac{d^4}{dt^4} + \bar{X}_1 \frac{d^3}{dt^3} + \bar{X}_2 \frac{d^2}{dt^2} + \bar{X}_3 \frac{d}{dt} + \bar{X}_4 \right) \times \\ & \times \psi_{rd} = \bar{\mu}_{rd} \left( \frac{d^2 u_d}{dt^2} + \bar{X}_6 \frac{du_d}{dt} + X_7 u_d + \omega \frac{du_d}{dt} + \mu_{rq} \omega u_q \right) \dots \quad (8.6) \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned} & \left( \frac{d^4}{dt^4} + \bar{S}_1 \frac{d^3}{dt^3} + \bar{S}_2 \frac{d^2}{dt^2} + \bar{S}_3 \frac{d}{dt} + \bar{S}_4 \right) \psi_{rq} = \bar{\mu}_{rq} \times \\ & \times \left( \frac{d^2 u_q}{dt^2} + S_6 \frac{du_q}{dt} + S_7 u_q - \omega \frac{du_d}{dt} - \mu_{rd} \omega u_d \right), \dots \quad (8.7) \end{aligned}$$

где

$$\bar{X}_1 = \mu_{rd} + X_1;$$

$$\bar{X}_2 = X_1 \mu_{rd} - \mu_d \bar{\mu}_{rd} + X_2 + \omega^2;$$

$$\bar{X}_3 = \mu_{rd} (X_2 + \omega^2) - X_3 \bar{\mu}_{rd} + X_4 + \omega (d\omega/dt + \mu_{rq}\omega);$$

$$\bar{X}_4 = \mu_{rd} [X_4 + \omega (d\omega/dt + \mu_{rq}\omega)] - X_5 \mu_{rd};$$

$$S_1 = \mu_{rq} + S_1;$$

$$\bar{S}_2 = S_1 \mu_{rq} - \mu_q \bar{\mu}_{rq} + S_2 + \omega^2;$$

$$\bar{S}_3 = \mu_{rq} (S_2 + \omega^2) - S_3 \bar{\mu}_{rq} + S_4 + \omega (d\omega/dt + \mu_{rd}\omega);$$

$$\bar{S}_4 = \mu_{rq} [S_4 + \omega (d\omega/dt + \mu_{rd}\omega)] - S_5 \mu_{rq},$$

а

$$X_1 = \mu_d + \alpha_q + \frac{2}{v} \frac{dv}{dt};$$

$$X_2 = \mu_d \alpha_q + \alpha_{rq} + \frac{1}{v} (2\mu_d + \alpha_q) \frac{dv}{dt} + \frac{1}{v} \frac{d^2v}{dt^2};$$

$$X_3 = \tilde{\mu}_d \left( \alpha_q + \frac{2}{v} \frac{dv}{dt} \right);$$

$$X_4 = \mu_d \left( \alpha_{rq} + \alpha_q \frac{1}{v} \frac{dv}{dt} + \frac{1}{v} \frac{d^2v}{dt^2} \right);$$

$$X_5 = \tilde{\mu}_d \left( \alpha_{rq} + \alpha_q \frac{1}{v} \frac{dv}{dt} + \frac{1}{v} \frac{d^2v}{dt^2} \right);$$

$$X_6 = \alpha_q + \frac{2}{v} \frac{dv}{dt};$$

$$X_7 = \alpha_{rq} + \alpha_q \frac{1}{v} \frac{dv}{dt} + \frac{1}{v} \frac{d^2v}{dt^2};$$

$$S_1 = \mu_q + \alpha_d + \frac{2}{\tilde{v}} \frac{d\tilde{v}}{dt};$$

$$S_2 = \mu_q \alpha_d + \alpha_{rd} + \frac{1}{\tilde{v}} (2\mu_q + \alpha_d) \frac{d\tilde{v}}{dt} + \frac{1}{\tilde{v}} \frac{d^2\tilde{v}}{dt^2};$$

$$S_3 = \tilde{\mu}_q \left( \alpha_d + \frac{2}{\tilde{v}} \frac{d\tilde{v}}{dt} \right);$$

$$S_4 = \mu_q \left( \alpha_{rd} + \alpha_d \frac{1}{\tilde{v}} \frac{d\tilde{v}}{dt} + \frac{1}{\tilde{v}} \frac{d^2\tilde{v}}{dt^2} \right);$$

$$S_5 = \tilde{\mu}_q \left( \alpha_{rd} + \alpha_d \frac{1}{\tilde{v}} \frac{d\tilde{v}}{dt} + \frac{1}{\tilde{v}} \frac{d^2\tilde{v}}{dt^2} \right);$$

$$S_6 = \alpha_d + \frac{2}{\tilde{v}} \frac{d\tilde{v}}{dt};$$

$$S_7 = \alpha_{rd} + \alpha_d \frac{1}{\tilde{v}} \frac{d\tilde{v}}{dt} + \frac{1}{\tilde{v}} \frac{d^2\tilde{v}}{dt^2};$$

причем

$$\alpha_q = \mu_q + \mu_{rq};$$

$$\alpha_d = \mu_d + \mu_{rd};$$

$$\alpha_{rq} = \mu_q \mu_{rq} - \mu_q \mu_{rq};$$

$$\alpha_{rd} = \mu_d \mu_{rd} - \mu_d \mu_{rd};$$

$$\nu = \omega^{-1}; \quad \bar{\nu} = -\omega^{-1}.$$

Примем теперь, что характер поведения искомой функции  $\psi_{rd}(t)$  с достаточной полнотой описывается уравнением

$$d\psi_{rd}/dt + P_{rd}\psi_{rd} = f_{rd}, \quad (8.8)$$

где  $P_{rd} = \bar{X}_4/\bar{X}_3$ ;

$$f_{rd} = \frac{\bar{\mu}_{rd}}{\bar{X}_4} \left[ \frac{d^2 U_d}{dt^2} + X_6 \frac{dU_d}{dt} + X_7 U_d + \omega \left( \frac{dU_d}{dt} + \mu_{rq} U_q \right) \right],$$

а характер поведения искомой функции  $\psi_{rq}(t)$  уравнением

$$d\psi_{rq}/dt + P_{rq}\psi_{rq} = f_{rq}, \quad (8.9)$$

где  $P_{rq} = \bar{S}_4/\bar{S}_3$ ,

$$f_{rq} = \frac{\bar{\mu}_{rq}}{\bar{S}_3} \left[ \frac{d^2 U_q}{dt^2} + S_6 \frac{dU_q}{dt} + S_7 U_q - \omega \left( \frac{dU_d}{dt} + \mu_{rd} U_d \right) \right].$$

Тогда решением уравнений (8.8) и (8.9) является функция

$$\psi_{rj}(t) = e^{-\int_{t_0}^t P_{rj} dt} \left( \psi_{rj}^{(0)} + \int_{t_0}^t f_{rj} e^{\int_{t_0}^t P_{rj} dt} dt \right);$$

$$j = d, q, \quad (8.10)$$

где  $\psi_{rj}^{(0)}$  ( $j = d, q$ ) есть начальные значения этих функций.

При этом в соответствии с формулами (8.6)

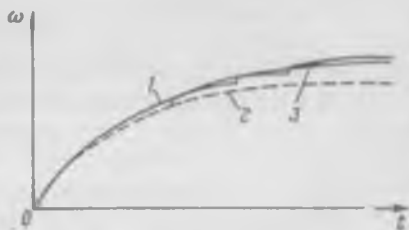
$$\psi_j(t) = \frac{1}{\mu_{rj}} (f_{rj} - Q_{rj} \psi_{rj}), \quad j = d, q, \quad (8.11)$$

где  $Q_{rj} = P_{rj} - \mu_{rj}$ ,  $j = d, q$ .

Таким образом, функции (8.10) и (8.11) определяют с достаточной полнотой решение системы дифференциальных уравне-

Рис. 8.13. Иллюстрация к законам изменения переменных при управлении с математическим сопровождением:

1 — заданное изменение  $\omega(t)$ ; 2 — приближенное изменение  $\omega(t)$ ; 3 — непрерывно уточняемое изменение  $\omega(t)$



ний (8.5) в виде аналитических зависимостей от функций напряжений питания и заданного закона изменения величины  $\omega(t)$  и  $\gamma(t)$ .

Подставляя, наконец, найденное приближенное решение системы (8.5) в формулу для электромагнитного момента

$$M_{эл}(t) = \frac{1.5p}{r} [\psi_d (\mu_q \psi_q - \mu_q \psi_{rq}) - \psi_q (\mu_d \psi_d - \mu_d \psi_{rd})], \quad (8.12)$$

получаем уравнение для определения вида функций  $u_j(t)$  ( $j = d, q$ ), обеспечивающих заданный закон управления электроприводом переменного тока. При этом поиск наиболее простых форм для этих функций может обеспечиваться в результате применения, например, метода последовательной минимизации невязок [26]. В результате решения уравнения (8.12) и оказывается решенной ранее поставленная задача о методике построения систем управления для электропривода переменного тока.

В заключение следует отметить, что полученный на основе уравнения (8.12) закон управления  $U_j(t)$  ( $j = d, q$ ) в силу приближенности формул (8.10) и (8.11) на больших интервалах времени может приводить к большим отклонениям от заданного закона изменения функции  $\omega(t)$ , как это показано на рис. 8.13. Для устранения этих отклонений необходимо в формулах (8.10) и (8.11) через определенные интервалы времени переопределить начальные условия, получаемые на основе численного интегрирования исходной системы дифференциальных уравнений (8.1), в которой в качестве функций напряжений питания принимают именно функции  $U_j(t)$  ( $j = d, q$ ), получаемые в результате использования формул (8.10)—(8.12).

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

### § 9.1. ЗАДАЧИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДСИСТЕМЫ ВЫБОРА ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В ПРОЕКТИРОВАНИИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Анализ ручных операций технологического оборудования и зон обслуживания в текстильной и легкой промышленности выявляет многообразие требований по числу степеней подвижности, грузоподъемности, точности позиционирования, вертикальным и горизонтальным перемещениями звеньев манипуляторов и другим характеристикам, предъявляемым к ПР, выполняющим основные и вспомогательные операции.

Работы ПР первого поколения начинают применяться на предприятиях текстильной и легкой промышленности. При этом задача проектирования РТС сводится к выбору подходящего по характеристикам серийно выпускаемого робота, разработке компоновки робототехнической системы, загрузочно-ориентирующих устройств и системы управления комплексом. Часто решение задачи проектирования приводит к необходимости реорганизации технологического процесса.

Подход, ориентированный на использование серийных роботов, учитывает особенность роботостроения сегодняшнего дня, направленного на создание унифицированного ряда промышленных роботов с постоянной кинематической структурой и унифицированной системой управления. Однако наличие, с одной стороны, широкого круга специализированных требований отрасли, а с другой, практически отсутствие все же достаточно широкого спектра ПР заставляет по-новому взглянуть на постановку задачи создания РТС для текстильной и легкой промышленности. Разработка и внедрение гибких автоматизированных производств в машиностроительных отраслях в приборостроении облегчает создание конкретных РТС для немашиностроительных отраслей, удовлетворяющих всем заданным требованиям. При этом отпадает необходимость создания заранее разновидностей ПР, способных удовлетворить всему возможному в производстве разнообразию конкретных необходимых характеристик. Становится возможной разработка модульных ПР для конкретных операций и мест производства с учетом достигнутого научно-технического уровня в роботостроении.

Основными задачами при решении указанных проблем являются:

развитие существующих и поиск новых принципов построения РТС для текстильной и легкой промышленности, в том чис-

ле захватных и грузозачерпывающих устройств. В качестве примера можно привести РТС для перекладки твердых кож (чепраков) в кожевенном производстве, а также РТС для транспортировки рулонов ткани в швейном производстве;

разработка и создание конструктивных модулей манипуляторов (на базе электромеханических, пневматических и гидравлических приводов), позволяющих компоновать различные кинематические структуры, удовлетворяющие конструктивным, технологическим и экономическим требованиям, и удобные для учета специфических условий и целей каждого технологического места. Наличие реализаций и информации по модулям открывает, с другой стороны, дополнительные возможности по решению первой из рассмотренных задач — задачи развития и формирования новых принципов в построении РТС;

разработка модульного программного обеспечения для управления отдельными модулями и ПР, построенного на базе модулей, в реальном масштабе времени.

Решение перечисленных задач создает основу для разработки подсистемы выбора основных характеристик РТС, отличающейся возможностью постоянного расширения по охвату типов робототехнических систем и учету предъявляемых к ним требований. В ходе использования подсистемы необходимо широко использовать процедуру оптимизации и, безусловно желательно, применять многокритериальную оптимизацию, позволяющую на каждом шаге в одинаковой степени приблизиться к желательным значениям критериев (показателей качества) РТС.

Вместе с тем оптимизационные процессы могут использоваться и непосредственно в вычислительных процедурах. Для пояснений рассмотрим подсистему выбора основных кинематических характеристик ПР. Пусть указана траектория, по которой должен перемещаться схват манипулятора. Определена структура манипуляторов. Требуется решить задачу синтеза для каждой точки траектории и указать для всех этих точек углы взаимного положения звеньев манипулятора. Задача может быть представлена как дискретная и решается для набора заранее выбранных точек, причем для каждой точки самостоятельно. Для этой цели могут быть использованы имеющиеся алгоритмы. При этом для каждой точки схвата углы, характеризующие положение звеньев, сначала задаются приближенно. Поэтому они не обеспечивают положение схвата точно в заданной точке, а с некоторой невязкой. Последняя устраняется изменением (подбором) углов в процессе как раз оптимизационных процедур. Опуская известные трудности решения задачи синтеза, имея в виду хотя бы ее неоднозначность, заметим, что в практике проектирования она может быть даже усложнена рядом требований. Например, может быть выдвинуто требование желательной длины отдельных звеньев проектируемого манипулятора, требование плавного из-

траектории и др. Для характеристик плавности, как и во всех других случаях, могут быть указаны желательные значения соответствующих показателей.

Таким образом, действительно широкое распространение многокритериальной оптимизации является одним из основных резервов создания эффективной системы автоматизации проектирования РТС, позволяющей обеспечить выполнение разнообразных требований, предъявляемых к ним.

Рассмотренная комплексная постановка задачи проектирования требует фундаментальной информационной базы, в которой должны храниться данные по кинематическим структурам манипуляторов, конструктивным характеристикам элементов модулей, захватным и загрузочно-ориентирующим устройством характеристикам системы управления, технико-экономическим данным и т. д.

Развитие современной вычислительной техники дает основание рассчитывать на возможность построения такого или подобного характера баз данных и хранить в них такую информацию.

В полном объеме задачу создания баз данных по характеристикам РТС можно было бы считать решенной, если будет создана база данных РТС, все характеристики которой удовлетворят требуемым всем составным частям системы — по манипуляторам, характеристикам захватных и загрузочно-ориентирующих устройств, а также характеристикам системы управления.

Разработка базы данных, содержащей такие сведения о ПР, дополнительных элементах и системе управления, связана с необходимостью предварительного анализа и последующего расчета оптимальных параметров манипулятора, элементов дополнительной оснастки и системы управления. Эти характеристики представляются в виде функциональных зависимостей, отражающих информацию о параметрах известных и проектируемых промышленных роботов. Создание баз данных потребует принятия мер к сжатию информации. Так, траектории движения схвата могут быть представлены суммой скользящих низкостепенных полиномов многих переменных. Соответственно этому при решении конкретной задачи, траектория, которую должен реализовать манипулятор, аппроксимируется набором скользящих полиномов низких степеней и для отыскания в банке данных сведений об РТ с требуемыми характеристиками используются коэффициенты этих полиномов.

В решении задачи автоматизации проектирования РТС может возникнуть и еще одна особенность создания в полном объеме базы данных: можно натолкнуться на существующие сравнительно ограниченные возможности памяти современных вычислительных машин. Тогда может оказаться целесообразным только часть данных по РТС, которым они должны удовлетворить, представлять в памяти машины, а остальные данные получать каждый раз путем оптимизационных и других расчетов

для конкретных рассматриваемых систем по имеющимся в машине алгоритмам.

Вместе с тем желательно сокращение необходимого времени счета на выполнение указанных расчетов. Для этого в памяти машины могут храниться характеристики базовых вариантов РТС, которые будут давать исходные данные для выполнения окончательных поисков и тем самым обеспечивать дополнительное сокращение времени проектирования. Так, в приведенном выше примере по задаче кинематики базовым может быть некоторый вариант РТС, наиболее близкий по выполнению требований к проектируемому, в том числе по длинам звеньев и по законам изменения углов между звеньями. При формировании баз данных по базовым вариантам должны также использоваться методы сжатия информации.

## **§ 9.2. ПРЯМАЯ И ОБРАТНАЯ ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ИНФОРМАЦИОННОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ВЫБОРА ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РТС**

При решении задач кинематики манипуляционных систем предполагаются известными кинематическая структура манипулятора и ориентировочные размеры звеньев манипулятора, определяемые техническим заданием либо требуемой зоной обслуживания. При этом характерными являются прямая и обратная кинематика. Решение прямой кинематической задачи в большинстве случаев сводится к определению обобщенных координат, линейных и угловых скоростей и ускорений захватного органа и звеньев манипулятора для заданных сочетаний значений относительных перемещений в кинематических парах при постоянных длинах звеньев и постоянных значениях других конструктивных параметров манипулятора. В качестве обобщенных координат обычно выбираются координаты, определяющие относительные перемещения соседних звеньев. В прямой задаче кинематики параметры таким образом выбранных обобщенных координат манипулятора ( $M$ )  $q_1, q_2, \dots, q_n$  (где  $n$  — число звеньев манипулятора) определяются для получения положения схвата и звеньев манипулятора или нахождения положения в дискретных точках при цикловом управлении. Они могут устанавливаться в виде непрерывных функций времени  $q_1(t), q_2(t), \dots, q_n(t)$  (при контурном управлении). В результате решения задачи определяются для фиксированных относительных перемещений отдельных звеньев  $M$  фиксированные значения  $X$  положения схвата, для последовательности дискретных положений обобщенных координат — последовательность дискретных положений  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_i$  полюса схвата (где  $i$  — число фиксированных точек). Частными случаями решения прямой задачи является нахождение зоны обслуживания манипулятора, т. е.

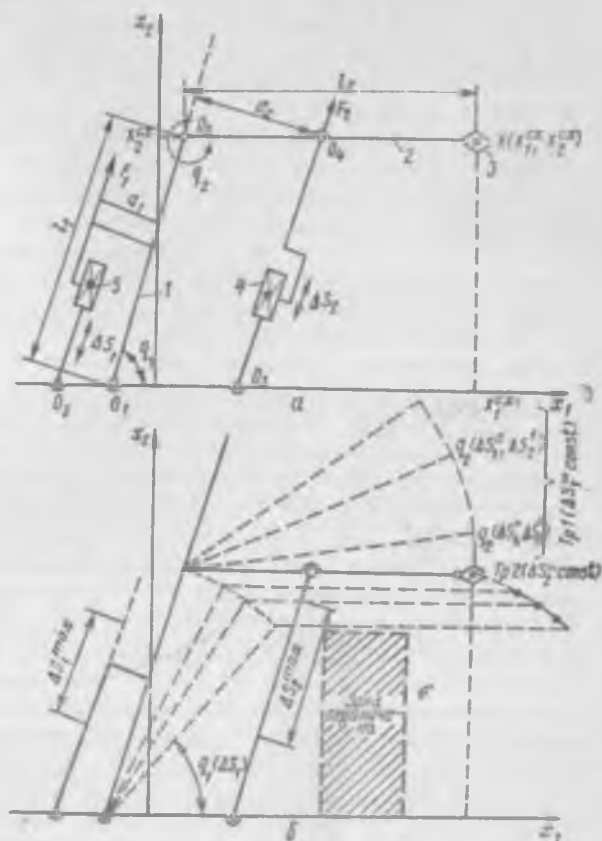
определение области пространства, в котором может находиться полюс схвата при всех сочетаниях значений обобщенных координат  $q_i$  от  $q_{i\min}$  до  $q_{i\max}$ . Здесь же следует особо выделить задачу расчета точности позиционирования схвата, т. е. расчет погрешностей отработки привода манипулятора возникающих ошибок при относительных перемещениях звеньев вследствие податливости узлов привода манипулятора, упругости звеньев манипулятора, ошибок отработки управляющего сигнала в системе управления и т. д.

Обратная задача кинематики сводится к определению относительных перемещении в кинематических парах (обобщенных координат манипулятора  $q_1, q_2, \dots, q_n$ ) по заданным значениям положения и ориентации схвата манипулятора  $X_1, X_2, \dots, X_n$ . Особенностью задачи является в большинстве случаев отсутствие однозначного решения, т. е. одному и тому же положению схвата может соответствовать несколько конфигураций кинематической структуры. При решении обратной задачи кинематики используются численные методы оптимизации.

Варианты решения задачи отличающимися условиями: на обобщенные координаты  $q_1, q_2, \dots, q_n$  не наложены никакие ограничения; обобщенные координаты должны удовлетворять ограничениям вида  $q_i^{\min} < q_i < q_i^{\max}$ . Любые варианты решения связаны с решением задачи математического программирования, что обусловлено известными трудностями вычислительного характера.

Таким образом, существующие методы решения прямой и обратной задач кинематики ориентированы на использование универсальных вычислительных алгоритмов с выходом на технологию программирования на уровне «пакетного» подхода. Однако такой подход, как было указано, связан со значительными вычислительными затратами и соответственно с большим временем расчета кинематических параметров. Кроме того, структурная организация существующих пакетов программ решения кинематических задач затрудняет организацию диалоговой системы автоматизации проектирования ПР, особенно для пользователей — проектировщиков и конструкторов конкретных робототехнических комплексов в текстильной и легкой промышленности. В диалоговой системе вовсе не обязательно рассматривать процесс решения как строго упорядоченную последовательность шагов вычислений, как это предполагается в существующих системах. Процесс решения задач в диалоговых системах представляется как распараллеленное решение прямой и обратной задач кинематики. Параллельность означает не одновременность выполнения операции по решению одной задачи, а то, что, занимаясь прямой задачей кинематики, проектировщик может временно отвлечься на решение обратной задачи, затем вернуться к прямой, возобновить обратную задачу и т. д. Таким образом можно подобрать требуемый вариант решения задачи.

**Рис. 9.1.** Кинематическая структура манипулятора ПР обувного производства



При этом возрастает роль методов и способов решения прямой и обратной задач, позволяющих наглядно представить ход их решения и использовать технические средства машинной графики, а также роль информационного обеспечения САПР.

Рассмотрим подход к решению прямой и обратной задач кинематики, позволяющий в процессе их решения учитывать не только взаимосвязь кинематических и конструктивных параметров манипуляторов, резко сократить время счета при решении задач, но и более полно использовать технические средства машинной графики.

На рис. 9.1,а представлен манипулятор ПР, используемого для операций на транспортных переходах обувного производства. Кинематическая структура манипулятора представляет собой двухзвенник, причем звено 1 и звено 2 шарнирно соединены между собой. На конце звена 2 установлен схват 3. Координаты полюса схвата 3 в неподвижной системе координат  $X_1X_2$  определяются точкой  $(X^{cx}_1, X^{cx}_2)$ . Длина звена 1 равна  $l_1$ , длина звена 2 равна  $l_2$ . Угловое перемещение звена 1 относительно шар-

нира  $O_1$  определяется углом  $q_1$ . Угол поворота звена 2 относительно звена 1 определяется углом  $q_2$ . Угловое перемещение звена 1 осуществляется с помощью привода 5 с поступательным движением рабочего органа. Момент вращения, действующего на звено 1, определяется силой  $F_1$ , развиваемой приводом, и плечом  $a_1$ . Корпус привода закреплен в шарнире  $O_5$ . Угловое движение звена 2 осуществляется с помощью привода 4 также с поступательным движением рабочего органа и действующего на звено 2 с силой  $F_2$ . Корпус привода 4 и конец подвижной части (рабочего органа) закреплен в шарнирах  $O_3$  и  $O_4$  соответственно. Вращающий момент на звено 2 определяется силой  $F_2$  и плечом с линейным размером, равным  $a_2$ .

Изменение положения полюса схвата ( $X^{cx_1}$ ,  $X^{cx_2}$ ) достигается путем изменения углового положения  $q_1$ ,  $q_2$  звеньев 1 и 2. В свою очередь изменение углового положения  $q_1$ ,  $q_2$  звеньев 1 и 2 определяется перемещениями  $\Delta S_1$  и  $\Delta S_2$  рабочих органов приводов 4 и 5 соответственно. ( $\Delta S_1^{\max}$  и  $\Delta S_2^{\max}$  — максимальные значения величины выдвижения рабочего органа приводов.) На рис. 9.1, б показан ограниченный набор положений звеньев манипулятора при различных перемещениях рабочего органа  $\Delta S_1$  и  $\Delta S_2$ . Траектория  $Tr1$  перемещения полюса схвата сформирована при  $\Delta S_1 = \text{const}$ ,  $\Delta S_2 = \text{var}$ . Траектория  $Tr2$  реализована при  $\Delta S_1 = \text{var}$ ,  $\Delta S_2 = \text{const}$ . Таким образом, определяющими параметрами, формирующими положение точек полюса схвата  $X_1$ ,  $X_2$  являются перемещения  $\Delta S_1$ ,  $\Delta S_2$  рабочих органов приводов 4 и 5 манипулятора. Угловые положения  $q_1$  и  $q_2$  звеньев 1 и 2 — промежуточные кинематические параметры, интересующие нас лишь с точки зрения ограничений, накладываемых на них конструкцией шарниров и препятствиями, находящимися в зоне действия манипулятора (заштрихованная область).

Предлагаемый информационно-поисковый метод решения прямой задачи кинематики в отличие от известных имеет следующие особенности:

1) в качестве обобщенных координат выбираются не координаты  $q_1$ ,  $q_2$ , определяющие относительное перемещение звеньев, а перемещение  $\Delta S_1$  и  $\Delta S_2$  рабочих органов приводов 4 и 5;

2) в известных методах решения задачи на каждом этапе проектирования манипулятора (эскизный проект, технический проект, испытание опытного образца, отработка промышленного образца) решение прямой задачи осуществляется с использованием сложных вычислений, требующих затрат машинного времени и сдерживающих время проектирования. В предлагаемом методе такой расчет ведется только на начальном этапе проектирования. Полученные результаты заносятся в базу данных информационного обеспечения САПР. На последующих этапах проектирования решение прямой задачи сводится к нахождению в базе данных значений кинематических и конструктивных параметров, удовлетворяющих требованиям проектировщика. Форма

организации информации в базе данных (на основе интерполяционных полиномов) позволяет широко использовать технические средства машинной графики при проектировании манипуляторов для текстильной и легкой промышленности;

3) при решении прямой задачи предлагаемым методом положение схвата может отыскиваться не только по заданным перемещениям  $\Delta S_1$  и  $\Delta S_2$  рабочих органов привода, не только по относительным перемещениям  $q_1$  и  $q_2$  в кинематических парах, но и при изменении конструктивных параметров манипулятора (например, длин  $l_1$  и  $l_2$  его звеньев 1 и 2).

Алгоритм информационно-поискового метода решения многопараметрической прямой задачи кинематики сводится к следующим шагам.

**Шаг 1.** Задается диапазон изменения значения перемещений рабочего органа приводов  $0 < \Delta S_1 < \Delta S_1^{\max}$  и  $0 < \Delta S_2 < \Delta S_2^{\max}$ . С целью простоты изложения в рассматриваемом случае  $l_1$  и  $l_2$  — постоянные величины. В общей постановке задачи задается диапазон изменения  $\Delta l_1^{\min} < \Delta l_1 < \Delta l_1^{\max}$  и  $\Delta l_2^{\min} < \Delta l_2 < \Delta l_2^{\max}$ . Формируются ограничения на диапазон изменения угловых перемещений  $q_1$  и  $q_2$ , определяемых конструкцией манипулятора и наличием ограничений в зоне обслуживания (см. рис. 9.1, б) ( $q_1^{\min} < q_1 < q_1^{\max}$ ).

**Шаг 2.** Задается шаг перемещения  $\Delta S_1 = \Delta S_2 = \Delta S_i$  рабочих органов приводов 4 и 5 манипулятора с шагом  $\Delta S_1$ , строится равномерная сетка в плоскости  $\Delta S_1 \Delta S_2$  (рис. 9.2) в диапазоне изменения  $0 < \Delta S_1 < \Delta S_1^{\max}$ ,  $0 < \Delta S_2 < \Delta S_2^{\max}$ . При этом множество узлов сетки представляет собой сочетание двух параметров:  $\Delta S'_i$  и  $\Delta S'_j$  ( $i$  — текущий шаг по параметру  $\Delta S_1$ ,  $j$  — текущий шаг по параметру  $\Delta S_2$ ).

**Шаг 3.** Для всех сочетаний перемещений  $\Delta S'_i$  и  $\Delta S'_j$  рабочих органов приводов 4 и 5 рассчитываются значения  $q_1 = f(\Delta S'_i, \Delta S'_j)$  и  $q_2 = f(\Delta S'_i, \Delta S'_j)$ . При этом получаем численный массив параметра  $q_1 \{q_1(\Delta S'_1), q_1(\Delta S'_2), q_1(\Delta S'_3), \dots, q_1(\Delta S'_i), q_1(\Delta S'_j), q_1(\Delta S'_{j+1}), \dots, q_1(\Delta S'_1), q_1(\Delta S'_2), \dots, q_1(\Delta S'_i), q_1(\Delta S'_j), q_1(\Delta S'_{j+1}), \dots, q_1(\Delta S'_1), q_1(\Delta S'_2), \dots, q_1(\Delta S'_i), q_1(\Delta S'_j)\}$  и параметра  $q_2 \{q_2(\Delta S'_1), q_2(\Delta S'_2), \dots, q_2(\Delta S'_i), q_2(\Delta S'_j), q_2(\Delta S'_{j+1}), \dots, q_2(\Delta S'_1), q_2(\Delta S'_2), \dots, q_2(\Delta S'_i), q_2(\Delta S'_j)\}$ .

На рис. 9.2 представлена геометрическая интерпретация указанных действий. Выделена часть точек 1—6 из полученного численного массива. Следует отметить, что равномерной сетке, построенной на множестве  $\{\Delta S'_i, \Delta S'_j\}$  соответствует неравномерная сетка на множестве  $\{q_1, q_2\}$ , т. е. точки (например, 1—6) располагаются произвольно.

**Шаг 4.** Используя информацию о численном значении параметров  $q_1$  и  $q_2$  в дискретных точках, решается задача построения интерполирующей функции  $q_1(\Delta S_1, \Delta S_2)$  и  $q_2(\Delta S_1, \Delta S_2)$  на дискретном множестве точек. При этом в качестве интерполирующего полинома выбираются полиномы низких степеней.

**Шаг 5.** В базу данных информационного обеспечения САПР заносятся значения коэффициентов полиномов, полученных на шаге 4. Коэффициенты полиномов формируют вид и свойства полинома.

**Шаг 6.** Используя известные методы решения прямой задачи кинематики и численный массив значений параметра  $q_1 = f(\Delta S'_i, \Delta S'_j)$  и  $q_2 = f(\Delta S'_i, \Delta S'_j)$  (см. шаг 3), получаем численные значения положения  $X_1$  и  $X_2$  полюса схвата манипулятора (см. рис. 9.1, б).

**Шаг 7.** Используя информацию о численном значении параметров  $X_1 = f(q_1, q_2)$  и  $X_2 = f(q_1, q_2)$  в дискретных точках, решается задача построения интерполирующей функции  $X_1 = f(q_1, q_2)$  и  $X_2 = f(q_1, q_2)$  на дискретном множестве точек. При этом в качестве интерполирующего полинома выбираются полиномы низких степеней.

**Шаг 8.** В базу данных информационного обеспечения САПР заносятся значения коэффициентов полиномов, полученных на шаге 7.

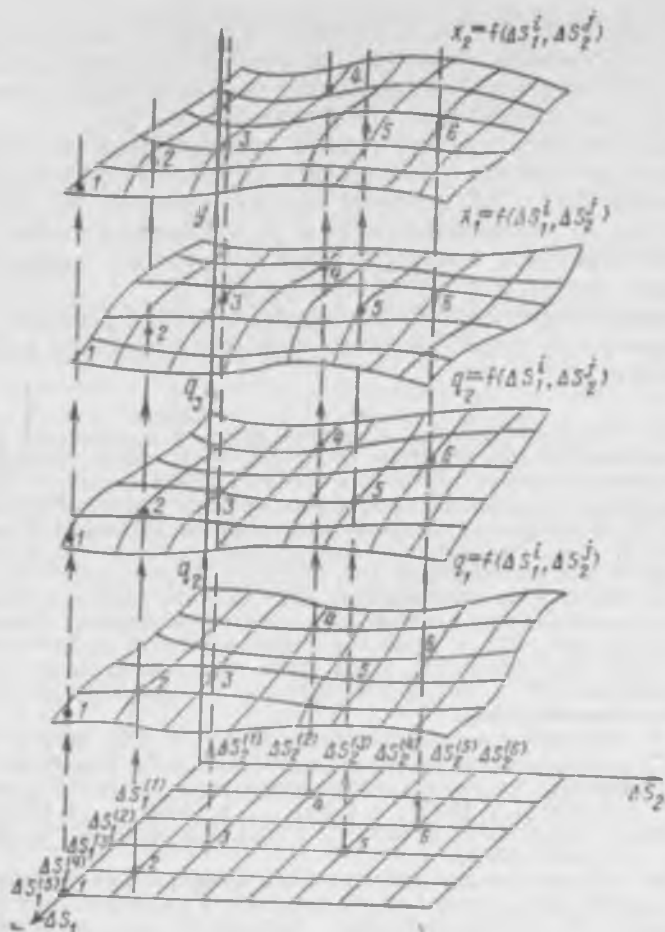


Рис. 9.2. Геометрическая интерпретация построения массива входных данных

На рис. 9.2 приведена геометрическая интерпретация информационно-поискового алгоритма решения многопараметрической прямой задачи кинематики.

Узлам равномерной сетки  $S$ , построенной с шагом  $\Delta S$ , соответствуют дискретные значения  $q_1, q_2, X_1, X_2$ . Например, точкам 5 ( $\Delta S_1^5, \Delta S_2^5$ ), 6 ( $\Delta S_1^6, \Delta S_2^6$ ), 7 ( $\Delta S_1^7, \Delta S_2^7$ ), 8 ( $\Delta S_1^8, \Delta S_2^8$ ), 9 ( $\Delta S_1^9, \Delta S_2^9$ ) соответствуют дискретные точки 5, 6 на множествах значений  $X_1$ . Эти множества интерполируются функциями  $X_1 = f(\Delta S_1, \Delta S_2, q_1, q_2)$ ,  $X_2 = f(\Delta S_1, \Delta S_2, q_1, q_2)$ ,  $q_1 = f(\Delta S_1, \Delta S_2)$ ,  $q_2 = f(\Delta S_1, \Delta S_2)$ , построенными на их известных значениях в конечном числе дискретных точек (например, 5, 6...). В качестве интерполирующих полиномов используются полиномы низких степеней, коэффициенты которых записываются и хранятся в базе данных информационного обеспечения САПР. Теперь, чтобы найти решение прямой задачи кинематики, достаточно задать за-

прос в базу данных, используя в качестве входного параметра  $\Delta S_1$ ,  $\Delta S_2$  или  $q_1$ ,  $q_2$ .

Аналогично, задаваясь значениями  $\Delta l_1$  и  $\Delta l_2$  и повторяя цикл шаг 1 — шаг 8, получим семейство интерполирующих полиномов  $X_1 = f(\Delta S_1, \Delta S_2, q_1, q_2, \Delta l_1, \Delta l_2)$ ;  $X_2 = (\Delta S_1, \Delta S_2, q_1, q_2, \Delta l_1, \Delta l_2)$ ;  $q_1 = f(\Delta S_1, \Delta S_2, \Delta l_1, \Delta l_2)$ ;  $q_2 = f(\Delta S_1, \Delta S_2, \Delta l_1, \Delta l_2)$ , коэффициенты которых также могут быть занесены в базу данных.

Обобщенные координаты  $q_i$  звеньев манипулятора могут быть заданы в виде набора дискретных положений. При этом соответственно определяется набор дискретных положений обобщенных координат схвата (или других звеньев манипулятора). Таким образом, прямую задачу кинематики можно рассматривать как задачу определения положения координат схвата в функции изменения значений обобщенных координат, которые в данном случае являются входными переменными. Дискретные значения рассматриваемых функций в зависимости от сочетания входных переменных хранятся в базе данных информационно-поисковой системы проектирования РТК и составляют базу данных решений прямой задачи кинематики для конкретных кинематических структур манипуляторов.

Вясним, каким образом информация, хранящаяся в базах данных решений прямой задачи кинематики, может быть использована для определения значений обобщенных координат  $q_i$  звеньев манипулятора в функции дискретных положений координат схвата, рассматривая последние как входные переменные (обратная задача кинематики манипуляторов).

Рассмотрим особенности формирования базовых данных прямой задачи кинематики, предназначенных для решения обратной. Определение дискретного набора значений координат положения схвата ( $x^{cx}$ ,  $y^{cx}$ ,  $z^{cx}$  — выходные данные) как функций изменения значений обобщенных координат  $q_i$  осуществляется в так называемых узловых точках, под которыми понимаются фиксированные точки, соответствующие следующим через шаг  $\Delta q_i$  значениям обобщенных координат  $q_i$  (входных переменных) и расположенные на осях этих переменных, или на пересечении линий, в которых задано значение функции.

Такое расположение узловых точек позволяет сформировать на каждой плоскости, образованной переменными, сетку узловых точек. Расстояние  $\Delta q_i$  между узловыми точками по оси входной переменной называется шагом сетки.

Значения функции в узловых точках (дискретные значения положений координат схвата) могут быть получены при экспериментальном или теоретическом решении прямой задачи. Геометрическая интерпретация построения массива входных данных (значений положений координат схвата) прямой задачи для случая двух обобщенных координат ( $q_1$ ,  $q_2$ ) и соответствующих им значений положений координат схвата ( $y^{cx}$ ,  $z^{cx}$ ) представлена на рис. 9.3. Значения обобщенных координат  $q_1^i$ ,  $q_2^j$  зада-

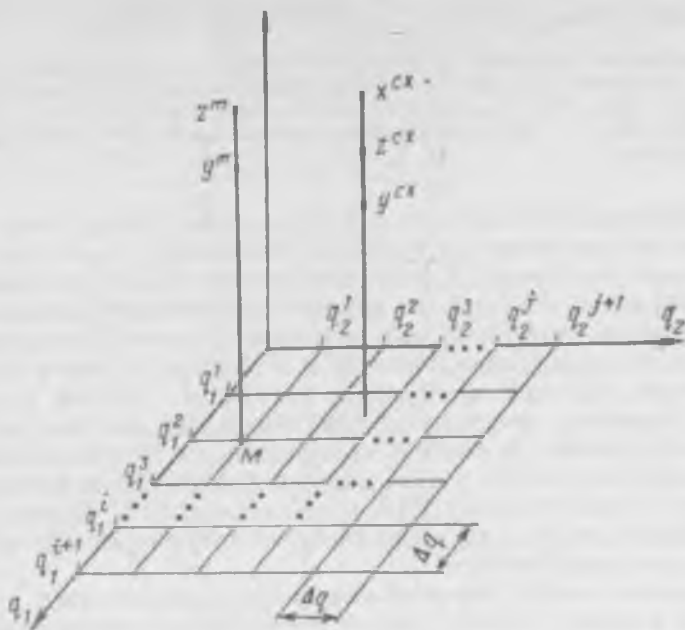


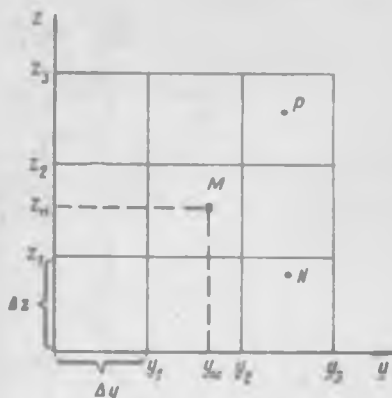
Рис. 9.3. Геометрическая интерпретация построения массива входных данных для двух обобщенных координат  $q_1, q_2$

ны в  $\{i, j\}$  узловых точках, образующих сетку узловых точек с равномерным шагом сетки  $\Delta q$ . Значению обобщенных координат  $q_1^i, q_2^j$  в узловой точке  $m$  соответствуют значения  $y^m, z^m$  координат полюса схвата. Это справедливо для всех узловых  $\{i, j\}$  точек сетки на множестве  $q_1^i, q_2^j$ . Выбор шага  $\Delta q$  при формировании сетки узловых точек определяется характером изменения входных переменных и методом интерполяции функций при определении их значений для межузловых сочетаний значений входных переменных.

Равномерная сетка аргументов (обобщенных координат  $q_1^i, q_2^j$ ) соответствует заданным значениям шага ( $\Delta q$ ). Для определения координат схвата ( $x^{cx}, y^{cx}, z^{cx}$ ) как функций входных переменных  $q_1^i, q_2^j$  (см. рис. 9.2), значения которых лежат вне узловых точек (так называемых межузловых), можно воспользоваться методом оперативной идентификации функций по линейным направлениям [см. § 7.2].

При построении информационно-поисковой системы проектирования манипуляционных систем задачу нахождения значений обобщенных координат  $q_1^i, q_2^j$  звеньев манипулятора в функции дискретных значений координат ( $x^{cx}, y^{cx}, z^{cx}$ ) схвата (обратная задача кинематики) желательно также свести к задаче идентификации функций (обобщенных координат  $q_1^i, q_2^j$ ), где аргумен-

Рис. 9.4. Расположение числовых данных (MNP) в прямой задаче кинематики для межузловых точек



тами (входными переменными) являются координаты положения схвата ( $x^{\text{сх}}, y^{\text{сх}}, z^{\text{сх}}$ ), и воспользоваться информацией, хранящейся в базах данных решений прямой задачи.

В самой задаче идентификации можно воспользоваться тем же методом оперативной идентификации функций по линейным направлениям [см. § 7.2]. При этом алгоритм решения обратной задачи сводится к следующему.

Для дискретного набора значений положений координат схвата ( $x^{\text{сх}}, y^{\text{сх}}, z^{\text{сх}}$ ), хранящегося в базе данных решений прямой задачи, формируется массив данных. При этом входными параметрами служат координаты  $x^{\text{сх}}, y^{\text{сх}}, z^{\text{сх}}$  положения схвата, а выходными — значения обобщенных координат  $q_1, q_2$ . Этот массив данных, который будет использоваться для решения обратной задачи, будем называть прямым массивом, имея в виду его «происхождение». Массиву соответствует рис. 9.4, на котором для координат  $z, y$  представлена и равномерная сетка значений координат  $z, y$  и на этой сетке числовые данные прямой задачи (точки M, N, P) располагаются в межузловых точках. В дальнейшем для упрощения описания индекс «сх» для  $x^{\text{сх}}, y^{\text{сх}}, z^{\text{сх}}$  опускаем.

Задаются приближенные значения функций (приближенные значения функций обобщенных координат  $q_i$ ), соответствующие узловым точкам сформированной равномерной сетки аргументов  $x, y, z$  (рис. 9.5). Значения функций в точках M, N, P ( $q^M_i, q^N_i, q^P_i$ ) и других  $k$ -х межузловых точках известны из решения прямой задачи и хранятся в прямом массиве данных (рис. 9.5). В дальнейшем решение обратной задачи сводится к уточнению значений приближенных функций  $q_i$ . Критерием уточнения является небольшая разница  $\Delta q_i = q^*_i - q^*_i$  для всех точек прямого массива. При этом  $q^*_i$  — значения координат  $q_i$  в  $k$ -х точках прямого массива, а  $q^*_i$  — значения координат, вычисленные на основе приближенных значений в узловых точках. Для определения координат  $q^*_i$  может быть использован, как уже говорилось, алгоритм оперативной идентификации функции по линейным направлениям.

Определение координат  $q^*_i$  в функции дискретного набора значений положений координат схвата  $x, y, z$ , заданных в узлах равномерной сетки известны из решения прямой задачи и хранятся в прямом массиве данных. Будем называть обратным массивом.

В методе оперативной идентификации функции по линейным направлениям используется полное описание функции по так называемым линейным направлениям, т. е. по направлениям, параллельным осям входных переменных (рис. 9.6, например, направления  $A_{11}, A_{21}, A_{31}; A_{12}, A_{22}, A_{32}; A_{13}, A_{23}, A_{33}$  вдоль оси  $y$ ,  $A_{11}, A_{12}, A_{13}, A_{21}, A_{22}, A_{23}, A_{31}, A_{32}, A_{33}$  вдоль оси  $z$  и др.). Исходными данными при описании функции являются численные значения

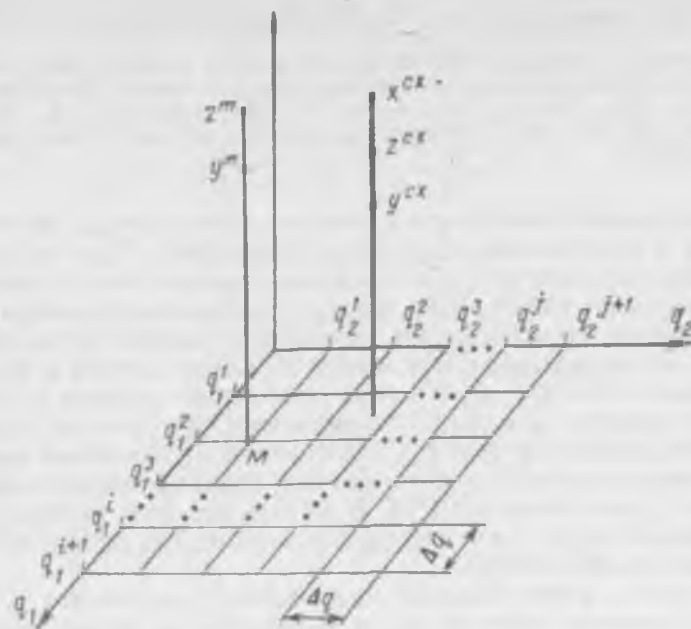


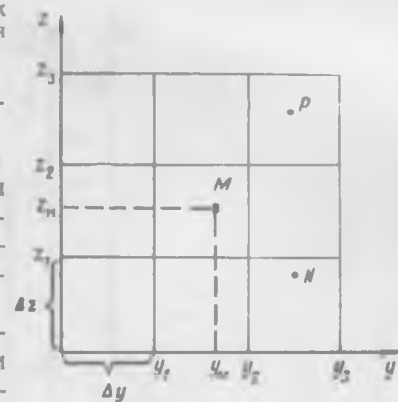
Рис. 9.3. Геометрическая интерпретация построения массива входных данных для двух обобщенных координат  $q_1, q_2$

ны в  $\{i, j\}$  узловых точках, образующих сетку узловых точек с равномерным шагом сетки  $\Delta q$ . Значению обобщенных координат  $q_1^i, q_2^j$  в узловой точке  $m$  соответствуют значения  $y^m, z^m$  координат полюса схвата. Это справедливо для всех узловых  $\{i, j\}$  точек сетки на множестве  $q_1^i, q_2^j$ . Выбор шага  $\Delta q$  при формировании сетки узловых точек определяется характером изменения входных переменных и методом интерполяции функций при определении их значений для межузловых сочетаний значений входных переменных.

Равномерная сетка аргументов (обобщенных координат  $q_1^i, q_2^j$ ) соответствует заданным значениям шага ( $\Delta q$ ). Для определения координат схвата ( $x^{cx}, y^{cx}, z^{cx}$ ) как функций входных переменных  $q_1^i, q_2^j$  (см. рис. 9.2), значения которых лежат вне узловых точек (так называемых межузловых), можно воспользоваться методом оперативной идентификации функций по линейным направлениям [см. § 7.2].

При построении информационно-поисковой системы проектирования манипуляционных систем задачу нахождения значений обобщенных координат  $q_1^i, q_2^j$  звеньев манипулятора в функции дискретных значений координат ( $x^{cx}, y^{cx}, z^{cx}$ ) схвата (обратная задача кинематики) желательно также свести к задаче идентификации функций (обобщенных координат  $q_1^i, q_2^j$ ), где аргумен-

Рис. 9.4. Расположение числовых данных ( $MNP$ ) в прямой задаче кинематики для межузловых точек



тами (входными переменными) являются координаты положения схвата ( $x^{cx}, y^{cx}, z^{cx}$ ), и воспользоваться информацией, хранящейся в базах данных решений прямой задачи.

В самой задаче идентификации можно воспользоваться тем же методом оперативной идентификации функций по линейным направлениям [см. § 7.2]. При этом алгоритм решения обратной задачи сводится к следующему.

Для дискретного набора значений положений координат схвата ( $x^{cx}, y^{cx}, z^{cx}$ ), хранящегося в базе данных решений прямой задачи, формируется массив данных. При этом входными параметрами служат координаты  $x^{cx}, y^{cx}, z^{cx}$  положения схвата, а выходными — значения обобщенных координат  $q_1, q_2$ . Этот массив данных, который будет использоваться для решения обратной задачи, будем называть прямым массивом, имея в виду его «происхождение». Массиву соответствует рис. 9.4, на котором для координат  $z, y$  представлена равномерная сетка значений координат  $z, y$  и на этой сетке числовые данные прямой задачи (точки  $M, N, P$ ) располагаются в межузловых точках. В дальнейшем для упрощения описания индекс «сх» для  $x^{cx}, y^{cx}, z^{cx}$  опускаем.

Задаются приближенные значения функций (приближенные значения функций обобщенных координат  $q_i$ ), соответствующие узловым точкам сформированной равномерной сетки аргументов  $x, y, z$  (рис. 9.5). Значения функций в точках  $M, N, P$  ( $q_1^M, q_2^M, q_1^P$ ) и других  $k$ -х межузловых точках известны из решения прямой задачи и хранятся в прямом массиве данных (рис. 9.5). В дальнейшем решение обратной задачи сводится к уточнению

значений приближенных функций  $q_i$ . Критерием уточнения является небольшая разница  $\Delta q_i^j = q_i^j - q_i^*$  для всех точек прямого массива. При этом  $q_i^*$  —

значения координат  $q_i$  в  $k$ -х точках прямого массива, а  $q_i^j$  — значения координат, вычисленные на основе приближенных значений в узловых точках. Для определения координат  $q_i^j$  может быть использован, как уже говорилось, алгоритм оперативной идентификации функции по линейным направлениям.

Определение координат  $q_i^j$  в функции дискретного набора значений положений координат схвата  $x, y, z$ , заданных в узлах равномерной сетки известны из решения прямой задачи и хранятся в прямом массиве данных. Будем называть обратным массивом.

В методе оперативной идентификации функции по линейным направлениям используется полиномиальное описание функции по так называемым линейным направлениям, т. е. по направлениям, параллельным осям входных переменных (рис. 9.6, например, направления  $A_{11}, A_{21}, A_{31}, A_{12}, A_{22}, A_{32}, A_{13}, A_{23}, A_{33}$  вдоль оси  $y$ ,  $A_{11}, A_{12}, A_{13}, A_{21}, A_{22}, A_{23}, A_{31}, A_{32}, A_{33}$  вдоль оси  $z$  и др.). Исходными данными при описании функции являются численные значения

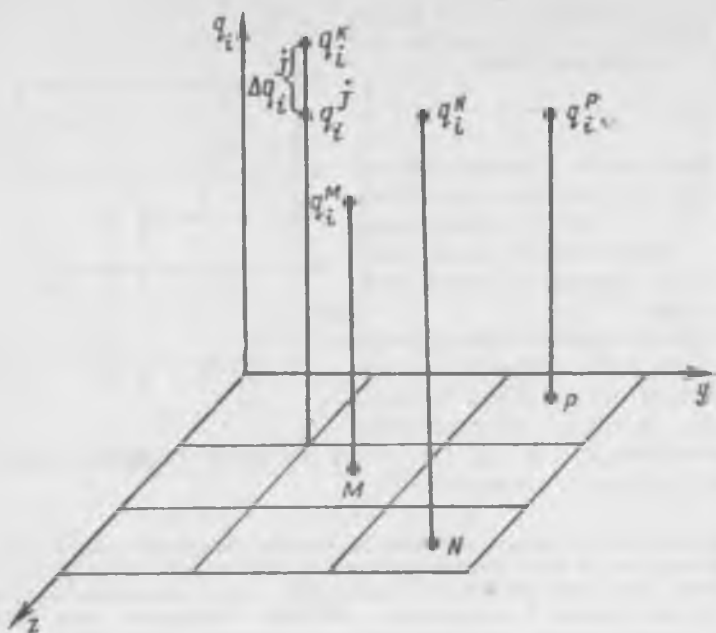


Рис. 9.5. Формирование приближенных значений функций обобщенных координат в узловых точках

соответствующих функций в трех узловых точках (например, в точках  $A_{11}$ ,  $A_{12}$ ,  $A_{13}$  вдоль оси  $z$  или  $A_{11}$ ,  $A_{21}$ ,  $A_{31}$  вдоль оси  $y$ ). В нашем случае численные значения функций  $q_i$  берутся из прямого массива, полученного в результате решения прямой задачи, т. е. рассматриваются значения  $q_i^P$ , лежащие в межузловых точках (соответствующих точке  $P$  на рис. 9.5). Значения функции  $q_i^{Amn}$ , лежащие в узловых точках  $A_{nm}$ , уточняются с использованием значений, взятых из прямого массива и с построением полиноминых описаний в трех промежуточных узловых точках (точки  $A_{P1}$ ,  $A_{P2}$ ,  $A_{P3}$  на рис. 9.6). Для описания по линейным направлениям могут быть использованы полиномы второго порядка и при этом получаются полиноминые описания одной переменной вдоль соответствующей оси.

Рассмотрим алгоритм оперативной идентификации функции по линейным направлениям для решения обратной задачи кинематики с использованием прямого массива для одной точки прямого массива (точка  $P$  на рис. 9.6).

*Этап 1.* Строится равномерная сетка значений на плоскости  $yz$ . Численные значения проекций  $y_P$ ,  $z_P$  известны из прямого массива. Известно также из решения прямой задачи значение функции  $q_i^P$ , соответствующее положению схвата в точке  $(y_P, z_P)$ . Требуется определить значения обобщенных координат  $q_i^{Amn}$ , соответствующие значениям координат  $y$ ,  $z$  в узловых точках  $A_{nm}$  (где  $n$  — число дискретных значений по оси  $y$ , а  $m$  — число дискретных точек по оси  $z$ ).

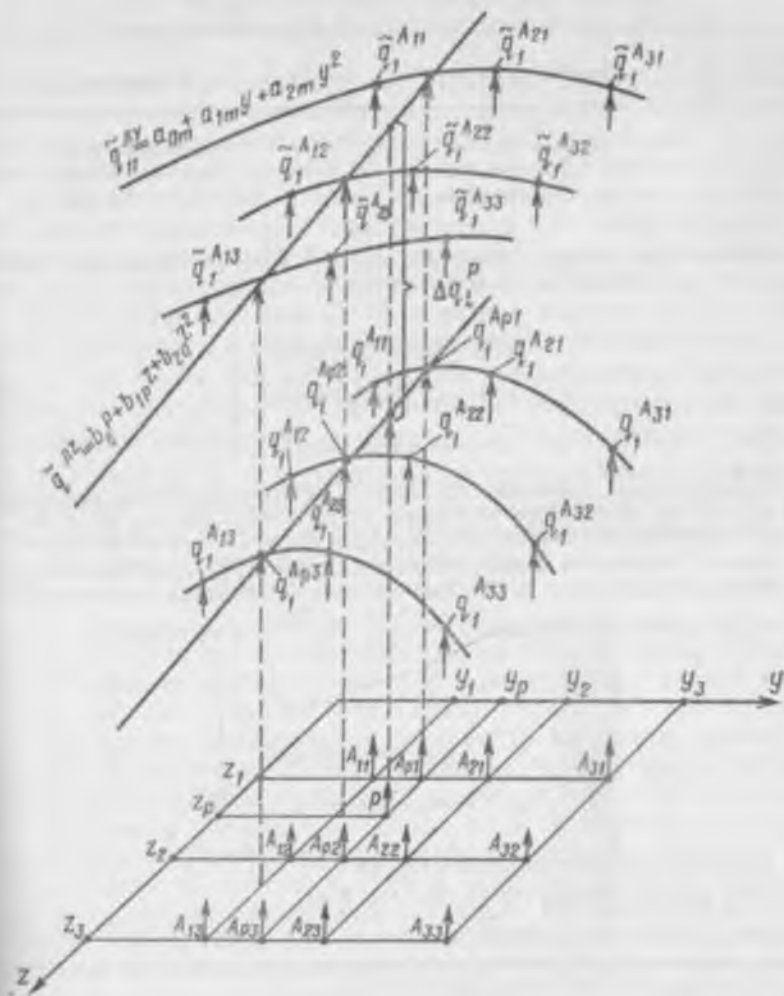


Рис. 9.6. Геометрическая интерпретация решения обратной задачи кинематики с использованием метода линейных направлений

Этап 2. Задаются приближенные значения  $q_i^{A_{ml}}$ . Для трех узловых точек  $A_{11}$ ,  $A_{21}$ ,  $A_{31}$  построим полиномиальное описание функции

$$\tilde{q}_i^{Av} = a_{0m} + a_{1m}y + a_{2m}y^2, \quad (9.1)$$

где индекс  $m$  показывает, что описание ведется при постоянном значении  $z_m$  второй входной переменной  $z$ .

Для трех значений координат  $z$  положения схвата ( $z = z_1$ ,  $z = z_2$ ,  $z = z_3$ ) представлены в табл. 9.1.

Таблица 9

| Значение $z_i$ | Линейные направления     | Функция $q_{zi}$               |
|----------------|--------------------------|--------------------------------|
| $z_1$          | $A_{11}, A_{21}, A_{31}$ | $a_{01} + a_{11}y + a_{21}y^2$ |
| $z_2$          | $A_{12}, A_{22}, A_{32}$ | $a_{02} + a_{12}y + a_{22}y^2$ |
| $z_3$          | $A_{13}, A_{23}, A_{33}$ | $a_{03} + a_{13}y + a_{23}y^2$ |

Этап 3. Для узловых точек  $A_{11}, A_{21}, A_{31}$  получим следующую систему уравнений для определения коэффициентов  $a_{01}, a_{11}, a_{21}$ :

$$\left. \begin{aligned} q_{11}^{A_{11}} &= a_{01} + a_{11}y_1 + a_{21}y_1^2; \\ q_{11}^{A_{21}} &= a_{01} + a_{11}y_2 + a_{21}y_2^2; \\ q_{11}^{A_{31}} &= a_{01} + a_{11}y_3 + a_{21}y_3^2. \end{aligned} \right\} \quad (9.2)$$

Решив систему уравнений (9.2), найдем численные значения коэффициентов  $a_{01}, a_{11}, a_{21}$ . Аналогично определим коэффициенты  $a_{02}, a_{12}, a_{22}$  и  $a_{03}, a_{13}, a_{23}$  для линейных направлений  $A_{12}, A_{22}, A_{32}$  и  $A_{13}, A_{23}, A_{33}$  соответственно.

Этап 4. Подставляя в полученные выражения (9.2) известные координаты входных переменных  $y_i$  из прямого массива получим соответствующие численному значению функции  $q_i^{A_{P1}}, q_i^{A_{P2}}, q_i^{A_{P3}}$  в этих точках:

$$\left. \begin{aligned} q_i^{A_{P1}} &= a_{01} + a_{11}y_{P1} + a_{21}y_{P1}^2; \\ q_i^{A_{P2}} &= a_{02} + a_{12}y_{P2} + a_{22}y_{P2}^2; \\ q_i^{A_{P3}} &= a_{03} + a_{13}y_{P3} + a_{23}y_{P3}^2. \end{aligned} \right\} \quad (9.3)$$

т.е. получаем численное значение функций  $q_i^{A_{P1}}, q_i^{A_{P2}}, q_i^{A_{P3}}$  в трех промежуточных узловых точках (точки  $A_{P1}, A_{P2}, A_{P3}$ ).

Этап 5. Используя значения функций  $q_i^{A_{P1}}$  в промежуточных точках, составим выражение для линейного направления вдоль оси  $z$ , проходящего через эти точки и соответственно через точку  $P$ :

$$q_i^{Pz} = b_{0P} + b_{1P}z + b_{2P}z^2, \quad (9.4)$$

где индекс « $P$ » показывает, что описание ведется при постоянном значении  $y_P$ .

Этап 6. Подставив в выражение (9.4) численное значение параметра  $z_P$  в точке  $P$ , получим приближенное значение функции  $q_i^{Pz}$  в точке  $P$ . Однако из прямого массива точное значение  $q_i^{Pz}$  в рассматриваемой точке известно и таким образом между значением  $q_i^{Pz}$  и  $q_i^{Pz}$  существует невязка

$$\Delta q_i^{Pz} = q_i^{Pz} - q_i^{Pz}. \quad (9.5)$$

Этап 7. Используя метод минимизации невязок и варьируя значениями  $q_i^{Pz}$ , добиваемся минимального значения  $\Delta q_i^{Pz}$ .

### § 9.3. МЕТОД ЗАДАНИЯ ФОРМЫ УСКОРЕНИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Рассмотрим методологию автоматизированного проектирования с указанием динамических характеристик ПР. Будем ориентироваться на использование математической модели ПР, в основе которой лежит допущение об абсолютной жесткости звеньев манипулятора. Кроме того, примем первоначально упрощенный вариант задания на проектирование ПР, когда в качестве требуемых ограничений будет выступать сравнительно небольшой набор показателей.

Методология строится на базе метода задания формы ускорения, являющегося разновидностью метода задания формы решения. Задаваясь формой ускорения  $q$  обобщенных координат звеньев манипулятора ПР, дальнейшим интегрированием получая значения обобщенных скоростей  $\dot{q}$ , и подстановкой полученных значений  $q, \dot{q}, \ddot{q}$  в систему дифференциальных уравнений, описывающей динамическую модель ПР, преобразуем эту систему в систему алгебраических уравнений, которую можно разрешить с использованием оптимизационных методов.

В качестве заданной формы решения используются такие формы изменения ускорений  $\ddot{q}_j$  звеньев манипулятора (где  $j = 1, 2, \dots, n$  — число обобщенных координат), которые обеспечивают плавность движения звеньев манипулятора и захватного устройства. Как известно, безударный переход из одного положения в другое механическая система (в частности, манипулятор ПР) будет осуществлять, например, при форме ускорений такого вида, который изображен на рис. 9.7. При этом на каждом временном интервале  $\Delta t_i = (t_{i+1} - t_i)$  изменение ускорения определяется соответствующим коэффициентом  $k_i$ . Выбором численных значений интервалов  $\Delta t_i$  и коэффициентов  $k_i$ , характеризующих скорость изменения ускорения при выбранной форме решения, могут быть обеспечены ограничения, накладываемые на скорость перемещения обобщенных координат, на другие кинематические и динамические параметры ПР, а также на мощности исполнительных механизмов манипулятора ПР и др.

Учитывая наличие нескольких степеней подвижности ПР, необходимо задавать форму ускорений  $\ddot{q}_1, \ddot{q}_2, \ddot{q}_3, \dots, \ddot{q}_j, \dots, \ddot{q}_n$  каждого звена манипулятора ПР. Следует отметить особенности выбора формы ускорений звеньев манипулятора при цикловом и контурном управлении (рис. 9.8). При цикловом управлении (рис. 9.8, а) временной участок отработки одного цикла ( $t_n$ ) разбивается на  $n$  этапов цикла ( $\Delta t_{nj}$ ), внутри каждого из которых осуществляется движение одного из звеньев ( $j$ -го) манипулятора и форма ускорений формируется для каждого из этих звеньев. В случае контурного управления формы ускорений задаются в общем случае для всех звеньев одновременно на всем

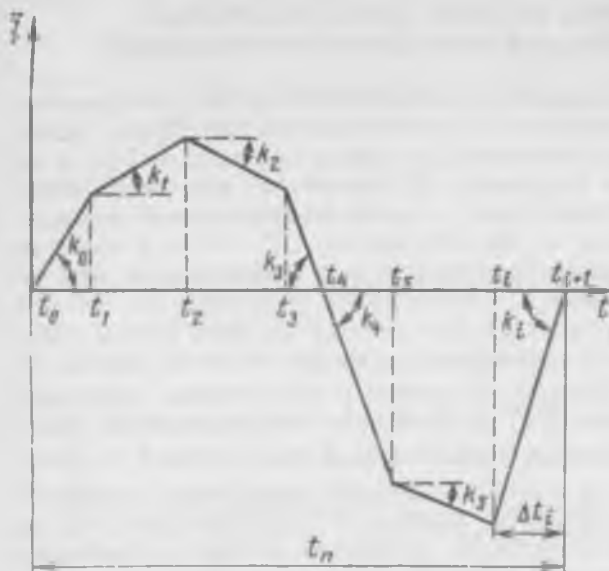


Рис. 9.7. Коэффициенты и временные интервалы, характеризующие форму изменения ускорений звеньев манипулятора ПР

интервале перехода захватного устройства из начальной в конечную точку (рис. 9.8, б). При этом осуществляется непрерывный контроль за значением положения рабочего органа (захватного устройства) и скоростью его перемещения.

Как видно из рис. 9.7, на каждом участке  $\Delta t_i$  изменение ускорения  $q$  обобщенной координаты манипулятора происходит по линейному закону. С целью обеспечения непрерывности ускорения  $q$  при переходе от  $i$ -й к  $i+1$ -й точке считаем, что ускорение  $q^{(K)}_i$  в конце  $i$ -го участка равно ускорению  $q^{(H)}_{i+1}$  в начале  $i+1$ -го участка.

Такая взаимосвязь позволяет получить в общем виде формулы расчета ускорений  $q$ , скоростей  $\dot{q}$  и перемещений для каждого  $i$ -го участка разбиения  $\Delta t_i$ .

Для описания в общем виде ускорений  $q$ , скоростей  $\dot{q}$  и величины перемещений  $q$  при переходе от  $i$ -й точки к  $i+1$ , рассмотрим характер изменения  $q$  на отдельно взятом участке  $\Delta t_i$  (рис. 9.9). На интервале  $\Delta t_i = t_{i+1} - t_i$  значение  $q$  меняется от  $q_i$  до  $q_{i+1}$ . Степень изменения  $q$  характеризуется коэффициентом  $K_i$ . В этом случае ускорение  $q^{(i)}$  в любое текущее время  $t$

$$q^{(i)}_{i+1} = q^{(K)}_i + K_i \Delta t_i, \quad (9.6)$$

где  $q_i$  — ускорение обобщенной координаты  $q$  манипулятора в конечной точке предыдущего ( $i$ -го) участка, которая равна (с учетом требования непрерывности изменения  $q$ ) начальному ускорению на текущем участке. Расчет

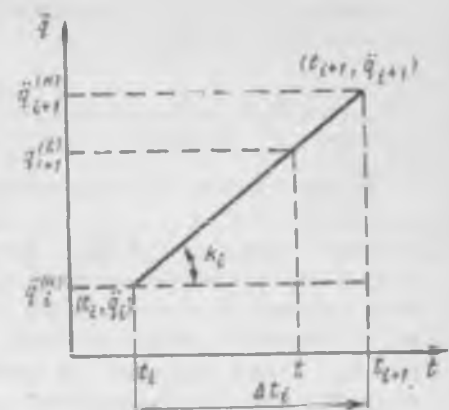
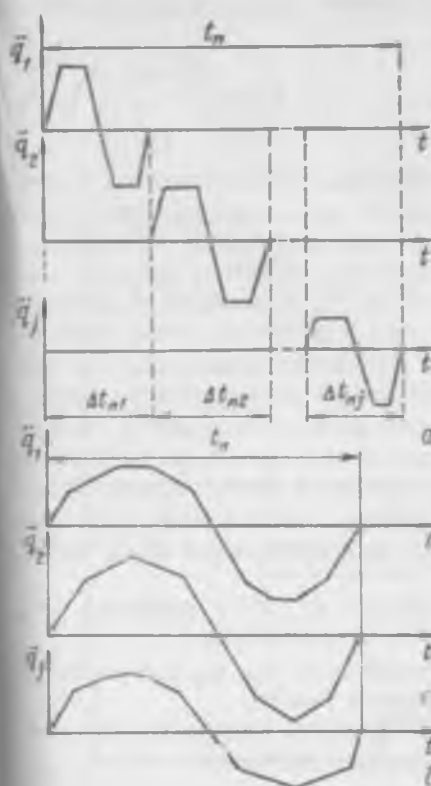


Рис. 9.9. Линейный характер изменения ускорения на отдельно взятом участке

Рис. 9.8. Выбор формы ускорений для  $j$  звеньев манипулятора

Таблица 9.2

|                          |                                                                              |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Начало $i+1$ -го участка | $\ddot{q}_{i+1}^{(H)} = \ddot{q}_i^{(K)}$                                    |
| На временном интервале   | $\ddot{q}_{i+1}^{(t)} = \ddot{q}_i^{(K)} + k_i \Delta t; \Delta t = t - t_i$ |
| Конец $i+1$ -го участка  | $\ddot{q}_{i+1}^{(K)} = \ddot{q}_i^{(K)} + k_i (t - t_i)$                    |

ные значения ускорений  $\ddot{q}_{i+1}^{(t)}$  в любой точке  $i+1$ -го участка представлены в табл. 9.2.

Значения ускорений в начальной точке движения  $\ddot{q}_0^{(K)}$  задают начальными условиями и используют при расчете ускорений на первом участке движения.

Зная общий вид уравнения (9.6), описывающего изменение ускорения  $\ddot{q}_{i+1}^{(t)}$  в любое текущее время  $t$ , можно получить вы-

ражение для расчета скорости изменения  $\dot{q}_{i+1}$  обобщенной координаты в точке  $i+1$ :

$$\dot{q}^{(i)}_{i+1} = \dot{q}^{(k)}_i + \int_{t_i}^t \ddot{q}^{(i)}_{i+1} dt = \dot{q}^{(k)}_i + \ddot{q}^{(k)}_i (t - t_i) + \frac{k_i (t - t_i)^2}{2}. \quad (9.7)$$

В том случае, если манипулятор имеет  $j$  обобщенных координат ( $j=1, 2, 3, \dots, n$ ), то задается форма ускорений  $\ddot{q}_j$  для каждого звена (рис.9.10). Время перехода полюса схвата из начальной в конечную точку траектории является единым для всех звеньев. Разбиение  $t_n$  на участки  $\Delta t_n$  изменения ускорений осуществляется индивидуально для каждой из форм ускорений  $q_n$ . Таким образом,  $i$ -й точке разбиения временного интервала  $\Delta t_n$  для  $j$ -й обобщенной координаты варьируемыми (неизвестными) параметрами формы изменения ускорений  $q_{ji}$  являются параметры  $k_{ji}$  и  $\Delta t_{ji}$ . Численное значение параметров  $k_{ji}$  и  $\Delta t_{ji}$  находят, используя оптимизационный метод задания формы ускорения  $q_{ji}$  обобщенных координат звеньев манипулятора.

В качестве начальных данных рассматриваются следующие условия:

значения координат в начальной  $\{x^n, y^n, z^n\}$  и конечной  $\{x^k, y^k, z^k\}$  точках траектории движения полюса схвата.

2. Значения кинематических параметров  $q_{j0}, \dot{q}_{j0}$  для начальной точки траектории движения полюса схвата.

Обычно такими численными значениями начальных ускорений  $q_{j0}$  и скоростей  $\dot{q}_{j0}$  являются нулевые значения:

$$\ddot{q}_{j0} = 0; \quad \dot{q}_{j0} = 0,$$

где  $j$  — число обобщенных координат звеньев манипулятора;  $i$  — число точек разбиения временной оси, выступающей в качестве оси абсцисс при построении формы ускорений  $q_{ji}$ .

В качестве начальных данных следует использовать значения координат  $q_{ji}$  в начальной  $q_{j0}$  и конечной  $q_{ji}$  точках.

Расчетные значения скоростей  $\dot{q}^{(i)}_{i+1}$  обобщенных координат звеньев манипулятора для любой точки  $i+1$ -го участка временного интервала  $t_n$  движения звеньев представлены в табл. 9.3.

Аналогичные формулы могут быть представлены и для расчета значения обобщенной координаты  $q^{(i)}_{i+1}$  в любой точке  $i+1$ -го участка:

$$\begin{aligned} q^{(i)}_{i+1} = q^{(k)}_i + \int_{t_i}^t \dot{q}^{(i)}_{i+1} dt = q^{(k)}_i + \dot{q}^{(k)}_i \Delta t + \\ + \frac{\ddot{q}^{(k)}_i (\Delta t)^2}{2} + \frac{k_i (\Delta t)^3}{6}. \end{aligned}$$

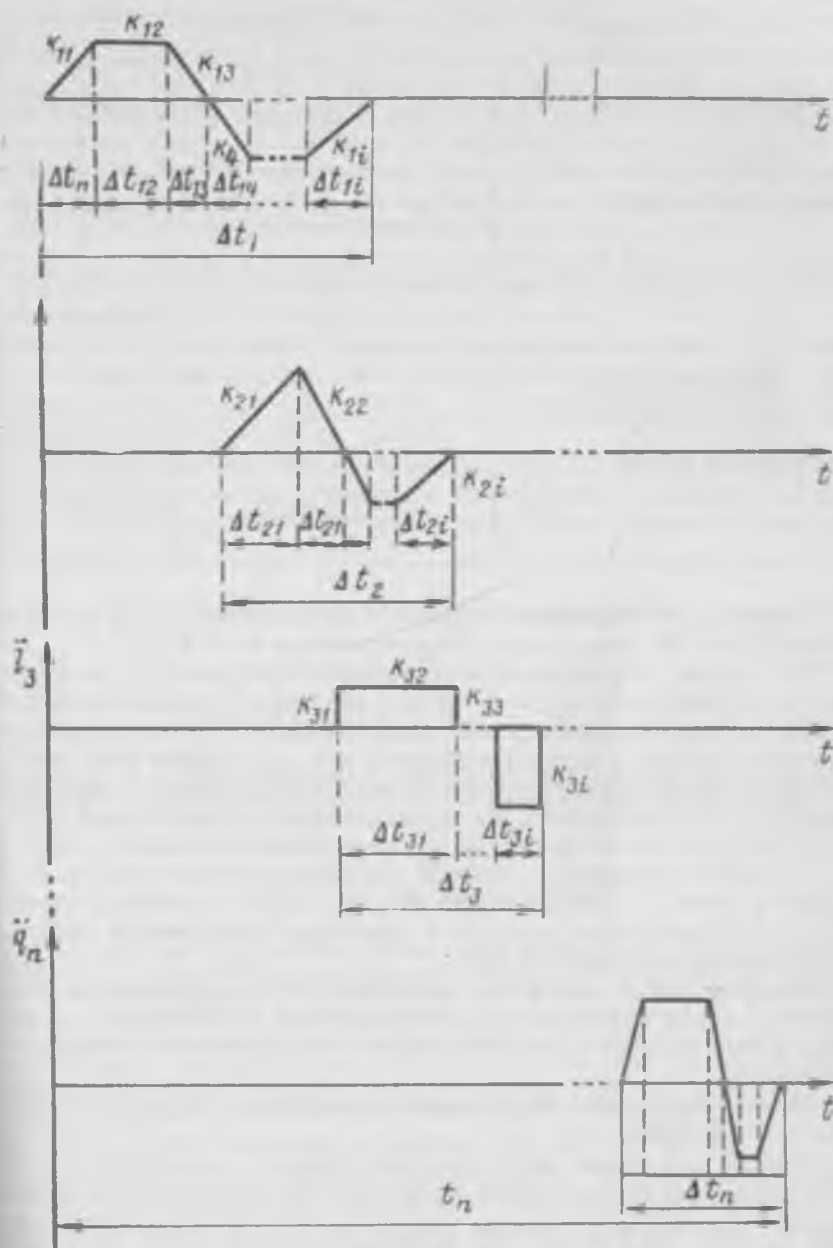


Рис. 9.10. Единая форма ускорений для трех звеньев манипулятора ПР

Таблица 9.3

|                                            |                                                                                                                    |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Начало $i+1$ -го участка                   | $\bar{q}_{i+1}^{(H)} = \dot{q}_i^{(K)}$                                                                            |
| На временном интервале $t_i < t < t_{i+1}$ | $\bar{q}^{(H)}_{i+1} = q^{(K)}_i + \dot{q}^{(K)}_i (t - t_i) + \frac{\Delta t_i (t - t_i)^2}{2}$                   |
| Конец $i+1$ -го участка                    | $\bar{q}^{(H)}_{i+1} = \dot{q}^{(K)}_i + \dot{q}^{(K)}_i (t_{i+1} - t_i) + \frac{\Delta t_i (t_{i+1} - t_i)^2}{2}$ |

Таблица 9.4

|                          |                                                                                                                                                            |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Начало $i+1$ -го участка | $\bar{q}^{(H)}_{i+1} = q^{(K)}_i$                                                                                                                          |
| Конец $i+1$ -го участка  | $\bar{q}^{(H)}_{i+1} = q^{(K)}_i + \dot{q}^{(K)}_i (t_{i+1} - t_i) + \frac{\dot{q}^{(K)}_i (t_{i+1} - t_i)^2}{2} + \frac{\Delta t_i (t_{i+1} - t_i)^3}{6}$ |

Значения обобщенных координат в начальной ( $i$ -й) и в конечной ( $i+1$ -й) точке участка представлены в табл. 9.4.

На основе предварительного анализа результатов обследования условий работы ПР (автоматизируемого технологического процесса, характера операций, выполняемых ПР, параметров и характера объекта манипулирования и т. д.), справочных материалов и результатов предварительных исследований элементарной базы ПР (например, по исполнительным механизмам ПР) определяются дополнительные условия решения задачи:

1) время перехода  $t_n$  полюса захватного устройства из начальной точки с координатами  $\{x^n, y^n, z^n\}$  в конечную точку  $\{x^k, y^k, z^k\}$  траектории, которое в основном определяется требуемой производительностью ПР;

2) предельные значения моментов  $M_{дв}^{\max}$  приводных устройств звеньев манипулятора, определяемые по справочным данным и результатам предварительных исследований приводных устройств;

3) необходимость обеспечения условия  $q_{ij} = 0$  в конечной точке траектории.

Оптимизационный метод задания формы ускорения  $\bar{q}_{ji}$  обобщенных координат звеньев манипулятора базируется на предварительном задании формы ускорений  $\bar{q}_{ji}$  для каждой из обобщенных координат (см. рис. 9.10). Параметры  $k_{ji}$  и  $t_{ji}$  численно определяют значения ускорения  $\bar{q}_{ji}$  обобщенных координат при заданной форме, что в свою очередь определяет формы ско-

ростей  $q_{ji}$  и обобщенных координат  $q_{ji}$ . В соответствии с алгоритмом рассматриваемого метода для некоторого набора точек внутри временного интервала  $\Delta t_{ji}$  рассчитываем значения ускорений  $\ddot{q}_{ji}$ , скоростей  $\dot{q}_{ji}$  и положений обобщенных координат  $q_{ji}$  для каждой из точек  $t_{ji}$ . Затем полученные значения  $\ddot{q}_{ji}$ ,  $\dot{q}_{ji}$ ,  $q_{ji}$  подставляем как известные численные решения (в конкретной временной точке  $t_{ji}$ ) в систему дифференциальных уравнений, описывающую динамику манипулятора. Таким образом, из системы дифференциальных уравнений динамики манипулятора получаем систему алгебраических уравнений, которую требуется разрешить относительно неизвестных параметров  $k_{ji}$  и  $t_{ji}$ . Так как каждой из точек  $t_{ji}$  соответствует система из  $n$  уравнений, а число точек разбиения интервала  $t_{0j} - t_{kj}$  равно  $i$ , то получаем систему алгебраических уравнений размерностью  $n \times i$ . К этим уравнениям следует добавить также дополнительные уравнения в виде равенства и ограничений, накладываемых дополнительными условиями решения задачи.

Рассмотрим предлагаемый выше алгоритм формирования системы алгебраических уравнений на примере уравнения движения манипулятора ПР, кинематическая схема которого приведена на рис. 9.11:

$$(J_0 + m_3 q_3^2) \ddot{q}_1 - m_3 l q_3 + 2 m_3 q_3 \dot{q}_1 \dot{q}_3 = M_d; \quad (9.8)$$

$$(m_2 + m_3) \ddot{q}_2 = Q_{d2} - (G_2 + G_3); \quad (9.9)$$

$$m_3 \ddot{q}_3 - m_3 l \ddot{q}_1 - m_3 q_3 \ddot{q}_1 = Q_{d3}, \quad (9.10)$$

где  $q_j$  ( $j=1, 2, 3$ ) — обобщенные координаты, определяющие относительные перемещения звеньев манипулятора;  $m_j$  — масса  $j$ -го звена;  $G_2, G_3$  — силы тяжести звеньев;  $Q_{d1}, Q_{d3}, M_d$  — движущие силы и моменты звеньев манипулятора;  $I_1$  — момент инерции звена 1;

$$J_0 = J_1 + I_{2c2} + I_{3c3} + m_2 a^2 + m_3 l^2,$$

где  $I_{c2}, I_{c3}$  — моменты инерции звеньев 2 и 3 относительно соответствующих осей;  $a$  и  $l$  — расстояния, на которые отстоят эти оси относительно центров масс звеньев. В расчетные формулы моментов инерции входят параметры  $l_k, R_k, S_k$ , характеризующие конструктивные особенности деталей, из которых составлены звенья манипулятора. Эти параметры можно рассматривать как неизвестные, значения которых находят (наряду с  $k_{ji}$  и  $t_{ji}$ ) в ходе решения задачи. Однако для упрощения изложения принципиальных сторон решения задачи оптимизации конструктивных параметров пока не рассматриваются.

Считаем, что значения координат  $\{x^H_0, y^H_0, z^H_0\}$  и  $\{x^K_k, y^K_k, z^K_k\}$  и значения кинематических параметров  $q_{01}, q_{02}, q_{03}, q_{01}$  заданы.

Задаваясь формой ускорений для звеньев 1, 2, 3 (см. рис. 9.10), пользуясь выражениями для ускорений  $\ddot{q}_1, \ddot{q}_2, \ddot{q}_3$ , скоростей  $\dot{q}_1, \dot{q}_2, \dot{q}_3$  текущих значений обобщенных координат  $q_1, q_2, q_3$ , приведенными в табл. 9.2—9.4, и подставляя эти выраже-

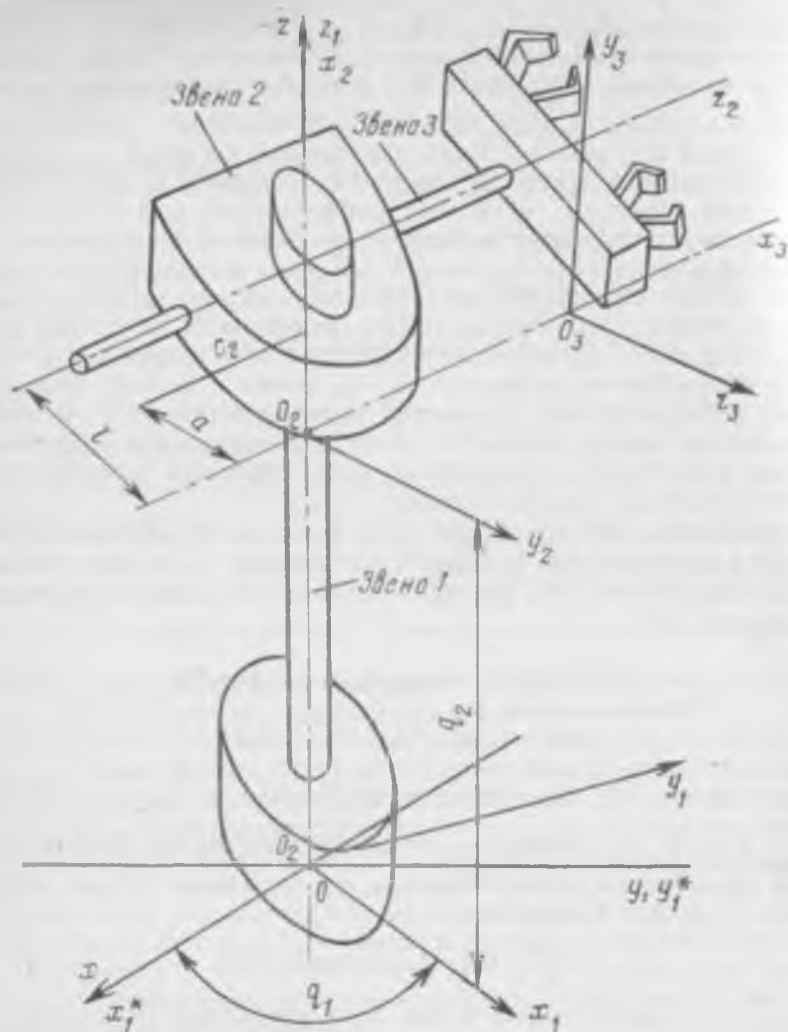


Рис. 9.11. Кинематическая схема манипулятора ПР

ния в уравнения (9.8)—(9.10), получим систему алгебраических уравнений, которую необходимо разрешить относительно параметров  $k_{ji}$  и  $t_{ji}$ .

Как видно, система из трех дифференциальных уравнений преобразуется в систему из  $(3 \times i)$  алгебраических уравнений. Для нахождения неизвестных параметров  $k_{ji}$  и  $t_{ji}$  к полученной системе алгебраических уравнений необходимо добавить уравнения, определяемые дополнительными условиями решения задачи:

$$t_{322n} - \sum_{i=1}^n t_{i4} = \Delta_{i4}; \quad (9.11)$$

$$M_{\text{max}} - M_{\text{min}} = \Delta_{15}; \quad (9.12)$$

$$Q_{i2i}^{\max} - Q_{i2i} = \Delta_{i6}; \quad (9.13)$$

$$Q_{\Delta 3i}^{\max} - Q_{\Delta 3i} = \Delta_{47}; \quad (9.14)$$

$$q_{8i} = \Delta_{i8}; \quad q_{0j} = q^{322}_{0j}; \quad (9.15)$$

$$q_{k_1} = q^{32} \Delta_{k_1} = \Delta_{49}. \quad (9.16)$$

Таким образом, получаем начальные значения невязок  $\Delta_i$ , где  $l$  — количество алгебраических уравнений в системе уравнений (9.12) — (9.16). Если полученную систему невязок  $\Delta_i$  рассмотреть как систему функций, зависящих от неизвестных параметров  $k_{ij}$  и  $t_{ij}$ , то задача определения оптимальных значений  $k_{ij}^{\text{опт}}$  и  $t_{ij}^{\text{опт}}$  может быть решена посредством решения задачи многокритериальной оптимизации.

Для нахождения неизвестных параметров  $k_{ij}$  и  $t_{ij}$  воспользуемся методом последовательной минимизации невязок. Введем обозначения невязок для каждого из уравнений (9.11)–(9.16). Например, для первой точки первому уравнению (9.11) из рассматриваемой системы соответствует невязка  $\Delta_{11}$ , второму —  $\Delta_{12}$ , третьему —  $\Delta_{13}$  и т. д. Далее закрепим номер переменной  $k_{ji}$  и  $t_{ji}$  за соответствующим номером полученной невязки. При этом номера переменных должны совпадать с номерами соответствующих невязок. Каждую невязку убирают вследствие изменения соответствующего ей по номеру индекса переменной  $k_{ji}$  или  $t_{ji}$ .

Невязки в соответствии с методом минимизации невязок уменьшают следующим образом: среди всего набора полученных на каждом шаге невязок выбирают наибольшую. Изменяют значение той переменной  $k_{ji}$  или  $l_{ji}$ , индекс которой привязан к соответствующей данной переменной невязке.

Например, для системы уравнений:

[illegible]

для первого уравнения к невязке  $\Delta_{01}$  привязана переменная  $k_{01}$ , для второго уравнения  $\Delta_{02}$  привязана переменная  $k_{02}$  и т. д. Если максимальной невязкой является  $\Delta_{02}$ , то начинаем изменять переменную  $k_{02}$  (привязанную к невязке) до тех пор, пока наибольшей не станет другая невязка (например,  $\Delta_{01}$ ), и тогда переходим к другой переменной (в данном случае к  $k_{01}$ ), имею-

щей тот же индекс, что и эта невязка. Процедура уменьшения невязки продолжается до тех пор, пока все невязки  $\Delta_i$  не станут меньше заданных.

#### § 9.4. ОБЪЕДИНЕННЫЙ МЕТОД ВЫБОРА ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Ранее (см. § 9.3) рассматривался метод задания формы ускорения в задачах проектирования робототехнических систем, в частности, в задаче выбора рационального закона управления звеньями манипулятора ПР. В данном параграфе расширяется постановка задачи и дается более обобщенная ее формулировка. Основным при этом является выбор таких значений конструктивных параметров ПР или РТС, в том числе и законов управления (какими в § 9.3 являются параметры  $k_i$  и  $t_i$ ), чтобы удовлетворялись все заданные требования по выходным показателям функционирования последнего (к выходным показателям функционирования объекта можно, например, отнести время переходного процесса, массогабаритные характеристики объекта, количественные характеристики затрат энергии при функционировании, точность отработки управляющего сигнала, надежность работы сигнала и т. п.). В решении задачи возможен комплексный подход.

Обычным путем решения поставленной задачи является оптимизационный подход с использованием математической модели объекта, например системы дифференциальных уравнений, представленной в форме Коши:

$$\dot{x}_i = f_i(\bar{x}, \bar{k}, t); \quad i = \overline{1, n}, \quad (9.18)$$

где  $\bar{x} = (x_1, \dots, x_n)$  — вектор параметров состояния объекта;  $\bar{k} = (k_1, \dots, k_m)$  — вектор конструктивных параметров объекта ( $m$  — число конструктивных параметров);  $t$  — время.

На этом пути удобно воспользоваться для реализации оптимизационных процедур методом минимизации невязок.

Пусть  $\bar{y}^{rp} = (y^{rp}_1, y^{rp}_2, y^{rp}_3 \dots y^{rp}_j)$  — вектор требуемых выходных показателей качества функционирования объекта. Кроме того, задан вектор  $\bar{k}$  конструктивных параметров объекта, представляющих собой в процедуре оптимизации набор входных параметров. В процессе решения задачи оптимизации для каждого сочетания значений элементов вектора  $\bar{k}$  следует интегрировать уравнения системы (9.18) и составлять текущий вектор

$$\bar{y} = (y_1, y_2, \dots, y_j).$$

В результате получаем невязки выходных параметров объекта относительно требуемых выходных параметров:

$$\Delta y_j = y^{rp}_j - y_j \quad (j = \overline{1, l}). \quad (9.19)$$

Путем варьирования входных параметров объекта в процедуре пошаговой оптимизации добиваемся выполнения условия  $\Delta y_i \rightarrow 0$  на каждом шаге. При этом каждый последующий шаг минимизации невязки  $\Delta y_i$  происходит с учетом максимальной чувствительности изменения  $\Delta y_i$  к изменению соответствующего входного параметра.

Другой путь выбора рациональных значений конструктивных параметров объекта, удовлетворяющих заданным требованиям по выходным показателям — создание на основании полученной информации о решении дифференциальных или алгебраических уравнений, описывающих математическую модель объектов, базы данных. Такую базу данных возможно формировать заранее и хранить в ней необходимую информацию о входных и соответствующих им выходных параметрах объекта. Указанную дискретную базу данных с равномерной сеткой в «узловых» точках можно создать с помощью известных численных методов решения уравнения (9.18), например, с использованием метода Рунге—Кутты.

При формировании базы данных, как указывалось выше, может быть использовано большинство из известных методов, но мы остановимся на одном из эффективных методов — методе задания формы решения и его модификации — методе задания формы ускорения (см. § 9.3). С помощью подобного метода можно заменить операцию интегрирования, сводя решение системы дифференциальных уравнений (9.18) к решению системы алгебраических уравнений относительно входных параметров объекта. При этом параметры  $\bar{\alpha}$ , характеризующие выбранную форму решения системы уравнений (9.18), также рассматриваются как входные параметры объекта.

Для определения численных значений выходных параметров объекта в межузловых точках можно воспользоваться методом линейных направлений (см. § 7.2 данной книги).

Задаваясь формой изменения параметров состояния  $\bar{x} = f(\bar{\alpha}, \bar{k}, t)$  в функции параметров формы  $\bar{\alpha}$ , конструктивных параметров  $\bar{k}$  и времени  $t$  и подставляя полученные значения  $x$  в уравнения (9.18), получим систему алгебраических уравнений

$$F(\bar{k}, \bar{\alpha}, t) = \Delta F_i. \quad (9.20)$$

Причем путем решения системы уравнений (9.20) необходимо добиться, чтобы  $\Delta F_i \rightarrow 0$ .

Теперь поясним сущность комплексного подхода решения задачи автоматизированного проектирования, который заключается в том, что невязки  $\Delta F_i$  убирают совместным варьированием параметров  $\bar{\alpha}$  и  $\bar{k}$ , а в некоторых случаях и  $t$ , используя указанный метод минимизации невязок. Особенность рассматривае-

мого подхода с использованием метода задания формы решения заключается в том, что набор конструктивных параметров  $k$  и параметров формы решения  $\alpha$ , а также все возможные сочетания этих параметров рассматриваются в качестве входных параметров. При этом невязка  $\Delta F_i$  устраняется варьированием параметров  $\Delta \alpha$  формы решения, а невязка  $\Delta y_i$  в уравнении (9.19) — варьированием конструктивных параметров  $\Delta k$ . Нормируя в системе уравнений (9.19) и (9.20) невязки  $\Delta F_i$  и  $\Delta y_i$ , получим однородный по размерности массив невязок  $\Delta F_{\text{норм}} = \varphi(\Delta F_i, \Delta y_i)$ , из которого отбирается нормализованная невязка  $\Delta F_{\text{норм min}}$ , минимальная по значению.

#### § 9.5. АЛГОРИТМ И МЕТОДИКА ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА КОРРЕКТИРУЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПОДДЕРЖАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ

Известно, что действия возмущений вызывают переходные процессы в системах. Задачей управления при этом является стабилизация режима посредством создания дополнительных управляющих воздействий. Однако для этого необходимо в каждый момент времени знать численные значения действующих возмущений. Приводимые ниже основные положения методики стабилизации динамических отклонений позволяют в реальном времени численно решать задачу расчета возмущений для формирования необходимых для их компенсации управляющих воздействий. Указаны результаты приложения данной методики к задаче повышения точности работы и производительности раскройной установки.

В методике и в приложении широко применяется приближенное моделирование законов изменения координат процессов. Для достижения необходимой оперативности расчетов в качестве моделирующих кривых используют несложные синусоидальные функции метода пролонгаций. С целью сокращения объема материала вид этих функций и алгоритмы их расчета не приводятся, все это достаточно полно изложено в литературе [34]. Отметим, что для моделирования возможны и другие подходящие функции.

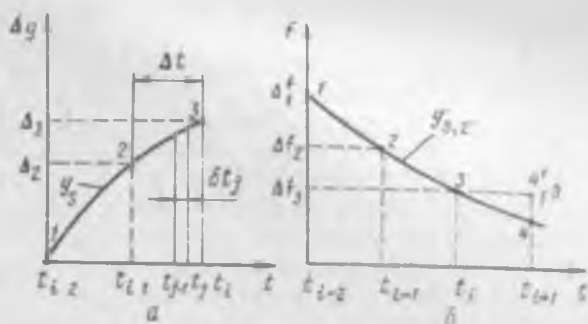
Методика стабилизации динамических отклонений строится на основе численного восстановления, прогнозирования и компенсации действующих возмущений. Поставим задачу стабилизации динамических отклонений  $\Delta y(t)$  относительно значения  $\Delta y = 0$ .

Примем, что математическая модель процесса  $\Delta y(t)$  описывается следующим дифференциальным уравнением

$$(TP + 1)\Delta y(t) = f(t), \quad (9.21)$$

где  $T$  — постоянная времени;  $f(t)$  — возмущающее воздействие.

Рис. 9.12. Графики изменения:  
а — отклонений  $\Delta y$ ; б — возмущения  $f$



Решение задачи стабилизации выполним численно, при условии, что  $f(t)$  неизвестная, непрерывная и ограниченная функция времени.

Уравнение (9.21) запишем в виде

$$\Delta \dot{y}(t) = \frac{1}{T} [f(t) - \Delta y(t)] \quad (9.22)$$

или

$$\Delta y(t) = \frac{1}{T} \int [f(t) - \Delta y(t)] dt. \quad (9.23)$$

Поясним общую схему решения задачи стабилизации  $\Delta y(t)$ .

Предположим, что возмущение  $f(t)$  действует с момента времени  $t = t_{i-2}$  (рис. 9.12, а). Примем также, что  $\Delta y(t_{i-2}) = 0$ . При дальнейшем увеличении времени отклонение  $\Delta y(t)$  будет возрастать. Обозначим значения отклонений  $\Delta y(t)$  в точках  $t_{i-1}$  и  $t_i$  соответственно  $\Delta_2$  и  $\Delta_3$ .

В методике, по данным этих отклонений с помощью алгоритмов метода пролонгаций рассчитывается закон изменения возмущения  $f(t)$ , действовавшего на участке  $[t_{i-2}, t_i]$ . На рис. 9.12, б этот закон обозначен символом  $y_{s,2}$ . Затем этот закон пролонгируется вперед на один шаг, т. е. до точки  $t_{i+1}$  (на рис. 9.12, б участок пролонгации обозначен цифрами 3—4). Пролонгированная часть кривой принимается за прогноз возмущений на участке  $[t_i, t_{i+1}]$ . Далее по данным прогноза в методике формируется управляющее воздействие для компенсации действия возмущения на отрезке  $[t_i, t_{i+1}]$ . Очевидно, закон изменения управляющего воздействия на этом отрезке времени должен инверсно соответствовать пролонгированной части кривой  $y_{s,2}(t)$ .

Однако выполненная компенсация возмущающего воздействия полностью еще не решила задачи стабилизации, так как не устранено накопившееся к моменту времени  $t = t_i$  отклонение  $\Delta y(t) = \Delta_3$ . Поэтому наряду с компенсирующим управляющим воздействием требуется сформировать дополнительное управляющее воздействие, предназначенное для устранения отклонения  $\Delta_3$ . В методике такое воздействие рассчитывается на основе пла-

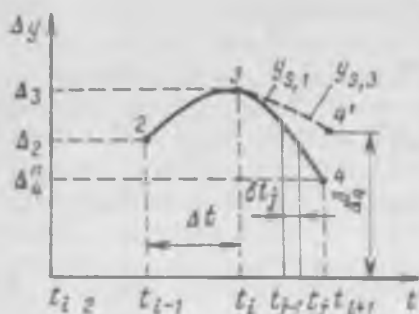


Рис. 9.13. К расчету функции

Пусть синусоидальная кривая  $y_s(t)$  на участке  $[t_{i-2}, t_i]$  известна и достаточно точно аппроксимирует закон изменения  $\Delta y(t)$  (см. рис. 9.12, а). Тогда на основании уравнения (9.23) для промежутка  $[t_{i-2}, t_i]$  можем записать

$$y_s(t) = \frac{1}{T} \int_{t_{i-2}}^{t_i} [f(t) - y_s(t)] dt. \quad (9.24)$$

Далее, дифференцируя выражение (9.25), получаем

$$y_s(t) = \frac{1}{T} [f(t) - y_s(t)]. \quad (9.25)$$

В выражении (9.25) функция  $y_s(t)$  известна на участке  $[t_{i-2}, t_i]$ . Это позволяет получить формулу для расчета возмущения  $f(t)$ , действовавшего в любой точке указанного промежутка изменения  $t$ .

Формула имеет вид

$$f(t) = T y_s(t) + y_s(t). \quad (9.26)$$

Для выполнения расчетов по формуле (9.26) требуется дифференцировать функцию  $y_s(t)$ . Эта операция может выполняться и приближенно. С этой целью промежуток аппроксимации процесса кривой  $y_s(t)$  (в данном случае  $[t_{i-2}, t_i]$ ) разбивается на участки  $\delta t_j$ -е и для каждого из них находится среднее значение скорости

$$\bar{y}(t_{j-1}, j) = \frac{y_s(t_j) - y_s(t_{j-1})}{\delta t_j}. \quad (9.27)$$

На рис. 9.12, а показан один из участков  $\delta t_j = t_j - t_{j-1}$ .

С учетом выражения (9.27) формула (9.26) принимает вид

$$f(t_{j-1}, j) = T \frac{y_s(t_j) - y_s(t_{j-1})}{\delta t_j} + \bar{y}_s(t_{j-1}, j), \quad (9.28)$$

нируемого закона убывания отклонения в течение очередного промежутка времени  $[t_i, t_{i+1}]$ . На рис. 9.13 этот закон представлен кривой  $y_{s,1}(t)$ . Планирование выполняется для обеспечения плавности режима стабилизации.

Теперь поясним описанную схему стабилизации подробнее. Рассмотрим операцию формирования компенсирующего воздействия.

где  $f(t_{j-1, j})$  — среднее значение  $f(t)$  на участке  $\delta t_j$ ;  $\bar{y}_s(t_{j-1, j})$  — среднее значение  $y_s(t)$  на участке  $\delta t_j$ .

Применение формулы (9.28) позволяет рассчитывать средние значения возмущений, действующих на различных  $\delta t_j$ -х участках промежутка  $(t_{i-2}, t_i)$ . В методике принимается, что средние значения возмущений, действующих на прилегающих к точкам  $t_{i-2}$ ,  $t_{i-1}$  и  $t_i$   $\delta t_j$ -х участках, равны действительным значениям возмущений, действующих в этих точках. Условно эти значения на рис. 9.12, б обозначены символами  $\Delta'_1$ ,  $\Delta'_2$  и  $\Delta'_3$ . Рассчитанные значения возмущений используются для расчета кривой  $y_{s,2}(t)$ , с помощью которой определяется и пролонгируется до точки  $t_{i+1}$  закон изменения  $f(t)$ . Выше уже отмечалось, что для компенсации действующего возмущения закон изменения управляющего воздействия [обозначим его  $u_k(t)$ ] должен инверсно соответствовать закону  $y_{s,2}(t)$ . Поэтому можем записать

$$u_k(t) = -y_{s,2}(t). \quad (9.29)$$

Далее рассмотрим вопрос формирования дополнительного управляющего воздействия [обозначим его  $u_d(t)$ ] для устранения отклонения  $\Delta_3$  (см. рис. 9.12, а). Для пояснения обратимся к рис. 9.13. На рисунке изображена кривая  $y_{s1}(t)$ , рассчитанная по данным отклонений  $\Delta_2$ ,  $\Delta_3$  и  $\Delta^p_4$ . Данные  $\Delta_2$  и  $\Delta_3$  — это отклонения  $\Delta y(t)$  в точках  $t_{i-1}$  и  $t_i$  (см. рис. 9.12, а),  $\Delta^p_4$  — это планируемое значение отклонения  $\Delta y(t)$  в точке  $t_{i+1}$ . Отметим, что планирование выполняется так, чтобы устранение отклонения  $\Delta_3$  происходило плавно. Это достигается в том случае, если расчет  $\Delta^p_4$  выполняется по формуле

$$\Delta^p_4 = K_n \Delta_3 \quad (0,7 \leq K_n < 1). \quad (9.30)$$

Таким образом, процесс изменения  $\Delta y(t)$  на участке должен соответствовать кривой  $y_{s,1}(t)$ . Так как это предполагается достигнуть с помощью дополнительного управляющего воздействия  $u_d(t)$ , то уравнение (9.21) процесса для участка  $(t_i, t_{i+1})$  следует записать в виде:

$$(TP + 1) \Delta y(t) = u_d(t). \quad (9.31)$$

Видно, что в данной записи отсутствует возмущение. Это обусловлено тем, что его действие уже скомпенсировано управляющим воздействием  $u_k(t)$ .

Определим закон изменения  $u_d(t)$ . Вместо формулы (9.22) запишем

$$\Delta y(t) = \frac{1}{T} [u_d(t) - \Delta y(t)] \quad (9.32)$$

или

$$\Delta y(t) = \frac{1}{T} \int [u_d(t) - \Delta y(t)] dt. \quad (9.33)$$

Закон изменения  $\Delta y(t)$  на участке  $[t_i, t_{i+1}]$  известен — это  $y_{s,1}(t)$ . Он был спланирован ранее. Поэтому формулу (9.33) для участка  $[t_i, t_{i+1}]$  можно записать в следующем виде:

$$y_{s,1}(t) \approx \frac{1}{T} \int_{t_i}^{t_{i+1}} [u_d(t) - y_{s,1}(t)] dt. \quad (9.34)$$

Не выполняя записей, аналогичных по содержанию формулам (9.25) — (9.27), сразу запишем выражение для расчета значений функции управления  $u_d(t)$  на  $\delta t_j$ -х участках промежутка  $[t_i, t_{i+1}]$ . Выражение имеет вид

$$\bar{u}_d(t) \approx T \frac{y_{s,1}(t_j) - y_{s,1}(t_{j-1})}{\delta t_j} + \bar{y}_{s,1}(t_{j-1}, j), \quad (9.35)$$

где  $\bar{u}_d(t)$  — среднее значение  $u_d(t)$  на участке  $\delta t_j$  (см. рис. 9.13);  $\bar{y}_{s,1}(t_{j-1}, j)$  — среднее значение кривой  $y_{s,1}(t)$  на участке  $\delta t_j$ .

Теперь поясним последовательность применения полученных алгоритмов для расчета и реализации управления.

Расчет управления начинается в точке  $t = t_i$ . Для этого измеряются отклонения  $\Delta_2$  и  $\Delta_3$  и по алгоритмам метода пролонгаций рассчитывается кривая  $y_s(t)$  (см. рис. 9.12, а). Далее применяется формула (9.28), с помощью которой вычисляются средние значения возмущения, действовавших в окрестностях точек  $t_{i-2}$ ,  $t_{i-1}$  и  $t_i$ . Затем с помощью алгоритмов метода пролонгаций рассчитывается и пролонгируется до точки  $t_{i+1}$  кривая  $y_{s,2}(t)$  (см. рис. 9.12, б). Далее выполняется планирование величины  $\Delta^p_4$  (см. рис. 9.12, а) и по данным  $\Delta_2$ ,  $\Delta_3$  и  $\Delta^p_4$ , также с помощью алгоритмов указанного метода рассчитывается кривая  $y_{s,1}(t)$ .

После выполнения этих операций промежутков  $[t_i, t_{i+1}]$  разбивается на  $k$ -е число  $\delta t_j$ -х участков. (Для повышения точности расчетов необходимо стремиться к увеличению числа  $k$ ). Однако следует учитывать и тот факт, что с увеличением  $k$  возрастает объем вычислений, что отрицательно сказывается на оперативности алгоритма). Затем для каждого  $\delta t_j$ -го участка определяется суммарное управляющее воздействие (обозначим его  $u(t)$ ). Расчет выполняется по формуле, составленной из выражений (9.29) и (9.35). При составлении формулы берется сумма управляющих функций  $u_k(t)$  и  $u_d(t)$ :

$$\begin{aligned} \bar{u}(t_{j-1}, j) = T \frac{y_{s,1}(t_j) - y_{s,1}(t_{j-1})}{\delta t_j} + \\ + \bar{y}_{s,1}(t_{j-1}, j) - \bar{y}_{s,2}(t_{j-1}, t_j), \end{aligned} \quad (9.36)$$

где  $u(t_{j-1}, t_j)$  — суммарное среднее управляющее воздействие, которое должно быть приложено на  $\delta t_j$ -м участке;  $y_{s,2}(t_{j-1}, t_j)$  — среднее значение управляющего воздействия на  $\delta t_j$ -м участке;  $j$  — номер  $\delta t_j$ -го участка ( $j$  изменяется от единицы до  $k$ ). Если  $j=1$ , то  $t=t_i$ ; если  $j=k$ , то  $t=t_{i+1}$ .

После расчета управляющие воздействия прикладываются к органам управления процессом.

Применение указанных положений (для расчета управляющих воздействий) позволяет повысить точность стабилизации отклонений  $\Delta y(t)$  лишь в том случае, если значения возмущений прогнозируются на участке  $[t_i, t_{i+1}]$  (см. рис. 9.12, б) достаточно точно. Это связано со следующими обстоятельствами. Расчет дополнительной управляющей функции  $u_d(t)$  для планируемого устранения отклонения  $\Delta_3$  (см. рис. 9.12, а) выполняется достаточно точно, так как он опирается на планируемый закон устранения отклонения  $y_{s,1}(t)$ . При этом для повышения точности расчета значений  $u_d(t_j)$  значение  $\delta t_j$  можно выбирать достаточно малым.

Расчет же возмущения  $f(t)$  и воздействия  $u_k(t)$ , компенсирующего действие возмущения на интервале управления  $[t_i, t_{i+1}]$ , выполняется на основе приближенного прогнозирования кривой  $y_{s,2}(t)$  и поэтому здесь возможны ошибки. Вследствие ошибок прогноза возмущения после управления (в точке  $t=t_{i+1}$ ) действительное значение отклонения  $\Delta y(t) = \Delta_4$  не будет равняться запланированному значению  $\Delta^*_4$ . На рис. 9.13 действительное значение отклонения  $\Delta y(t_{i+1})$  обозначено цифрой 4'. В дальнейшем это значение будет обозначаться  $\Delta^*_4$  и использоваться для коррекции ошибки определения возмущения в точке  $t_{i+1}$ .

Порядок выполнения коррекции возмущения поясним с помощью рис. 9.13. Кривая  $y_{s,1}(t)$  отражает планируемый закон устранения отклонения  $\Delta_3$ . В действительности же на промежутке  $[t_i, t_{i+1}]$  имел место другой закон изменения  $\Delta y(t)$ . Этот закон соответствовал кривой  $y_{s,3}(t)$ , проходящей через точки 2, 3 и 4' (данная кривая рассчитывается по данным отклонений  $\Delta_2, \Delta_3$  и  $\Delta^*_4$ ). С помощью кривой  $y_{s,3}(t)$  оказывается возможным определение действительного возмущения, действующего в точке  $t_{i+1}$ .

Для этого к кривой  $y_{s,3}(t)$  на прилегающем к точке  $t_{i+1}$  участке  $\delta t$  (обозначим его  $\delta t_k$ ) применяется формула (9.28), которая для данного расчета записывается в виде

$$\bar{f}_k = T \frac{y_{s,3}(t_{i+1}) - y_{s,3}(t_{i+1} - \delta t_k)}{\delta t_k} + \bar{y}_{s,3}(\delta t_k) - \bar{u}(\delta t_k), \quad (9.37)$$

где  $\bar{f}_k$  — действительное среднее значение возмущения, действовавшего на участке  $\delta t_k$ ;  $\bar{u}(\delta t_k)$  — среднее суммарное значение управляющего воздействия, которое было приложено на  $\delta t_k$ -м участке.

Рассчитываемое по выражению (9.37) среднее значение  $\bar{f}(t) = \bar{f}_k$  принимается за действительное значение возмущения  $\bar{f}(t_{i+1})$  и далее используется для коррекции результата прогноза в точке  $t_{i+1}$  (рис. 9.12, б).

Скорректированная величина  $f(t_{i+1})$  далее применяется для расчета прогнозирующей кривой  $y_{8,2}(t)$  при расчете управления на следующий промежуток времени  $(t_{i+1}, t_{i+2})$ .

Ранее уже указывалось, что расчет управляющего воздействия начинается в точке  $t=t_i$  (в этот момент времени измеряется отклонение  $\Delta_3$ ). В идеальном случае согласно методике управление должно начаться также в точке  $t_i$ . Однако на расчет управления затрачивается некоторое время  $\Delta t$  и поэтому реально управление может начаться в момент времени  $t=t_i+\Delta t$ . Возникающая при этом ошибка в управлении может рассматриваться как действующее возмущение и поэтому ее учитывают при расчете управления по описанной методике.

## § 9.6. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОЭВМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ РАБОТЫ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МАНИПУЛЯЦИОННОЙ РАСКРОЙНОЙ УСТАНОВКИ

Для швейных предприятий страны является актуальной задача увеличения скорости раскроя [35]. В числе факторов, ограничивающих возможность повышения скорости раскроя, является точность.

Рассмотрим схему и алгоритмы, обеспечивающие возможность решений этой задачи в результате применения микроЭВМ для выработки в реальном времени необходимых для повышения точности работы раскройной установки корректирующих управляющих воздействий. В качестве раскройной установки использован двухступенной манипулятор как перспективное средство механизации раскройного производства. Последнее объясняется относительной простотой их конструкции и малыми габаритными размерами.

На рис. 9.14 представлена схема манипулятора. Звено 2 в точке  $A$  цилиндрическим шарниром соединено с неподвижной стойкой 1. Звено 3 таким же шарниром в точке  $B$  соединено со звеном 2. Звенья 2 и 3 имеют одинаковые длины  $L$ . В точке  $C$  резак 4 неподвижно прикреплен к звену 3.

В процессе работы звено 2 может разворачиваться в горизонтальной плоскости относительно оси  $a-a$ , звено 3 — относительно оси  $b-b$ . В совокупности звенья 2 и 3 образуют исполнительный орган манипулятора. Для приведения в движение звеньев манипулятора в шарнирах  $A$  и  $B$  устанавливаются приводные двигатели с редукторами (на рис. 9.14 не показаны).

Для обеспечения высокой



Рис. 9.14. Схема манипулятора для раскройных работ

точности движения звеньев исполнительного органа требуется правильно формировать управляющие воздействия для приводных двигателей. Это оказывается возможным лишь в том случае, когда законы управления строятся с учетом особенностей динамики исполнительного органа как объекта управления; в данном случае динамика исполнительного органа может быть описана следующими уравнениями движения:

$$M_{\varphi_1} = L^2 (m_3/2 + m_c) (\ddot{\varphi}_2 \cos \varphi_2 + \dot{\varphi}_2^2 \sin \varphi_2) - \\ - [L^2 (m_2/4 + m_3 + m_b + m_c) + I_2] \ddot{\varphi}_1 - M_{\varphi_1}; \quad (9.38)$$

$$M_{\varphi_2} = L^2 (m_2/2 + m_c) (\ddot{\varphi}_1 \cos \varphi_2 - \dot{\varphi}_1^2 \sin \varphi_2) - \\ - [L^2 (m_3/4 + m_c) + I_3] \ddot{\varphi}_2, \quad (9.39)$$

где  $M_{\varphi_1}$ ,  $M_{\varphi_2}$  — моменты, необходимые для перемещения всего исполнительного органа относительно оси  $a-a$  и звена 3 относительно оси  $b-b$  соответственно;  $L$  — длины звеньев 2 и 3;  $m_2$ ,  $m_3$  — массы звеньев 2 и 3 соответственно;  $m_c$  — масса резака и других элементов, обеспечивающих его крепление;  $m_b$  — масса устройства, приводящего в движение звено 3 (двигатель, редуктор и др.);  $I_2$ ,  $I_3$  — моменты инерции звеньев 2 и 3 (с учетом масс  $m_b$  и  $m_c$ ).

Нелинейность уравнений обусловлена динамическим взаимодействием звеньев. В этих условиях должны быть приняты специальные меры для обеспечения точности движения резака по траектории.

В данном материале приводятся результаты теоретического исследования возможности повышения точности работы раскройной манипуляционной установки в результате применения дополнительного корректирующего управления, формируемого на микроЭВМ с помощью методики стабилизации динамических отклонений процессов.

Для выполнения исследований применялась система управления, структурная схема которой изображена на рис. 9.15. (Пока рассматриваем только одну систему управления, для угла  $\varphi_1$ ). Видно, что на вход системы вместо угла  $\varphi_1^n$  подается скорость  $\dot{\varphi}_1^n$ . Кроме того, в данной системе вместо обратной связи применен цифровой корректирующий контур, в состав которого входят: тахогенератор  $T_2$  (предназначенный для получения сигнала

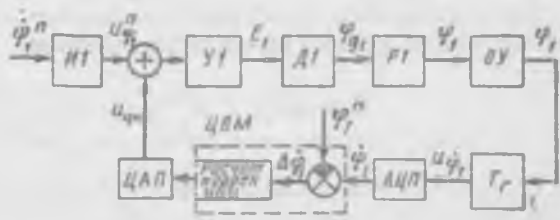


Рис. 9.15. Структурная схема системы управления с ЦВМ

ла  $u_{\text{цк}}$ , пропорционального скорости  $\dot{\varphi}_1$ , преобразователи ЦАП, АЦП и цифровая вычислительная машина ЦВМ.

На вход цифровой машины непрерывно поступает информация о текущем и программном значениях скоростей  $\dot{\varphi}_1$  и  $\dot{\varphi}_1^n$ . На основании этой информации и формируется корректирующий сигнал.

Из схемы следует, что для расчета корректирующего управления  $u_{\text{цк}}(t)$  используется ошибка по скорости

$$\Delta\varphi_1(t) = \varphi_1(t) - \varphi_1^n(t).$$

В упомянутой выше методике стабилизации динамических отклонений для этой цели используются отклонения координаты  $\Delta y(t)$  (а не  $\Delta y(t)$ ). Применение отклонений  $\Delta\varphi_1(t)$  в данном случае вызвано тем, что при этом оказывается возможным описать с достаточной точностью динамику изменения  $\Delta\varphi_1(t)$  дифференциальным уравнением первого порядка, что позволяет практически без изменений применить упомянутую методику для расчета корректирующего управления  $u_{\text{цк}}(t)$ , предназначенного для стабилизации скорости.

Дальнейшие пояснения будут относиться к формированию алгоритма коррекции. При этом предполагается следующий порядок изложения материала. В начале будет получено уравнение динамики для разомкнутой системы, т. е. без корректирующего контура. Затем пояснена схема построения алгоритма коррекции и выполнена привязка методики стабилизации к данному случаю.

Для получения уравнения разомкнутой системы (см. рис. 9.14 и 9.15) запишем уравнения ее элементов. Для системы, управляющей движением звена 2 (угол  $\varphi_1$ ), данные уравнения имеют вид:

для измерителя

$$u_{\varphi_1} = K_{\varphi_1} \dot{\varphi}_1^n;$$

для усилителя

$$E_1 = K_{\gamma_1} u_{\varphi_1};$$

для приводного двигателя (электрический двигатель постоянного тока с независимым возбуждением)

$$E_1 = i_{\pi 1} R_{\pi 1} + \frac{di_{\pi 1}}{dt} L_{\pi 1} + C_{e1} \frac{d\varphi_{\pi 1}}{dt};$$

$$M_{\pi 1} = C_{M1} i_{\pi 1}; \quad I_{\Sigma 1} \frac{d^2\varphi_1}{dt^2} = M_{\pi 1} i - M_{\varphi};$$

для редуктора

$$i_1 = \varphi_{\pi 1} / \varphi_1;$$

для объекта управления уравнением является выражение (9.38).

В приведенных уравнениях использованы следующие обозначения:  $K_{\varphi_1}$  — коэффициент передачи измерителя И1;  $K_{\gamma_1}$  — коэффициент усиления усилителя У1;  $E_1$  — напряжение, прикладываемое к двигателю;  $i_{\pi 1}$  — ток в цепи якоря двигателя;  $R_{\pi}$ ,  $L_{\pi 1}$  — соответственно активное и индуктивное сопротивление якорной обмотки двигателя;  $C_e$  — коэффициент противоЭДС;  $I_{\Sigma 1}$  — суммарный момент инерции ротора двигателя и соединенных с ним подвижных частей исполнительного органа;  $C_{M1}$  — коэффициент момента двигателя;  $i_1$  — передаточное число редуктора;  $M_{\pi 1}$  — момент, развиваемый двигателем;  $\varphi_{\pi 1}$  — угол поворота вала двигателя.

Для системы, управляющей движением звена 3 (угол  $\varphi_2$ ), уравнения имеют такой же вид, но в них вместо индекса 1 должен применяться индекс 2. Кроме того, уравнением объекта будет являться выражение (9.39).

Свертывание уравнений позволяет получить общие уравнения системы управления движением звеньев 2 и 3.

Указанные уравнения имеют вид

$$\begin{aligned} & I_{\Sigma 1} L_{\pi 1} P^3 + I_{\Sigma 1} R_{\pi 1} P^2 + C_{e1} C_{M1} i_1^2 P \varphi_1 = \\ & = K_{\gamma 1} K_{\varphi 1} C_{M1} i_1 \dot{\varphi}_1^n - \{ L^2 (m_3/2 + m_c) [\varphi_2 P^2 \cos \varphi_2 - \\ & - (\varphi_2 P)^2 \sin \varphi_2] - [L^2 (m_2/4 + m_3 + m_b + m_c) + \\ & + I_2] \varphi_1 P^2 - L^2 (m_2/2 + m_c) [\varphi_1 P^2 \cos \varphi_2 + \\ & + (\varphi_1 P)^2 \sin \varphi_2] + [L^2 (m_3/4 + m_c) + \\ & + I_3] \varphi_2 P^2 \} (R_{\pi 1} + L_{\pi 1} P); \end{aligned} \quad (9.40)$$

$$\begin{aligned} & (I_{\Sigma 2} L_{\pi 2} P^3 + I_{\Sigma 2} R_{\pi 2} P^2 + C_{e2} C_{M2} i_2^2 P) \varphi_2 = \\ & = K_{\gamma 2} K_{\varphi 2} C_{M2} i_2 \dot{\varphi}_2^n - \{ L^2 (m_2/2 + m_c) [\varphi_1 P^2 \cos \varphi_2 + \\ & + (\varphi_1 P)^2 \sin \varphi_2] - [L^2 (m_3/4 + m_c) + \\ & + I_3] \varphi_2 P^2 \} (R_{\pi 2} + L_{\pi 2} P), \end{aligned} \quad (9.41)$$

где  $\varphi_1^n$  и  $\varphi_2^n$  — программные задания для скоростей  $\dot{\varphi}_1$  и  $\dot{\varphi}_2$  соответственно  $\left( P = \frac{d}{dt} \right)$ .

Для краткости приведенные уравнения можно записать в виде

$$(a_0 P^2 + a_1 P + a_2) \varphi_1 = b_2 \dot{\varphi}_1^n + f_{\varphi 1}; \quad (9.42)$$

$$(a^1_0 P^2 + a^1_1 P + a^1_2) \varphi_2 = b^1_2 \varphi^{\Pi}_2 + f_{\varphi_2}, \quad (9.43)$$

где

$$a_0 = I_{\Sigma 1} L_{\pi 1}, \quad a_1 = I_{\Sigma 1} R_{\pi 1}, \quad a_2 = C_{M1} C_{e1} i^2_1,$$

$$b_2 = K_{r1} K_{\varphi 1} C_{M1} i_1;$$

$$a^1_0 = I_{\Sigma 2} L_{\pi 2}, \quad a^1_1 = I_{\Sigma 2} R_{\pi 2}, \quad a^1_2 = C_{M2} C_{e2} i^2_2,$$

$$b^1_2 = K_{r2} K_{\varphi 2} C_{M2} i_2.$$

С помощью символов  $f_{\varphi_1}$  и  $f_{\varphi_2}$  объединяются все нелинейные составляющие правых частей уравнений. Воздействия  $f_{\varphi_1}$  и  $f_{\varphi_2}$  соединяют уравнения (9.40) и (9.41) в единую систему. Далее воздействия  $f_{\varphi_1}$  и  $f_{\varphi_2}$  будут представляться в качестве переменных и постоянно действующих возмущений, снижающих точность отработки системами программных скоростей  $\varphi^{\Pi}_1$  и  $\varphi^{\Pi}_2$ .

Опишем содержание алгоритма для расчета корректирующего управления. Причем для краткости опять будем рассматривать лишь одну систему управления (по углу  $\varphi_1$ ).

В процессе отработки программного угла  $\varphi^{\Pi}_1(t)$  на вход ЦВМ (см. рис. 9.15) подаются сигналы  $\varphi_1(t)$  и  $\varphi^{\Pi}_1(t)$ . На основе сравнения этих сигналов в ЦВМ рассчитываются отклонения по скорости  $\Delta \dot{\varphi}_1(t)$ . Если в процессе всей работы системы отклонение  $\Delta \dot{\varphi}_1(t) = 0$ , то это означает, что  $\varphi_1(t) = \varphi^{\Pi}_1(t)$ , т. е. разворот звена выполняется без ошибки. Отсюда вытекает основное назначение системы коррекции, которое состоит в том, чтобы в процессе работы установки непрерывно обеспечивалось равенство

$$\Delta \dot{\varphi}_1(t) = 0. \quad (9.44)$$

Вследствие того, что указанное равенство может быть выполнено только с определенной точностью, в процессе работы имеется возможность к накоплению ошибки отработки программного угла

$$\Delta \varphi_1(t) = \varphi^{\Pi}_1(t) - \varphi_1(t). \quad (9.45)$$

Для устранения этой ошибки система коррекции должна обеспечивать стабилизацию  $\Delta \varphi(t)$  около некоторого положительного (если  $\Delta \varphi_1 < 0$ ) или отрицательного (если  $\Delta \varphi_1 > 0$ ) значения  $\Delta \varphi_0$ . После устранения ошибки отработки программного угла значению  $\Delta \varphi_0$  присваивается нулевое значение.

Для выполнения коррекции в ЦВМ с помощью методики стабилизации динамических отклонений в реальном времени рассчитываются значения сигнала

$$u_{цк}(t) = u_k(t) + u_d(t), \quad (9.46)$$

где  $u_k(t)$  — воздействие, компенсирующее действующие на систему возмущения;  $u_d(t)$  — дополнительное управляющее воздействие для устранения отклонения  $\Delta\varphi_1(t)$ .

Опишем порядок расчета воздействий  $u_k(t)$  и  $u_d(t)$ . При этом опираться будем на описанную выше методику стабилизации.

Запишем уравнение (9.42) в виде

$$(a_0 P^2 + a_1 P + a_2) (\varphi^{n_1} + \Delta\varphi_1) = b_2 \varphi^{n_1} + f_{\varphi_1}, \quad (9.47)$$

где

$$\Delta\varphi_1 = \varphi_1 - \varphi^{n_1}.$$

Если предположить, как это делается в методике стабилизации, что отклонения  $\Delta\varphi_1(t)$  формируются только воздействием  $f_1(t)$ , то на основании (9.47) можно записать

$$(a_0 P^2 + a_1 P + a_2) \Delta\varphi_1 = f_{\varphi_1}. \quad (9.48)$$

Однако в данном случае на значение отклонения  $\Delta\varphi_1(t)$  оказывает влияние еще и инерционность системы. Это влияние можно представить в виде дополнительного возмущения  $f_{d1}(t)$ , действующего на процесс регулирования  $\Delta\varphi_1(t)$ . С учетом этого уравнение (9.48) можно записать в виде

$$(a_0 P^2 + a_1 P + a_2) \Delta\varphi_1 = f_1(t), \quad (9.49)$$

где  $f_1(t) = f_{\varphi_1}(t) + f_{d1}(t)$ .

Так как  $L_{я1} \ll R_{я1}$ , то в уравнении (9.48) коэффициент  $a_0 \ll a_1$  и его можно отбросить. О такой возможности также свидетельствуют кривые процессов для уравнения (9.49) и для уравнения

$$(a_1 P + a_2) \Delta\varphi_1 = f_1(t), \quad (9.50)$$

которые практически ( $\Delta\varphi < 0,005$ ) совпадают (рис. 9.16).

Уравнение (9.50) можно записать в виде

$$(T_1 P + 1) \Delta\varphi = K_1 f_1(t), \quad (9.51)$$

где  $T_1 = a_1/a_2$ ,  $K_1 = 1/a_2$ .

Так как выражение (9.51) по внешнему виду соответствует уравнению (9.21), то нет необходимости повторять процедуры получения формул для определения воздействий  $u_k(t)$  и  $u_d(t)$ , формирующих корректирующий сигнал  $u_{цк}(t)$  [см. формулу (9.46)]. Можно сразу записать формулы для определения  $u_k(t)$

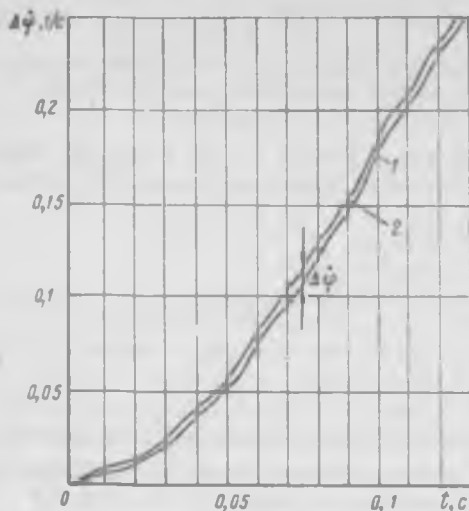


Рис. 9.16. Кривая процессов

и  $u_d(t)$ . Запись их будет дана после некоторых уточняющих пояснений.

Согласно методике расчет коррекции начинается с построения кривой  $y_s(t)$ , моделирующей закон изменения ошибки (см. рис. 9.12, а) на участке  $[t_{i-2}, t_i]$ . В данном случае это будет закон изменения  $\Delta\varphi(t)$ . При этом точка  $t_{i-2}$  соответствует началу работы системы и значению  $\Delta\varphi(t_{i-2})=0$ ; точка  $t_{i-1}$  — значению  $\Delta\varphi(t_{i-1})=\Delta_2$  и точка  $t_i$  — значению  $\Delta\varphi(t_i)=\Delta_3$ .

Расстояние между точками равно шагу счета

$\Delta t$ . Расчет коррекции начинается в момент прихода системы в точку  $t=t_i$ . Первой рассчитывается кривая  $y_s(t)$ . Далее по этой кривой определяются значения возмущений, действовавших на процесс в точках  $t_{i-2}$ ,  $t_{i-1}$  и  $t_i$ . Для расчета возмущений применяется формула (9.28), которая в данном случае должна записываться в виде

$$f_1(t_{j-1}) = \frac{T_1}{K_1} \frac{y_s(t_j) - y_s(t_{j-1})}{\Delta t_j} + y_s(t_{j-1, j}). \quad (9.52)$$

Формула (9.32) отличается от (9.28) наличием коэффициента  $K_1$  и индексами при возмущении и при постоянной времени  $T_1$ . Это обусловлено внешними отличиями уравнений (9.51) и (9.21).

Далее по значениям возмущений в точках  $t_{i-2}$ ,  $t_{i-1}$  и  $t_i$  рассчитывается кривая  $y_{s,2}(t)$  (см. рис. 9.12, б), моделирующая закон изменения  $f_1(t)$  на интервале  $(t_{i-2}, t_i)$ . Затем этот закон пролонгируется до точки  $t_{i+1}$ . В результате указывается прогнозируемый закон изменения  $f_1(t)$  на промежутке последующего управления  $[t_i, t_{i+1}]$ . Очевидно, на этом промежутке воздействие, предназначенное для компенсации действующего возмущения, должно рассчитываться по формуле

$$u_k(t) = -y_{s,2}(t). \quad (9.53)$$

Для расчета дополнительного управляющего воздействия в методике применяется формула (9.35), которая для данного случая записывается в виде

$$\bar{u}_d(t_{i-1,j}) = \frac{T_1}{K_1} \frac{y_{s,1}(t_i) - y_{s,1}(t_{i-1})}{\delta t_i} + \bar{y}_{s,1}(t_{j-1,j}). \quad (9.54)$$

Для составления этой формулы использована кривая  $y_{s,1}(t)$  (см. рис. 9.13), с помощью которой планируется закон устранения отклонения  $\Delta y$  (в данном случае  $\Delta \varphi$ ) на интервале последующего управления.

На основании выражений (9.46), (9.54) и (9.53) можно записать формулу для расчета корректирующего сигнала  $u_{\text{дк}}(t)$ :

$$\bar{u}_{\text{дк}}(t_{j-1,j}) = \frac{T_1}{K_1} \frac{y_{s,1}(t_j) - y_{s,1}(t_{j-1})}{\delta t_j} + \bar{y}_{s,1}(t_{j-1,j}) - \bar{y}_{s,2}(t_{j-1,j}), \quad (9.55)$$

где  $u_{\text{дк}}(t_{j-1,j})$  — суммарное среднее корректирующее воздействие, которое должно быть приложено на  $\delta t_j$ -м участке интервала  $[t_j, t_{j+1}]$

Далее корректирующие воздействия  $u_{\text{дк}}(t)$  прикладываются к системе.

После прохождения системой точки  $t = t_{i+1}$  согласно методике необходимо уточнить ранее спрогнозированное в точку  $t_{i+1}$  значение возмущения. Для этого в методике применялась формула (9.37). Для данного случая эта формула должна быть записана (см. рис. 9.13) в следующем виде:

$$\bar{f}_{\Delta 1} = \frac{T_1}{K_1} \frac{y_{s,2}(t_{i+1}) - y_{s,2}(t_{i+1} - \delta t_k)}{\delta t_j} + y_{s,2}(\delta t_k) - u_{\text{дк}}(\delta t_k), \quad (9.56)$$

где  $\bar{f}_{\Delta 1}$  — действительное (подправленное) среднее значение возмущения, действовавшего на последнем  $\delta t_k$ -м участке;  $u_{\text{дк}}(\delta t_k)$  — среднее суммарное значение корректирующего воздействия, которое было приложено на  $\delta t_k$ -м участке.

Для демонстрации эффективности разработанного алгоритма цифровой коррекции в решении задачи повышения точности и скорости раскроя можно записать точность обхода некоторых правильных фигур.

В качестве математической модели раскройного манипулятора возьмем уравнения (9.40) и (9.41) со значениями параметров, указанных в табл. 9.5.

Таблица 9.5

| Уравнение | $I_{\Sigma}, \text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$ | $L_{\text{к}}, \text{Гн}$ | $R_{\text{к}}, \text{Ом}$ | $C_{\text{м}}, \text{Н} \cdot \text{м} / \text{а}$ | $C_{\text{с}}$ | $K_{\gamma}$ | $K_{\varphi}$ | $i$  |
|-----------|--------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------|----------------|--------------|---------------|------|
| 9.40      | 29                                                     | 0,001                     | 20                        | 0,01                                               | 0,1            | 165          | 10            | 2000 |
| 9.41      | 27                                                     | 0,001                     | 20                        | 0,01                                               | 0,1            | 165          | 10            | 2000 |

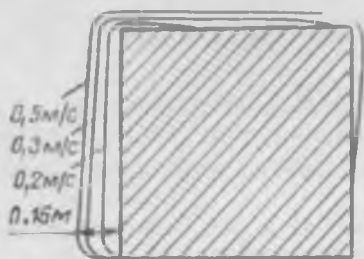


Рис. 9.17. Результаты обработки квадрата раскройной установкой:

*а* — с применением замкнутых систем управления; *б* — с применением цифровой коррекции управления

Ограничимся показом результатов численного моделирования процессов раскроя такой геометрической фигуры, как квадрат; при этом рассмотрим три режима раскроя, соответствующие скоростям  $v = 0,2$  м/с,  $v = 0,3$  м/с и  $v = 0,5$  м/с.

На рис. 9.17 показаны линии раскроя квадрата, полученные при указанных скоростях движения резака. Видно, что в начальный период движения манипулятора ошибки обработки программы раскроя возрастают. Максимальная ошибка соответствует скорости 0,5 м/с и составляет 160 мм. Далее, после

обеспечения корректирующим управлением равенств скоростей

$$\dot{\varphi}_1 = \dot{\varphi}_1^n \text{ и } \dot{\varphi}_2 = \dot{\varphi}_2^n \quad (9.57)$$

рост ошибок прекращается.

В исследовании выполнения указанных равенств обеспечивалось с точностью до 0,001 %.

Для устранения ошибок, накопившихся к моменту выполнения равенства (9.57), изменялись программные значения скоростей  $\dot{\varphi}_1^n$  и  $\dot{\varphi}_2^n$ . (После ликвидации ошибок эти изменения устранялись.) В результате достигнуто практически полное (до долей мм) устранение ошибок обработки указанных скоростных программ раскроя.

Из графиков также следует, что процесс устранения ошибок заканчивается после прохождения резакм манипулятора значительных расстояний. Поэтому на практике режущий инструмент требуется приводить в действие только в момент полного устранения ошибки. Нераскроенная же часть материала должна быть раскроена при повторном обходе замкнутой линии контура.

Результаты обработки других геометрических фигур принципиальных отличий не имеют и поэтому в материале не приводятся.

В процессе исследований численный расчет корректирующих воздействий  $u_{\text{дк}}(t)$  выполнялся со скоростью, обеспечивающей управление в реальном времени. Для этого применялись алгоритмы метода пролонгаций [1].

Расчеты выполнялись на ЭВМ «Электроника-60».

На основании данных результатов можно сделать вывод о практической возможности получения высокой точности и производительности раскройной манипуляционной установки за счет применения управления, формируемого на микроЭВМ в реальном времени.

## ФОРМИРОВАНИЕ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЗЫ ДАННЫХ ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ РОБОТОТЕХНИКИ И СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

### § 10.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАДАЧИ

Интегрированный производственный комплекс (ИПК) представляет собой сложную систему производственных звеньев, объединенных общей конечной целью. Теоретическая ценность этого понятия заключается в том, что оно заставляет рассматривать вопросы взаимодействия разных функциональных элементов производства в свете единого критерия эффективности. Последовательная реализация задачи формирования ИПК требует определения его состава и структуры, анализа сопряженности звеньев и их взаимного соответствия, выявления узких мест и резервов повышения эффективности. При этом формирование интегрированной модели в известной степени страхует от выбора решений, локально оптимальных, но не рациональных для системы в целом. Так, например, эффективность автоматизации расчета кусков ткани в настилы может быть сведена к нулю при нерациональном складировании ткани, исключающей целенаправленный подбор кусков. Робот или высокопроизводительный программный автомат может снизить рентабельность производства, если не решены вопросы организации труда на смежных операциях, в частности транспортных, складских. Можно привести и другие примеры «локального» совершенствования производства, не давшего экономического эффекта, хотя и обеспечившего выполнение плана внедрения новой техники. Поэтому представляется методологически важным при формировании ИПК проводить обстоятельный системный анализ производственного объекта, обращая повышенное внимание на «стыковку» различных элементов: технологических процессов и организационной системы; звеньев, реализующих разные стадии подготовки производства и изготовления продукции (научные исследования, проектирование, технологическая подготовка производства, собственно производственная стадия).

Формирование подобной модели ИПК должно быть предметом специального прикладного исследования, в результате которого определяются *структурные и функциональные элементы комплекса*, устанавливаются содержание и информационные связи решаемых ими задач. Итогом этой работы должна стать обобщенная формализованная модель ИПК, включающая и критерии его эффективного функционирования и развития. Выбор таких критериев составляет самостоятельную задачу. На этом

завершается аналитический, концептуальный этап формирования ИПК.

Следующий этап — этап системного проектирования и реализации. Сложность взаимосвязей элементов ИПК, разнообразие вариантов выполнения различных функций делают этот этап исключительно трудным. Необходимыми предпосылками его качественной реализации являются создание банка данных о параметрах технологических процессов, оборудовании, средствах автоматизации и разработка добротных методик оценки и анализа эффективности применения тех или иных процессов и технических средств в различных условиях. При наличии этих предпосылок может быть поставлен вопрос об оптимальном выборе технических средств (включая робототехнику, ЭВМ, АРМ, АСУ различных уровней) и организационных решений с учетом выдвинутых критериев и ограничений.

Практическая реализация такого выбора неизбежно требует создания конструктивного аппарата для решения сложных оптимизационных задач большой размерности. Здесь должен быть использован весь арсенал современных методов численной оптимизации, в том числе приближенные и эвристические методы, обеспечивающие поиск рациональных решений. При этом не исключается упрощение исходной крупноразмерной задачи по тем или иным принципам, ее декомпозиция, необходимые для получения искомого результата.

В то же время подчеркнем предпочтительность принципа «полная (относительно) модель — приближенный результат» по сравнению с обратным «приближенная модель — точное решение». При вынужденном упрощении исходной полной модели всегда есть возможность анализировать и контролировать этот процесс, что способствует повышению полезности результата. В качестве примера одного из типов задач, возникающих при формировании ИПК, можно указать задачу выбора вариантов технической реализации нескольких участков технологического процесса. Если множества допустимых вариантов для всех участков заданы, то выбор оптимальной их комбинации представляет собой комбинаторно-экстремальную задачу, решение которой, особенно при наличии усложняющихся факторов (большая размерность, наличие ограничений на некоторые комбинации, разнообразие критериев), представляет определенные трудности.

Перечисленные трудности возрастают, если учитывается временной аспект, т. е. если рассматривается развитие ИПК во времени и ставится задача поиска последовательности решений по выбору технических средств и, возможно, других элементов комплекса.

Создание алгоритмов формирования интегрированных производственных комплексов с использованием баз данных по характеристикам систем автоматизации, в том числе реализующих ими-

тационные процедуры, обеспечит повышение качества перспективного планирования развития ИПК.

Наконец, отметим задачу, которая непосредственно примыкает к проблеме формирования ИПК. Представляется очевидным, что задача синтеза сложного многокомпонентного комплекса упрощается с ростом количества и качества разнообразных вариантов реализации компонент — увеличивается число возможных решений и вероятность нахождения наиболее подходящего. В то же время увеличение разнообразия технических средств (например, типов роботов) требует значительных затрат. Возникает вопрос: каков достаточный уровень разнообразия вариантов реализаций элементов ИПК, обеспечивающий проектирование с учетом требований, характерных для условий текстильной и легкой промышленности? Формально эта задача может рассматриваться в известном смысле как обратная к упомянутой задаче поиска оптимальной (или рациональной) комбинации вариантов.

Таким образом, давая общую характеристику проблеме формирования в отрасли ИПК, необходимо выделить следующие компоненты ее научного обеспечения:

- создание методики системного анализа производства с целью формирования организационной и функциональной структуры ИПК;

- разработка методик моделирования ИПК как целостного объекта и постановки оптимизационных задач проектирования ИПК;

- создание банков данных по компонентам ИПК и методик оценки и анализа эффективности применения различных технических и других средств;

- разработка математического и программного обеспечения для задач оптимального проектирования ИПК и оптимального управления их развитием.

В особую позицию следует выделить также проблему создания для отрасли современных средств автоматизации, в том числе роботов и манипуляторов, микропроцессорных систем управления, автоматизированных рабочих мест, АСУТП. Решение этих локальных задач — необходимое условие развития ИПК. В то же время это решение должно проводиться с перспективой эффективной компоновки будущих гибких производств и производственных комплексов.

#### **§ 10.2. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ В ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Совершенствование производства на основе ускорения научно-технического прогресса в отраслях текстильной и легкой промышленности, работающих в условиях полного хозяйственного

расчета и самоокупаемости, немыслима без внедрения новейшей высокоэффективной техники с массовым использованием микропроцессоров, различного рода манипуляторов и роботов, РТК и РТС.

Вместе с тем, как и любая другая форма автоматизации производства, роботизация с точки зрения ее технико-экономической эффективности создает объективные предпосылки для существенного роста капиталовложений, фондоемкости, многократного усложнения производственных систем и этим самым вызывает необходимость проведения глубокого технико-экономического анализа, предшествующего ее внедрению. Это требование становится сейчас особенно актуальным, так как источниками финансирования в современных условиях хозяйствования являются собственные средства предприятий и любая ошибка в стратегии или тактике технического перевооружения производства неминуемо отразится на экономических результатах: прибыли, рентабельности, фондах развития и материального поощрения, заработке работающих, себестоимости и конкурентоспособности выпускаемой продукции.

В принципе сама природа организации и технологии производства на предприятиях текстильной и легкой промышленности — многостаночное обслуживание оборудования, крупносерийный и массовый выпуск продукции, наличие конвейеров и прерывистых поточных линий, многократно повторяющиеся трудовые движения и операции, большая доля ручного труда, достигающая в отрасли 30 % и т. д. должна была бы всемерно способствовать широкому внедрению робототехники. К сожалению, революционного поворота в роботизации отраслевого производства реально пока не наблюдается. Более того, не преодолено еще психологическое сопротивление работников предприятий по вопросу перспективной необходимости роботизации производства.

В значительной степени сложившееся положение связано с отсутствием практики всесторонней технико-экономической оценки мероприятий, обеспечивающих научно-технический прогресс.

В то же время опыт промышленно развитых стран свидетельствует о стремительном росте производства и внедрения средств робототехники. Так, в Японии, наладившей промышленное производство роботов в 1968 г., темпы роста их ежегодного выпуска постоянно возрастают, причем за неполные двадцать лет общая стоимость парка роботов, используемых в стране, увеличилась с 400 млн иен в 1968 г. до 340,7 млрд иен в 1985 г. или возросла в 852 раза. Еще большую динамику используемый в этой стране роботов характеризует сравнение их количества в поштучном исчислении: в 1970 г. — 161 шт., в 1980 г. — 76 тыс. шт., в 1985 г. — свыше 200 тыс. шт. Надо отметить, что, несмотря на относительно небольшой удельный вес робототехнических средств, предназначенных для текстильной и легкой промышленности, в общем

их выпуске в Японии достигнуты высокие результаты автоматизации и роботизации этой отрасли, в том числе в прядении, трикотажном, отделочном и швейном производстве, а программа создания безлюдной технологии изготовления швейных изделий отнесена к высшему приоритету национальных программ научно-технического прогресса.

Приведенные выше данные и передовой технический опыт (рис. 10.1) современного машиностроения свидетельствует о большой прогрессивности роботизации производства в ряду различных направлений НТП.

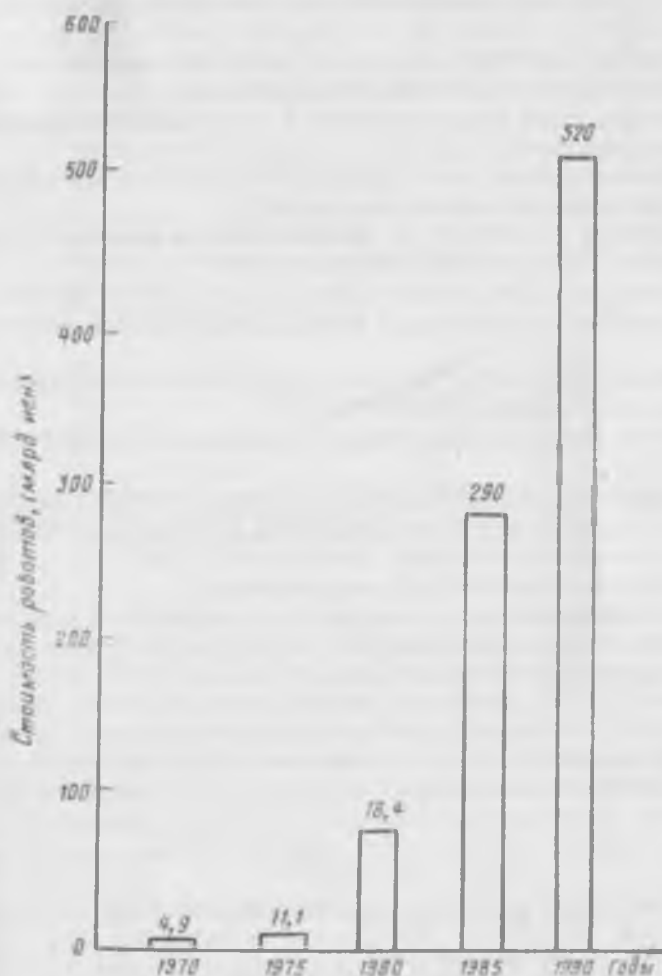


Рис. 10.1. Данные современного машиностроения о прогрессивности роботизации производства

Перечень экономических, социальных и технико-экономических преимуществ от внедрения в промышленности РТС весьма велик и разнообразен [28]:

облегчение труда рабочего в перспективе с освобождением его от неквалифицированного, монотонного, тяжелого и вредного труда;

обеспечение безопасности труда и снижение потерь рабочего времени от производственного травматизма, профтехзаболеваний;

повышение производительности и качества выпускаемой продукции за счет обеспечения постоянного режима работы «без усталости»;

увеличение выпуска продукции из-за возможного роста коэффициента сменности работы оборудования;

интенсификация существующих и стимулирование создания новых прогрессивных и высокоскоростных процессов;

повышение уровня автоматизации и экономической эффективности многоассортиментного производства;

обеспечение стабильности энергозатрат вследствие постоянства режима эксплуатации оборудования;

создание базы для организации гибкого автоматизированного производства и перехода к полной автоматизации предприятия;

высвобождение значительного числа рабочих для творческого и высококвалифицированного труда;

экономия фонда оплаты труда в результате применения роботов.

Перечисленные социально-экономические преимущества роботизации над обычным производством в его классическом понимании в своем абсолютном большинстве относятся и к отраслям текстильной и легкой промышленности.

При конкретизации источников экономической и социальной эффективности использования ПР и РТС в отраслевом разрезе, которые должны учитываться при технико-экономической оценке внедрения РТС, называют также самые различные позиции.

Например, по опросу специалистов трикотажного производства, [29], весомость этих источников, определенная по сумме рангов оценок по каждому источнику в долях от единицы, составила:

| Источник эффективности                                  | Весомость<br>( $\beta_i$ ) |
|---------------------------------------------------------|----------------------------|
| Частичное или полное высвобождение рабочих              | 0,20                       |
| Облегчение условий труда                                | 0,14                       |
| Повышение производительности труда                      | 0,09                       |
| Сокращение простоев оборудования                        | 0,08                       |
| Повышение качества продукции                            | 0,08                       |
| Высвобождение рабочих занятых тяжелым физическим трудом | 0,08                       |

|                                                            |      |
|------------------------------------------------------------|------|
| из работ с вредными условиями труда                        | 0,08 |
| Сокращение травматизма и профзаболеваний                   | 0,06 |
| Снижение размеров незавершенного производства              | 0,05 |
| Уменьшение затрат на энергию, расходуюмую на бытовые нужды | 0,05 |
| Повышение коэффициента сменности                           | 0,05 |
| Прочие факторы                                             | 0,04 |

Приведенные данные достаточно близки к результатам анализа целей внедрения роботов в японской промышленности. Анализ планов внедрения РТС по 402 японским предприятиям на 1985 г. показывал следующую весомость каждого источника эффективности [27]:

| Источник эффективности                                     | Весомость |
|------------------------------------------------------------|-----------|
| Повышение производительности и снижение стоимости изделий  | 0,264     |
| Перспективы перехода к безлюдным технологиям               | 0,203     |
| Сокращение затрат труда                                    | 0,163     |
| Автоматизация работ во вредных условиях среды              | 0,097     |
| Повышение качества                                         | 0,090     |
| Автоматизация простых монотонных операций                  | 0,082     |
| Компенсация дефицита рабочих высокой квалификации          | 0,062     |
| Возможность быстрой смены номенклатуры выпускаемых изделий | 0,035     |
| Совершенствование технологии                               | 0,003     |

Составляющие потенциального эффекта роботизации, как видим, весьма разнообразны, тем не менее реализовать их часто бывает трудно, а иногда даже невозможно. Эффект от внедрения роботов, РТС или ГАП в значительной мере предопределен степенью сложности выполняемых на рабочем месте операций или так называемых трудовых действий.

Применительно к текстильной и легкой промышленности можно следующим образом классифицировать трудовые действия работающих, являющиеся элементами рабочих приемов, выполнение которых может быть передано ПР или роботизированному устройству.

Количество наименований этих действий, естественно, варьируется, но основными из них можно назвать: В — взять, отпустить; ПО — поднять, опустить; П — переместить; ПВ — перевернуть, вывернуть; РС — разорвать, связать, присучить, перевязать; НС — надеть, снять; НО — нажать, оттянуть; З — заправить; НВ — нагнуться, повернуться, выпрямиться; ПП — передвинуться, перейти, пройти; Р — расправить; ВВ — включить, выключить; С — сложить; Н — нанести маркировку, клей; Е — ра-

бота глаз (посмотреть, взглянуть); ИФ — принять решение (интеллектуальная функция).

Перечисленные 16 трудовых действий представляют в основном простейшие механические действия и в совокупности определяют весь трудовой процесс рабочего на предприятиях текстильной и легкой промышленности.

Чем выше удельный вес  $\alpha$  простейших механических движений (ПД) к общей массе трудовых движений (ТД), тем проще роботизировать ту или иную операцию. Если  $\alpha = \Sigma \text{ ПД} / \Sigma \text{ ТД} = 1,0 \dots 0,8$ , то категория сложности роботизации рабочих приемов является низшей (категория) и соответственно могут быть использованы робототехнические средства, работающие по жестко заданной программе.

При  $\alpha = 0,79 \dots 0,6$  (категория II) требуются роботы с гибкой программой, снабженные датчиками внешней среды.

Если  $\alpha < 0,6$  (категория III), то использование робототехнических средств предполагает создание дополнительных технических средств для предварительной автоматизации выполнения ряда приемов или же рационализацию технологии выполнения трудового действия с целью его разложения на простейшие механические движения.

Степень (категорию) сложности роботизации трудового процесса можно классифицировать и по-другому:

I категория — роботизация может быть осуществлена на основе известных технических средств, выпускаемых промышленностью серийно;

II категория — роботизация возможна на основе известных технических решений после проектирования и изготовления специальных роботов или РТС;

III категория — роботизация может быть выполнена (стохастически) после проведения необходимых теоретических исследований, нахождения оригинального технологического решения и его реализации в виде специальных роботов или робототехнических средств.

Несмотря на принципиальное различие приведенных классификаций, отличающихся по существу характеристики понятия сложности, они имеют с практической точки зрения одно общее — чем ниже категория сложности роботизации, тем проще и реальнее (причем с положительным эффектом) автоматизировать выполнение той или иной операции.

Проведенное в 1985 г. на ленинградских предприятиях текстильной и легкой промышленности обследование показало, например, что в хлопкопрядении объектами роботизации (автоматизации) могут быть 23 операции по ходу технологического процесса, девять из них отнесены к I категории сложности, т. е. могли быть автоматизированы на основе известных и выпускаемых машиностроением технических средств, восемь — к категории II и шесть — к категории III. В швейном производстве было опре-

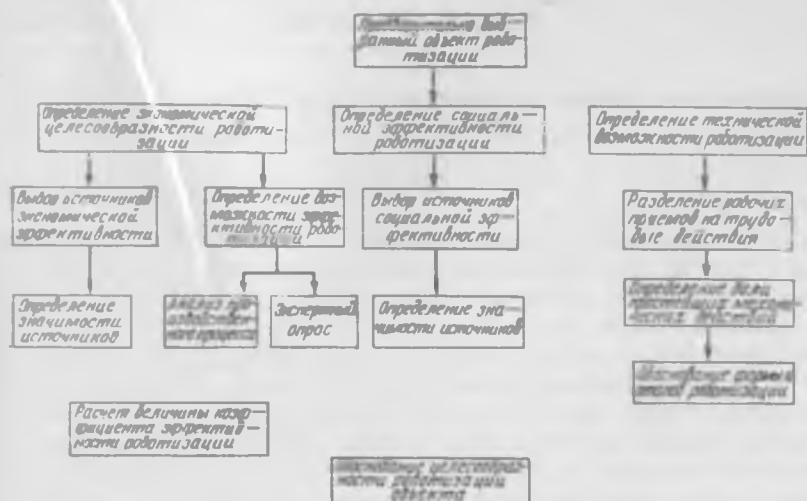


Рис. 10.2. Содержание методики предварительного обследования производств в текстильной и легкой промышленности

делено 96 возможных объектов роботизации различной категории сложности. На трикотажных предприятиях («Красное знамя») применительно к чулочно-носочному производству была выявлена 21 операция, роботизация которых могла обеспечить наибольший экономический и социальный эффект.

Учитывая многообразие объектов и форм роботизации производства, в том числе в легкой и текстильной промышленности, этапу обследования и технико-экономического обоснования необходимо уделять большое внимание, так как от правильности выбора объекта роботизации и соответственно ее формы существенно будет зависеть и ее эффективность.

Обследование предприятий с целью его комплексной или локальной роботизации осуществляется по методикам [28]—[31]. Для предприятий текстильной и легкой промышленности целесообразно использовать на этапе предварительного обследования производства с целью его роботизации методику, содержание которой иллюстрируется рис. 10.2.

Обследование по этой методике осуществляется в трех направлениях по линии определения экономической целесообразности роботизации, ее социальной значимости и технической возможности.

Под коэффициентом эффективности роботизации понимается показатель ее условной экономической эффективности, получаемый на основе экспертного опроса специалистов по данным анализа производственного процесса

$$K_{\text{эп}} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \gamma_{ij} \beta_i / m, \quad (10.1)$$

где  $\gamma_{ij}$  — оценка операции  $j$ -м специалистом ( $j = \overline{1, n}$ ) по  $i$ -у источнику экономической эффективности ( $i = \overline{1, m}$ )  $\gamma_{ij} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$ ;  $\beta_i$  — весовость  $i$ -го источника в баллах или долях от единицы, определяемая известными статистическими методами [32].

После обследования предприятия с целью выявления возможных объектов роботизации и принятия решения о последних осуществляют расчет эффективности внедрения роботов или РТС.

Принципиально методика расчета экономической эффективности внедрения роботизации не отличается от любых других расчетов по внедрению новой техники, однако имеются и существенные особенности. Основной из них является необходимость более детального расчета социального эффекта от внедрения роботизации, причем желательно найти такие формы выражения социального эффекта, которые бы были соизмеримы с экономическим эффектом.

Для укрупненных расчетов годового социально-экономического эффекта ( $\mathcal{E}$ ) в литературе [30] предложена следующая формула:

$$\mathcal{E} = \rho C_3 + (\rho - 1) C_6 - C_p + E_n \Delta K + 3400 \cdot \Delta \mathcal{U}, \quad (10.2)$$

где  $\rho$  — ожидаемый коэффициент изменения производительности оборудования;  $C_3$  — заработная плата рабочих, заменяемых промышленными роботами, руб./год;  $C_6$  — затраты на содержание и амортизацию оборудования в базовом варианте, руб./год;  $C_p$  — расходы по эксплуатации и амортизации средств робототехники, руб./год;  $\Delta K$  — дополнительные капитальные вложения в мероприятия по роботизации, руб.;  $E_n = 0,15$  — нормативный коэффициент экономической эффективности капиталовложений;  $\Delta \mathcal{U}$  — ожидаемое сокращение численности, чел.; 3400 — условно средний размер социального эффекта обусловленного наличием абсолютной дефицитности рабочей силы, руб./год на 1 чел.

При этих исходных данных срок окупаемости дополнительных капитальных вложений  $T$  может быть рассчитан следующим образом:

$$T = \frac{\Delta K - 22600 \Delta \mathcal{U}}{\rho C_3 + (\rho - 1) C_6 - C_p} \quad (10.3)$$

Здесь значение 22600 руб. получено как частное  $3400/E_n = 3400/0,15 \approx 22600$  руб.

Экономически эффективным будет мероприятие по роботизации, если  $\mathcal{E} > 0$  или  $T < 1/E_n$ . Вместе с тем такой вывод будет справедлив лишь тогда, когда критерием роботизации является прежде всего принцип экономической эффективности. В отдельных случаях, когда главным целевым признаком роботизации становятся показатели социального эффекта, например, при за-

мене роботами тяжелого физического труда или труда в особо вредных условиях, решение о внедрении манипуляторов, роботов или РТС может быть принято и при отрицательном значении эффекта.

Следует отметить, что прямой расчет социально-экономической эффективности роботизации затруднен из-за сложностей, связанных с определением в количественном (стоимостном) выражении социального эффекта.

Так, при расчете эффективности внедрения РТС на участке формирования ЧНИ в Ленинградском производственном объединении «Красное знамя» были выявлены следующие составляющие социального эффекта, выраженные в стоимостном исчислении: уменьшение потерь в выработке, связанных с сокращением текучести рабочей силы; снижение затрат на обучение вновь принимаемых рабочих; сокращение потерь в выработке продукции из-за уменьшения заболеваемости; экономия выплат по больничным листам; экономия от сокращения затрат на дополнительные отпуска; экономия от уменьшения выплат по льготам.

Суммарно только по указанным позициям годовой эффект составил 19,6 тыс. руб.

В приведенную сумму не включен целый ряд дополнительных составляющих этого эффекта, причем некоторые из них очевидны. Например, сокращение затрат на строительство и эксплуатацию рабочих общежитий, бытовых помещений в цехах, уменьшение затрат по долевому участию в строительстве отдельных квартир для работающих, снижение затрат по соцкультбыту, на технику безопасности, устранение последствий нехватки рабочих из-за возможного уменьшения объемов производства, включая оплату сверхурочных работ и работу в выходные дни, повышение престижности профессии и сокращение по этой причине текучести и т. д. По самым скромным оценочным показателям рассчитанный выше эффект при учете неучтенных позиций должен возрасти, как минимум, вдвое.

Наряду с позитивными аспектами широкого внедрения роботизации на предприятиях текстильной и легкой промышленности при определении ее эффективности нельзя забывать и о возможных отрицательных последствиях, главным из которых является надежность эксплуатации РТС. Во всех расчетах экономического эффекта от роботизации производства показатели наработки на отказ роботов должны обязательно учитываться через коэффициент работающего оборудования и эффективный фонд времени его работы.

Организация роботизированного производства также имеет свои существенные отличия, которые связаны прежде всего со специализацией ремонтного хозяйства, наличием на производстве квалифицированных наладчиков. Дополнительные затраты на эти мероприятия следует учитывать при определении экономического эффекта от внедрения РТС.

Изложенные вопросы показывают, что расчет социальной и технико-экономической эффективности внедрения роботов и РТС на предприятиях отрасли достаточно сложен, трудоемок и ответствен, как правило, отличается индивидуальностью, а при определении социального эффекта зачастую требует проведения специальных социологических исследований и анализа большого объема статистической информации. Даже для двух однородных предприятий, работающих в различных экономических районах с неодинаковыми демографическими условиями, может оказаться, что в одном случае внедрение РТК или отдельного робота эффективно, а в другом — не эффективно. Эффективность эксплуатации роботов и РТС в отрасли существенно зависит и от организационных условий, главным образом от коэффициента сменности работы оборудования: чем выше коэффициент сменности РТС, тем выше его эффективность. Поэтому, и особенно в условиях полной хозяйственной самостоятельности предприятий, расчету социальной и технико-экономической эффективности внедряемых роботов и РТС, надо уделять самое серьезное внимание как на стадии предпроектных работ, так и на стадии проектирования модернизации или реконструкции предприятия. Необходимо учитывать большое число составляющих эффекта, особенно таких, как изменение производительности оборудования, повышение качества выпускаемой продукции, составляющие социальной эффективности и т. д. При этом задача формирования интегрированных производственных комплексов на базе РТС и РТТС, роботизированных транспортно-складских систем (как отдельных систем автоматизации) может рассматриваться как многокритериальная задача выбора рационального варианта средств автоматизации производства, удовлетворяющего предъявляемым требованиям к техническому, технологическому и организационному обеспечению ИПК.

### **§ 10.3. АЛГОРИТМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЗЫ ДАННЫХ ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ**

Основной задачей при формировании ИПК является не только отбор наиболее эффективных систем автоматизации (СА), в том числе и технических средств промышленной робототехники, но и целенаправленный выбор предприятий, на которых применение этих СА может дать наибольший технико-экономический эффект.

Однако учет возникающих в ходе решения поставленной задачи трудноформализуемых требований и ограничений требует использования эвристических методов решения проблемы формирования ИПК. В качестве показателей эффективности использования каждой из соответствующих систем автоматизации рассматриваем три основные оценки: приращение качества продук-

ции ( $\Delta K$ ), приращение производительности труда ( $\Delta P$ ) и прибыль  $C$ , которые образуются при реализации соответствующей системы автоматизации на предприятиях отрасли. В целом количество показателей эффективности использования СА может быть значительно больше (см. § 10.2).

Выбор для реализации вариантов СА с учетом количественных и качественных характеристик предоставляемых технических средств осуществляется в соответствии с алгоритмами, предусматривающими большую размерность задачи, с использованием интегральных оценок функционирования систем автоматизации и предприятий, а также с учетом алгоритмов оптимизации интересов отдельных предприятий, подотраслей (например, прядильной, ткацкой, швейной подотрасли и т. д.) и требований отрасли в целом.

Таким образом, на основе имеющихся в отрасли научно-исследовательских, опытно-конструкторских и применяемых в производстве разработок, на первоначальном этапе проектирования ИПК формируются базы данных по системам автоматизации, каждой из которых, как указывалось выше, соответствуют три основных критерия эффективности СА, а именно: приращение качества продукции  $\Delta K_{ijk}$ , приращение производительности труда  $\Delta P_{ijk}$  и прибыль  $C_{ijk}$  при внедрении  $i$ -й системы автоматизации на  $j$ -м предприятии  $k$ -й подотрасли.

Алгоритм формирования ИПК состоит из последовательности отдельных шагов — этапов (рис. 10.3).

На этапе I формирования ИПК, который состоит из четырех составных частей, осуществляется унификация показателей эффективности путем приведения их к безразмерному виду (1-я часть), группирование СА по подотраслям (2-я часть), отбор систем автоматизации по двум первым показателям эффективности — качеству продукции и производительности (первое «просеивание») и, наконец, отбор систем автоматизации с учетом трех показателей эффективности — добавляется стоимость (второе «просеивание»).

На этапе II реализации алгоритма формируются так называемые интегральные показатели (ИП) для всех  $i$ -х систем автоматизации, реализуемых на отдельных  $j$ -х предприятиях  $k$ -й подотрасли\*. Интегральные показатели для каждой системы автоматизации представляются в виде линейной функции порядкового номера критерия качества ( $\Delta K_{ijk}$ ,  $\Delta P_{ijk}$ ,  $C_{ijk}$ ), характеризующейся коэффициентами  $A_{ijk}$  и  $B_{ijk}$ .

Далее следуют три этапа (III, IV и V), аналогичные по смыслу алгоритмов и рассматривающие задачу соответственно на уровне предприятий, подотраслей и отрасли в целом. Каждый из этапов имеет три составные части.

---

\* Употребляемые ниже и в других случаях данные индексы имеют такой же смысл.

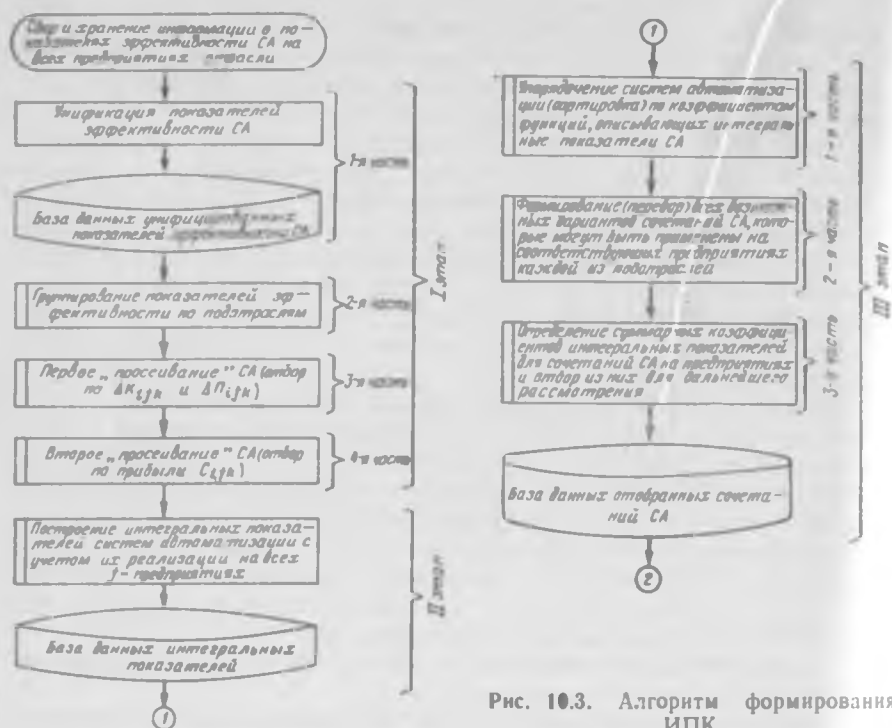
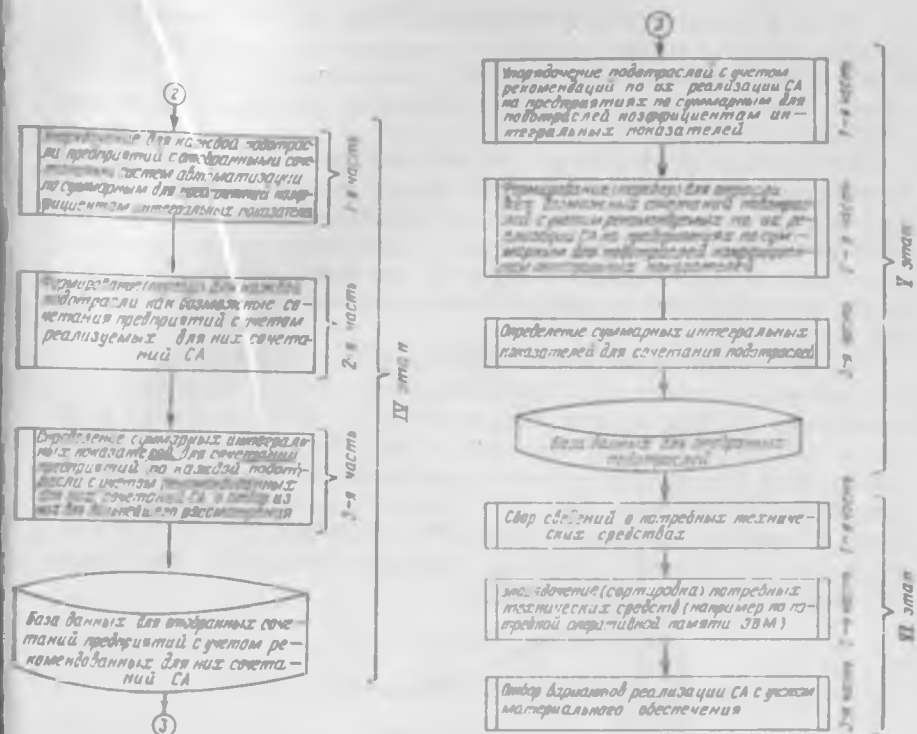


Рис. 10.3. Алгоритм формирования ИПК

Для этапа III эти составные части — упорядочение (сортировка) систем автоматизации по их интегральным показателям с учетом реализации на разных предприятиях, формирование сочетаний систем автоматизации для каждого предприятия с учетом суммарных интегральных показателей и отбор этих сочетаний для дальнейшего рассмотрения на следующем этапе.

На этапах IV и V составные части аналогичны — упорядочение (сортировка), формирование сочетаний и отбор — только применительно в первом случае к подотрасли с ее предприятиями, а во втором — к отрасли в целом с ее подотраслями, как это делается на третьем этапе применительно к предприятиям с их системами автоматизации (СА).

Рассмотренные этапы формирования ИПК и их содержание есть только часть полного алгоритма. Необходимо дополнить содержание этапов и ввести еще один. Суть дополнения состоит в том, что к используемым выше характеристикам СА ( $\Delta K_{ijk}$ ,  $\Delta \Pi_{ijk}$ ,  $C_{ijk}$ ) должны быть добавлены необходимые для реализации системы автоматизации технические средства, в том числе вычислительные. Учет этой характеристики является совершенно необходимым в условиях дефицита технического обеспечения проводимых мероприятий. Вводится в рассмотрение данная ха-



характеристика может на любом из перечисленных этапов, в том числе и на I этапе. В реализации систем автоматизации возможно варьировать техническими средствами и это помогает расширить вариабельность в формировании сочетаний предлагаемых к реализации СА.

Этап VI выполняется после многократных рассмотрений всех предыдущих. Предположим, что каждое рассмотрение дает свой вариант распределения необходимых технических средств. Для осуществления этого необходимо иметь определенные параметры, позволяющие варьирование. К числу этих параметров могут быть отнесены значения требований к системам автоматизации на этапе просенвания; число сочетаний СА по предприятиям, вводимых в дальнейшее рассмотрение и т. д.

Этап VI также содержит три части и предполагает сбор сведений о необходимых технических средствах, который дает каждое рассмотрение предыдущих этапов алгоритма, их упорядочение, например, по нужной памяти, отбор варианта (или вариантов) реализации систем автоматизации с учетом математического обеспечения. При наличии нескольких отобранных вариантов окончательное решение о принимаемом к реализации служб следует применять на эвристическом уровне.

Затем в алгоритме формирования ИПК из предприятий, на которых наиболее целесообразно реализовать отобранные СА, выделяются базовые предприятия, которые необходимо обеспечивать техническими средствами в первую очередь и без существенных ограничений.

Рассмотрим вновь этапы формирования ИПК с введением в необходимых случаях дополнительных пояснений. Как указывалось, первоначальное выделение наиболее перспективных систем автоматизации  $CA_{ijk}$  с точки зрения их максимальной эффективности (по качеству продукции, производительности и прибыли) осуществляется путем «просеивания» имеющихся вариантов на I этапе.

На начальной части этапа I необходимо унифицировать рассматриваемые показатели эффективности путем введения безразмерных коэффициентов. Введем  $K^{об}$ ,  $P^{об}$ ,  $C^{об}$ : известные в отрасли по отдельным подотраслям и предприятиям общие (максимальные) показатели качества продукции  $K^{об}$ , показатели производительности труда  $P^{об}$ ,  $C^{об}$  — средняя на предприятиях подотрасли прибыль. Будем считать  $K^{об} > 0$ ,  $P^{об} > 0$ ,  $C^{об} > 0$ . Построим тогда для каждой системы автоматизации  $CA_{ijk}$  векторную характеристику следующего вида:

$$V_{ijk} = (V^{(1)}_{ijk}, V^{(2)}_{ijk}, V^{(3)}_{ijk}), \quad (10.4)$$

$$\text{где } V^{(1)}_{ijk} = \Delta K_{ijk} / K^{об}; \quad V^{(2)}_{ijk} = \Delta P_{ijk} / P^{об};$$

$$V^{(3)}_{ijk} = C_{ijk} / C^{об}. \quad (10.5)$$

Далее на этапе I предварительно группируются возможные реализации систем автоматизации по отдельно взятым подотраслям. Например, группируются и рассматриваются реализации систем автоматизации в прядильной, ткацкой, красильно-отделочной, швейной и других подотраслях. Среди сгруппированных по подотраслям систем автоматизации по критериям  $V^{(1)}$  (качество) и  $V^{(2)}$  (производительность) отбирается ограниченная группа  $CA_{ijk}$ , удовлетворяющая требованиям:

$$V^{(1)} > V^{(1)}_{зад}; \quad V^{(2)} > V^{(2)}_{зад}, \quad (10.6)$$

где  $V^{(1)}_{зад}$  и  $V^{(2)}_{зад}$  — заданные значения критериев качества и производительности (формируемые, например, на базе экспериментальных оценок)

На рис. 10.4 множество точек, соответствующее вариантам  $CA_{ijk}$ , удовлетворяющих условию (10.6), находится в заштрихованной области. На этом рисунке верхние индексы  $p$ ,  $t$ ,  $k$  и  $ш$  обозначают характеристику  $V^{(1)}$ ,  $V^{(2)}$ ,  $V^{(3)}$  — для прядильной, ткацкой, красильно-отделочной и швейной подотраслей соответственно.

После предварительного «просеивания» и группирования  $CA_{ijk}$  анализируется  $j$  предприятий отрасли с целью выделения

Рис. 10.4. Предварительный отбор вариантов систем автоматизации



тех предприятий ( $P < j$ ), на которых, во-первых, применение отобранных на начальной стадии «просеивания»  $CA_{ijk}$  даст максимальную прибыль, а во-вторых, целесообразно по техническим причинам (например, имеется однотипное с опытным образцом оборудование или идет полная реконструкция предприятия). На этом этапе можно определить прибыль  $C_{ijk}$  каждого из предприятий отрасли от внедрения  $i$ -й системы автоматизации. На рис. 10.5 рассматривается геометрическая интерпретация «просеивания» вариантов реализации системы автоматизации с учетом безразмерного коэффициента прибыли  $V^{(3)}$ , получаемой  $j$ -м предприятием  $k$ -й подотрасли от внедрения  $i$ -й  $CA_{ijk}$ . В заштрихованной области  $V^+$  находятся варианты систем автоматизации, эффективность которых по качеству, производительности и прибыли удовлетворяет условию:

$$V^{(1)} > V^{(1)}_{\text{зад}}; V^{(2)} > V^{(2)}_{\text{зад}}; V^{(3)} > V^{(3)}_{\text{зад}}, \quad (10.7)$$

где в дополнение к выражению (10.6)  $V^{(3)}_{\text{зад}}$  — заданное значение критерия прибыли.

В результате «просеивания» вариантов формируется база данных, в которую включаются системы автоматизации, подлежащие

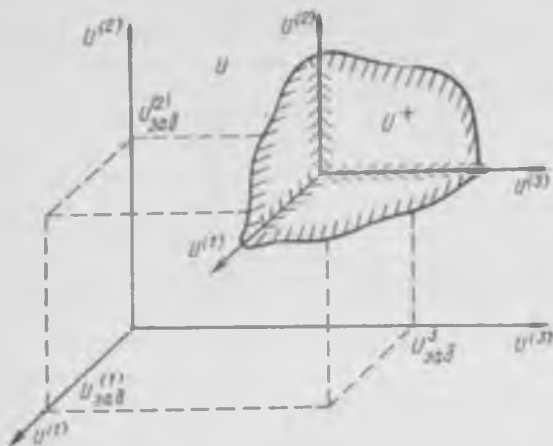


Рис. 10.5. Геометрическая интерпретация «просеивания» вариантов систем автоматизации

жащие дальнейшему рассмотрению и удовлетворяющие требованиям по качеству, производительности и прибыли для  $j$ -го предприятия  $k$ -й подотрасли. Число отобранных предприятий

$$n = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q \sum_{k=1}^m K_{ijk} CA_{ijk}, \quad (10.8)$$

где коэффициент

$$K_{ijk} = \begin{cases} 0, & \text{если } CA_{ijk} \in V^-, \\ 1, & \text{если } CA_{ijk} \in V^+. \end{cases}$$

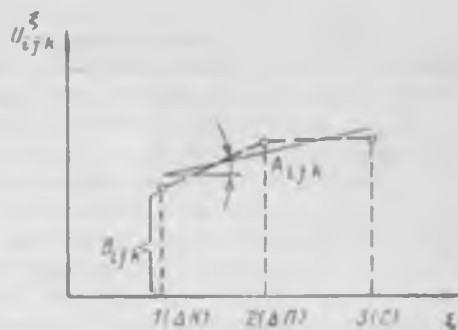
Отобрав системы автоматизации с учетом их реализации на конкретных предприятиях, можно сформулировать в соответствии с задачей второго этапа для каждой из систем автоматизации  $CA_{ijk}$  интегральные показатели.

С этой целью воспользуемся введенными выше [см. выражения (10.4) и (10.5)] обозначениями векторных характеристик. Значения компонента  $V^{(1)}_{ijk}$ ,  $V^{(2)}_{ijk}$ ,  $V^{(3)}_{ijk}$  будем считать ординатами дискретной функции  $V^{\xi}_{ijk}$ , где  $\xi = 1, 2, 3$ , точки которой соответствуют последовательно показателям приращения качества  $\Delta K$ , производительности  $\Delta P$  и прибыли  $C$  (рис. 10.6). Находим, например, с помощью метода наименьших квадратов уравнение прямой, наименее удаленной от значений этих ординат (рис. 10.6):

$$U^{(\xi)}_{ijk} = A_{ijk}\xi + B_{ijk}. \quad (10.9)$$

При этом интегральным показателем для системы автоматизации будем называть вектор, являющийся функцией параметров сглаживающей прямой (10.9):  $U^{(\xi)}_{ijk} = F(A_{ijk}, B_{ijk})$ , где ко-

Рис. 10.6. К построению интегрального показателя



эффициент  $A_{ijk}$  характеризует наклон оглаживающей прямой, а коэффициент  $B_{ijk}$  определяет численное значение относительного показателя качества ( $\Delta K$ ) для  $i$ -й системы автоматизации, реализуемой на  $j$ -м предприятии  $k$ -подотрасли. Соответственно наклон сглаживающей прямой (коэффициент  $A_{ijk}$ ) характеризует в свою очередь соотношение между численными значениями относительных показателей эффективности внедрения  $i$ -й СА на  $j$ -м предприятии  $k$ -й подотрасли. Значения коэффициентов  $A_{ijk}$ ,  $B_{ijk}$  интегрального показателя  $U_{ijk}$  могут быть получены

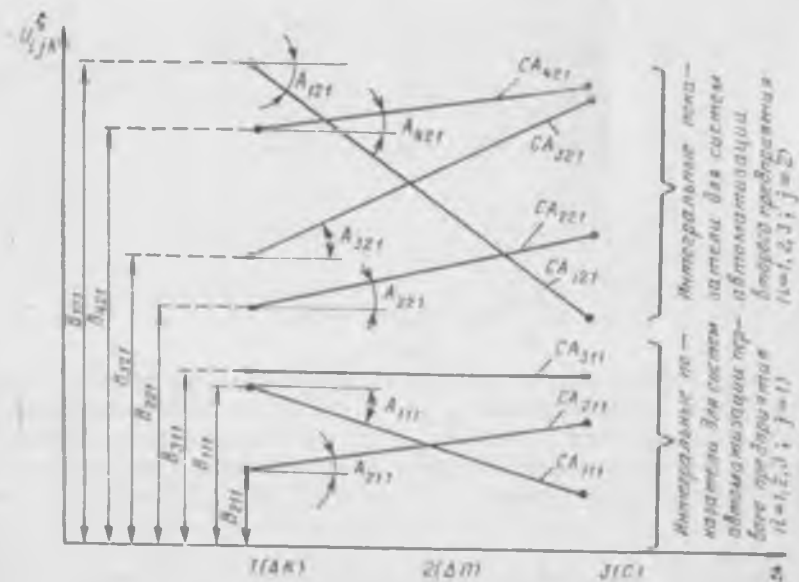


Рис. 10.7. Геометрическая интерпретация формирования множества интегральных показателей

для каждой  $i$ -й системы автоматизации  $j$ -го предприятия  $k$ -й подотрасли. Общий смысл введения интегральных показателей состоит в том, что векторная функция с тремя параметрами ( $\xi = 1, 2, 3$ ) заменяется линейной функцией  $U^{(\xi)}_{ijk} = A_{ijk}\xi + B_{ijk}$  на базе двух параметров  $A_{ijk}$  и  $B_{ijk}$ .

В общем случае может быть осуществлена замена и большего числа параметров векторной функции только двумя параметрами — коэффициентами линейной функции. На рис. 10.7 представлена геометрическая интерпретация формирования множества интегральных показателей для двух предприятий, причем на первом предприятии ( $j=1$ ) реализованы три системы автоматизации ( $CA_{311}$ ,  $CA_{221}$ ,  $CA_{321}$ ,  $CA_{421}$ ) и четыре системы автоматизации ( $CA_{121}$ ,  $CA_{221}$ ,  $CA_{321}$ ,  $CA_{421}$ ) — на втором предприятии ( $j=2$ ) первой подотрасли ( $k=1$ ).

Множество коэффициентов  $A_{ijk}$ ,  $B_{ijk}$ , характеризующих интегральные показатели систем автоматизации для каждой подотрасли, может быть представлено в матричном виде:

$$A_{ijk} \begin{vmatrix} A_{11k}, A_{12k}, A_{13k}, \dots, A_{1pk} \\ A_{21k}, A_{22k}, A_{23k}, \dots, A_{2pk} \\ \vdots \\ A_{l1k}, A_{l2k}, A_{l3k}, \dots, A_{lpk} \end{vmatrix} \quad (10.10)$$

$$B_{ijk} \begin{vmatrix} B_{11k}, B_{12k}, B_{13k}, \dots, B_{1pk} \\ B_{21k}, B_{22k}, B_{23k}, \dots, B_{2pk} \\ \vdots \\ B_{l1k}, B_{l2k}, B_{l3k}, \dots, B_{lpk} \end{vmatrix} \quad (10.11)$$

Номер строки рассматриваемых матриц соответствует номеру системы автоматизации ( $i=1, 2, \dots, l$ ), а номер столбца — номеру предприятия ( $j=1, 2, \dots, p$ ) при постоянном значении индекса  $k$ -й подотрасли. Следует отметить, что в случае нерациональности использования  $i$ -й системы автоматизации на  $j$ -м предприятии  $k$ -й подотрасли соответствующие коэффициенты в матрицах  $A_{ijk}$  и  $B_{ijk}$  условно принимаются равными нулю. Для интегральных показателей формируется соответствующая база данных.

Для последующего отбора систем автоматизации с учетом максимальной эффективности их использования далее должны

следовать три этапа отбора применительно к предприятиям, подотраслям и отраслям в целом. Первым идет этап III, относящийся к предприятиям.

Первая часть этого этапа — упорядочение (сортировка) коэффициентов  $A_{ijk}$  и  $B_{ijk}$ , под которой понимается целенаправленное перемещение элементов последовательностей коэффициентов  $A_{ijk}$ ,  $B_{ijk}$ , в результате которого коэффициенты  $A_{ijk}$ ,  $B_{ijk}$  расположатся в порядке возрастания их значений. Сортировка значений  $A_{ijk}$  и  $B_{ijk}$  может быть эффективно реализована с помощью алгоритмов «корпоративной сортировки» или с помощью метода Шелла.

Геометрическая интерпретация результата процесса сортировки коэффициентов  $A_{ijk}$  и  $B_{ijk}$  для одной из подотраслей представлена на рис. 10.8. По оси абсцисс отложены индексы обозначения системы автоматизации, как и ранее, с таким смыслом, что индексы  $[i, j, k]$  обозначают  $i$ -ю систему автоматизации  $j$ -го предприятия  $k$ -й подотрасли. Например, индекс  $[3, 5, 1]$  обо-

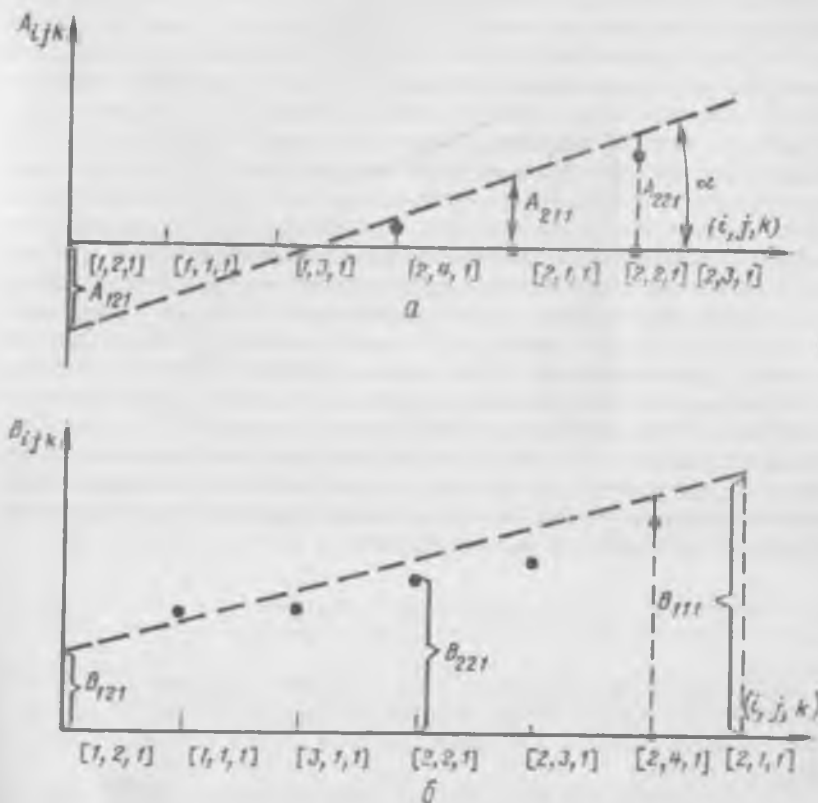


Рис. 10.8. Сортировка коэффициентов интегральных показателей для одной из подотраслей текстильной и легкой промышленности

значает, что рассматривается третья система автоматизации пятого предприятия первой подотрасли. Значения по осям ординат (рис. 10.8) соответствуют значениям коэффициентов  $A_{351}$  и  $B_{351}$ . Следует отметить, что порядок следования индексов систем автоматизации для оси абсцисс графика  $A_{ijk}$  (рис. 10.8, а) и графика  $B_{ijk}$  (рис. 10.8, б) в общем случае различен.

Так, на рис. 10.8, а индексу 2, 1, 1 соответствует коэффициент  $A_{211}$ , а на рис. 10.8, б той же системе автоматизации с индексом 2, 1, 1 соответствует коэффициент  $B_{111}$ , и они находятся в разных местах по оси абсцисс.

Рассматриваемое выше упорядочение (сортировка) последовательностей коэффициентов  $A_{ijk}$  и  $B_{ijk}$  введено для удобства реализации алгоритма формирования ИПК. Причем эффективность внедрения  $i$ -й системы автоматизации на  $k$ -м предприятии  $k$ -й подотрасли характеризуется, как уже указывалось выше, численными значениями коэффициентов  $A_{ijk}$ ,  $B_{ijk}$ . Отрицательный коэффициент  $A_{ijk}$  (например,  $A_{121}$ ) показывает, что соответствующая система автоматизации  $CA_{121}$  оказывает большое влияние на изменение качественных характеристик выпускаемого рассматриваемым предприятием ( $j=1$ ) изделия, но при этом относительное приращение прибыли  $B_{121}$  по сравнению с приращением качества  $A_{221}$  выпускаемой продукции сравнительно меньше. С другой стороны, положительный коэффициент  $A_{221}$  показывает, что внедрение на том же предприятии второй системы автоматизации ( $i=2$ ) позволит, наоборот, получить меньшее приращение качества продукции, но относительно большее приращение прибыли. Предприятие в целом заинтересовано в повышении качества продукции при одновременном увеличении (или сохранении) приращения производительности труда и приращения прибыли. Такого эффекта (в поиске которого смысл третьего этапа формирования ИПК) от внедрения систем автоматизации  $CA_{ijk}$  можно добиваться путем внедрения одной или нескольких систем автоматизации или их сочетаний. С точки зрения интегральных оценок последнее означает необходимость достижения суммарной величиной показателей  $A_{ijk}$  минимального значения (при условии, что вошли все реализуемые СА, в противном случае сумма будет неполной):

$$\sum_{i=1}^l A_{ijk} \rightarrow \min \text{ при } j, k = \text{const.} \quad (10.12)$$

Так, например, внедрение на втором предприятии ( $j=2$ ) одновременно двух систем автоматизации ( $CA_{121}$  и  $CA_{221}$ ) позволит удовлетворить условию (10.12), так как  $A_{221} + A_{121} \geq 0$  (см. рис. 10.8, а).

Одновременно предприятия рассматриваемой  $k$ -й подотрасли ( $j, k = \text{const}$ ) заинтересованы всегда в повышении качества выпускаемой продукции. Так же как в случае с коэффициентами

$A_{ijk}$ , путем перебора различных сочетаний систем автоматизации  $CA_{ijk}$ , которые могут быть внедрены на рассматриваемом предприятии, можно добиться, чтобы выполнялось условие

$$\sum_{i=1}^I B_{ijk} \rightarrow \max \text{ при } j, k = \text{const.} \quad (10.13)$$

Для удовлетворения условий равномерности приращения всех показателей эффективности внедрения систем автоматизации (приращение качества, производительности и прибыли) при одновременном улучшении качества продукции необходимо, чтобы выполнялись условия (10.12) и (10.13) одновременно.

Задача формирования оптимального решения в рассматриваемом случае сводится к многокритериальной задаче оптимизации

$$(\sum_{i=1}^I A_{ijk} \rightarrow \min; \sum_{i=1}^I B_{ijk} \rightarrow \max \text{ при } j, k = \text{const}).$$

На множестве варьируемых параметров — типов систем автоматизации и сочетания вариантов их применения.

Для отыскания такого решения необходимо осуществить перебор всех вариантов сочетаний систем автоматизации (по одному, два, три...) для каждого предприятия  $k$ -й подотрасли, таким образом, чтобы создать благоприятные условия для достижения цели. Этому посвящены 2-я и 3-я части этапа IV алгоритма.

Значения суммарных коэффициентов по всем сочетаниям систем автоматизации  $CA_{ijk}$  предприятия могут быть представлены в виде таблиц и храниться в базе данных. Примером таких таблиц для первого и второго предприятия являются табл. 10.3 и 10.4. В табл. 10.3 представлены суммарные показатели для всех сочетаний систем автоматизации первого предприятия  $k$ -й подотрасли. Аналогично табл. 10.4 составлена для второго предприятия той же подотрасли. Из табл. 10.3 и 10.4 видно, что имеются квазиоптимальные, т. е. близкие к оптимальным, варианты сочетаний — систем автоматизации. Этим решениям соответствуют в том и другом случае варианты решения № 1 [для пер-

Таблица 10.3

| Коэффициент      | 1    | 2    | 3    | 1+2  | 1+3  | 2+3 | 1+2+3 |
|------------------|------|------|------|------|------|-----|-------|
| $\Sigma A_{ijk}$ | -0,3 | 0,25 | 0    | 0    | -0,3 | 0,4 | 0     |
| $\Sigma B_{ijk}$ | 0,2  | 1,2  | 0,21 | 0,37 | 0,45 | 0,3 | 0,58  |
| Вариант решения  | 5    | 6    | 3    | 2    | 4    | 7   | 1     |

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение (Гончаренко В. Н., Климов В. А., Энтин В. Я.) . . . . .                                                                                                                        | 3  |
| <b>ГЛАВА 1</b>                                                                                                                                                                          |    |
| Основы формирования интегрированных производственных комплексов и особенности использования робототехнических систем в текстильной и легкой промышленности (Гончаренко В. Н.) . . . . . | 5  |
| § 1.1. Актуальность задач формирования гибких производственных систем и факторы обеспечения их гибкости . . . . .                                                                       | 5  |
| § 1.2. Системы автоматизации гибких производственных систем. Функциональное назначение и задачи . . . . .                                                                               | 11 |
| § 1.3. Особенности разработки и внедрения робототехнических комплексов . . . . .                                                                                                        | 18 |
| § 1.4. Принципы формирования интегрированных производственных комплексов . . . . .                                                                                                      | 23 |
| <b>ГЛАВА 2</b>                                                                                                                                                                          |    |
| Робототехнические системы в текстильной промышленности . . . . .                                                                                                                        | 27 |
| § 2.1. Структура и состав роботизированных гибких производств (Гончаренко В. Н.) . . . . .                                                                                              | 27 |
| § 2.2. Промышленные роботы для прядильного производства (Гончаренко В. Н., Долматов А. Г.) . . . . .                                                                                    | 42 |
| § 2.3. Робототехнический комплекс для участка упаковки и пакетирования бобин с нитями и пряжей (Гончаренко В. Н., Сарычев А. Х., Федоров Ю. А.) . . . . .                               | 57 |
| § 2.4. Робототехнический комплекс для съема и транспортировки ровницы (Гончаренко В. Н., Федоров Ю. А.) . . . . .                                                                       | 62 |
| § 2.5. Робототехнический комплекс для съема и укладки чулочно-носочных изделий (Гончаренко В. Н., Есимбаев О. Ж., Климов В. А., Мазин Л. С., Энтин В. Я.) . . . . .                     | 64 |
| § 2.6. Робототехнический комплекс для обжима бобин в крашении (Куликовский В. Г., Панов В. В., Усков Д. Н.) . . . . .                                                                   | 72 |
| § 2.7. Робототехнический комплекс для полной предварительной механической обработки бобин в крашении (Бардачев Ю. Н., Климов В. А., Панов В. В., Сыс В. Б.) . . . . .                   | 81 |
| § 2.8. Применение манипуляторов ручного управления для погрузочно-разгрузочных операций на конвейерных линиях (Маковкин А. К.) . . . . .                                                | 87 |
| § 2.9. Механизация погрузочно-разгрузочных работ на ткацких станках и перспективы их роботизации (Маковкин А. К.) . . . . .                                                             | 89 |
| <b>ГЛАВА 3</b>                                                                                                                                                                          |    |
| Робототехнические системы в швейной промышленности . . . . .                                                                                                                            | 95 |
| § 3.1. Структура и состав гибкого автоматизированного (роботизированного) швейного производства (Гончаренко В. Н.) . . . . .                                                            | 95 |
| § 3.2. Применение манипуляторов с ручным управлением для транспортно-погрузочных операций в подготовительных цехах швей-                                                                |    |

|                                                                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ного производства (Романов В. Е., Гончаренко В. Н., Голубев М. И., Мишенин О. А., Подвальный А. В., Попелковская Л. В.) | 100 |
| § 3.3. Робототехнические комплексы по работе со швейными лекалами (Дементьев С. А., Сафонов Л. М.)                      | 103 |
| § 3.4. Робототехнический комплекс раскроя текстильных материалов (Дементьев С. А., Сафонов Л. М.)                       | 110 |
| § 3.5. Робототехнический комплекс для выстегивания одеял (Дементьев С. А., Сафонов Л. М.)                               | 113 |
| § 3.6. Робототехнический комплекс обметывания петель ОП-1 (Ганулич А. А.)                                               | 117 |

#### ГЛАВА 4

|                                                                                                                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Робототехнические системы в кожевенно-обувной промышленности</b>                                                                                                                            | 120 |
| § 4.1. Структура и состав гибкого автоматизированного (роботизированного) сушильно-отделочного цеха кожевенного производства (Гончаренко В. Н.)                                                | 120 |
| § 4.2. Структура и состав гибкого автоматизированного (роботизированного) обувного производства (Гончаренко В. Н.)                                                                             | 125 |
| § 4.3. Промышленный робот для перекладки жестких кож (Андреев В. И., Волков В. П., Гончаренко В. Н., Иванов В. Ю., Климов В. А., Лазариди К. Х., Энгин В. Я.)                                  | 129 |
| § 4.4. Электромеханический промышленный робот для вспомогательных операций обувного производства (Андреев В. И., Гончаренко В. Н., Градовцев А. Л., Климов В. А., Лазариди К. Х., Родин В. В.) | 132 |
| § 4.5. Пневматический промышленный робот для обслуживания литевых машин обувного производства (Гончаренко В. Н., Градовцев А. Л., Донской А. С., Родин В. В.)                                  | 141 |
| § 4.6. Модульный промышленный робот для обувного производства (Волосов В. И., Гончаренко В. Н., Иванов В. Ю., Едунов Л. М., Тищенко О. И.)                                                     | 154 |

#### ГЛАВА 5

|                                                                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Транспортные промышленные роботы гибких автоматизированных производств текстильной и легкой промышленности</b>                                 | 160 |
| § 5.1. Состав и типы транспортных промышленных роботов (Гончаренко В. И., Климов В. А., Михайлов И. Г.)                                           | 160 |
| § 5.2. Напольный транспортный промышленный робот грузотянущего типа с конвейерными перегрузочными устройствами (Кирман Б. Я.)                     | 165 |
| § 5.3. Напольный транспортный промышленный робот грузотянущего типа с автоматической боковой сцепкой (Андриенко В. В., Мазин Т. С., Шехтер Б. М.) | 167 |
| § 5.4. Напольный транспортный промышленный робот для транспортировки и раздачи уточной пряжи (Маковкин А. К.)                                     | 172 |

#### ГЛАВА 6

|                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Автоматизированные склады гибких автоматизированных производств в текстильной и легкой промышленности</b> | 174 |
| § 6.1. Структура и состав автоматизированных складов (Гончаренко В. Н.)                                      | 174 |
| § 6.2. Автоматизированный склад фурнитуры (Дементьев С. А., Сафонов Л. М., Михайлов И. Г., Фоменко И. В.)    | 180 |

#### ГЛАВА 7

|                                                                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Аналитическое представление графических и дискретных данных в математическом и алгоритмическом обеспечении робототехнических комплексов</b> | 186 |
| § 7.1. Классические ортогональные функции как аппарат оптимизационной аппроксимации (Дедус Ф. Ф.)                                              | 186 |
|                                                                                                                                                | 311 |

- § 7.2. Автоматизированное упорядочение, хранение и восстановление информационных данных для функций многих переменных (Сигачева В. В.)
- § 7.3. Аппроксимация кривых сложных конфигураций и прикладные задачи швейной промышленности (Романов В. Е., Червяков В. В.)
- § 7.4. Особенности и задачи совершенствования аналитического описания швейных лекал (Червяков В. В.)

## ГЛАВА 8

Датчики и исполнительные механизмы систем управления робототехническими комплексами—задача выбора и перспективы совершенствования

- § 8.1. Общая характеристика (Климов В. А.)
- § 8.2. Современные измерения как многопараметровая задача (Климов В. А., Саркисян Р. С., Червяков В. В.)
- § 8.3. Многопараметровая задача контроля текстильных материалов (Саркисян Р. С.)
- § 8.4. Электростатические и электромагнитные датчики слабых энергий (Расторгуев А. К.)
- § 8.5. Перспективы применения исполнительных элементов переменного тока в робототехнических системах (Лаврентьев С. М.)

## ГЛАВА 9

Повышение эффективности проектирования и функционирования робототехнических систем

- § 9.1. Задачи формирования подсистемы выбора основных характеристик в проектировании робототехнических систем (Гончаренко В. Н.)
- § 9.2. Прямая и обратная задачи проектирования робототехнических систем в информационном обеспечении выбора основных характеристик РТС (Гончаренко В. Н.)
- § 9.3. Метод задания формы ускорений в проектировании робототехнических систем (Гончаренко В. Н.)
- § 9.4. Объединенный метод выбора основных характеристик робототехнических систем (Гончаренко В. Н.)
- § 9.5. Алгоритм и методика численного расчета корректирующего управления для повышения точности поддержания режимов работы оборудования (Энтин В. Я.)
- § 9.6. Оценка возможности применения микроЭВМ для повышения точности работы и производительности манипуляционной раскройной установки (Энтин В. Я., Юрченко А. А.)

## ГЛАВА 10

Формирование интегрированных производственных комплексов с использованием базы данных по характеристикам технических средств робототехники и систем автоматизации

- § 10.1. Общая характеристика задачи (Гончаренко В. Н., Климов В. А., Архипов А. В.)
- § 10.2. Техничко-экономическая эффективность внедрения робототехнических комплексов в текстильной и легкой промышленности (Бездудный Ф. Ф.)
- § 10.3. Алгоритмы формирования интегрированных производственных комплексов с использованием базы данных по характеристикам систем автоматизации (Гончаренко В. Н.)

Список литературы

197  
208  
210  
  
216  
216  
217  
219  
222  
235  
  
242  
242  
245  
257  
266  
268  
274  
  
283  
283  
285  
294  
308

Таблица 10.4

| Коэффициент      | 1    | 2   | 3    | 4    | 1+2  | 1+3  | 1+4  | 2+3 |
|------------------|------|-----|------|------|------|------|------|-----|
| $\Sigma A_{ijh}$ | -0,6 | 0,2 | 0,35 | 0,1  | -0,4 | -0,2 | -0,5 | 0,6 |
| $\Sigma B_{ijh}$ | 0,7  | 0,3 | 0,4  | 0,57 | 1,0  | 1,05 | 1,25 | 0,7 |
| Вариант решения  | 11   | 13  | 12   | 9    | 7    | 4    | 6    | 10  |

Продолжение табл. 10.4

| Коэффициент      | 2+4 | 3+4  | 1+2+3 | 1+2+4 | 1+3+4 | 2+3+4 | 1+2+3+4 |
|------------------|-----|------|-------|-------|-------|-------|---------|
| $\Sigma A_{ijh}$ | 0,2 | 0,02 | 0,05  | -0,2  | 0,01  | 0,7   | 0,05    |
| $\Sigma B_{ijh}$ | 0,9 | 0,1  | 1,4   | 1,55  | 0,05  | 1,3   | 1,95    |
| Вариант решения  | 5   | 14   | 2     | 3     | 15    | 8     | 1       |

вого предприятия вариант является оптимальным даже по условиям (10.12) и (10.13)], т. е. использование на первом и втором предприятиях именно всех возможных систем автоматизации (на первом предприятии  $CA_{111} + CA_{211} + CA_{311}$ , и на втором предприятии  $CA_{121} + CA_{221} + CA_{321} + CA_{421}$ ) позволяет обеспечить относительно равномерное приращение качества продукции ( $\Delta K$ ), производительности труда ( $\Delta \Pi$ ) и прибыли  $C$  ( $A_{1+2+3, 1, 1} = 0$ ) и повысить качество продукции ( $B_{1+2+3, 1, 1} = 0$ ) одновременно.

В дальнейшем в алгоритме формирования ИПК можно, во-первых, использовать только квазиоптимальные сочетания систем автоматизации, на что делается ориентирование. Однако можно рассматривать и близкие к оптимальным сочетания или все сочетания для выполнения в дальнейшем возможной оптимизации. В обоих случаях целесообразно отсортировать полученные значения суммарных коэффициентов  $A_{ijh}$  и  $B_{ijh}$  в соответствии с уже известными алгоритмами, и получить графики (см. рис. 10.8, б), аналогичные графику на рис. 10.7. В выполнении этой работы состоит содержание первой части IV этапа.

В результате сортировки ранжируются коэффициенты  $A^k_{ijh}$  и  $B^k_{ijh}$  по сочетанию систем автоматизации каждого отдельно взятого  $j$ -го предприятия для  $k$ -й подотрасли. На рис. 10.9 представлены результаты такой сортировки для одной из  $k$ -х подотраслей.

Далее этапы выполняются аналогично IV.

Опуская возможные дополнительные пояснения к рис. 10.9 по V и VI этапам, ограничимся тем, что изложено в начальной части материала. Для общности характеристики применяющихся в последующем обозначений укажем, что суммарные коэффици-

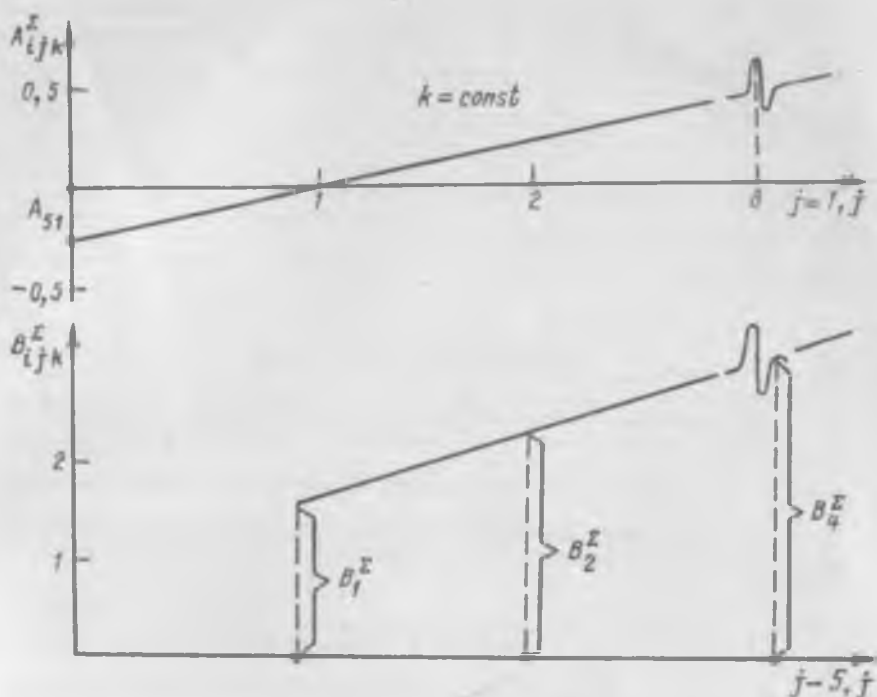


Рис. 10.9. Результаты сортировки для одной из  $k$ -х подотраслей

енты  $A_{ijk}$  и  $B_{ijk}$  для подотраслей и отраслей будут обозначаться соответственно  $\bar{A}_{ijk}^x$ ,  $\bar{B}_{ijk}^x$  и  $\bar{A}_{ijk}^x$ ,  $\bar{B}_{ijk}^x$ .

В отношении VII этапа формирования ИПК также ограничимся пояснениями, изложенными в начальной части.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архипов А. В. Эвристические методы в управлении производством: На материале текстильной и легкой промышленности. Л.: Ленингр. гос. ун-т, 1983. 164 с.
2. Сибуя М., Ямамото Т. Алгоритмы обработки данных. Пер. с япон. М.: Мир, 1986. 218 с.
3. Интегрированные производственные комплексы. Концепция: Методические материалы. Л.: Ленингр. ин-т информатики и автоматизации АН СССР, 1986. 32 с.
4. Техническая диагностика машин текстильной и легкой промышленности / В. А. Климов и др. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. 248 с.
5. Самарский А. А. Введение в численные методы. М.: Наука, 1982. 272 с.
6. Мак-Кракен Д., Дорм У. Численные методы и программирование на Фортране. М.: Мир, 1969.
7. Бурдаков С. Ф., Дьяченко В. А., Тимофеев Н. К. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов: Учебное пособие. М.: Высшая школа, 1986.
8. Пейсах Э. Е. Проблемы кинематики роботов-манипуляторов и система программ «Robot» // Сб. науч. тр.: Роботы и робототехнические системы. Иркутск: ИПИ, 1981.
9. Климов В. А., Шапошников А. Л. Исследование математических моделей динамических систем текстильных машин оптимизационным методом задания формы решения // Изв. вузов: Технология текстильной промышленности. Иваново. 1979. № 4. С. 42—43.
10. Саркисян Р. С. Разработка и исследование многопараметрового неразрушающего метода для оценки состава текстильных и пленочных материалов / ЛИТЛП им. Кирова.
11. Кукин Г. Н., Соловьев А. Н., Кобляков А. И. Текстильное материаловедение (волокна и нити). 2-е изд., перераб. и доп. М.: Легпромбытиздат, 1989. 352 с.
12. Расторгуев А. К., Любимцев В. В. Теоретические основы расчета элементов текстильной автоматики: Учебное пособие. Иваново: ИХТИ, 1985. 80 с.
13. Расторгуев А. К. Применение электромагнитных датчиков в текстильной промышленности // Сб. статей. М.: Легкая индустрия, 1973. С. 84—147.
14. Расторгуева Е. А. Полевой датчик // Изв. вузов: Технология текстильной промышленности. Иваново. 1983. № 1. С. 73—77.
15. Расторгуев А. К. Шайбовый датчик-натяжитель // Изв. вузов: Технология текстильной промышленности. Иваново. 1976. № 1. С. 111—114.
16. Расторгуева Е. А. Расчет емкости полевого датчика // Изв. вузов: Технология текстильной промышленности. Иваново. 1983. № 2. С. 86—88.

17 Лаврентьев М. А., Шабат Б. В. Методы теории функции комплексного переменного. М.: Наука, 1973. 736 с.

18. Разумова Е. А. Полевые датчики для контроля текстильного продукта // Изв вузов: Технология текстильной промышленности. Иваново. 1985. № 2 С 85—87.

19 Карасев Г. И., Разумова Е. А., Антипов В. С. Непрерывный контроль загрузки бункера // Изв вузов: Технология текстильной промышленности Иваново. 1985. № 2. С. 34—37.

20 Матис И. Г. Электроемкостные преобразователи для неразрушающего контроля. Рига: Зинатне, 1977, 355 с.

21 Расторгуев А. К. Системы автоматического управления машинами при отделке ткани М.: Легкая индустрия, 1977. 250 с.

22 Шитиков Г. Т. Стабильные автогенераторы метровых и дециметровых волн М.: Радио и связь, 1983. 256 с.

23 Горев А. А. Переходные процессы синхронной машины М.: Госэнергоиздат, 1950

24 Климов В. А., Лаврентьев С. М. Анализ нелинейных эффектов взаимодействия электромагнитных полей в синхронных реактивных машинах // Изв вузов: Технология текстильной и легкой промышленности. Иваново 1983 № 5. С. 45—46.

25. Климов В. А., Лаврентьев С. М. Общий анализ переходных процессов синхронных реактивных машин // Изв вузов: Технология текстильной промышленности. Иваново. 1983. № 6. С. 45—46.

26 Устойчивые переходные процессы в электроприводах переменного тока / С. А. Ковгин и др. // Электроприводы с улучшенными характеристиками для текстильной и легкой промышленности: Межвуз. сб. науч. тр. Иваново: ИвГУ. 1986. С. 104—110.

27 Промышленные роботы: Внедрение и эффективность. Пер. с япон. / К. Асаи и др. М.: Мир, 1987. 384 с.

28 Роботизированные производственные комплексы / Ю. Г. Козырев и др.; Под ред. Ю. Г. Козырева, А. А. Кудинова. М.: Машиностроение, 1987. 272 с.

29 Эффективность переналаживаемых роботизированных производств / В. А. Козловский и др. Л.: Машиностроение, 1985. 224 с.

30. Подготовка производства к применению промышленных роботов: Методические рекомендации. М.: НИИМаш, 1980. 39 с.

31. Евланов Л. Г., Кутузов В. А. Экспертные оценки в управлении. М.: Экономика, 1978. 133 с.

32 Промышленная робототехника / А. В. Бабич и др.; Под ред. Я. А. Шифрина. М.: Машиностроение, 1982. 415 с.

33 Климов В. А., Лавров К. А. Техническая диагностика машин текстильной и легкой промышленности. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. 248 с.

34 Программный лазерный раскрой текстильных материалов / А. А. Бирюков и др. М.: Легкая индустрия, 1978. 192 с.

35. Д. Худсон. Статика для физиков. М.: Мир, 1970.

36. Завьялов Ю. С., Иванов Б. И., Мирошник В. Л. Методы сплайнфункций. М.: Наука, 1980. 247 с.

37 Никифоров А. Ф., Уваров В. В. Специальные функции математической физики М.: Наука, 1978. 319 с.

38. Никифоров А. Ф., Суслов С. К., Уваров В. В. Классические ортогональные полиномы дискретной переменной М.: Наука, 1985

5 руб. 10 коп.



ИЗДАТЕЛЬСТВО