

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
**«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»**

Кафедра информационных и автоматизированных
производственных систем

Составители
А. Н. Трусов
Н. В. Фурман

СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ

Конспект лекций

Рекомендовано учебно-методической комиссией направления под-
готовки 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов
и производств» в качестве электронного
учебного пособия

Кемерово 2015

Рецензенты

Полетаев В. А. – д.т.н., профессор кафедры информационных и автоматизированные производственные системы КузГТУ

Чичерин И. В. – к.т.н., доцент, председатель учебно-методической комиссии направления подготовки 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

Трусов Александр Николаевич, Фурман Наталья Владимировна. Средства автоматизации и управления: конспект лекций [Электронный ресурс] для студентов направления подготовки 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» / А. Н. Трусов, Н. В. Фурман. – Кемерово: КузГТУ, 2015. – Систем. требования: Pentium IV; ОЗУ 8 Мб; Windows XP; мышь. – Загл. с экрана.

В данном учебном пособии изложен основной курс лекций.

Рекомендовано для студентов направления подготовки 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств».

© КузГТУ, 2015

© Трусов А. Н.,
Фурман Н. В., 2015

1. ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА

1.1. Цели создания ГАП

Развитие современного производства характеризуется непрерывным ростом числа мелких серий, увеличением разнообразия деталей, необходимостью все более частых перестроек производства в минимально возможное время. Наряду с традиционными требованиями надежности, высокой точности, высокой производительности в последнее время на первый план выдвигается необходимость обеспечения высокой гибкости.

Цель применения гибкого автоматизированного производства – решение следующих актуальных задач повышения эффективности предприятий машино- и приборостроения:

- –повышение производительности труда при обработке единичных и мелкосерийных деталей благодаря высокой загрузке оборудования;
- –быстрота реагирования на изменяющиеся требования заказчика;
- –ускорение темпов роста производства при нарастающем дефиците рабочей силы;
- –повышение качества изготавливаемой продукции и устранение ошибок и нарушений технологических режимов, неизбежных при ручном труде;
- –уменьшение объемов незавершенного производства за счет сокращения времени межоперационного складирования;
- –повышение рентабельности производства и более быстрая окупаемость капитальных вложений;
- –резкое сокращение численности работающих (создание малолюдных производств);
- –решение социальных вопросов (высвобождение человека малоквалифицированного труда).

1.2. Основные понятия гибкого автоматизированного производства

Гибкое автоматизированное производство (ГАП) – принципиально новая концепция в машиностроении, ведущая к созданию автоматизированного предприятия будущего.

Новое в концепции ГАП состоит в том, что ей свойственен централизованный способ производства, предусматривающий как можно более полную обработку деталей на одном оборудовании.

Новая концепция позволяет полностью интегрировать весь производственный цикл – от идеи до выпуска новой продукции – путем автоматизации всего комплекса процессов производства и управления на базе ЭВМ и современных достижений в электронике и приборостроении. Переход с выпуска одного изделия на выпуск другого осуществляется без остановки технологического и другого оборудования (требуемая переналадка идет параллельно с выпуском предыдущего изделия).

Обобщенным понятием, распространенным на все организационные структуры и виды ГАП, является понятие гибкая производственная система (ГПС).

ГПС – это несколько единиц технологического оборудования, снабженного средствами и системами, обеспечивающими функционирование оборудования в автоматическом режиме; при этом ГПС должна обладать свойством автоматической переналадки при переходе на производство новых изделий в пределах заданной номенклатуры. По организационным признакам ГПС подразделяют на следующие виды: гибкая автоматизированная линия (ГАЛ), гибкий автоматизированный цех (ГАЦ), гибкий автоматизированный завод (ГАЗ). ГАЛ и ГАУ состоят из гибких производственных моделей (ГПМ) или отдельных единиц технологического оборудования.

Под ГПМ понимается единица технологического оборудования, оснащенная системой ЧПУ или каким-либо другим устройством ПУ и функционирующая как самостоятельно, так и в составе ГПС; при этом все функции, связанные с изготовлением изделия, должны осуществляться автоматически.

В общем случае средства автоматизации ГПМ включают в себя: накопители заготовок, режущего и мерительного инструмента,

устройства загрузки-выгрузки обрабатываемых изделий, устройства замены технологической оснастки, устройства удаления отходов, устройства автоматического контроля и др. Каждая конкретная ГПС оснащается только теми из указанных устройств, которые необходимы для ее работы.

Структурная схема ГПМ представлена на **рис. 1**.

Характерной особенностью ГПМ является возможность их встраиваться в ГАЛ или ГАУ.

ГАЛ – это ГПС, состоящая из ГПМ, РТК или другого технологического оборудования, объединенного автоматизированной системой управления (АСУ). Структурная схема ГАЛ представлена на **рис. 2**. Совокупность единицы технологического оборудования, промышленных роботов (**ПР**) и средств оснащения, функционирующая автономно и осуществляющая многократные рабочие циклы, называется роботизированным технологическим комплексом (**РТК**).

Особенностью ГАЛ является расположение технологического оборудования в соответствии с принятой последовательностью технологических операций. На ГАЛ в отличие от традиционных автоматических линий возможно обрабатывание детали заранее неизвестных конструкций, которые по технологии обработки аналогичны ранее изготавливающим деталям; при этом обрабатываемые заготовки перемещаются в транспортной системе только по заранее определенным маршрутам.

Гибкость производства в ГАЛ реализуется применением станков с ЧПУ, сменой (на станке) отдельных агрегатов, узлов и многошпиндельных головок.

ГАУ – это ГПС, состоящая из ГПМ, РТК или другого технологического оборудования, объединенного АСУ, в которой в отличие от ГАЛ предусмотрена возможность изменения последовательности использования технологического оборудования, что обеспечивает его оптимальную загрузку и позволяет изготавливать детали в комплекте, необходимом для сборки изделия.

В состав ГАУ может входить автономно функционирующее технологическое оборудование, не связанное общей транспортной системой с остальным оборудованием. Возможно также выполнение отдельных операций, например, загрузки-разгрузки обрабатываемых деталей на приспособлениях-спутниках. **ГАЦ** – это ГПС,

представляющая собой совокупность ГАЛ и ГАУ, предназначенных для изготовления изделий заданной номенклатуры.

1.3. Принципы построения ГПС

Анализ данных по опыту разработки и эксплуатации ГПС в нашей стране и за рубежом дал возможность выделить основные принципы создания гибких производственных систем.

Принцип высокой производительности и универсальности.

Специальные станки-автоматы и автоматические линии в условиях крупносерийного и массового производства обеспечивают предельно высокую производительность, но практически не подлежат перенастройке.

Универсальное оборудование в мелкосерийном и единичном производстве обеспечивает полную гибкость, то есть переход на изготовление другого вида продукции без модернизации оборудования и затрат времени на переналадку, но с очень низкой производительностью. Поэтому при создании ГПС необходимо проводить технико-экономический анализ конкретного производства с целью определения оптимального соотношения универсальности и высокой производительности за счет автоматизации, то есть степени гибкости в программируемом и программнопереналаживаемом оборудовании.

Принцип иерархичности.

ГАП представляет собой многоуровневую структуру. На нижнем уровне находятся автоматизированные производственные модули (ГПМ).

На следующем уровне находятся гибкие автоматизированные комплексы (ГАК), включающие два или более механообрабатывающих ГПМ. Гибкие автоматизированные комплексы объединяются в ГАП участка (ГАУ) или цеха (ГАЦ).

Иерархичность ГАП дает возможность разработать проект комплексного автоматизированного производства и реализовать постепенно, руководствуясь спецификой конкретного предприятия, начиная с модулей, комплексов, участков.

Принцип модульности.

ГПС строят на базе модулей. Под модулем понимается первичный элемент, выполняющий в составе ГПС более высокого уровня законченную операцию (обработку, транспортирование и т. д.). Модуль, являясь компонентом ГПС, сам может состоять из компонентов. Компонент модуля, как и модуль, может быть самостоятельно разработан, изготовлен и внедрен, однако присущие ему технологические функции и управления может выполнить в составе модуля.

Принцип преимущественной программной перенастройки.

Оборудование ГАП при смене изделий перенастраивается путем ввода новых управляющих программ модулей. Перенастройка вручную допустима в минимальных объемах и только в случаях очевидной экономической неэффективности реализации программной перенастройки.

Принцип обеспечения максимальной предметной замкнутости.

Построение ГАП с максимальным достижением предметной замкнутости обуславливается наибольшей эффективностью внедрения бригадных форм организации труда. Повышается ответственность персонала за конечный результат труда. Максимальная предметная замкнутость – необходимое условие сокращения длительности производственного цикла за счет уменьшения времени на межоперационное прослеживание, дополнительный контроль и транспортировку деталей и сборочных единиц с участка на участок, из цеха и т. д.

1.4. Основные характеристики ГПС

1.4.1 Выпускаемая продукция

Организационная основа ГПС – это групповое производство, являющееся формой организации дискретных (прерывных) производственных процессов, экономико-организационной основой которых является целевая поддетальная специализация участков и цехов, а технологической составляющей – унифицированная групповая форма организации технологического процесса (ТП).

Основа технологической унификации ТП – классификация деталей и их поверхностей по конструктивно-технологическому признаку на базе общности оборудования, наладки и инструментальной оснастки.

Группирование деталей для одновременной обработки на одной ГПС включает три группы условий:

а) геометрические параметры изделий, которые в основном определяют типоразмер включаемых в ГПС станков, при этом подобие формы или идентичность технологических переходов перестают играть решающую роль в составлении деталей, главными критериями становятся габариты и масса;

б) технологические параметры, определяющие возможность полной обработки каждой группы деталей на одном станке в одну-две операции или необходимость их доработки на других станках системы;

в) организационно-экономические характеристики, например обработка группы деталей для одновременного поступления на сборку, или группы деталей, обрабатываемых из одной заготовки. Группированию подлежат не только детали, но и функциональные узлы, стандартные детали и изделия.

Опыт показывает, что в новое изделие обычно переходит 30–50 % деталей старых, 20–40 % модернизированных, 10–20 % создаются вновь.

Модификация и разработка новых деталей с использованием унифицированных поверхностей позволяет сократить их разнообразие и включить их в существующие группы деталей.

Принцип использования типовых и унифицированных поверхностей при проектировании деталей реализуется в САПР-К, входящую в интегрированную производственную систему.

Технология обработки новых деталей также разрабатывается с учетом технологии трех обрабатываемых групп деталей, что позволяет включать новые детали в эти же группы для обработки на этих же гибких производственных системах.

1.4.2. Гибкость

Понятие гибкости производственной системы является многокритериальным и неоднозначным. Многообразие задач, решаемых методами гибкой автоматизации, не дает возможности сформулировать единые методы комплексной численной оценки гибкости, позволяющие сравнивать различные системы.

Поэтому целесообразно оценивать три формы гибкости:

- структурная – это свобода в выборе последовательности обработки; возможность замены при выходе из строя любой единицы оборудования на аналогичную; возможность наращивания системы на основе модульного принципа;
- технологическая гибкость – способность производить заданное множество типов деталей различными способами;
- организационная гибкость – в значительной мере определяет структуру ГПС.

При проектировании организационно-производственной структуры важно обеспечить, с одной стороны, максимальную загрузку оборудования, обеспечивающую эффективное использование оборудования, сокращающее численность рабочих (технологический принцип), а с другой стороны, стремиться обеспечить минимальный производственный цикл изготовления изделий (предметный принцип).

Для систем с широкой и непрерывно изменяющейся номенклатурой наиболее применим **технологический** принцип организации структуры. Для устранения ее недостатков необходимо иметь высокоэффективную гибкую систему календарного планирования и оперативно-диспетчерского управления с централизованным распределением работ, то есть управление ГПС от центральной ЭВМ или интеграция ГПС.

1.4.3. Степень автоматизации

Выделяют автоматизации трех степеней:

- высокая степень – автоматическое управление и трехсменный режим работы;

- средняя степень – непрерывное автоматизированное управление при многостаночном обслуживании (коэффициент многостаночного обслуживания $K_M > 2$);
- малая степень – коэффициент многостаночности $K_M < 2$.

Целесообразный уровень автоматизации технологического оборудования ГПС во многом определяется типом производства.

Для крупносерийного производства целесообразно использовать специализированные ГПМ, состоящие из многоинструментальных и многопозиционных станков, управляемых от УЧПУ и обслуживаемых ПР, которые образуют ГАЛ с организацией транспортно-технологического потока от станка к станку. Автоматизация переналадки не дает эффекта, так как выполняется редко.

В среднесерийном производстве имеется возможность (в связи с увеличением партий запуска) отработки УП, режимов резания для обеспечения устойчивого ТП (для получения легкоудаляемой из зоны резания дробленой стружки). ГПС комплектуется ГПМ, в том числе автоматически переналаживаемыми.

В мелкосерийном и единичном производстве ГПС состоит из станков с ЧПУ с автоматизированной загрузкой и доставкой заготовок непосредственно к рабочим местам вместе с требующимся инструментом и оснасткой. Один оператор-наладчик обслуживает 2-4 станка. Системы программно-математического обеспечения ТПП, оперативно-производственного планирования и учета здесь наиболее развиты и эффективны. Технически и экономически целесообразным становится автоматизация контроля состояния режущего инструмента и его замены, измерения деталей, ввод коррекции УЧПУ, переналадка оборудования, общий контроль за процессом обработки и состоянием оборудования.

1.4.4. Надежность функционирования

Высокий уровень автоматизации ГПС достигается за счет значительного усложнения оборудования при существенном росте его стоимости. В связи с этим проблема обеспечения надежности приобретает особую актуальность.

На примере ГПС убедительно подтверждается правило: чем сложнее машина, тем выше вероятность ее отказа. Опыт создания и эксплуатации ГПС показывает, что без решения проблемы надеж-

ности невозможно достичь необходимого уровня эффективности эксплуатации таких систем.

По данным Экспериментального научно-исследовательского института металлорежущих станков (ЭНИМС) параметрические отказы составляют всего 8–10 % от общего числа отказов, то есть надежность современного оборудования в решающей степени определяется функциональной надежностью.

Передовые зарубежные фирмы (Япония, Англия, Австрия) обеспечивают для ГПМ режим работы в 21–23 часа в сутки при 1–3 часах обслуживания, 6 рабочих днях в неделю и одном дне профилактики.

Наиболее уязвимым местом ГПС являются инструментальная система (20,8 % от общего числа); система управления (12,2 %); гидравлика (6,4 %); датчики, тестеры (5,7 %); устройства ограждения (5,5 %); электрооборудование (4,8 %).

По продолжительности простоев к общему числу система загрузки деталей занимает 20,1 %; система группового управления – 18,2 %; устройства смены инструмента – 14,6 %; устройства регулировки инструмента – 14,1 %; станок – 12,1 %; инструмент – 6,8 % и т. д.

1.4.5. Производительность

Производительность технологического оборудования есть количество годной продукции, выдаваемой в единицу времени.

Однако просто штучная производительность для ГПС не дает правильного представления об объеме работы, выполненной на станках, включенных в систему, и всей ГПС за какие-то промежутки времени (это связано с разнообразием деталей, имеющих подчас очень различную станкоемкость). Штучная производительность не дает представления и об объеме выпуска ГПС за год, так как чем длиннее период, тем меньше определенность.

Существуют два метода определения производительности: по какой-либо средней детали, характерной для ГПС, или по суммарной станкоемкости обработки за какой-то отрезок времени (час, сутки, месяц).

В обоих случаях необходимо точно определить все виды потерь рабочего времени и их причины.

Производительность ГПС складывается из производительности ГПМ, входящих в ее состав. При этом следует исходить из независимой работы станков и учитывать только основные ГПМ (дополнительные станки, как правило, работают параллельно, обладают высокой производительностью и не сдерживают работу ГПС).

2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ГПС

2.1. Унификация объектов производства

Под объектами производства здесь понимаются изделия (сборочные единицы и детали), технологическое оснащение (оборудование, станочные приспособления, инструменты, средства механизации и автоматизации), технологические процессы и операции. Основой являются изделия. Задача заключается в подборе аналогов вновь проектируемому изделию, в полном или частичном использовании найденных проектных решений, в новой разработке. В основе решения задачи унификации лежит систематизация отобранных объектов по наиболее важным признакам, исследование причинно-следственных связей между конструкцией (содержанием) объекта и выполняемыми ими функциями и выявление закономерностей построения ограниченных типоразмерных рядов.

Подобные изделия объединяются в семейства. Это приводит к подобию технологии изготовления таких изделий, т. е. к уменьшению длительности наладки оборудования, снижению уровня незавершенного производства, улучшению календарного планирования и использованию типовых (групповых) технологических маршрутов.

Объединение изделий в семейства приносит преимущества и в области конструкторского проектирования, так как позволяет получать новые детали путем внесения изменений в уже существующие.

Для создания семейств и подбора аналогов надо опираться на некоторый способ классификации и кодирования. Имеется два типа подобия между деталями: подобие *по конструктивным* (геометрическая форма и размеры) характеристикам и подобие *по технологи-*

ческим (оборудование, последовательность операций) характеристикам. Связь между конструктивными и технологическими характеристиками далеко не всегда однозначна. В нашей стране это положение проявилось в применении *типовой* и *групповой* технологии.

2.1.1. Типизация технологических процессов

Идею типизации впервые предложил и разработал проф. А.П. Соколовский. В основе лежит классификация деталей по их форме (конфигурации), размерам, точности и качеству поверхностей. Классификация построена по схеме **класс – подкласс – группа – тип**.

Основой является **класс** – совокупность деталей определенной конфигурации, характеризующихся общностью технологических задач. **Типом** называется совокупность по конструктивным признакам сходных деталей, имеющих в данных производственных условиях общий технологический процесс. Отсюда *цель классификации* – установление типа детали. Для каждого типа детали разрабатывается типовая ТП. Внутри одного типа допускается расхождение в обработке за счет добавления или исключения нехарактерных операций. Недостаток такой классификации – большое число типов и, соответственно, типовых ТП. Опыт показал, что наиболее рационально применять типовые ТП в массовом и крупносерийном производствах.

2.1.2. Метод групповой обработки

Этот метод разработан проф. С.П. Митрофановым в начале 50-х годов. Нашел широкое применение в отечественной промышленности.

В групповом методе основным признаком классификации и группирования являются применяемые средства технологического оснащения. Групповой метод – это такой метод унификации технологии производства, при котором для групп однородной по тем или иным конструкторско-технологическим признакам продукции устанавливаются однотипные методы обработки с использованием однородных и быстропереналаживаемых орудий

производства. Наибольший эффект дает в области мелкосерийного и серийного типов производства.

Принципиальными основами группового метода являются: классификация и группирование деталей, видов работ, ТП и средств технологического оснащения; классификация и конструирование групповых приспособлений и другой оснастки; целевая модернизация и специализация оборудования; внедрение групповых поточных и автоматических линий; создание групповых участков и цехов.

Группирование деталей

Группа – совокупность деталей, характеризующаяся при обработке общностью оборудования, оснастки, наладки всего ТП или отдельных ТО. Необходимо учитывать три группы признаков: конструкторские, технологические, организационно-плановые. Существуют и широко применяются различные виды группирования. Рассмотрим некоторые подробнее.

По комплексной детали. Под *комплексной деталью* понимается реальная или условная деталь, содержащая в своей конструкции все основные элементы, характерные для деталей данной группы, и являющаяся ее конструкторско-технологическим представителем. Комплексная деталь служит основой для разработки группового ТП и групповой оснастки. Пример построения комплексной детали А из деталей группы Б, В, ..., М приведен на **рис. 1**.

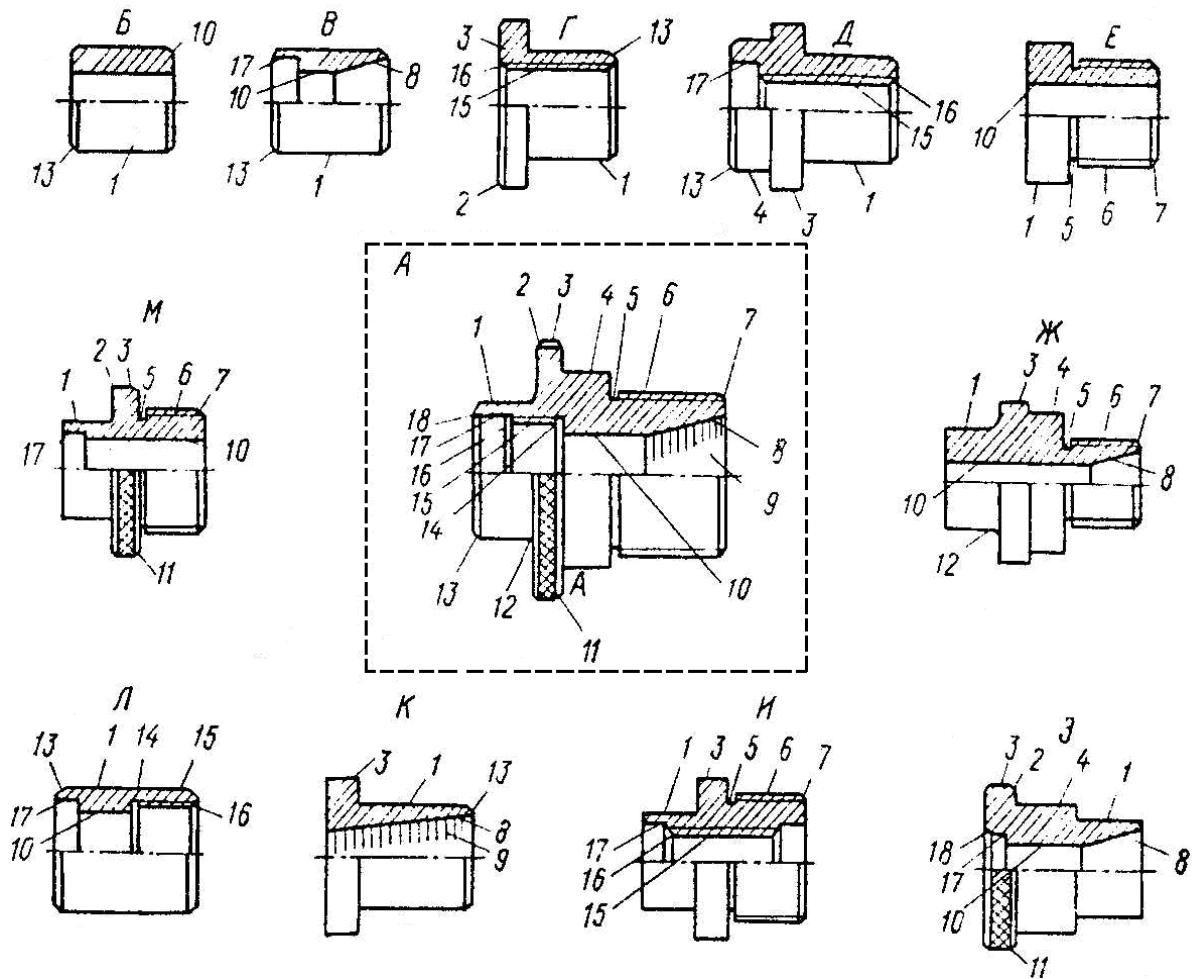


Рисунок 1. Детали группы и комплексная деталь

Это наиболее простой способ проектирования групповых ТП.

По видам обработки. Можно выделить три случая:

- групповой обработкой охвачена одна операция (**рис. 2**). Метод охватывает наибольшее количество деталей и особенно эффективен для однооперационных ТП. Позволяет специализировать данное рабочее место;
- детали группы имеют общий групповой многооперационный ТП, выполняемый на разнотипном оборудовании. Детали проходят либо через все деталиоперации, либо через отдельные, необходимые для их обработки (**рис. 3**);
- на одной или нескольких операциях объединяются детали нескольких групп, каждая из которых охватывает весь технологический процесс обработки на разнотипном оборудовании (**рис. 4**).

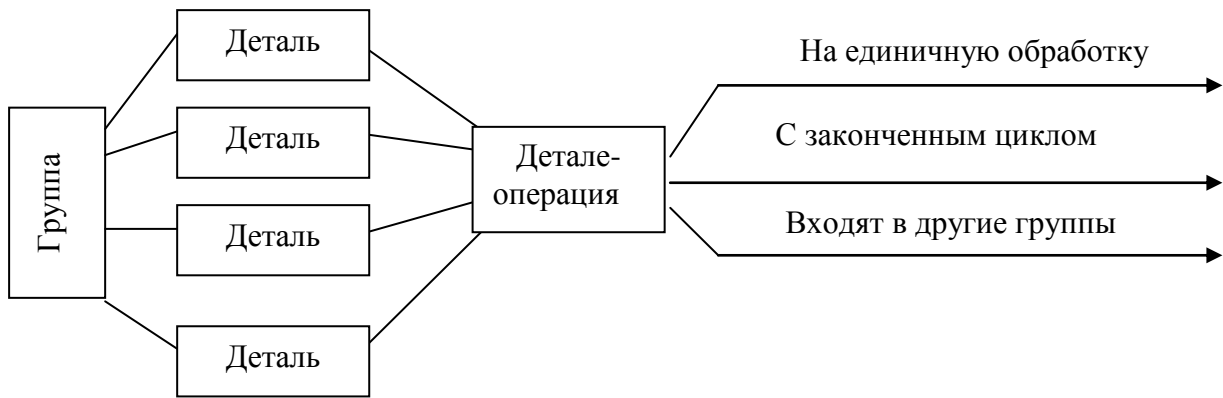


Рисунок 2. Группа деталей с циклом обработки на одном типе оборудования

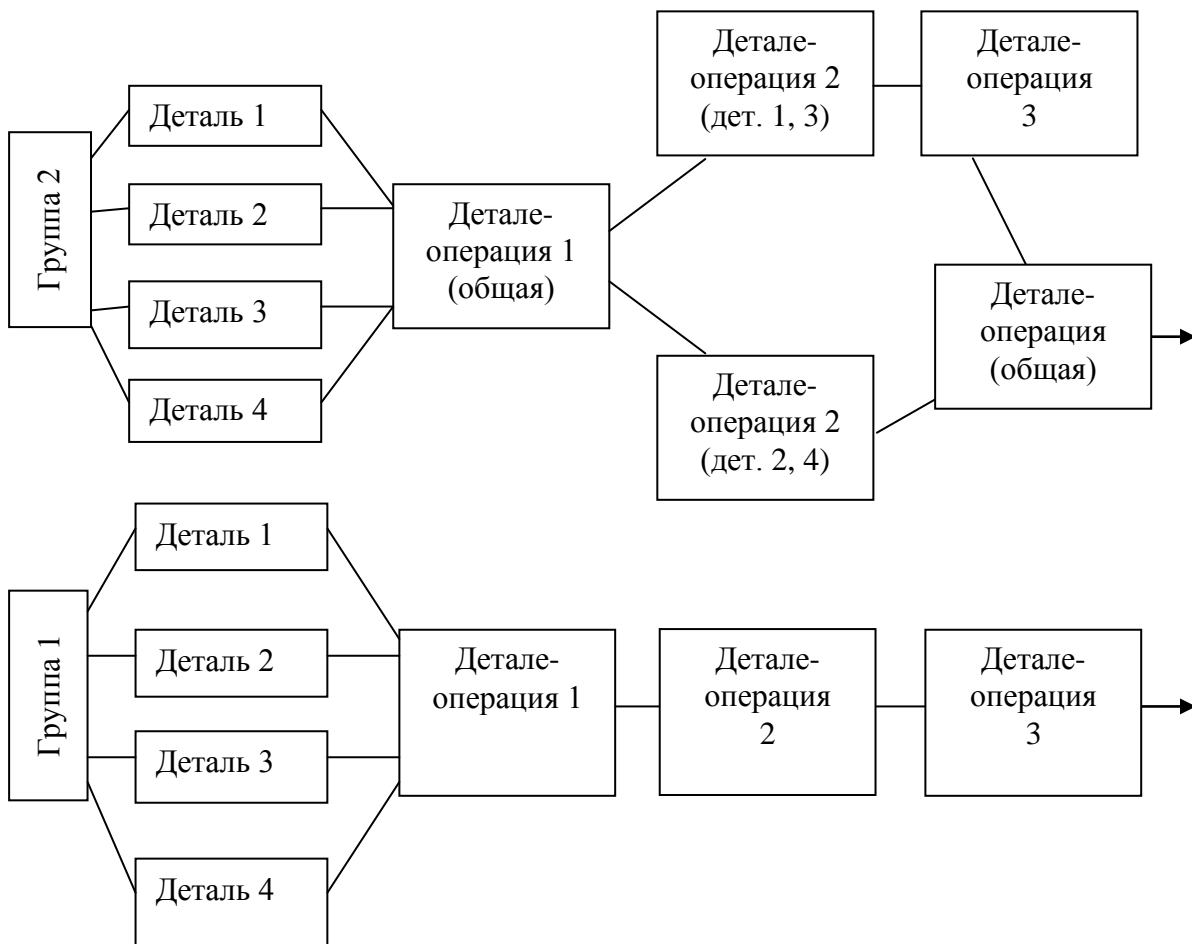


Рисунок 3. Группа деталей с многооперационным процессом обработки, выполняемой на различном оборудовании

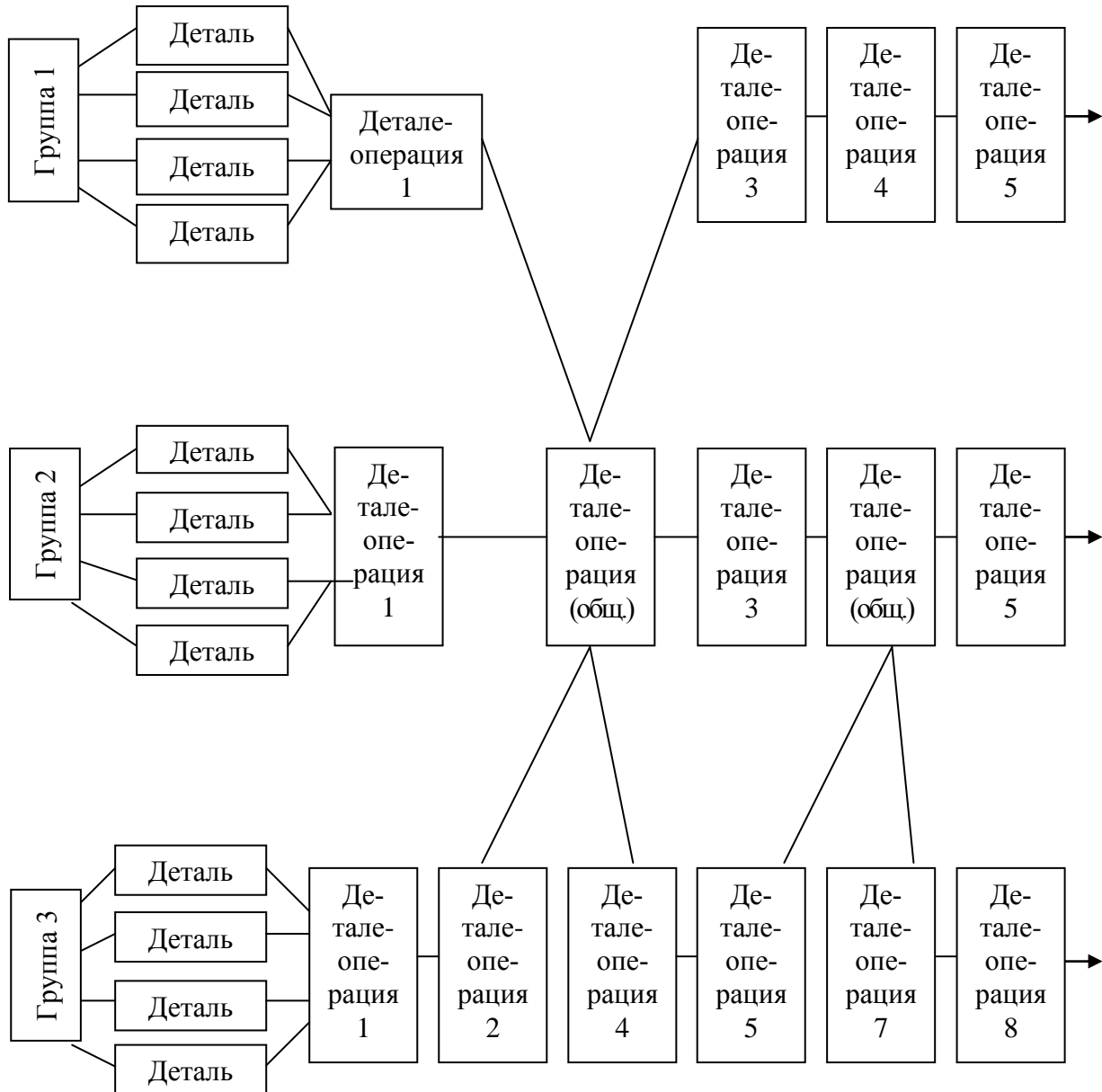


Рисунок 4. Схема объединения нескольких групп деталей, имеющих сходный технологический маршрут

Последние два случая создают условия для внедрения групповых поточных линий. Основным признаком группирования здесь служит общность технологического оборудования, оснастки и наладки.

На основе комплекса признаков. В некоторых случаях создать комплексную деталь невозможно. Тогда учитывают комплекс признаков: расположение и параметры обрабатываемых поверхностей, схемы базирования.

Групповой ТП (ТО)

Результаты классификации и группирования являются основой для проектирования группового ТП (ТО).

Групповая ТО – операция, которая является общей для группы различных деталей с определенной групповой оснасткой на данном оборудовании.

Деталеоперация – план переходов при обработке конкретной детали группы.

Групповой ТП – совокупность групповых ТО, обеспечивающих обработку различных деталей группы (нескольких групп) по общему технологическому маршруту. Групповой ТП является основой для создания поддетально-групповых участков, групповых поточных линий.

На рис. 5 показана схема построения групповой операции.


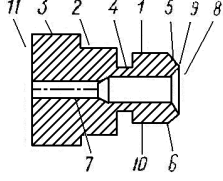





Обозначение детали	Эскиз детали	Переход										Комплексная деталь		
		Обточить поверхность 1	Обточить поверхность 2	Обточить поверхность 3	Обточить канавку 4	Центровать отверстие 5	Сверлить отверстие 6	Сверлить отверстие 7	Подрезать торец 8	Обточить фаску 9	Нарезать резьбу 10		Отрезать деталь 11	
Б		×		×		×		×	×				×	
В		×	×	×					×	×	×	×		
Г		×	×	×	×				×	×	×	×		
Д		×	×				×	×	×				×	
Е		×			×				×				×	
Ж		×				×	×	×	×				×	

Рисунок 5. Построение групповой операции

2.2. Тенденции развития автоматизированных металлорежущих станков

2.2.1. Общие сведения

В общем случае понятие «металлорежущие станки» включает:

- непосредственно станки для работы в различных типах производства (одиночные станки, автоматизированные и автоматические линии, производственные системы и т. д.);
- комплектующие для производства металлорежущих станков универсального назначения (двигатели, шпиндельные узлы, направляющие, шарико-винтовые пары и т. д.); современный станок на 50...70 % состоит из таких комплектующих;
- приспособления, обеспечивающие использование станков для конкретного производства;
- системы управления вместе с соответствующим компьютерным оборудованием (несмотря на то, что такой продукцией занимаются предприятия по производству электроники, они всегда ориентированы на потребности конкретных предприятий – производителей станков);
- контрольно-измерительные приспособления, измерительные машины, системы надзора и диагностики;
- компьютерные системы и пакеты прикладных программ для разработки конструкций, технологии, планирования и организации производства;
- режущие инструменты и инструментальную оснастку.

Совершенствование металлорежущих станков направлено на рационализацию и интенсификацию производства. Современные станки должны удовлетворять качественно новым потребностям промышленности, что определяет требования к их конструкции: обеспечение, с одной стороны, высокой производительности и экономичности работы, а с другой – удовлетворение требований экологии и охраны окружающей среды.

Современные металлорежущие станки характеризуются весьма высоким техническим уровнем по сравнению с другими технологическими машинами. Тенденции развития станкостроения указаны на **рис. 6**.

Тенденции развития современных металлорежущих станков

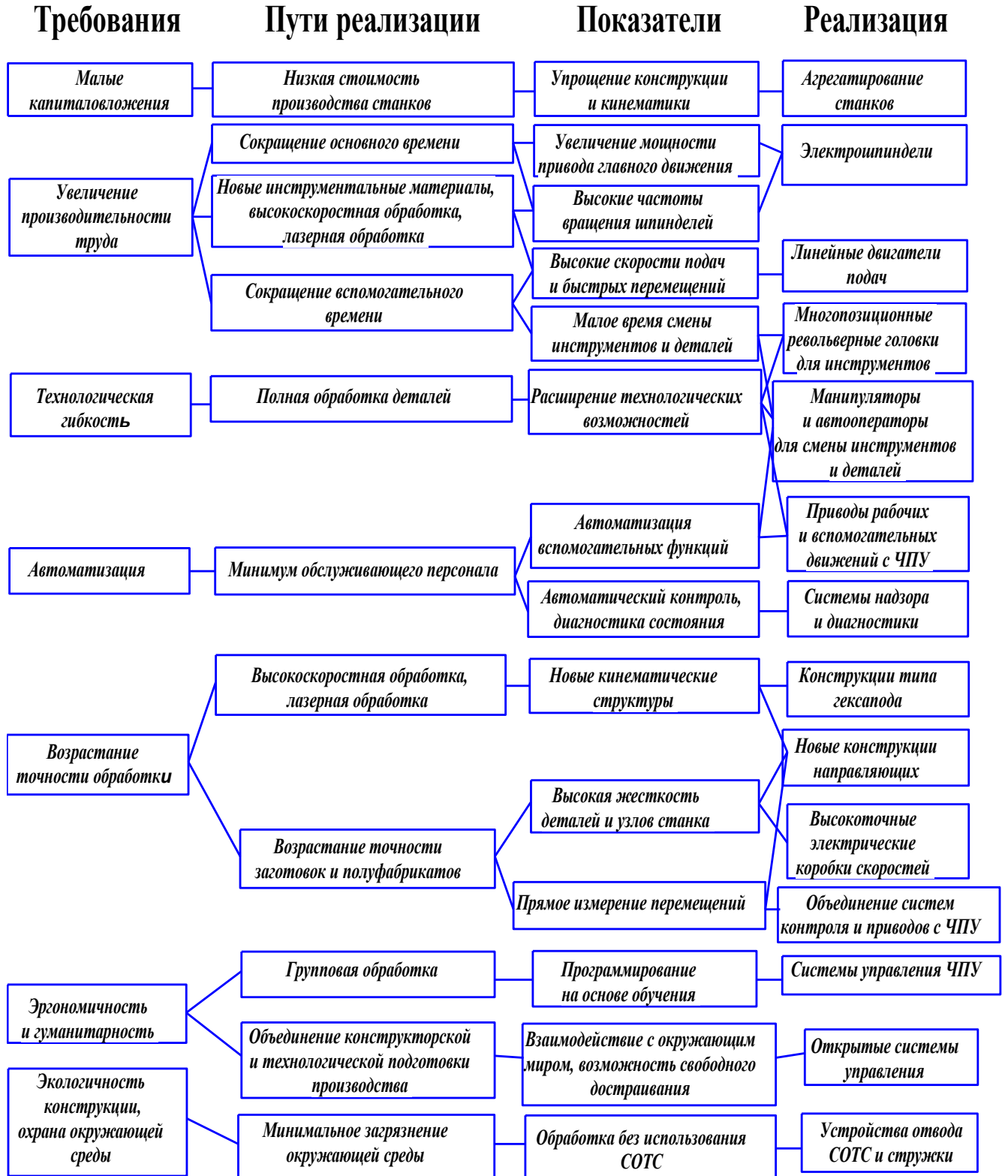


Рисунок 6. Тенденции развития современных металлорежущих станков

К основным факторам, влияющим на развитие станкостроения, можно отнести:

- повышение скорости резания до уровня, максимально допустимого с точки зрения безопасности работы станка; согласно европейским нормам такие скорости превосходят 1000 м/мин (в настоящее время до 100000 м/мин), а процесс получил название «обработка со сверхвысокими скоростями»;
- обработку лучом лазера, используемым в качестве инструмента;
- обработку без использования смазывающе-охлаждающих технологических средств (СОТС), являющихся одним из основных источников загрязнения окружающей среды;
- точную обработку деталей из закаленных сталей на токарных станках, позволяющую исключить дорогостоящий и экологически грязный процесс шлифования.

Рассмотрим некоторые из представленных на рис. 6 тенденций более подробно.

Производительность и надежность станков

Повышение производительности и надежности станков может быть обеспечено двумя способами. Первый из них основан на сокращении количества действий, связанных с настройкой, подналадкой и ремонтом станка, потребного на эти цели времени, и обеспечивается путем использования проверенных технических решений при проектировании деталей и узлов станка; новых высокопрочных конструкционных материалов и технологий, обуславливающих высокую износостойкость деталей и узлов станка; планово-предупредительных ремонтов (ППР).

Второй способ – оснащение станка датчиками и системами надзора и диагностики (мониторинга), которые распознают отклонения в работе и сигнализируют об этом прежде, чем наступит отказ станка. Такие системы могут быть использованы также при ремонте станка.

Повышение производительности обработки традиционно связано со снижением основного и вспомогательного времени. Основное время может быть сокращено путем увеличения режимов обработки. Однако такой подход предъявляет к станку жесткие дополнительные требования: высокая статическая, динамиче-

ская и тепловая жесткость конструкции; использование компьютеров с очень большим объемом памяти, обеспечивающих точные пространственные перемещения режущих инструментов; наличие устройств смены инструментов повышенной вместимости, с малым временем смены инструмента; наличие устройств автоматической смены деталей. Легко заметить, что последние два требования направлены на сокращение вспомогательного времени. Технологическая гибкость и автоматизация

Технологическая гибкость станка вместе с гибкостью систем управления и обеспечения заготовками обуславливает гибкость всей производственной системы (ПС). Это означает простую и относительно быструю приспособляемость к изменению требований производства, в частности быстрое перепрограммирование и переналадку для обработки новых деталей малыми сериями.

Расширение технологических возможностей станка позволяет сократить время обработки детали; уменьшить количество станков и занимаемые ими производственные площади; исключить из производственного цикла время и стоимость транспортирования деталей между отдельными станками, время закрепления и снятия их со станка, манипулирования и т. д.; ликвидировать специальные приспособления для базирования и закрепления деталей.

Отличительные особенности современных станков – автоматизация их рабочего цикла, легкость обслуживания, работа с ограниченным участием оператора, автоматизированный надзор и диагностика условий работы станка и процесса обработки, контроль размеров и точности обработки.

Еще в 90-е годы XX в. считалось, что главная цель автоматизации станка – обеспечение его работы в безлюдном режиме (ночи, выходные дни, праздники). Это вызвало необходимость дополнительной комплектации станков системами манипулирования (в том числе роботами), транспортирования, инструментообеспечения и т. д. Так возникли ГПМ, ГПЯ, ГПС и другие средства гибкой автоматизации производства. Однако они не предусматривали автоматизацию функций, которые выполняет оператор.

Под автоматизацией понимают наряду с обеспечением безлюдной работы «разумность» функционирования, т. е. самообслуживание и оценку изменений условий работы во времени, введение необходимых коррективов, контроль качества обработки, возмож-

ность принятия решений. Такое развитие было бы невозможно без современной компьютерной техники.

Точность станков

Высокая точность обработки является одним из основных требований к металлорежущему станку, которое определяет его конкурентоспособность. На точность обработки оказывают влияние:

- геометрическая точность станка, в частности взаимная перпендикулярность и параллельность направляющих, поверхностей столов, осей шпинделя, револьверных головок, поворотных столов, а также точное соединение всех деталей и узлов;
- статические, динамические и термические свойства несущих конструкций;
- надежность системы управления всеми движениями узлов станка, обеспечивающая отработку команд в нескольких осях и с высокими скоростями перемещения;
- точность систем измерения перемещений узлов станков, обеспечивающих точность позиционирования в пределах $\pm 0,001$ мкм.

Кроме перечисленных факторов важную роль в обеспечении точности обработки играют точность работы сервоприводов, возможность контроля обработанных деталей, износ режущих инструментов, диагностика состояния станка.

Агрегатирование станков

Производство и технологические возможности станка должны быть максимально адаптированы к требованиям потребителя. Один из путей удовлетворения этих требований – удешевление станков на основе их агрегатирования, т. е. применения нормализованных модулей. Такой подход традиционно использовался и используется при производстве агрегатных станков, однако в последние годы он распространяется и на производство ГПМ и ГПС. Это связано с появлением на рынке высококачественных комплектующих (винтовые пары, шпиндельные узлы, направляющие, несущие конструкции из легких сплавов, системы управления), с использованием которых можно относительно просто разработать станок потребной конфигурации.

3. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АТСС ГПС

3.1. Автоматизация грузовых потоков в ГПС

Грузовые потоки механического цеха представляют собой схему движения по цеху (участку) материалов, заготовок, изделий, полуфабрикатов, инструментов, технологической оснастки, отходов в соответствии с последовательностью ТП. Используют различные транспортные средства (рис. 7).

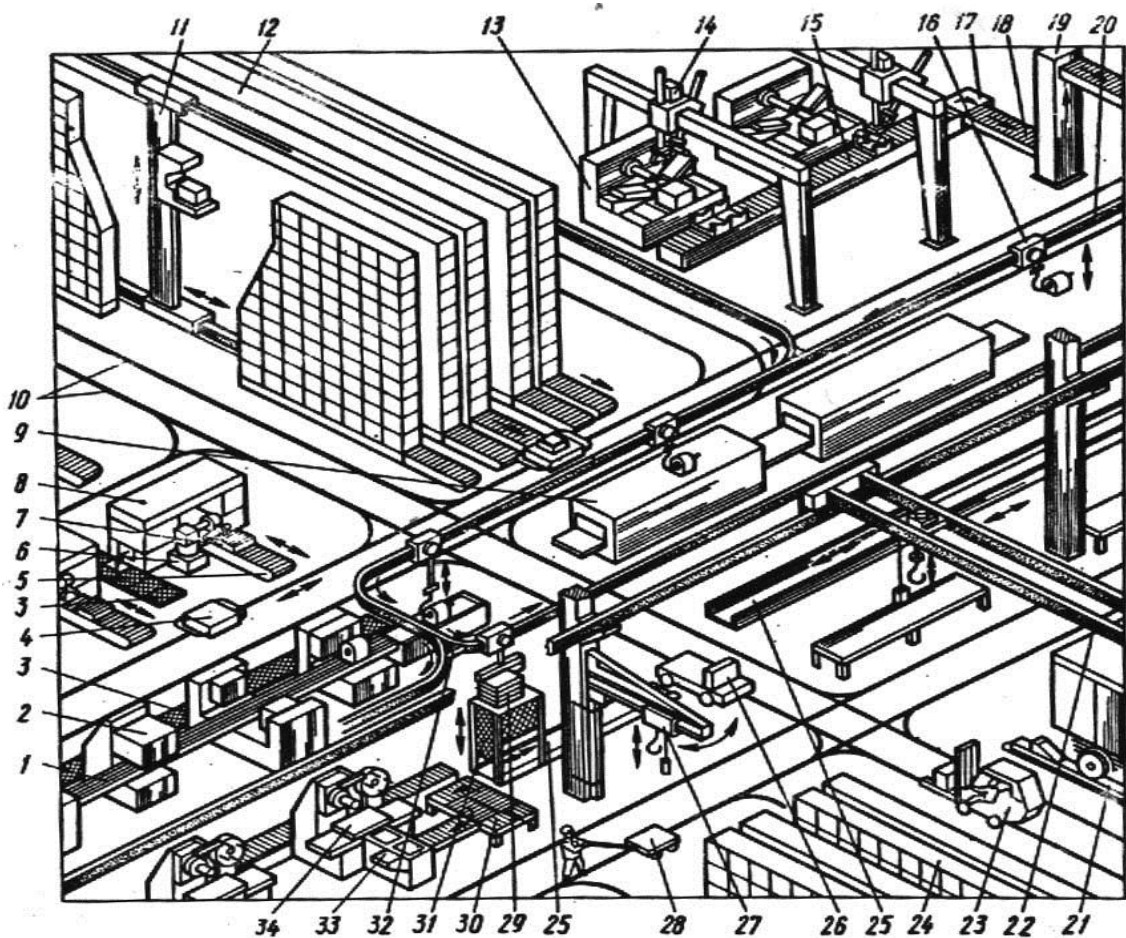


Рисунок 7. Грузовые потоки автоматизированного механосборочного цеха: 1 – шаговый конвейер; 2 – АЛ; 3 – конвейер для удаления стружки; 4 – автоматическая тележка; 5 – роликовый конвейер; 6 – ПР; 7 – тара; 8 – станки; 9 – термообработка; 10 – трасса; 11 – штабелеры; 12 – склад заготовок; 13 – АЛ; 14 – порталный манипулятор; 15 – роликовый конвейер; 16 – манипулятор; 17 – поворотное устройство; 18 – роликовый конвейер; 19 – цепной подъемник; 20 – подвесной конвейер; 21 – железнодорожный путь; 22 – мостовой кран; 23 – электропогрузчик; 24 – склад полуфабрикатов, оснастки; 25 – ленточный конвейер; 26 – электрокар; 27 – подвесная кран-балка; 28 – ручные тележки и робокары; 29 – тара; 30 – магазин; 31 – разгрузочная станция; 32 – автоматические стрелки; 33 – агрегаты загрузки; 34 – станочный модуль

То есть в общем случае транспортно-складская система состоит из складов заготовок 12, изделий, складов 24 полуфабрикатов, инструмента, оснастки, а также транспортных средств 1, 5, 11, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 28.

Загрузочно-разгрузочные устройства встраивают в станок или располагают рядом 6, 14, 33.

Современное производство работает с ориентированными заготовками и изделиями, что требует тару для транспортировки 7, 29. Тара унифицирована. Для хранения заготовок у станков применяют магазины 30.

Таким образом, **автоматизированная транспортно-складская система (АТСС)** является важнейшим компонентом ГПС. Ее функции весьма разнообразны:

- накопление заготовок, полуфабрикатов, изделий, комплектов настроенных инструментов и приспособлений;
- транспортирование всех этих объектов к оборудованию;
- транспортирование от оборудования;
- удаление и сортировка отходов.

Анализ внедренных ГПС показывает значительное многообразие вариантов АТСС. Весьма различны и уровни ее автоматизации: от полной автоматизации до автоматизации только складских и транспортных операций (все остальное выполняется оператором).

Обычно разработчики стремятся найти *оптимальный уровень* автоматизации, оставляя за человеком технически трудные или экономически нецелесообразные функции (перегрузку деталей из накопительной тары в приспособления, замену комплектов режущего инструмента и т. д.).

Первоначально транспортные системы создавались на основе различных конвейеров (как в массовом производстве). Но в массовом производстве такт выпуска мал (1...2 мин), поэтому грузопоток большой. В ГПС используют принцип *концентрации операции*, такт возрастает до 2...5 часов, пропорционально уменьшается грузопоток. При обработке сложных корпусных деталей АТСС необходимо за час передать всего 2...4 детали.

На **рис. 8** показана компоновка ГПС с совмещенной транспортной и накопительной системами. Позже появились линейные системы с рельсовыми тележками. Но они оказались эффективны

для ГПС из 2...6 станков, которые сами по себе не очень перспективны. Поэтому в более сложных случаях создают разветвленные транспортные сети на основе безрельсового транспорта – робокаров. Здесь возникают свои проблемы. В первую очередь, надежность и точность позиционирования.



Рисунок 8. Гибкий автоматизированный комплекс для обработки корпусных деталей

Есть еще много проблем. Например, сложные для базирования детали требуют приспособлений-спутников (палет), а значит, требуются участок их подготовки, закрепления-раскрепления деталей, транспортировка и перегрузка тяжелых палет и т. д.

На **рис. 9** приведен пример компоновки ГПС с использованием безрельсового транспорта.

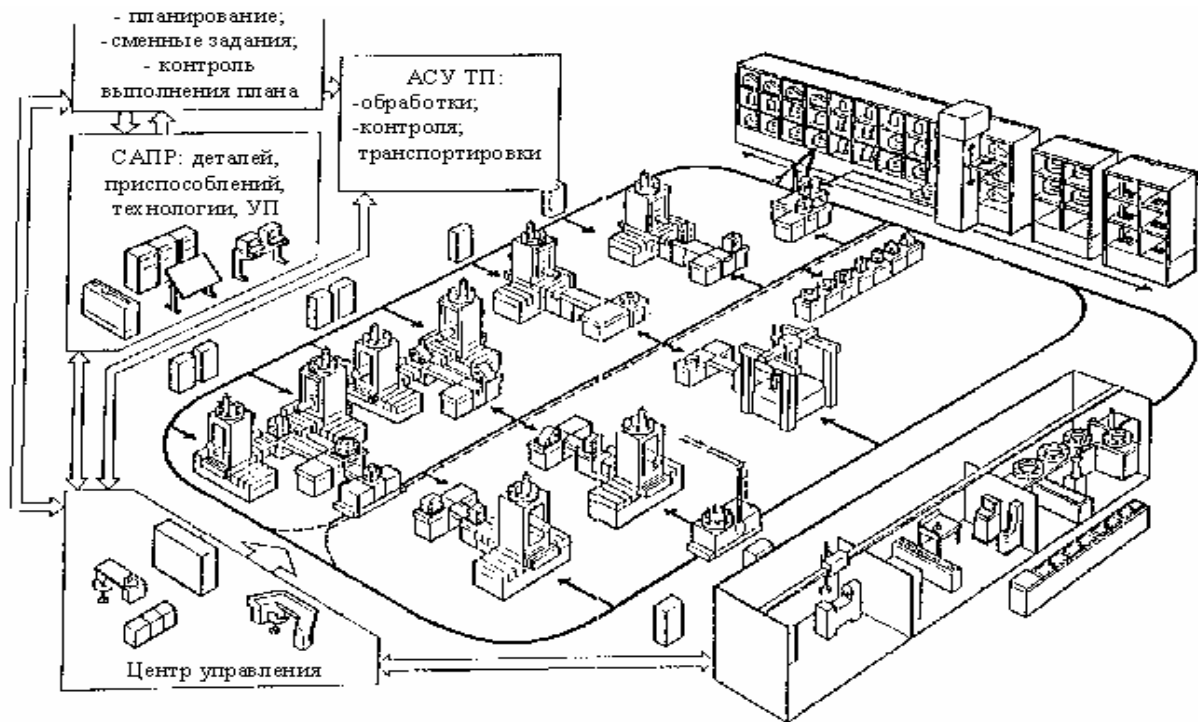


Рисунок 9. ГПС с замкнутой траекторией транспортной системы

Есть еще много проблем. Например, сложные для базирования детали требуют приспособлений-спутников (палет), а значит, требуются участок их подготовки, закрепления-раскрепления деталей, транспортировка и перегрузка тяжелых палет и т. д.

3.2. Типовые компоновки АТСС

Так как уже накоплен значительный опыт создания АТСС для ГПС, то можно выделить имеющиеся тенденции в формировании их компоновок.

В крупносерийном производстве используется принцип межоперационного транспортирования «станок – станок» (прямочеч-

ность), поэтому в АЛ в основном и используют различные конвейеры.

В ГПС АТСС, как правило, создается по принципу «станок – склад – станок», то есть полуфабрикаты возвращаются на склад.

Различают:

- централизованные (есть централизованный склад полуфабрикатов);
- децентрализованные (используют пристаночные накопители);
- комбинированные (оба накопителя).

Наибольший интерес применительно к ГПС представляют четыре типа компоновок.

Первый тип включает автоматизированный склад-штабелер, по одну сторону которого расположены помещения для комплекточных, подготовительных и вспомогательных операций, а по другую – автоматические транспортные линии, связывающие склад-штабелер с технологическим оборудованием. Технологическое оборудование установлено вдоль **стационарных** транспортных линий. Грузы к транспортным линиям доставляет кран-штабелер (**рис. 10**).

Схемы *а, б и е* применяют для доставки и складирования заготовок деталей, инструмента и приспособлений транспортными манипуляторами, подающими тару, поддоны и спутники на приемные накопители рабочих мест и в многоярусные участковые накопители. На схемах *в, г, ж* транспортные манипуляторы обеспечивают перемещение и накопление заготовок и деталей на одном уровне. Чтобы обеспечить накопление обратных заделов, инструмента и приспособлений, необходимых для передачи на линию обработки, используют различные типы автоматизированных накопителей. Схему *д* применяют в случаях, когда для хранения заготовок и деталей в таре и спутниках предусмотрен централизованный накопитель – автоматический стеллажный склад. По схеме *з* происходит совмещение в одном транспортном блоке двух уровней транспортирования: на верхнем – машина циклического действия доставляет тару, поддоны и спутники к станкам; на нижнем – возврат тары, поддонов и спутников с рабочих мест. Транспортные

средства – роликовый приводной конвейер. После каждой операции заготовки и готовые детали возвращаются на приемные устройства системы обеспечения производства.

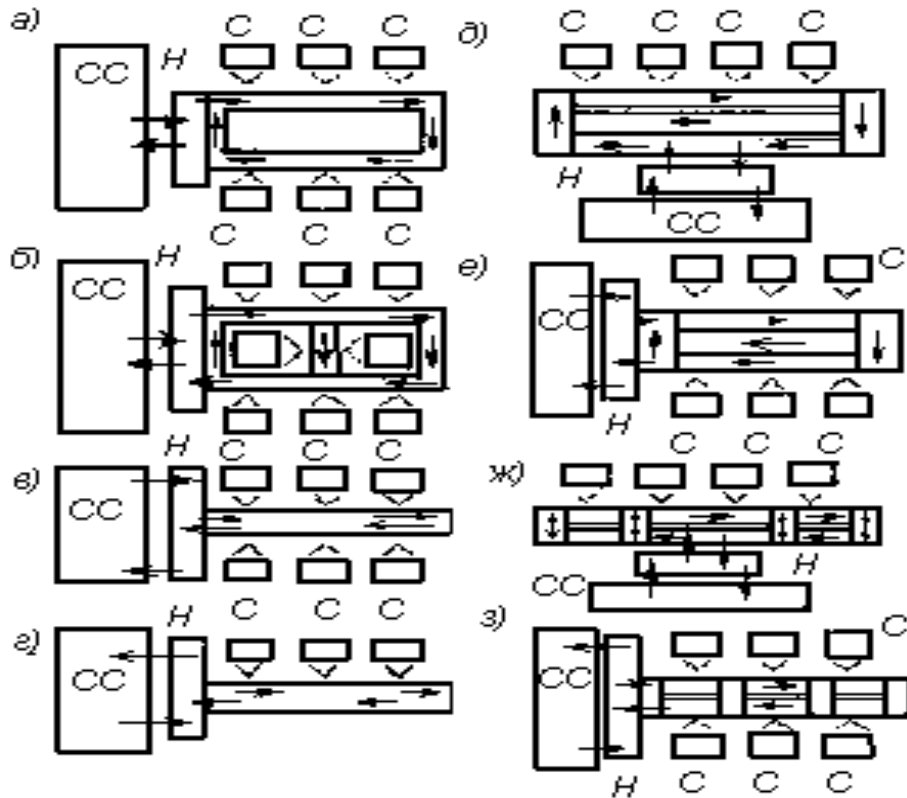


Рисунок 10. Схема компоновок транспортной системы при использовании циклического рельсового транспорта: *С* – станок; *Н* – накопитель; *СС* – складские системы.

Основной недостаток приведенных схем – недостаточная гибкость транспортной системы. Схемы не обеспечивают изменения транспортных Поток в любой последовательности, так как предусматривают жесткую привязку оборудования к транспортной линии. Другим недостатком является невозможность остановки какой-либо транспортной линии или ее части, так как эта остановка вызывает остановку всего технологического оборудования.

Во **втором** типе транспортно-складской системы (рис. 11) функции транспортирования грузов по пунктам назначения и складирования грузов выполняет склад-штабелер. Этим достигается гибкость системы, удовлетворяющая требованиям мелкосерийного производства. Отсутствие транспортирующих устройств дает эко-

номии основных затрат, упрощает управление транспортно-складской системой. Склад-штабелер доставляет груз прямо на приемный стол технологического оборудования, что сокращает продолжительность транспортно-складских операций.

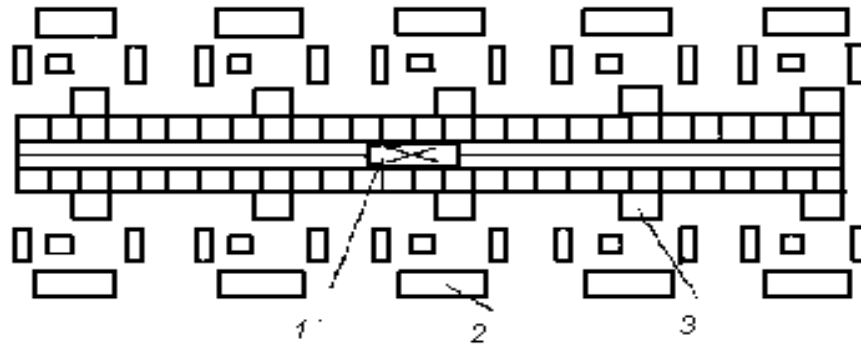


Рисунок 11. Компоновка ГПС второго типа: 1 – автоматизированный склад-штабелер; 2 – гибкие производственные модули; 3 – перегрузочные столы

К недостаткам этой схемы следует отнести сокращение числа станков, обслуживаемых одним складом-штабелером, и неудобство размещения вспомогательных помещений для переработки грузов. Кроме того, ограничиваются возможности расширения участков.

Третья схема транспортно-складской системы (**рис. 12**) предусматривает транспортную связь склада с технологическим оборудованием с помощью подвесных транспортных средств, например подвешенного трехкоординатного робота, установленного на кран-балке.

По сравнению с предыдущими данная схема имеет ряд преимуществ: транспортная система не занимает производственную площадь; полностью используются возможности склада и штабелера; высокая гибкость системы. Недостатками данной схемы являются конструктивные особенности, вызывающие дополнительные требования конструкции здания, сложность в обеспечении требований техники безопасности. Кроме того, данный вид транспортной системы может обслуживать технологическое оборудование, расположенное только на площади, ограниченной подвесными или подкрановыми путями, что не позволяет использовать действующую транспортную систему при расширении производства. Необ-

ходимость резервного транспортного устройства для предотвращения простоев оборудования в случаях профилактического ремонта или аварийных остановок обуславливает большие дополнительные затраты в связи с высокой стоимостью подвесных средств транспорта, особенно трансроботов. Трудность обслуживания подвесного транспорта – это существенный недостаток. Наиболее оптимальным является применение данной схемы при гибком автоматизированном производстве крупногабаритных изделий.

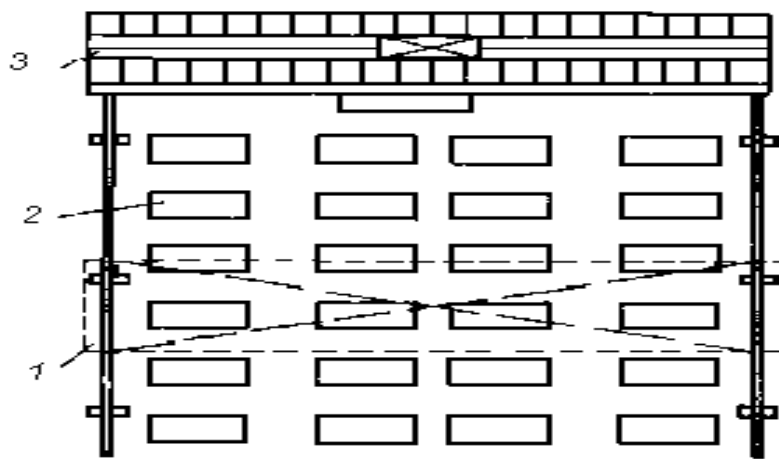


Рисунок 12. Компоновка ГПС третьего типа: 1 – кран-балка с подвесным роботом; 2 – технологическое оборудование; 3 – склад

На **рис. 13** показаны компоновки ГПС при использовании в качестве средств транспортирования подвесных грузонесущих конвейеров. Схема *а* характерна для ГПС участка. Число единиц обслуживаемых станков может быть увеличено за счет удлинения конвейера или его расчленения на несколько закольцованных участков. Конвейер располагается между двумя рядами или группами станков. Возможны гибкие трассы и обслуживание участков станков различной конфигурации. Схему *б* применяют в условиях ГПС цеха или участка. Трасса может образовывать петли, иметь подъемы и спуски. АТСС по схеме *в* имеет склад-накопитель, который может обслуживаться подвесным цепным грузонесущим конвейером. Подвески с участкового конвейера на складской перемещаются перегружателем.

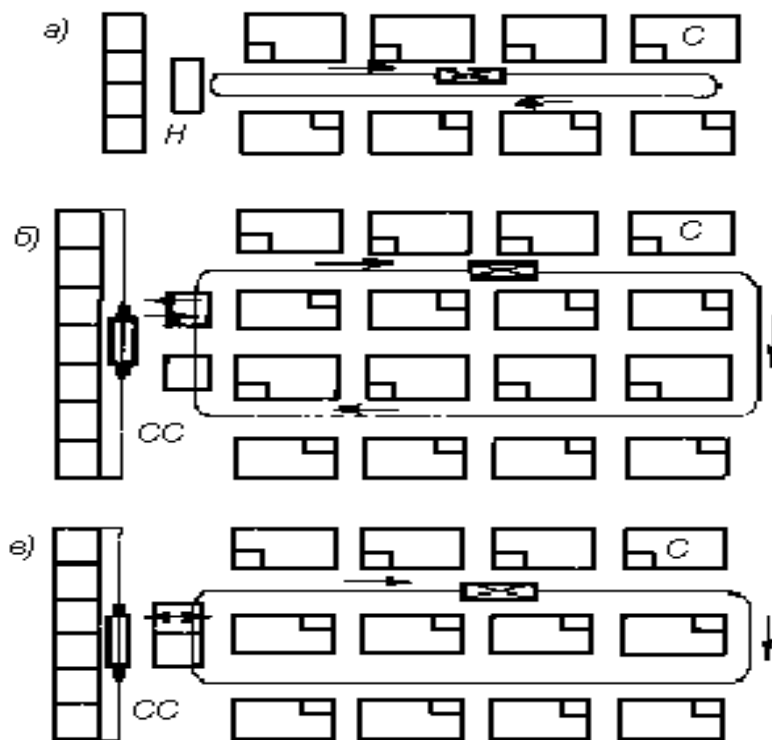


Рисунок 13. Схемы компоновок ГПС при использовании подвесных грузонесущих конвейеров: *С* – станок; *СС* – складские системы; *Н* – накопитель

Транспортно-складская система **четвертого типа**, реализующая преимущества напольного безрельсового транспорта, является наиболее характерной для оснащения ГПС. В этой системе функции транспортирования грузов выполняют автоматические напольные тележки, управляемые от ЭВМ. Применение такого типа транспорта позволяет использовать имеющиеся проходы между технологическим оборудованием, обеспечивает высокую степень гибкости; каких-либо дополнительных требований к конструкции здания не предъявляется. Возможности тележки могут быть использованы для транспортных связей смежных участков и цехов. Построение транспортно-технологических маршрутов определяется основным технологическим процессом производства на его различных иерархических уровнях.

Оптимальность данного варианта и его компоновочных решений подтверждается опытом создания гибких автоматизированных производств, в которых наблюдается тенденция к преобладающему использованию напольного автоматического транспорта. В данном случае кроме автоматических тележек обычного назначения для

перевозки заготовок и деталей применяют тележки-магазины для режущего инструмента. Эти тележки-магазины устанавливаются у каждого станка, не имеющего магазинных устройств для режущего инструмента. При возникновении необходимости изменения комплекта режущего инструмента автоматически меняется тележка-магазин. Это позволяет освободиться от многоместных инструментальных магазинов на станках и решает проблему периодической замены режущего инструмента в условиях безлюдной технологии.

Варианты компоновок при использовании напольного безрельсового транспорта приведены на **рис. 14**. Реализация этих схем наиболее характерна для участков, где станки установлены группами и требуется создание криволинейных и закольцованных трасс. Схема *а* используется для двустороннего обслуживания станков при наличии одного транспортного поезда, схема *б* – для одностороннего обслуживания. Обе схемы находят распространение при компоновке АТСС участка и цеха.

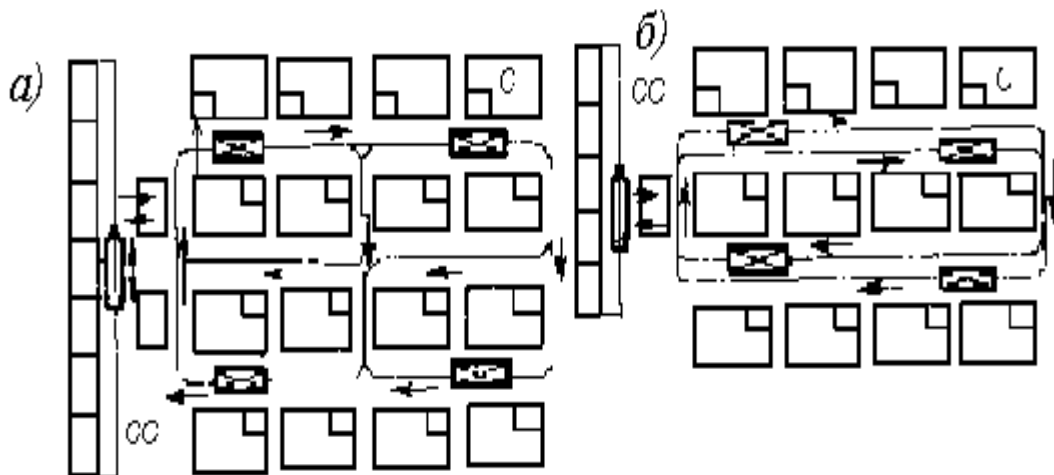


Рисунок 14. Схемы компоновок при использовании напольного безрельсового транспорта: *С* – станок; *СС* – складские системы.

3.3. Технические средства АТСС

3.3.1. Классификация технических средств АТСС

При проектировании технических средств АТСС широко используют принцип *модульности*, который характеризуется постро-

ением оборудования АТСС и транспортно-складской тары из унифицированных модулей, агрегатов в соответствии с требованиями размерных параметрических рядов. Основные параметры, по которым унифицируются все эти средства:

а) грузоподъемность, тонны: 0,05; 0,1; 0,15; 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 3,2.

б) габариты, мм: 400 х 300; 400 х 400; 600 х 400; 500 х 500; 600 х 600; 800 х 600; 800 х 800; ...; 1600 х 1600.

3.3.2. Средства складирования

3.3.2.1. Склады

Различают:

- склады материалов;
- склады промежуточные;
- склады готовой продукции.

Выделяют **основные зоны** склада: зону хранения, зону приема-выдачи на внешний уровень, зону приема – выдачи на внутренний транспорт ГПС, зону укладки деталей в тару. Склады можно разделить на две основные группы:

а) *стеллажные*: с блочными или клеточными стеллажами, с мостовыми, стеллажными или напольными кранами-штабелерами;

б) *конвейерные*: элеваторные, проходные (гравитационные), подвесные.

Некоторые схемы складов приведены на **рис. 15**, где а – показан склад с одним однорядным стеллажом 1; б – с двумя однорядными стеллажами. Стеллажи 1 обслуживаются одним автоматическим стеллажным краном-штабелером 2, который укладывает в ячейки стеллажа поданный на перегрузочное устройство 3 груз или в зависимости от программы забирает его (спутник с заготовкой, инструмент или приспособление и т. д.) из ячейки стеллажа и попадает на перегрузочное устройство, откуда груз с помощью применяемого в ГПС транспортного средства доставляется на станок.

Однорядный стеллажный накопитель 1 позволяет устанавливать груз с любой стороны стеллажа. Такая конструкция упрощает доступ ко всем ячейкам склада.

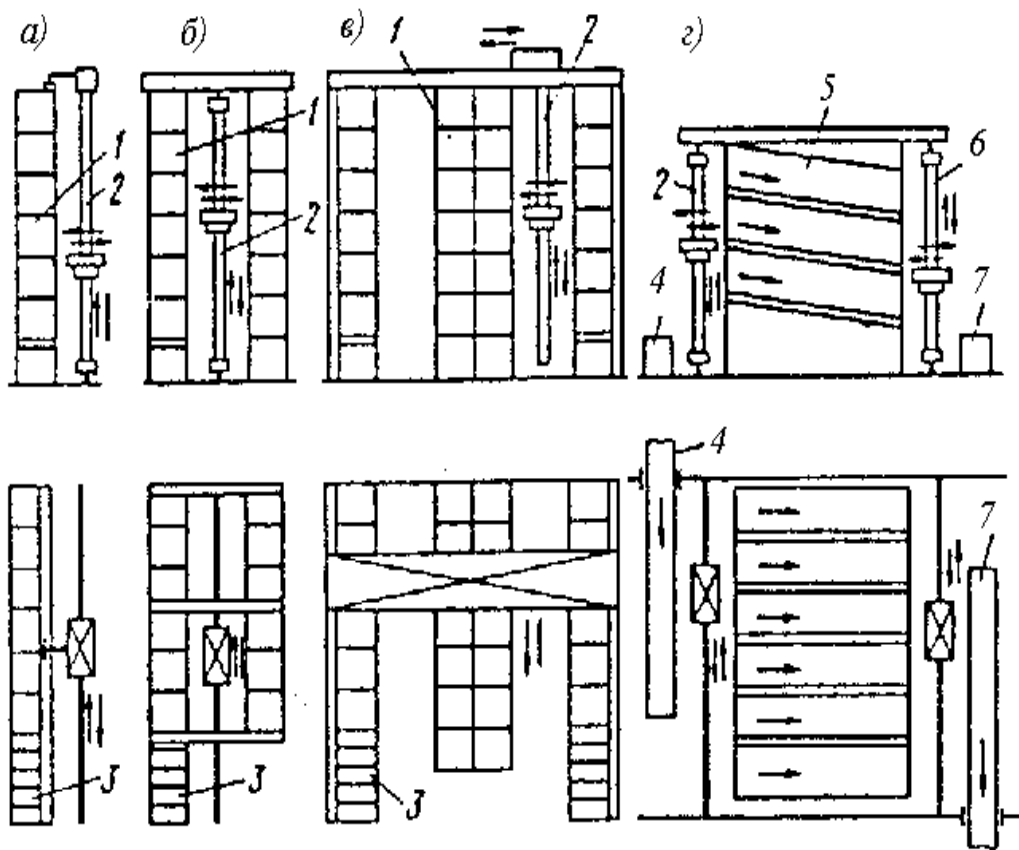


Рисунок 15. Принципиальные схемы автоматических складов: а – с однорядным стеллажом; б – с двумя однорядными стеллажами; в – стеллажный, обслуживаемый мостовым краном-штабелером; г – проходной (гравитационный) 1 – накопитель; 2, 6 – кран-штабелер; 3 – перегрузочный стол; 4 – входной конвейер; 5 – склизы; 7 – выходной конвейер

Склады с автоматическими стеллажными кранами-штабелерами получили в ГПС наибольшее применение, так как они занимают мало места, имеют высокую производительность и более легко поддаются автоматизации. Недостатки: при небольшой высоте помещения грузоместимость одной секции невысока, при сооружении длинных стеллажей снижается производительность крана-штабелера.

Стеллажный склад, показанный на **рис. 15, в**, обслуживается одним мостовым краном-штабелером 2, который может устанавливаться в первом или во втором проходе между стеллажами 1. Перегрузочные столы 3 могут находиться в зависимости от компоновки склада либо у однорядных стеллажей,

либо в середине у двухрядного стеллажа. Подобные автоматические склады получили применение в единичном или мелкосерийном производстве.

Склады с одним однорядным стеллажом (**рис. 15, а**) размещают вдоль производственного участка станков ГПС.

Склады с линейной компоновкой нескольких стеллажных накопителей и с автоматическим стеллажным краном-штабелером (**рис. 15, б**) или с мостовым краном-штабелером (**рис. 15, в**) получили применение при линейных компоновках ГПС. При этом подача заготовок от перегрузочного стола склада к перегрузочным столам станков и обратно производится специальными транспортными средствами. Как правило, между стеллажами в каждом проходе есть отдельный погрузочный агрегат, но можно уменьшить их число за счет мостового крана или специальной тележки для перестановки штабелера.

Некоторые *рекомендации* по проектированию складов:

1. Материалы, занимающие большой объем, должны располагаться ближе к зоне выдачи.
2. Единичные изделия для хранения группируют на поддонах.
3. Надо использовать многоярусные склады.
4. На складе должно быть два разделенных потока: на склад и со склада.
5. Номенклатура используемой тары должна быть минимальной.

3.3.2.2. Штабелеры

Характеристики кранов-штабелеров также унифицированы и выбираются по двум группам:

- *геометрические характеристики* – высота подъема, габариты крана, габариты грузовой единицы, выдвижение телескопических грузозахватов и пр.;
- *скоростные характеристики*.

Требуемую скорость перемещения крана рассчитывают по среднестатистическому пути и грузообороту. Обычно достаточна скорость 1 м/с, при длинных стеллажах – 1,25...1,6 м/с. Выбранная скорость определяет время цикла, а следовательно, и количество необходимых штабелеров. Типовая конструкция рамного крана-

штабелера приведена на **рис. 16**. Штабелер перемещается по рельсу 8, вверху поддерживающий рельс 2, телескопические грузозахваты 4 перемещают грузовые единицы в ячейки и обратно.

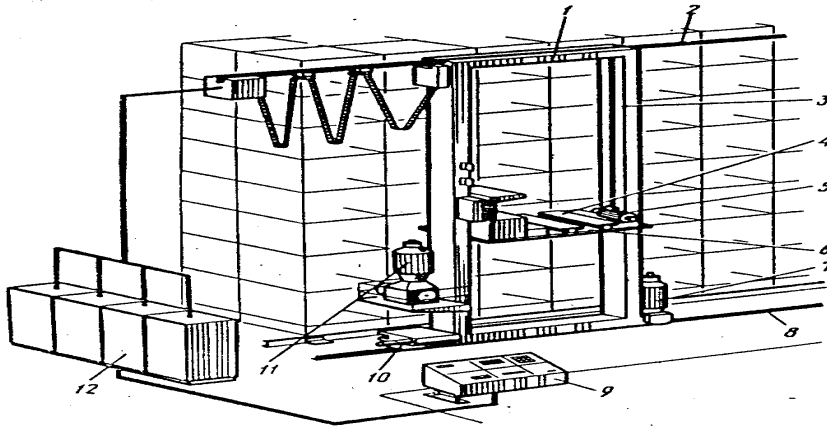


Рисунок 16. Автоматизированный кран-штабелер для высотных складов: 1 – рама штабелера; 2 – верхний рельс; 3 – направляющие; 4 – телескопические грузозахваты; 5, 7, 11 – приводы перемещений; 6 – грузовая платформа; 8 – нижний рельс; 9 – пульт управления; 10 – основание; 12 – электрошкафы

3.3.2.3. Перегрузочные устройства

Служат для:

- разгрузки прибывающих извне грузов и пустой тары;
- передачи грузов в таре в зону действия штабелеров;
- передачи грузов от штабелеров в зону действия внутрисистемного транспорта;
- укладки изделий в тару;
- накопления грузов перед отправкой либо после приемки.

На **рис. 17** показана схема взаимодействия компонентов склада. Сейчас применяют следующие основные типы перегрузочных устройств:

а) столы точного позиционирования (с фиксирующим устройством для точной остановки тары);

б) столы и тележки двухпозиционные одно- и двухъярусные, то есть имеющие ось поворота вокруг вертикальной оси, проходящей через центр стола. Тогда может применяться следующее распределение: 1 позиция – связь с транспортом ГПС; 2 позиция –

связь со штабелером, один ярус для приема груза, другой – для выдачи;

в) конвейеры одно- и двухъярусные, чаще роликовые и цепные;

г) роботы и манипуляторы;

д) столы поворотные и подъемные.

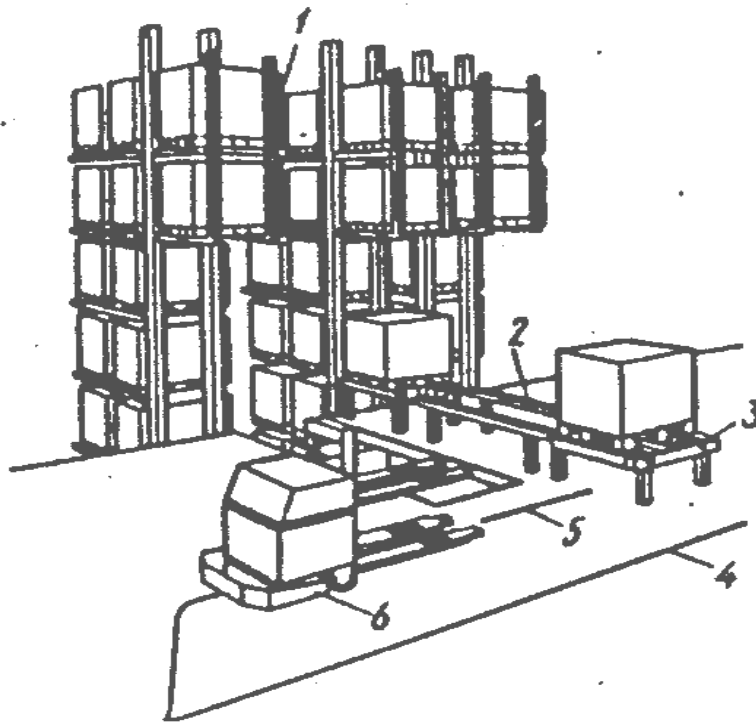


Рисунок 17. Схема взаимодействия компонентов автоматического склада: 1 – штабелер; 2 – перегрузочное устройство; 3 – стол точного позиционирования; 4 – трасса; 5 – участок подъезда; 6 – робокар

3.3.2.4. Пристаночные накопители заготовок

Компоновки перегрузочных накопителей достаточно многообразны. Используют для деталей, расположенных на спутниках. Сами спутники базируются на загрузочных устройствах «в координатный угол» либо по плоскости и 2-м пальцам. Конструкции спутников унифицированы для станков с ЧПУ с прямоугольным и квадратным столами. Каждое автономное загрузочное устройство выполнено в виде тумбы с транспортером, направляющими и приводом перемещения спутников. Для этого на торцах спутников есть специальный вырез для захвата.

Работа транспортного оборудования обусловлена функциональной направленностью, пространственной ориентацией и компактностью производства. Последняя характеризует эффективность использования производственных объемов и связей между размещаемыми элементами и зависит от грузопотока, общей плотности использования помещений под производственные процессы, минимального цикла производства. Анализ связей между элементами производства позволяет сделать вывод, что применение какого-то одного вида транспорта в ГПС нецелесообразно вследствие специфики различных видов производства, конструктивных особенностей транспортных средств, их технологических возможностей, а также различных требований к ним и целей транспортирования.

Транспортные средства являются связующими звеньями между различными видами оборудования ГПС. В отличие от традиционного подъемно-транспортного оборудования средства транспортирования, используемые в ГПС, должны создавать условия для возможности работы системы в автоматическом режиме. В связи с этим средства транспортирования ГПС должны обеспечивать возможность стыковки по основным параметрам со складским и технологическим оборудованием; заданную ориентацию перевозимого груза; заданный ритм работы; точность позиционирования; программную совместимость устройства управления с верхним уровнем управления; требования техники безопасности; агрегатно-модульный принцип построения.

Схемы автоматической перегрузки приспособления-спутника на ОЦ показаны на **рис. 18**.

- а) челночная схема перемещения;
- б) схема параллельного перемещения;
- в) угловая схема;
- г) Т-образная схема движения;
- д) Г-образная схема движения;
- е) с применением 2-позиционного поворотного стола;
- ж) с многопозиционным поворотным столом;
- з) многопозиционная система загрузки спутника при круговом расположении позиций;
- и) линейное расположение позиций.

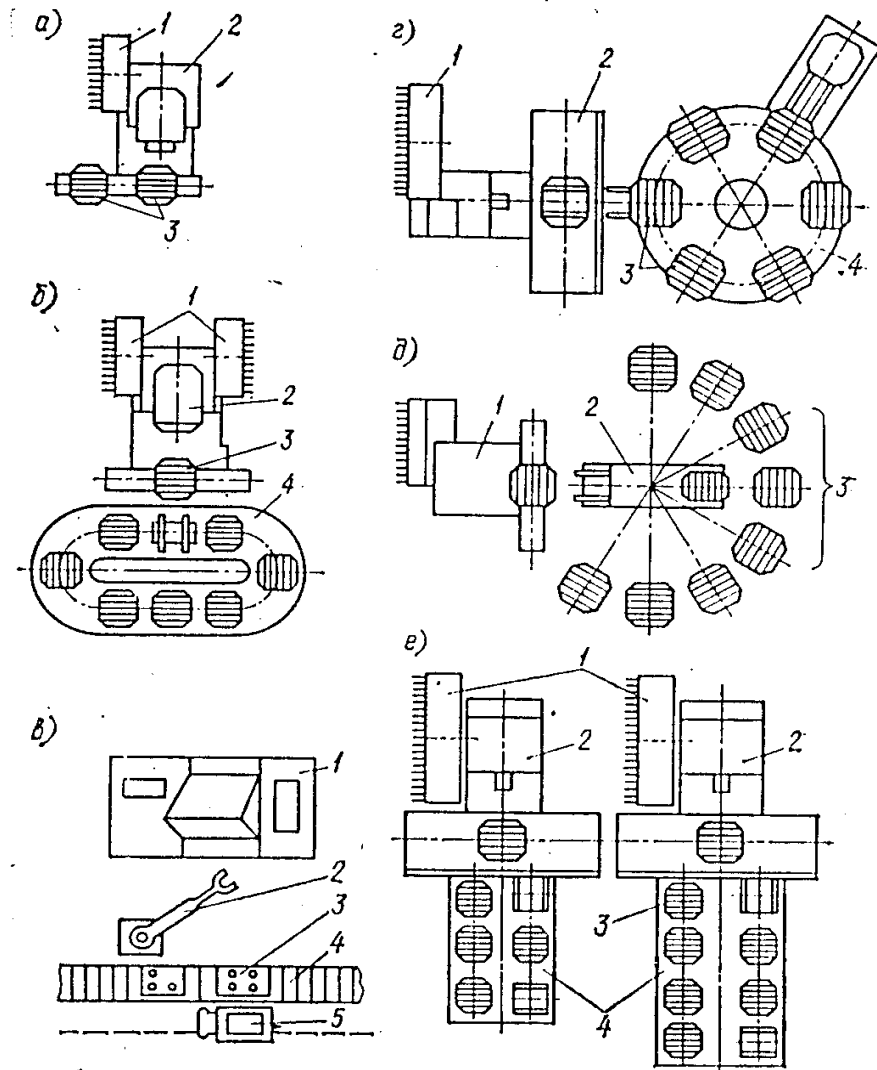


Рисунок 18. Схемы ГПМ с пристаночными накопителями:
а – с двумя челночными столами: 1 – магазин с инструментом; 2 – многоцелевой станок; 3 – рабочий стол; **б** – с автоматизированным загрузочным устройством: 1 – магазин с инструментом; 2 – многоцелевой станок; 3 – стол станка; 4 – загрузочное устройство (шаговый конвейер-накопитель спутников); 5 – робокар; **в** – с автооператором 1 – станок; 2 – автооператор; 3 – позиция перегрузки; 4 – конвейер; 5 – транспортная тележка; **г** – с круговым транспортным накопителем: 1 – магазин с инструментом; 2 – многоцелевой станок; 3 – спутник; 4 – накопитель; **д** – с позиционным накопителем веерного типа: 1 – многоцелевой станок; 2 – поворотный стол-перегрузчик; 3 – накопитель; **е** – два варианта схемы с наращиваемым линейным накопителем: 1 – магазин с инструментом; 2 – многоцелевой станок; 3 – спутник; 4 – накопитель

Загрузочные устройства выбирают в зависимости от планировки оборудования, направления технологических потоков и других условий эксплуатации станков.

Условия работы системы автоматической смены заготовок неблагоприятны:

- наличие эмульсии и стружки;
- ограниченный доступ в процессе работы;
- большие нагрузки от усилия резания.

Поэтому приспособления фиксации и зажима являются одним из ответственных элементов системы заготовки – приспособления – станок.

Для точности и жесткости базирования корпус приспособления должен быть обтекаемым, спутник не должен смещаться из-за попадания стружки на базовые элементы, при этом должен быть надежным.

Для повышения эффективности использования МЦ (ОЦ), станков с ЧПУ они оснащаются устройствами автоматической смены обрабатываемых деталей совместно с транспортно-накопительными системами, магазинами спутников.

Эти устройства позволяют выбрать станки в ГПС.

Варианты конструкций накопителей с емкостью 8–10 спутников показаны на **рис. 19, 20, 21, 22**.

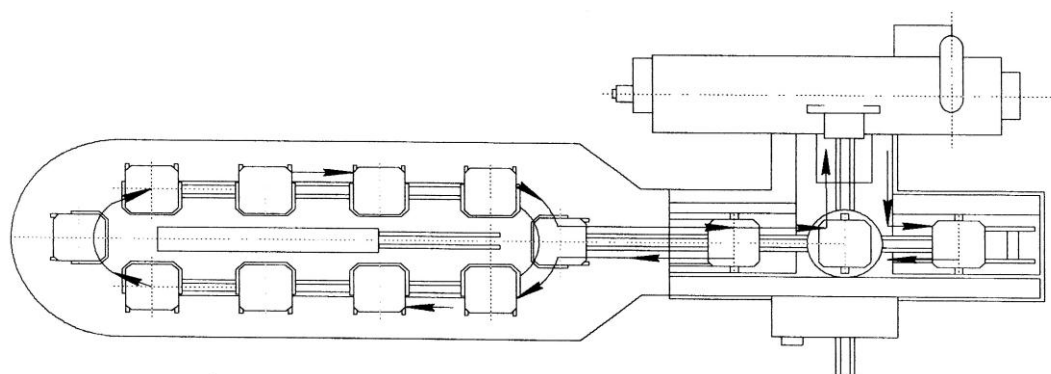


Рисунок 19. Накопительная система с автоматической заменой изделий на многоцелевом станке, встроенном в ГПС

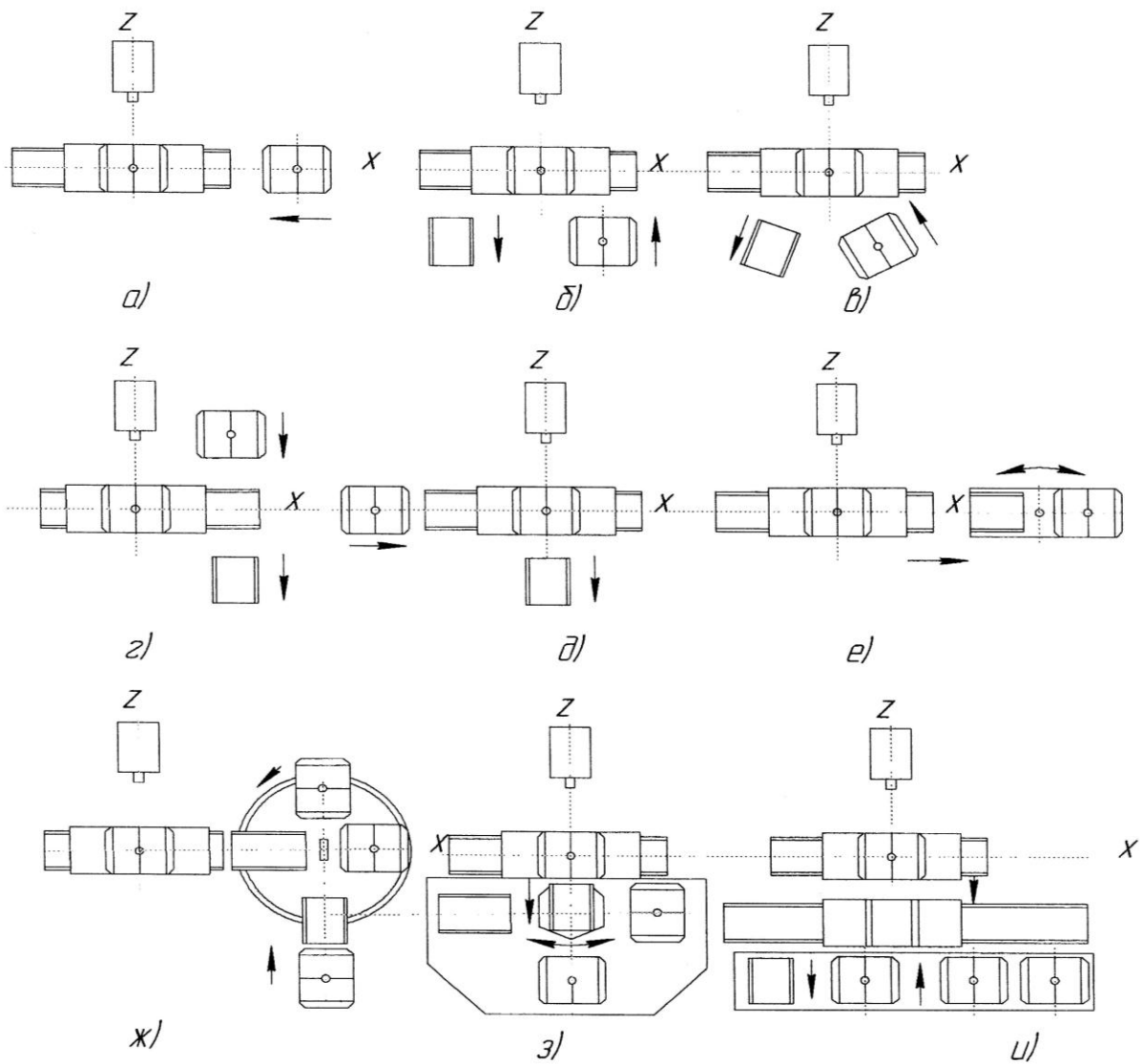


Рисунок 20. Схемы автоматической перегрузки приспособления-спутника

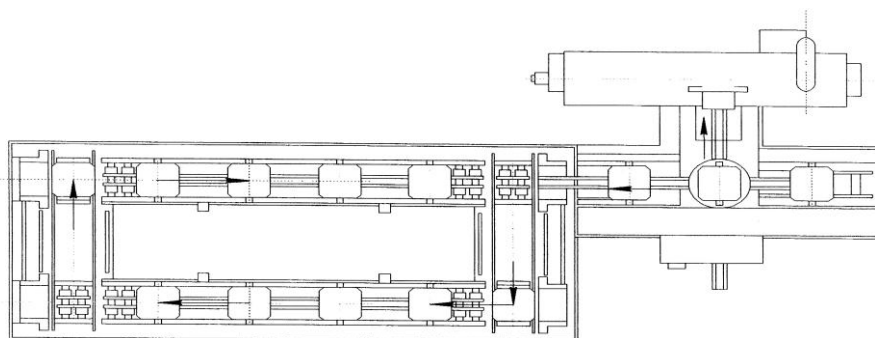


Рисунок 21. Система накопления и замены приспособления на основе роликовых транспортеров

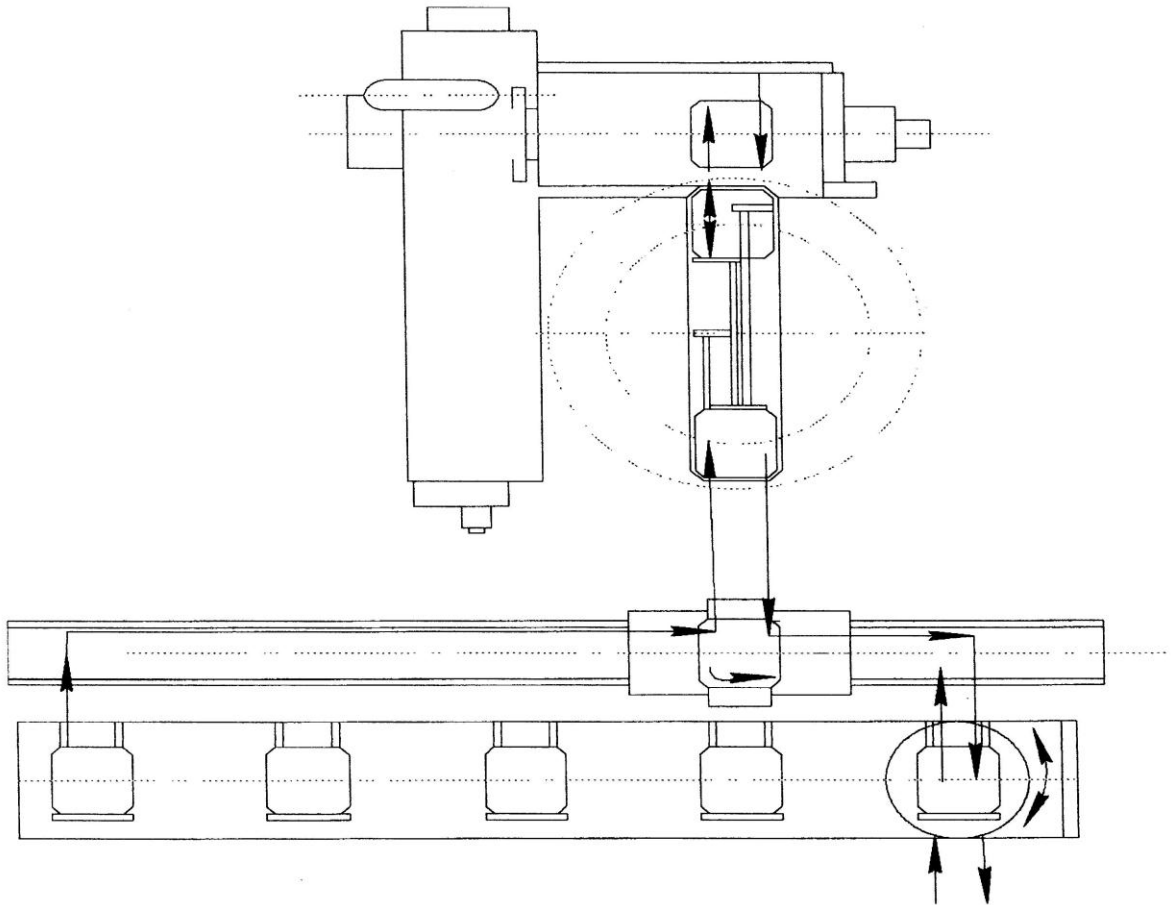


Рисунок 22. Система замены спутников с прямолинейным транспортером

3.4. Транспорт в ГПС

Классификация транспортных средств ГПС по основным признакам представлена на **рис. 23**.

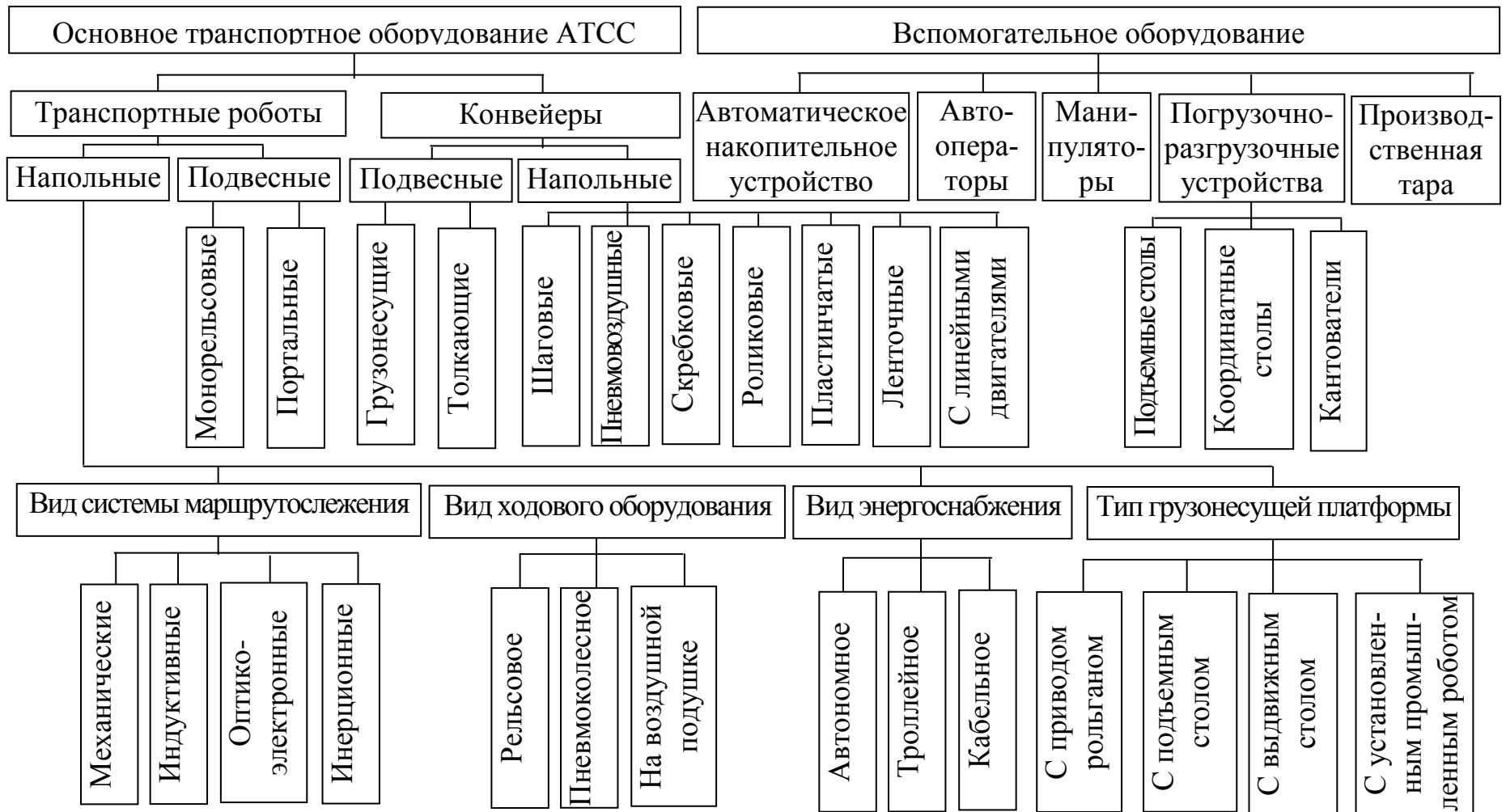


Рисунок 23. Классификация транспортного оборудования АТСС ГПС

Следует также отметить высокие требования к надежности, так как транспортные средства, как правило, не дублируются никакими другими видами оборудования, в результате чего отказ транспортирующих средств ГПС приводит к остановке производственного процесса. Это положение обосновывается тем, что в ГПС используют не отдельные транспортные средства, а систему взаимосвязанных между собой машин и механизмов. При этом неизмеримо возрастает роль так называемого вспомогательного оборудования (перегрузочных устройств, адресователей, кантователей и т. д.), без которых процесс передачи грузов к основному технологическому оборудованию и обратно автоматизировать невозможно.

Учитывая, что выбор технических средств для организации грузопотоков зависит от уровня производственно-технологических связей, необходимо рассмотреть транспортное оборудование, которое применяется на межоперационном уровне.

3.4.1. Автоматические тележки

Наиболее перспективными среди транспортных средств, используемых в транспортно-накопительных системах, являются самоходные безрельсовые тележки (транспортные роботы или робокары). Применяют тележки двух типов: безрельсовые напольные и рельсовые. Они приводятся в движение от электродвигателей, питаемых от аккумуляторных батарей, и перемещаются по транспортным путям цеха по командам управления АТСС. По сравнению с широко известными средствами самоходные тележки обладают повышенными гибкостью и мобильностью транспортных линий; можно изменять и наращивать маршруты движений тележек; легко регулировать мощность потока грузов за счет изменения числа действующих тележек; обеспечивать возможность выхода из тактового потока производства, использовать транспортные пути для прохождения других транспортных средств и оборудования; увеличивать коэффициент использования производственных площадей вследствие высокой маневренности тележек. При этом не загрязняется производственная среда, так как тележки работают от аккумуляторных батарей и имеют низкий уровень шума и расход электроэнергии. В условиях ГПС тележки применяют для автоматического транспортирования заготовок со склада к технологиче-

ским модулям; передачи обработанных деталей от одной ячейки на другую, участки сборки, контроля, мойки и т. д.; передачи заготовок от межоперационных накопителей к обрабатывающим станкам; в качестве подвижных платформ при выполнении ряда технологических операций (сварки, сборки, окраски, контроля, закалки и т. д.); автоматического транспортирования инструментальных блоков (магазинов) и отдельных инструментов к станку; транспортирования отдельных сменных узлов станка (например шпиндельных балок) к обрабатывающим центрам. Тележки иногда используют в качестве подвижных платформ для роботов и штабелеров.

Основными *требованиями*, предъявляемыми к конструкции транспортных роботов, являются: большой диапазон параметров по грузоподъемности (от нескольких килограмм до сотен); полная автономность и большой запас энергопитания; большая маневренность (малые радиусы поворота), малые размеры проездных путей; возможность оснащения различными средствами автоматической обработки грузов (роботы, кантовали, выталкиватели грузов, подъемники и т. д.); большая скорость перемещения; возможность регулирования скорости перемещения груза; высокая точность причаливания к буферным устройствам станка и другим объектам ГПС (± 1 мм); высокая надежность, обеспечиваемая автоматически действующими средствами безопасности диагностики качества работы; возможность работы на различных режимах автоматического управления (от центральной ЭВМ и бортовой управляющей системы).

Безрельсовая самоходная тележка может состоять из следующих узлов: платформы с ходовым устройством; устройства управления, включающего бортовую ЭВМ, систему слежения за движением по предписанному маршруту, средства путевого контроля; устройства связи с ЭВМ; системы сигнализации и безопасности работы; пульта управления; технологической оснастки или устройства для манипулирования грузом; аккумуляторных батарей.

Безрельсовые самоходные тележки можно классифицировать по назначению, грузоподъемности, маневренности, способам наведения на маршрут следования (трассированию), распознавания адреса следования, подачи команд на выполнение тех или иных опе-

раций, типу оснастки, установленной на тележке и средств манипулирования грузом.

По *назначению* тележки бывают трех видов: рабочая тележка, тележка-тягач, тележка-перекладчик. Рабочую тележку применяют для транспортирования грузов. Ее загрузку и разгрузку производят вручную или роботом. Тележку можно комплектовать различными устройствами для закрепления и съема груза. Тележку-тягач используют для транспортирования груза в прицепных тележках. Загрузку и разгрузку таких тележек производят роботом. Тележка-перекладчик предназначена для транспортирования грузов, закрепленных на поддонах или спутниках. Они снабжены устройствами, позволяющими производить загрузку-выгрузку с помощью автоматически действующих перекладчиков (подъемников, приводных рольгангов, транспортеров, выталкивателей грузов и т. д.).

Использование рольганговой секции позволяет разгружать и загружать автоматические тележки поддонами или спутниками. Такая тележка (**рис. 24**) имеет раму *1* с косыми пазами *2*, на которых подвижно размещается рольганговая секция *5*, подпружиненная пружинами *3*. Пазы *4* позволяют секции *5* смещаться относительно грузовой платформы *6*. При движении тележки по стрелке вправо секция *5* ударяется об упор *10* и останавливается. По инерции грузовая платформа опускается по косым пазам *2*, и груз опускается на ролики *8*, приводимые одновременно во вращение через зубчатые передачи *7* и фрикционный ролик *9*, приходящий в соприкосновение с роликами *11* стационарного рольганга. Привод тележки при этом автоматически выключается. После разгрузки привод включается в обратную сторону. Загрузка происходит в обратном порядке. Автоматическое включение рольганговой секции, находящейся на тележке, позволяет повысить производительность тележки за счет устранения простоя под погрузкой и разгрузкой, так как исключаются дополнительные операции по вводу и выводу из зацепления фрикционного ролика с приводным роликом стационарного рольганга.

Автоматическое передвижение самоходных тележек по маршруту осуществляется с помощью специальных устройств наведения: оптоэлектронных или индукционных.

Оптический маршрутопривод представляет собой нанесенную на поверхность пола светоотражающую ленту или полосу флюо-

ресцирующей краски. Светоотражающая полоса освещается источником света, размещенным на транспортной тележке.

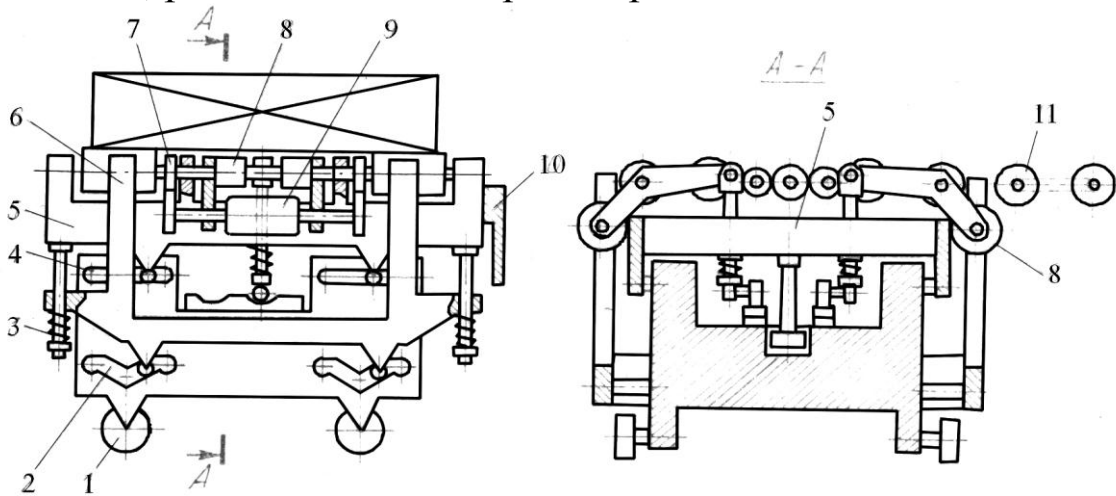


Рисунок 24. Конструкция рольгангового устройства разгрузки тележки (обозначения в тексте)

Свет, отраженный от полосы маршрутопровода, воспринимается расположенными на тележке чувствительными элементами, посылающими сигналы управления к сервоприводам ходовой части. Разновидностью оптического способа навигации тележек является использование белой полосы на фоне темного пола. В этом случае чувствительное устройство отслеживает контраст тонов полосы и темного пола.

Преимущество автоматизированной транспортной тележки с оптическим маршрутослежением заключается в более низких (по сравнению с индукционным) первоначальных и эксплуатационных затратах. А главное, такая система обеспечивает большую гибкость при изменении конфигурации маршрута, поскольку белое или флюоресцирующее покрытие наносится очень легко. С другой стороны, эти полосы легко стираются, что снижает надежность работы транспортной системы. На практике оптические системы маршрутослежения используют главным образом для управления автоматическими тележками небольшой грузоподъемности.

Большинство эксплуатируемых в настоящее время транспортных систем на базе автоматических тележек основано на *индукционном способе* маршрутослежения. *Маршрутопровод* – это электрический провод, который укладывается в желоб, прорезанный в полу. По проводу пропускается ток определенной частоты и ампли-

туды, который создает управляющее электромагнитное поле. Предпочтителен диапазон звуковых частот, так как это облегчает контроль исправности сети и снижает опасность помех. Чувствительное устройство тележки содержит две электромагнитные катушки, установленные снизу тележки на одинаковом расстоянии от маршрутопровода. В случае если одна из катушек окажется ближе к проводнику, что происходит при отклонениях его от прямолинейности (поворотах, закруглениях), возникает разница в напряжениях, индуцированных в каждой из катушек. Эту разницу в напряжениях, соответствующим образом усиленную, можно использовать для изменения направления движения тележки. Командное устройство (микропроцессор или мини-ЭВМ) обрабатывает сигналы, поступающие от чувствительного устройства, и подает команды исполнительному механизму. Исполнительный механизм на основе указаний командного устройства вырабатывает сигнал, необходимый для изменения частоты вращения мотора-колеса или для поворота рулевого колеса.

Существует несколько *способов программирования движения и адресации* автоматических напольных тележек: управление в режиме постоянной связи тележки с центральным пультом системы; управление по программе, заложенной в бортовом командном устройстве тележки; управление с использованием сигналов, получаемых тележкой в специальных контрольных точках, расположенных вдоль трассы, и др. На практике возможно создание управляющих систем, сочетающих признаки перечисленных типов. Наиболее простые системы программирования предусматривают оснащение тележки пультом управления с кнопками, тумблерами и клавиатурой. С их помощью оператор вручную набирает адрес места назначения (технологической операции, пункта загрузки-разгрузки). Достигнув места назначения, тележка останавливается и ожидает следующего ручного ввода адреса.

Способ, основанный на дистанционной диспетчеризации, исключает непосредственную связь оператора и транспортного средства. В этом случае применяют электронное устройство – терминал дистанционной диспетчеризации. Оператор вводит данные в терминал. Последний передает сигналы управления движением, загрузкой и разгрузкой транспортным средствам. Этот метод

управления позволяет полнее использовать возможность системы, но он не защищен от возможных ошибок оператора.

Наиболее совершенным является способ управления транспортной системой с помощью ЭВМ. Такой способ позволяет все входящие в систему транспортные средства и обслуживающие их погрузочно-разгрузочные механизмы объединить в сеть с прямым управлением от центральной ЭВМ. Связь между центральной ЭВМ (центральным пультом управления) и тележками, входящими в транспортную систему, поддерживается дистанционно, обычно с помощью того же кабеля, который служит маршрутопроводом. Управляющие сигналы чаще всего передаются в диапазоне УКВ.

В большинстве систем автоматического транспортирования предусмотрена периодическая связь между центральным пультом и транспортными средствами, осуществляемая при прохождении последними специальных контрольных точек. Управляющая ЭВМ направляет в адрес тележек команды относительно дальнейшего движения и выполнения необходимых операций. Информационные сигналы о нахождении тележек в контрольных точках вырабатываются датчиками положения, расположенными вдоль трассы маршрутной схемы. В качестве таких ориентиров служат электромагнитные и фотоэлектрические датчики, датчики характеристических частот и т. п. Аналогичные датчики, установленные на борту тележек, предназначены для остановки машин в заданных пунктах.

В наиболее усовершенствованных системах центральный пульт управления обменивается информацией с бортовыми микропроцессорами автоматических тележек по радиоканалам или с помощью инфракрасного излучения. При этом датчики, расположенные вдоль трассы движения транспортных средств, сообщают центральной ЭВМ, когда направлять командные инструкции каждой из тележек.

В случае управления автоматической тележкой по программе, заложенной в ее бортовом командном устройстве, определение мест остановок и ответвлений осуществляется путем сравнения сигналов, поступающих от датчиков, с теми, которые заложены в командном устройстве тележки. Возможно применение методов счетно-импульсного и позиционного кодирования.

Счетно-импульсный метод предусматривает присвоение остановкам и ответвлениям трассы порядковых номеров в соответ-

ствии с порядком движения тележек по трассе. Машина получает импульс от датчика при прохождении места остановки или ответвления, сравнивает полученный сигнал с заданной программой, выполняет остановку (движение по ответвлению) или не выполняет. Счетно-импульсная система проста по исполнению, но при возникновении хотя бы одной ошибки в остановках при движении по трассе дальнейшая работа автоматических тележек в соответствии с заданной программой невозможна ввиду дальнейшего накопления ошибок. Применение этой системы оправдано в случае либо простых трасс движения, либо при неизменном производственном цикле и постоянном направлении трассы.

Позиционный метод кодирования предусматривает присвоение остановкам и ответвлениям постоянных номеров, которые не могут меняться при изменении производственного цикла или порядка и трассы движения. На трассе в местах остановок или ответвлений установлены датчики положения, аналогичные датчики размещены на бортах тележек. При прохождении остановки или ответвления бортовые датчики получают определенное сочетание сигналов.

В случае его совпадения с данными программного устройства тележка выполняет необходимую операцию. Позиционная система программирования остановок и ответвлений более сложна по исполнению, однако позволяет осуществлять простой набор программы при изменении производственного цикла или трассы. На трассе одновременно могут работать несколько самоходных тележек. Для предотвращения возможного их столкновения применяется зонное управление движением. Данная система управления делит маршрут на несколько зон, в одной из которых допускается нахождение только одной автоматизированной тележки. Следующая тележка находится в состоянии ожидания и получает команду на начало движения только после освобождения зоны.

Из отечественных образцов автоматизированных тележек известны: МП-12Т, разработанная ЦНИИРТК; Электроника НЦ-ТМ-25 и НЦ-ТМ-НИИТМ; «Телер-20/500» – ИАЭ им. Курчатова. Тележки МП-12Т (**рис. 25**), НЦ-ТМ-15, НЦТМ-25 предназначены в основном для транспортирования деталей мелкими партиями в та-
ре.

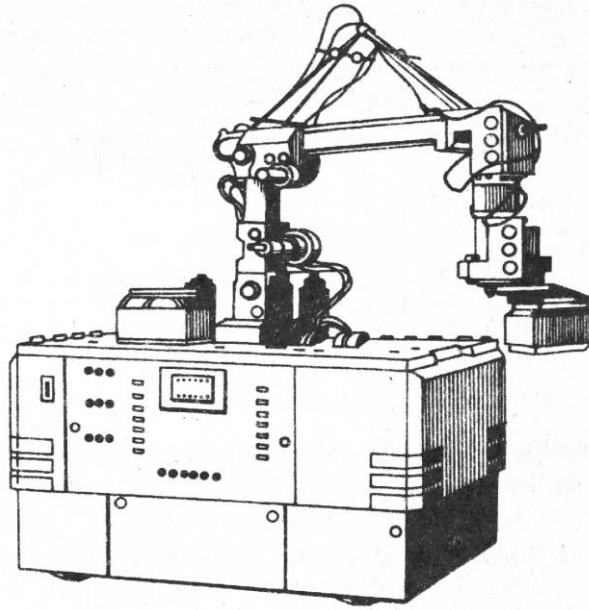


Рисунок 25. Автоматические тележки МП-12Т

Для осуществления процесса укладки тары на рабочее место и взятия ее тележки МП-12Т и НЦ-ТМ-15 оснащены манипуляторами, а тележка НЦ-ТМ-25 выполнена с подъемной платформой и для завершения цикла грузообработки требует робота-перекладчика, непосредственно расположенного у рабочих мест. Общим для этих тележек является выбранный способ маршрутослежения – оптический. Ходовая часть тележек НЦ-ТМ-25 и НЦ-ТМ-15 выполнена с ромбическим расположением колес, где средние колеса – ведущие и рулевые: у тележки МП-12Т колеса расположены попарно. Передняя пара колес – рулевые, задняя – ведущие.

Тележка «Телер-20/500» предусмотрена для непосредственного обслуживания станков с помощью установленного на ней робота, который должен брать из кассеты заготовку и устанавливать в станок и, наоборот, брать деталь со станка и устанавливать в кассету.

Сопоставляя технические характеристики тележек, необходимо отметить: по способу маршрутослежения 40 % составляют тележки с оптическим устройством. При оптическом маршруте слежения скорость ограничена до 0,55 м/с, при индуктивном – до 1,1 м/с; по ходовой части тележки бывают в трех – и четырехколесном исполнении. При трехколесном исполнении среднее колесо либо рулевое, либо рулевое и ведущее. При четырехколесном ис-

полнении расположение колес ромбическое, средние колеса являются и ведущими, и рулевыми.

Рельсовые тележки помимо возможности увеличения грузоподъемности и скорости перемещения позволяют упростить систему управления, но при этом необходимо учитывать отрицательные стороны их применения: большие затраты на монтаж путей, отсутствие в полном объеме гибкости при изменении технологических схем производства.

Рассмотрим подробнее несколько типов тележек.

1. Рельсовая тележка типа ОМ9973 (рис. 26)

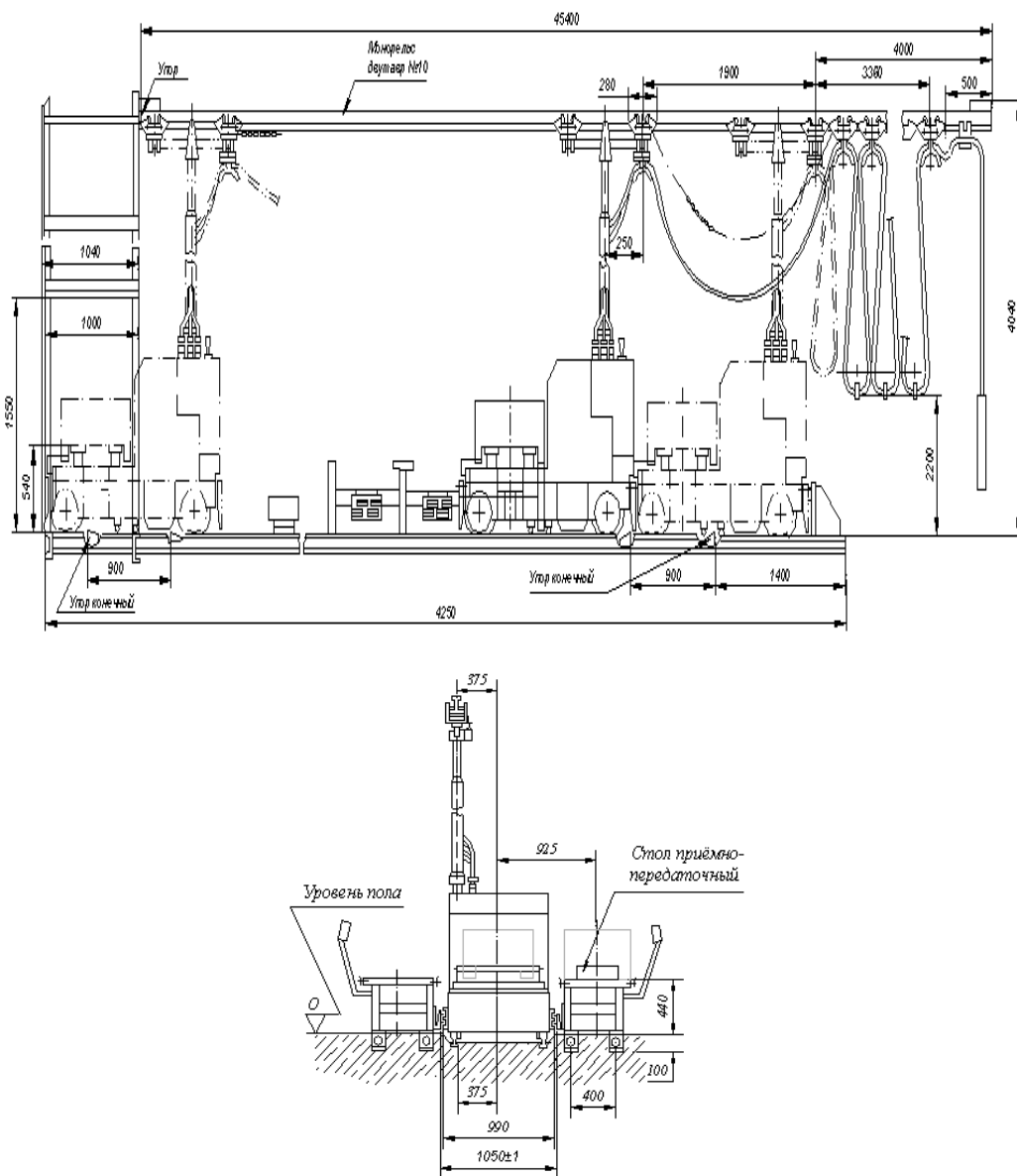


Рисунок 26. Тележка транспортная рельсовая ОМ 9973

Рельсовая тележка типа ОМ9973 предназначена для выполнения транспортных операций в АТСС гибкой автоматической линии для механообработки: передачи столов-спутников или тары с заготовками, деталями и инструментами с приемно-выдающей секции склада-стеллажа на приемно-передаточные столы (накопители) станков и обратно. Рельсовый путь проложен перпендикулярно оси склада-стеллажа и позволяет тележке перемещаться непосредственно в зону его приемно-выдающей секции. Приемно-передаточные столы станков, входящих в ГПС, установлены с двух сторон относительно рельсового пути тележки. Рама тележки является несущей конструкцией, на которую устанавливаются: мачта питания с электрошкафом, блоки путевых выключателей, гидростанция, ходовые и приводные колеса, тормоза рельсовые, телескопический выдвижной и подъемный стол, на который устанавливается стол-спутник с изделием или тарой. Мачта служит для подвески силового и управляющего кабелей, перемещаемых по монорельсу с помощью кареток, которые соединены между собой цепями.

Блоки датчиков содержат шесть бесконтактных выключателей, с помощью которых задается ход каждой из 64 позиций тележки. Два дополнительных бесконтактных путевых выключателя предназначены для точной остановки тележки в заданной позиции. На датчики воздействуют шунты стальные пластины, расположенные вдоль пути на приемно-передаточных столах, каждый из которых имеет определенный цифровой код (адрес позиции, заданный в двоичном коде).

Техническая характеристика:

Грузоподъемность, кг...250

Скорость перемещения, м/мин:

Минимальная...4

Номинальная...80

Максимальная...140

Скорость выдвижения стола, м/мин...8

Скорость подъема стола, м/мин...4

Количество телескопических стволов, шт...1

Высота выдвижной части стола, мм...100

Ширина стола, мм...550

Ход стола, мм:

подъем...50

выдвижение...925

Габаритные размеры (без учёта мачты питания), мм:

длина...1900

ширина...990

высота...1180

Масса, кг...800.

Механизм привода перемещения тележки состоит из гидромотора и двухступенчатого редуктора с передаточным числом $n = 10$. На выходном валу редуктора закреплены приводные колеса, которые вместе с не приводными ходовыми колесами смонтированы на двухрядных сферических подшипниках рамы. Для снижения уровня шума и вибрации бандажи колес связаны со ступицами резиновыми амортизаторами.

Позиционирование тележки в заданном положении обеспечивается с помощью рельсовых тормозов, которые создают дополнительное усилие, уравнивающее консольно выдвинутый стол с грузом. Рельсовые тормоза установлены на раме тележки над каждым колесом. Тормоз выполнен в виде прямоугольной электромагнитной катушки, подвешенной к раме тележки на тягах с пружинами. При включении тока электромагнитная катушка притягивается к рельсу и удерживает тележку. Электропитание к тормозу подается по кабелю, подвешенному на мачте.

На раме тележки смонтирован подъемно-выдвижной стол, на котором устанавливается тара или столы-спутники с заготовками и обработанными деталями. Механизм подъема состоит из кронштейнов для крепления стола, системы рычагов и шарниров, позволяющих равномерно поднимать и опускать стол при помощи одного гидроцилиндра. Кронштейны расположены симметрично по обеим внешним сторонам рамы тележки. Контроль подъема стола осуществляют конечные выключатели.

Выдвижное устройство состоит из трех платформ: верхней, средней и нижней. На верхней платформе устанавливается тара или стол-спутник. С нижней стороны этой платформы смонтирована зубчатая рейка. Средняя содержит набор зубчатых колес, одновременно закрепляющихся между собой, с рейкой верхней платформы и с рейкой нижней (неподвижной) платформы. Кроме того, с нижней стороны средней платформы имеются две рейки, зацепляющиеся с зубчатыми колесами нижней платформы. Эти колеса приво-

дятся в движение зубчатыми колесами на выходном валу редуктора. Нижняя платформа крепится на кронштейне механизма подъема стола.

2. *Тележка типа С4057 (рис. 27)* предназначена для автоматизации транспортных и погрузочно-разгрузочных операций в ГПС для механообработки. Тележка состоит из: рамы с колесами; рельсового колодочного тормоза; привода перемещения подъемного стола с приводом; выдвижного телескопического устройства с платформой и приводом; блока управления и механизма аварийного останова с бамперами; кожуха. Конструкции механизмов привода тележки, тормозного устройства и ходовых колес аналогичны описанным выше.

Техническая характеристика:

Грузоподъемность, кг...500

Габаритные размеры тары $l \times b$, мм...400×600, 800×600

Скорость перемещения, м/мин:

маршевая...120/90

установочная...1

Электродвигатель привода перемещения:

тип...ПБСТ – 22

мощность, кВт...0,850

частота вращения, мин⁻¹...1–2200

Электромагнит...МИС 6100

База, мм...1500

Колея, мм...750

Рельс...Р18

Скорость выдвижения телескопической грузозахватной платформы, м/мин...11,6

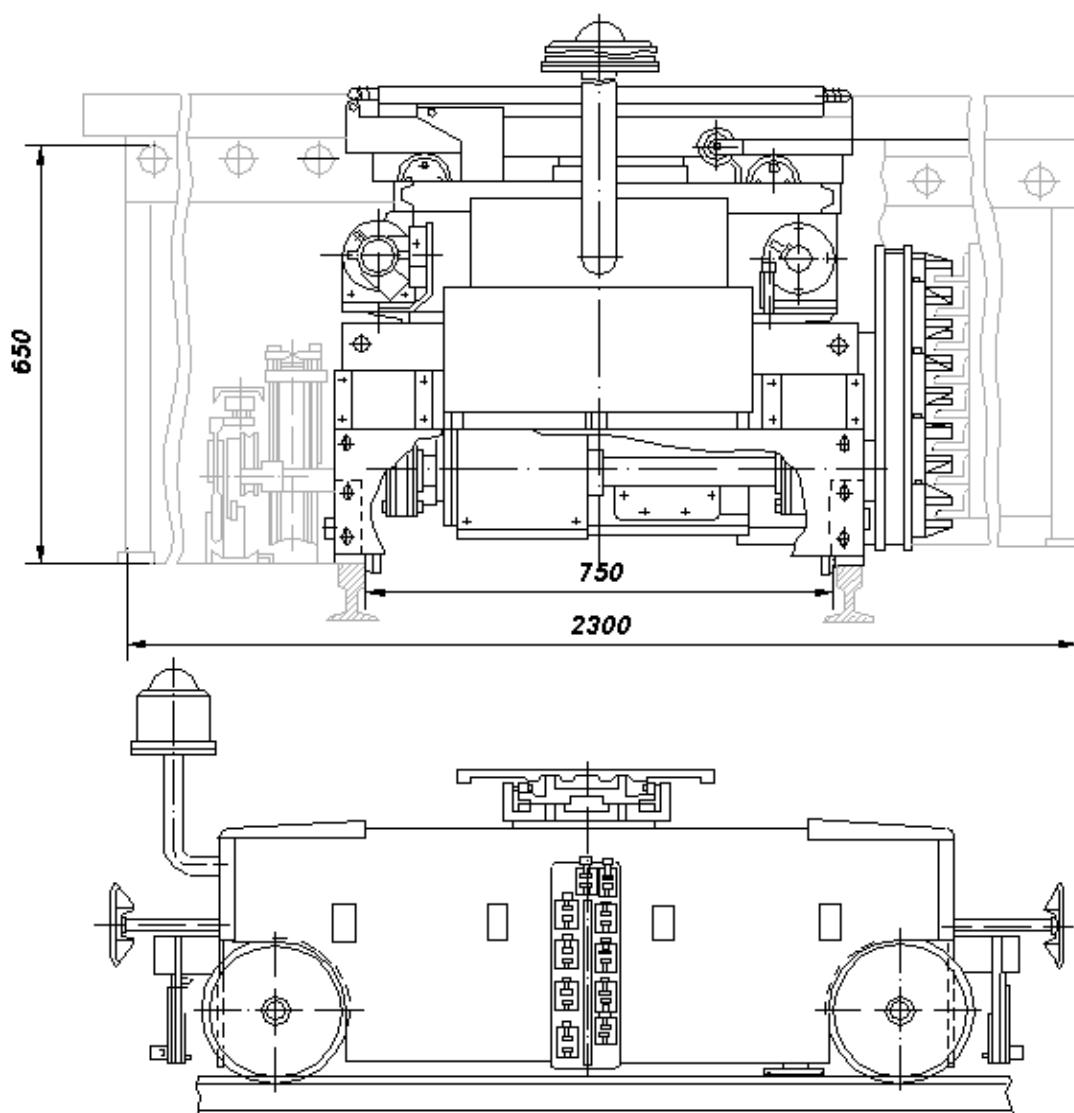


Рисунок 27. Тележка транспортная рельсовая С4057

Подъемный стол обеспечивает вертикальное перемещение телескопической выдвижной платформы и крепится сверху на сварной раме. Привод подъема включает в себя: электродвигатель; предохранительную муфту с тормозом; червячный редуктор; открытую зубчатую передачу с ведущим колесом и зубчатым сектором; два вала с кривошипами, соединенные между собой тягами. При включении электродвигателя кривошипы поворачиваются на определенный угол, приподнимая или опуская раму, которая соединена с ними при помощи шарниров. Контроль верхнего и нижнего положений стола осуществляют конечные выключатели.

3. *Тележка типа С4234 (рис. 28)* предназначена для транспортирования тары и столов-спутников с заготовками, деталями, инструментами и технологической оснасткой между приемно-передающими столами станков, автоматизированным складом, инструментальным и контрольно-измерительным участками ГПС для механообработки.

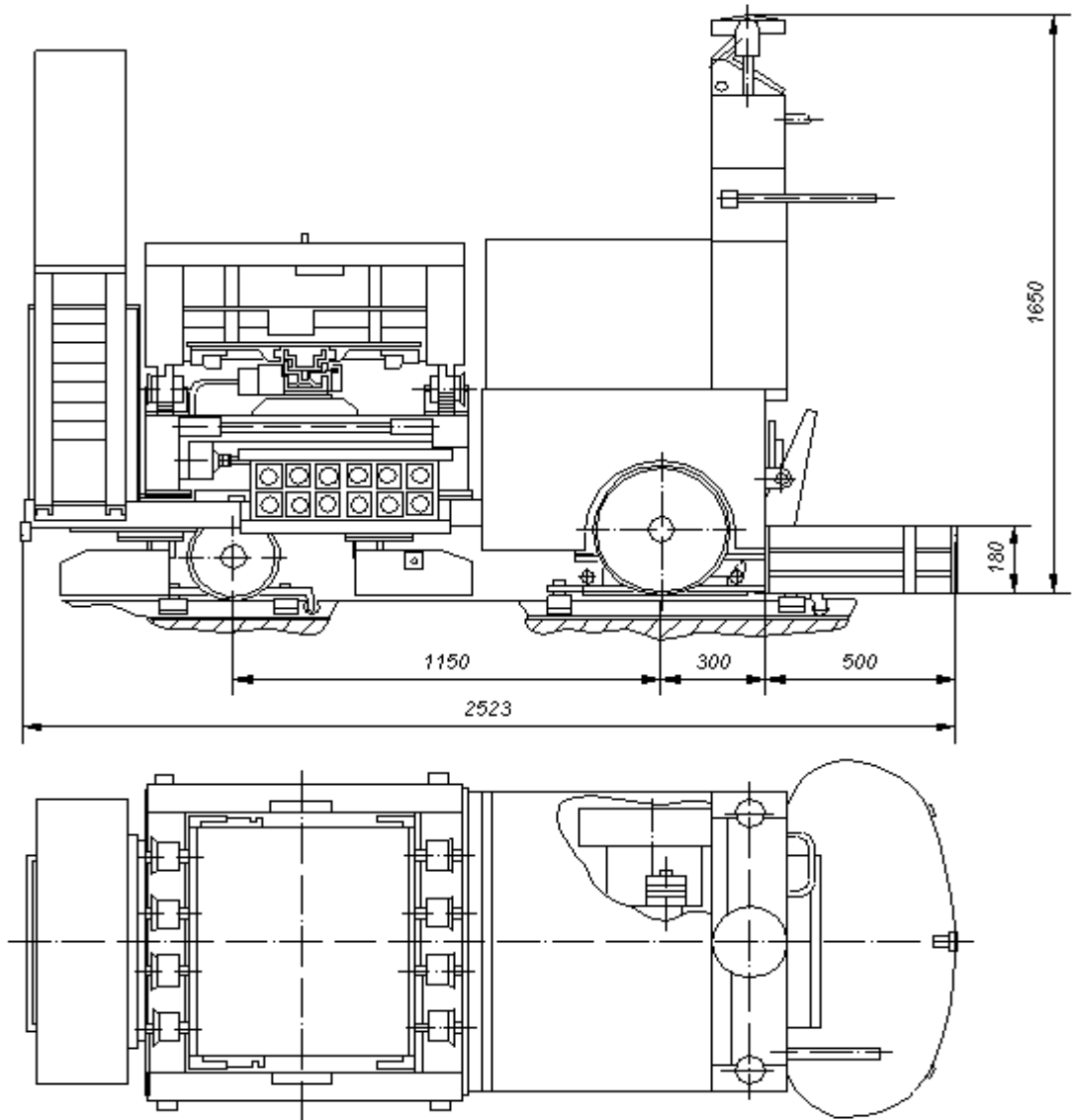


Рисунок 28. Общий вид безрельсовой транспортной тележки С4234

Транспортная тележка, оснащенная автоматизированным загрузочно-разгрузочным устройством, образует автономный транспортный манипулятор (ТМ), входящий в состав АТСС типа СО179.

Данный ТМ выполнен на базе электротележки типа ЭПМ с автономными блоками питания и управления. Направляющей при движении тележки является уложенный в пол швеллер, с которым контактируют ролики механизмов слежения за трассой. Задние ведомые колеса поворачиваются с помощью механизма слежения так, чтобы их ось на участке поворота постоянно совпадала с центром дуги направляющей. Ролики механизма слежения передних приводных колес посредством тяги связаны с рычагами полуосей колес, что обеспечивает совпадение полуосей с радиусами дуги поворота этих колес. Минимальный радиус поворота равен 2 м.

В верхней части тележки имеется буфер. При наезде на препятствие срабатывают датчики (конечные выключатели), дающие команду на останов ТМ. Торможение тележки осуществляется от механизма управления тормозом, зажимающим посредством пружины шкив, который установлен на валу редуктора механизма привода. Разжим колодок тормоза производится гидроцилиндром или педалью (при ручном режиме управления).

Гидроприводы тормоза аппарелей и механизмов телескопических платформ для перемещения тары на роликах стола питаются от автономной гидростанции, установленной в задней части тележки.

На тележке установлен стол предназначенный для размещения транспортируемой тары или стола-спутника. Стол конструктивно выполнен в виде не приводного роликового конвейера, смонтированного на сварной раме. С боковых сторон тележки со столом шарнирно связаны две откидные аппарели секции роликового конвейера стола, каждая из которых имеет размеры, определяемые схемой компоновки АТСС.

Механизм привода аппарели включает в себя гидромотор и зубчатый одноступенчатый редуктор, с выходным колесом которого зацепляется зубчатый сектор, установленный в подшипниках скольжения на оси. К зубчатому сектору жестко крепится кронштейн аппарели. Для обеспечения симметрии в передаче крутящего момента выходной вал редуктора связан промежуточным валиком с зубчатым колесом, которое зацепляется с сектором на противоположной стороне аппарели. Контроль углового положения аппарели осуществляют бесконтактные конечные выключатели.

Перегрузка тары или стола-спутника с транспортного манипулятора на приемно-передающий стол АТСС и обратно производит-

ся специальным механизмом перемещения. Конструктивно механизм перемещения выполнен в виде системы телескопических платформ, приводимых в действие от гидромотора.

На верхней платформе установлено устройство поворота толкателей. При выдвигании верхней платформы в крайнее правое положение шток упирается в неподвижные детали приемно-передающего стола и перемещается в осевом направлении, сжимая пружину. За счет винтового паза на втулке при сцеплении кулачковой муфты поворачивается шестерня, зацепляющаяся с колесо на валу 10. Толкатель, закрепленный на валу, поворачивается и освобождает тару, перемещающуюся на роликах стола и аппарели. При движении в исходное (среднее) положение верхней платформы пружина возвращает шток, поворачивая толкатель на 180° . При этом обеспечивается захват тары и ее перемещение вместе с платформой на стол тележки. При выдвигании верхней платформы в крайнее левое положение шток упирается в другое приемно-передающее устройство, сжимая пружину. Шток при этом перемещается в обратном направлении механизмом рычажного параллелограмма, толкатель поворачивается, освобождая тару.

Телескопическая выдвигная система состоит из верхней, средней, нижней и стационарной платформ. Платформы перемещаются друг относительно друга на роликовых направляющих, установленных в корпусах этих платформ. Причем верхняя платформа перемещается на роликах средней платформы, средняя платформа – на роликах нижней платформы, а она, в свою очередь, на роликах стационарной платформы, которая крепится на транспортной тележке.

Привод выдвигания включает в себя гидромотор, установленный на стационарной платформе. Гидромотор муфтой связан с валом, на котором закреплено ведущее зубчатое колесо, зацепляющееся с рейкой нижней платформы. Нижняя платформа при вращении вала гидромотора перемещается на роликовых направляющих стационарной платформы.

На нижней платформе установлены на осях звездочки $z3$ и $z4$, охваченные цепями, концы которых закреплены на стационарной и средней платформах. Таким образом, средняя платформа приводится в движение в ту же сторону, что и нижняя платформа, но с удвоенной скоростью (см. схему выдвигания платформы). Аналогич-

ную конструкцию имеет средняя платформа, которая приводится в движение цепями, закрепленными на нижней и верхней платформах. Крепление концов цепей на подвижных и неподвижных платформах осуществляется с помощью натяжных устройств.

Техническая характеристика:

Габаритные размеры стола-спутника, мм:

длина × ширина × высота...870×545×213

Габаритные размеры тары, мм...800×500×478

Грузоподъёмность тары, кг...250; 500

Количество адресов позиций...48

Мощность, кВт:

главного привода...1,35

привода гидростанций...0,5

Скорость движения, м/мин:

рабочая...30

установочная...2

На **рис. 29** показана ГАУ с АТСС линейного типа, рельсовой транспортной тележкой и поперечном расположении оборудования. Тара или столы-спутники с заготовками, деталями, инструментами и технологической оснасткой проходят через участки комплектации и технического контроля на участки загрузки склада. Кран-штабелер забирает тару с приемного стола и устанавливает её в свободную ячейку склада-стеллажа. Система управления ГАУ отыскивает тару с необходимыми заготовками в ячейках склада и передает команду крану-штабелеру, который снимает данную тару и устанавливает на приемное устройство конвейера, передающего ее в накопитель у станка. Затем кран-штабелер забирает тару с обработанными на станке деталями и устанавливает ее в свободную ячейку склада, либо направляет тару на приемные столы участков технического контроля, комплектации и переналадки. Перегрузка заготовок из тары на станки осуществляется промышленными роботами, манипуляторами или другими загрузочными устройствами в составе РТК. И ГПМ данного участка.

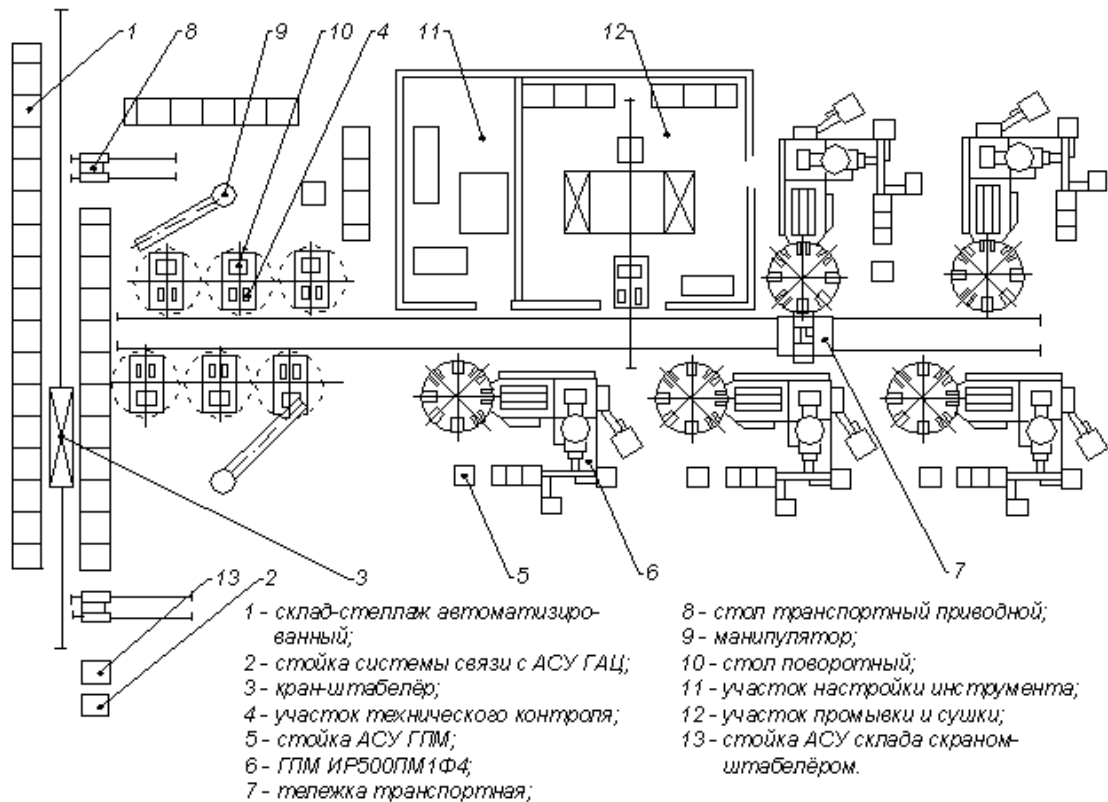


Рисунок 29. ГАУ с АТСС линейного типа, с поперечным расположением оборудования и рельсовой транспортной тележкой

4. Особенностью **безрельсовой транспортной тележки** – **транспортного робота (ТР) «Электроника НЦТМ-25»** (рис. 30) является оснащение его автономным источником питания, микропроцессорным устройством управления, обеспечивающим слежение за трассой в виде светоотражающей полосы, и загрузочно-разгрузочным столом, на котором устанавливаются тара и сменные столы-спутники с заготовками, деталями, инструментами или технологической оснасткой. ТР предназначен для автоматического перемещения названных изделий между складом-стеллажом, участками комплектования и ГПМ или РТК в составе ГПС для механообработки. Рабочее место (станция) ТР в АТСС содержит две стойки, симметрично расположенные по обе стороны трассы. На стойке автоматически устанавливается и с них снимается тара или стол-спутник при помощи подъемного загрузочно-разгрузочного стола, смонтированного на тележке. Станция ТР оснащена датчиками типа конечных выключателей.

Тележка выполнена в виде шасси с двумя ведущими колесами, установленными на поперечной оси в центре шасси, и четырьмя опорными колесами на продольных осях спереди и сзади.

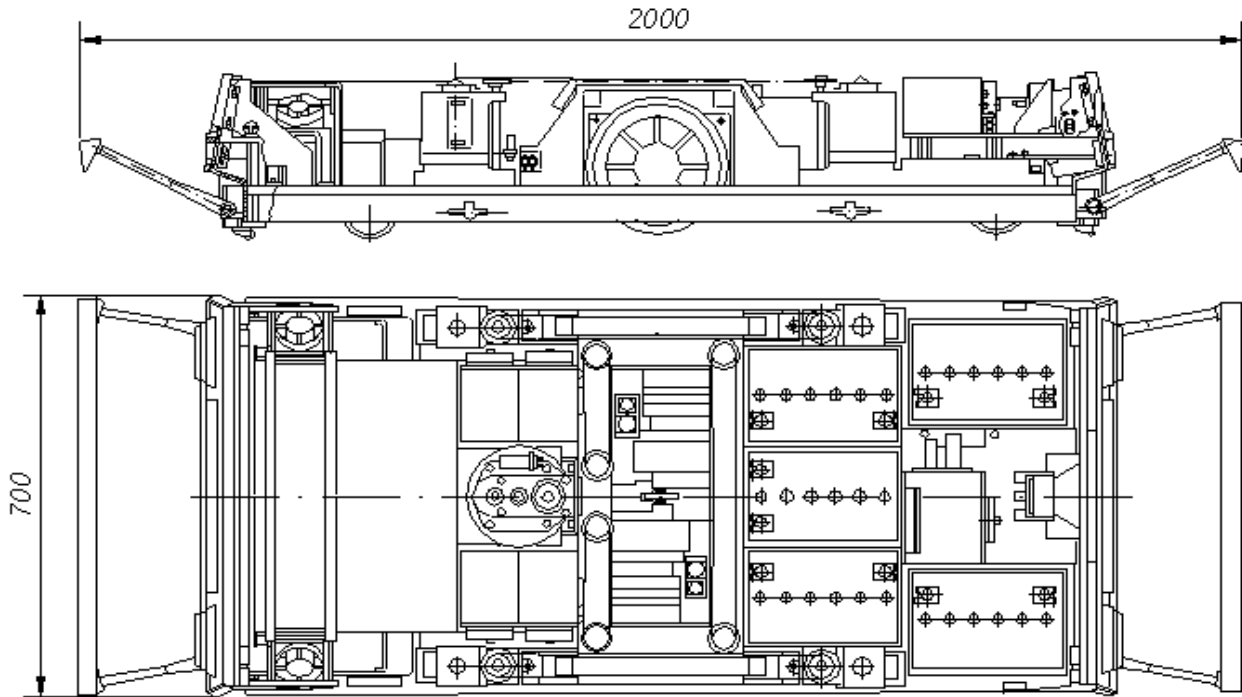


Рисунок 30. Транспортный робот «Электроника НЦТМ-25»

Приводы тележки смонтированы с двух сторон на шасси в его центральной части и связаны с каждым из ведущих колес. Здесь же размещен привод стола с подъемными механизмами. С одной стороны тележки установлены аккумуляторные батареи, а с противоположной стороны – блок управления со встроенной микроЭВМ. Фотоэлектрические датчики для слежения за трассой по светоотражающей полосе, нанесенной на полу, размещены с двух сторон в нижней части шасси. С каждой стороны тележки имеются упоры с устройствами аварийного останова и фары. Контактное устройство предназначено для автоматического подключения ТР к зарядному устройству. Для контроля перемещения тележки используются специальные устройства – измерители пути. Механизмы тележки сбоку и сверху закрыты кожухами (на общем виде тележки кожухи полностью не показаны).

Вращающий момент на приводное колесо передается от электродвигателя постоянного тока, с которым соединен электромагнитный тормоз и входной вал зубчатого двухступенчатого редуктора. На конце выходного вала редуктора выполнено зубчатое колесо, находящееся в зацеплении с венцом с внутренними зубьями, который закреплен в ступице колеса с резиновым ободом. Колесо вращается в роликовых подшипниках, установленных в корпусе и редуктора, который в свою очередь закреплен на боковой поверхности шасси. Регулировка тормоза осуществляется винтами, смещающими рычаг нажимного диска. Контроль начального углового положения вала электродвигателя осуществляет бесконтактный конечный выключатель, установленный на корпусе тормоза. Опорные колеса попарно установлены в подшипниках на оси, которая закреплена на рычаге механизма подвески. Опорные колеса в сборе могут поворачиваться относительно вертикальной оси в опоре.

Механизм подъема выполнен в виде выдвигной опоры, приводящейся с помощью винта и гайки, которая жестко закреплена в расточке данной опоры. Для равномерного движения опоры каретка, в которой крепится гайка, одновременно приводится двумя дополнительными винтами, установленными параллельно ходовому винту. Шариковые гайки также крепятся в расточках каретки.

В нижней части механизма подъема смонтирован зубчатый механизм, связывающий ходовой винт и дополнительные винты между собой и с ведущим валом. Сверху на валу установлена звездочка цепной передачи, соединяющей данный механизм подъема с другими аналогичными устройствами и с механизмом привода. Таким образом обеспечивается синхронное выдвигание всех четырех опор, на которых устанавливается унифицированная тара или стол-спутник с изделием. Контроль положения механизма подъема осуществляется двумя путевыми выключателями.

Механизм привода подъема включает в себя электродвигатель постоянного тока и зубчатый редуктор, на выходном валу которого крепится звездочка цепной передачи.

Для определения расстояния, пройденного транспортным роботом, используется измеритель пути. Измеритель пути выполнен в виде корпуса, шарнирно установленного на кронштейне. В корпусе на оси вращается диск, имеющий по периметру двенадцать отверстий и входящий своей периферийной частью в паз импульсного

фотоэлектрического датчика. Сигналы датчика усиливаются, формируются и передаются в управляющую микроЭВМ. Для обеспечения необходимой точности измеритель пути устанавливается в геометрическом центре шасси ТР.

Техническая характеристика

Грузоподъёмность, кг...500

Скорость движения по светоотражающей полосе, м/с...0,2–0,8

Радиус поворота, мм...500

Погрешность позиционирования, мм:

поперечная...± 5

продольная...± 20

Время работы без подзарядки, ч...2

Время включения, мин...0,5

Масса, кг...290

5. АТСС на участке для механообработки, обслуживаемом транспортными роботами типа РБТ-1 (рис. 31), предназначена для автоматизированной подачи столов-спутников и тары с заготовками, деталями, инструментом и технологической оснасткой от склада-стеллажа с позициями загрузки-разгрузки, оснащенными приемно-передающими устройствами типа ОМ9957, к конвейерам-накопителям на позициях обработки и обратно.

Транспортный робот типа РБТ-1 конструктивно выполнен по модульно-агрегатному принципу и включает в себя шасси, два погружно-разгрузочных устройства с телескопическими платформами, автономные блоки питания и управления (от бортовой микроЭВМ). Управление транспортным роботом основано на слежении при помощи фотодатчиков за трассой со светоотражающей полосой.

Унифицированное перегрузочное (приемно-передающее) устройство типа ОМ9957, входящее в состав АТСС, предназначено для перемещения с возможностью поворота и промежуточного накопления унифицированной тары или столов-спутников, снимаемых или устанавливаемых в ячейках склада-стеллажа. Перегрузочное устройство состоит из: роликового конвейера, который выполняет роль накопителя; электродвигателя; несущей рамы сварной конструкции. Движение вращения приводным роликом передается от звездочек, установленных на выходном валу редуктора, при по-

мощи цепей. Дополнительная секция конвейера-накопителя связана с приводными звездочками основной секции конвейера роликовыми цепями. На поворотном столе приемно-передающего устройства смонтирована секция роликового конвейера с автономным приводом, установленная в поворотной платформе. Привод вращения стола осуществляется электродвигателем, который связан через редуктор с колесом, зацепляющимся с зубчатым венцом. Зубчатый венец закреплен на платформе, вращающейся на подшипниках, которые установлены в корпусе основания. Контроль углового положения платформы выполняют путевые переключатели.

Для транспортирования тары с грузом (заготовками, обработанными деталями, инструментальными наладками) между складом-стеллажом и промежуточными накопителями ГПМ могут применяться подвесные тележки (транспортные манипуляторы и роботы) различных конструкций.

Транспортный манипулятор выполнен в виде тележки, передвигающейся по рельсовому пути, который проложен над технологическим оборудованием. Ведущие колеса тележки установлены на валах, соединенных муфтами с приводом. Механизм привода тележки включает в себя электродвигатель, редуктор и тормоз. Колесо закреплено на валу, установленном на подшипниках в корпусе. В средней части тележки установлен механизм привода подъема груза, в состав которого входят электродвигатель, тормоз и редуктор. К выходному валу редуктора присоединяются с двух сторон при помощи муфт валы, с ведущими зубчатыми колесами механизмов подъема. Механизм подъема монтируется в корпусе, который крепится к платформе тележки. С валом-шестерней, установленным на подшипниках в корпусе, зацепляется зубчатая рейка, которая перемещается в направляющих. Рейка снизу оканчивается башмаками, с помощью которых осуществляется захват транспортируемой тары с грузом. Спереди и сзади тележки установлены подпружиненные буферы, устройства аварийного останова. При наезде на препятствие шток буфера смещается, сжимая пружину, и воздействует на путевые выключатели, управляющие включением-выключением электродвигателя привода тележки.

Техническая характеристика роботизированной безрельсовой тележки

Модель...РБТ-1, РБТ-01

Грузоподъёмность, кг... 500 250

Количество погрузочно-разгрузочных устройств... 2

Габаритные размеры тары, l×b, мм...600×800, 400×600

Максимальная скорость передвижения, м/мин... 60

Минимальный радиус поворота, мм... 1600

Путь экстренного торможения, мм...1250 300

Точность позиционирования, мм...±10

База, мм...1640

Колея, мм...850

Масса, кг...1000

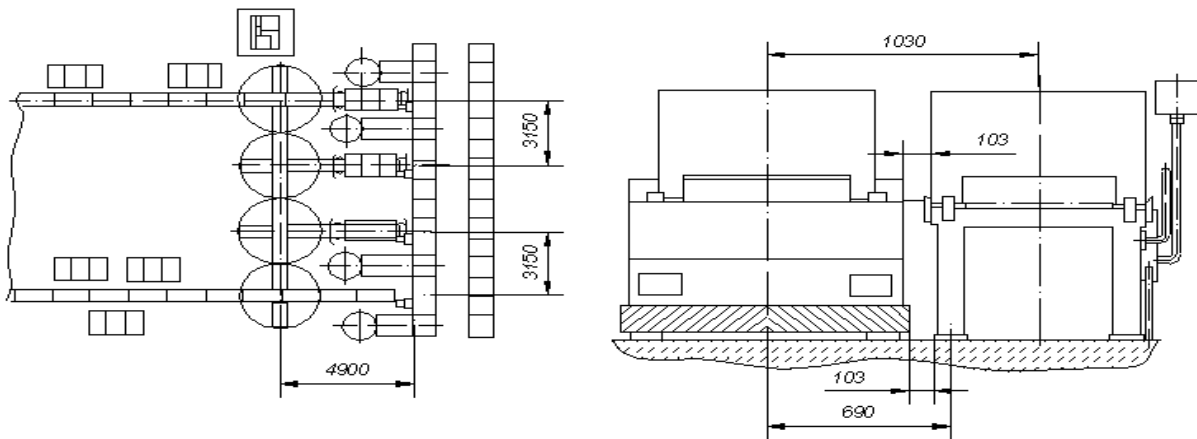


Рисунок 31. Схема планировки и общий вид АТСС на базе транспортного робота РБТ-1

При использовании в качестве транспортного средства роботизированных тележек АТСС гибких автоматизированных участков могут строиться по линейной (рис. 32) или кольцевой схемам. Кольцевые схемы планировки ГАУ создают условия для многорядной расстановки технологического оборудования, обычно выполняемой в поперечном по отношению к оси склада-стеллажа направлении. ГЛУ с АТСС кольцевого типа могут строиться на базе конвейерного транспортного оборудования. При этом межоперационное накопление и транспортирование тары или столов-спутников осуществляется на замкнутой конвейерной линии, вдоль которой расположены приемные устройства накопителей отдельных стан-

ков, РТК или ГПМ. Имеются позиции установки и снятия тары с кольцевого конвейера, например, для передачи ее в склад-стеллаж и обратно, а также на участки комплектации, мойки и контроля.

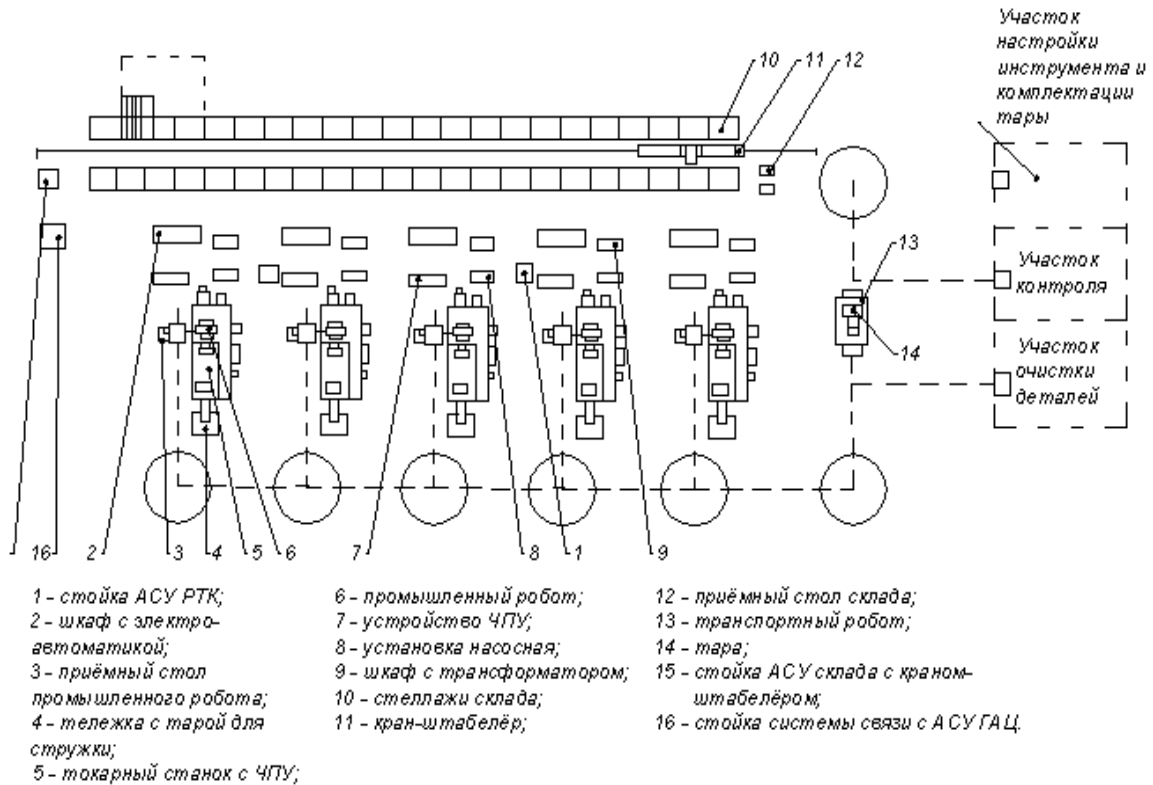


Рисунок 32. ГАУ и АТСС линейного типа и транспортным роботом для токарной обработки

3.4.2. Подвесные транспортные роботы

Подвесные транспортные роботы (ПТР) составляют особую группу транспортных средств и в основном строятся на базе тельферных тележек, перемещающихся по монорельсу. Характерными примерами этой группы роботов являются роботы ТРТ-1-250, ТРТ-2-250 и ТРТ-5-030.

Конструктивно эти модели выполнены в виде тележки, перемещающейся по двутавровому профилю. На тележке расположен подъемник с захватным устройством. Робот может автоматически захватывать тару с определенных позиций, находящихся под трассой тележки, и ставить ее на другие позиции согласно программе. Электроэнергия подводится к роботу с помощью щеточного контакта с троллейного шинпровода.

Подвесной автоматический транспорт применяют в производственных помещениях с высотой перекрытий не ниже 4 м. Такой транспорт обладает меньшей гибкостью, чем напольные автоматические тележки, поскольку возможности его перемещения ограничены ориентацией жесткой подвесной трассы, демонтаж и перепланировка которой связаны со значительными трудностями. Фрагмент автоматической транспортной подвесной системы ГПС приведен на **рис. 33**.

При сравнении подвесного транспорта с напольным имеет смысл сопоставлять рассматриваемый вид транспорта с напольным рельсовым. Подвесной транспорт почти не требует дополнительных производственных площадей; в производственных условиях может быть применен без перепланировки существующего оборудования; позволяет избежать больших опрокидывающих моментов при захвате и транспортировании груза, так как монорельс можно разместить по маршруту перемещения груза; исключает возможность столкновения его с людьми и наземными транспортными средствами, что обеспечивает соблюдение требований техники безопасности без привлечения дополнительных затрат. Подвесные трансманипуляторы имеют также приоритет при их использовании в технологических процессах, связанных с окунанием изделий в рабочую жидкость.

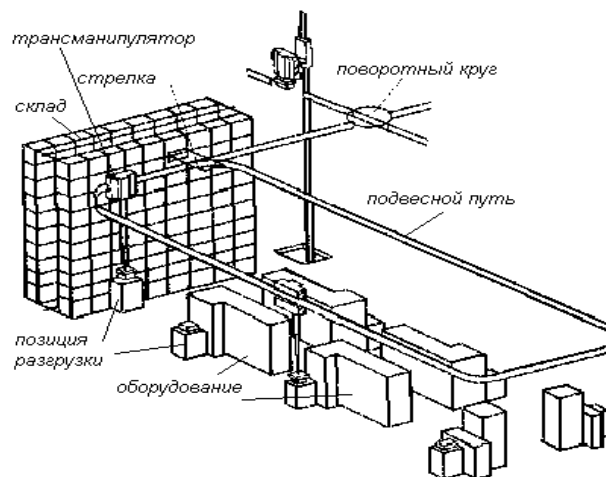


Рисунок 33. Фрагмент компоновки транспортной подвесной системы ГПС

Недостатками подвесного транспорта являются: относительно большие капитальные затраты на устройство подвесных путей;

грузоподъемность подвесного транспорта ограничена грузонесущей способностью подвесных путей; подвесной транспорт обладает меньшей поперечной устойчивостью, так как база между опорами качения ограничена высотой монорельса; затруднены техническое обслуживание и ремонт подвесного транспорта ввиду значительной высоты, на которой располагаются объекты обслуживания: ходовая и приводная части, электроаппаратура. Учитывая перечисленные преимущества и недостатки подвесного транспорта, можно считать его применение в ГПС перспективным и экономически обоснованным. При разработке проектов подвесного транспорта целесообразно предусматривать разработку конструкций, komponуемых из следующих основных модулей: приводной и холостой тележек, соединительной траверсы и манипулятора, электрооборудования.

3.4.3. Конвейерный транспорт

В соответствии с характером грузопотоков конвейерный транспорт может быть использован для транспортирования заготовок, готовых деталей, тары, оснастки между цехами и автоматизированными складами, между участками внутри цехов и складов; заготовок (деталей) на приемные позиции для пополнения запаса заготовок в складах или накопителях, установленных около каждого станка; заготовок на приемные позиции станка из другого модуля или в другой модуль ГПС для продолжения обработки, обработанных деталей на позиции разгрузки; обработанных деталей на позиции контроля и возвращения их обратно после межоперационного контроля для дальнейшей обработки; спутников на позиции загрузки (разгрузки) или в накопитель; для приема заготовок или тары на склад (приемные конвейеры) или для выдачи заготовок или тары из склада (отводящие конвейеры); удаления стружки (табл. 1).

Таблица 1

Основные типы конвейеров

Конвейеры	Грузоподъемность, кг	Характер перевозимых грузов, цели
Ленточные	До 50	Для межоперационной передачи единичных изделий и в таре в обрабатывающем и сборочном производстве в приборостроении и точном машиностроении

Конвейеры	Грузоподъемность, кг	Характер перевозимых грузов, цели
Пластинчатые	25 – 125	Для передачи единичных изделий и изделий, укрепленных на спутниках, в заготовительном, обрабатывающем и сборочном производстве
Подвесные с автоматическим адресованием	50 – 250	Для межцеховой и межучастковой передачи изделий в таре и крупногабаритных заготовок на расстояние более 50 м в машиностроении
Роликовый и цепной	30 – 500	Для межоперационной передачи изделий, укрепленных на спутниках, на расстояние менее 50 м в механообработке

По способу передачи перемещаемому грузу движущей силы различают конвейеры, действующие с помощью привода (механического, гидравлического и др.), самотечные (гравитационные), в которых груз перемещается под действием силы тяжести, пневматические и гидравлические, в которых движущей силой является соответственно поток воздуха или жидкости, а также магнитные конвейеры для перемещения ферромагнитных грузов в магнитном поле.

По характеру приложения движущей силы конвейеры бывают с гибким тяговым элементом (лентой – текстильной или из синтетических материалов, с цепью или канатом) и без него (**рис. 34**). К первым относят ленточные, пластинчатые, цепные, скребковые; тележечные, подвесные, и др. В них груз движется вместе с тяговым элементом на рабочей ветви. В конвейерах без гибкого тягового элемента груз перемещается поступательно при вращательном или колебательном движении рабочих элементов машины. К ним относят роликовые, качающиеся (вибрационные) и винтовые конвейеры.

По характеру движения рабочего (грузонесущего) органа различают конвейеры непрерывного и дискретного действия.

Большинство приводных конвейеров являются непрерывно действующими, за исключением шаговых, которые работают периодически. По направлению к трассе перемещения грузов конвейеры бывают:

- вертикально замкнутыми с трассой, расположенной в одной вертикальной плоскости;

- горизонтально замкнутыми с трассой, расположенной в одной горизонтальной плоскости;
- пространственными, в которых грузы перемещаются по сложной, пространственной трассе.



Рисунок 34. Классификация основных типов конвейеров

Трасса конвейера может быть также неветвящейся, когда существует постоянно один поток грузов, и ветвящейся, в которой один поток грузов распределяется на несколько грузопотоков или, наоборот, несколько потоков объединяются в один. По назначению конвейеры, применяемые в АТСС, можно разделить на приемные и отводящие, приемно-передающие, межоперационные и конвейеры-накопители.

Скорость конвейеров 0,006–0,67 м/с. Наибольшую скорость конвейеров выбирают из условия обеспечения требуемой производительности. Опыт работы по проектированию транспортных систем с использованием конвейеров показывает, что скорость 0,67 м/с оптимальная.

Подвесной грузонесущий конвейер обладает следующими особенностями: пространственной гибкостью; большой протяженностью; возможностью создания на конвейере подвижного запаса изделий; малым расходом энергии на транспортирование; возможностью автоматизации транспортных и погрузочно-разгрузочных операций.

3.4.4. Выбор областей использования транспортных средств

На выбор средств транспортирования изделий в ГПС влияют следующие факторы:

- пространственная конфигурация рабочих мест и магазинов;
- объем транспортных задач, обусловленный интенсивностью связей между РМ и магазинами и частотой их смены;
- технические требования устройств, работающих в контакте с транспортными средствами;
- принципы управления перемещением изделий в ГПС;
- возможность использования производственных площадей и архитектурно-строительные ограничения (например, высота цеха);
- связи с цеховой сетью снабжения изделиями и материалами;
- требования, обусловленные безлюдной работой ГПС;
- экономичность (капиталовложения и эксплуатация).

Характеристики транспортных средств ГПС и их балльная оценка приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики и балльная оценка транспортных средств ГПС

Критерий оценки	Транспортное средство								
	Рольганг	Транспортер			Рельсовая тележка	Автокар	Робокар	Кран с ЧПУ	Кран-штабелер
		ленточный	цепной	подвесной					
Стоимость	4	4	4	3	3	5	2	2	3
Затраты на эксплуатацию	4	4	4	4	4	3	5	4	4
Возможность закупки	4	4	4	5	5	3	5	4	4
Занимаемая площадь	3	3	3	5	3	4	4	5	4
Возможность достройки	3	2	4	4	2	5	5	4	3
Возможность встраивания в существующие структуры	3	3	3	4	1	5	5	3	3
Транспортирование в производственном направлении	3	2	3	4	0	5	5	5	4
Транспортирование на палетах	4	2	4	3	5	5	5	3	5
Грузоподъемность	3	3	4	3	5	4	4	4	4
Автоматическое управление	4	4	4	4	5	0	5	5	4
Простота изменения функций	2	3	3	4	1	4	5	4	2

Критерий оценки	Транспортное средство								
	Рольганг	Транспортер			Рельсовая тележка	Автокар	Робокар	Кран с ЧПУ	Кран-штабелер
		ленточный	цепной	подвесной					
Возможность соединения: - со складской системой - с манипуляционной системой	4 0	4 0	4 0	4 0	0 3	0 0	0 3	0 4	4 3
Средний балл	3,2	2,9	3,4	3,6	3,1	3,3	4,4	3,9	3,9

Примечание: 5 – очень хорошо; 4 – хорошо; 3 – удовлетворительно; 2 – весьма посредственно; 1 – неудовлетворительно; 0 – невозможно

При выборе транспортных средств можно дополнительно воспользоваться следующими рекомендациями:

- в ГПС со сложной структурой и значительным количеством РМ преимущество имеют тележки с индукционным управлением, реже используются рельсовые тележки, порталные роботы-манипуляторы и устройства для смены палет;
- в автоматических линиях применяются преимущественно транспортеры, с которыми взаимодействуют порталные роботы или краны;
- в ГПМ для обработки деталей призматической формы часто используются рельсовые тележки.

3.5. Технические средства манипулирования

3.5.1. Устройства для манипулирования деталями типа тел вращения

Выбор способа манипулирования деталями, а часто и способа их транспортирования с учетом последующих манипуляций, зависит прежде всего от количества станков в ГПС, количества деталей в партии и времени обработки, приходящегося на одно закрепление детали.

Конструктивное решение системы манипуляции обусловлено в основном типом манипулируемых объектов. Таким объектом в ГПС для обработки деталей типа тел вращения могут быть как многопредметные палеты, поступающие из магазина, так и одиночные

детали, устанавливаемые на станках. В ГПС для обработки тел вращения функции манипулирования обеспечивают специализированный робот, выполненный как одно целое со станком, порталный робот или универсальный отдельно стоящий робот. Специализированный робот обслуживает станок спереди (**рис. 35, а**). Универсальный робот также подает детали в зону обработки, находясь перед станком (**рис. 35, б**). Такое решение используется при обработке небольших деталей (поскольку затруднен доступ в зону обработки). Портальные роботы (**рис. 35, в, г**) расположены над станком и подают заготовки сверху, что обеспечивает легкий доступ в зону обработки. Именно это, а также более рациональное использование площади цеха делает применение порталных роботов наиболее перспективным. К их достоинствам можно отнести также высокую грузоподъемность (до 350...500 кг); значительную длину перемещения по горизонтали (до 10 м для одноосных роботов и еще большую для двухосных); перемещение по вертикали до 2 м; скорость линейных перемещений до 1...2 м/с и скорость вращения до 60...120 град/с; ускорения до 0,5g для осей с программным управлением и до 1,5 g для осей без такого управления; точность позиционирования от $\pm 0,025$ до $\pm 0,25$ мм.

Портальные роботы и манипуляторы в зависимости от конструкции и рабочего пространства могут быть линейными (одноосными) и поверхностными (двухосными). В первом случае (**рис. 35, в**) несущая конструкция имеет форму портала, а рука может перемещаться в двух направлениях – по горизонтали и по вертикали.

Во втором случае (**рис. 35, г**) несущая конструкция представляет собой каркас на основе двух порталов, а рука перемещается относительно трех осей. Рабочее пространство можно расширить, используя дополнительные оси вращения механической руки.

Линейные роботы и манипуляторы используются главным образом в ГПМ. Они могут обслуживать любые одноуровневые (одно- и многорядные) магазины, не имеющие возможностей перемещения, а также одноуровневые дисковые поворотные магазины. Перемещение очередной заготовки непосредственно под механическую руку обеспечивает магазин. При необходимости обслуживания многоуровневых магазинов (штабели-палет) манипуляторы

действуют совместно с устройствами для переключивания палет (см. рис. 35, в).

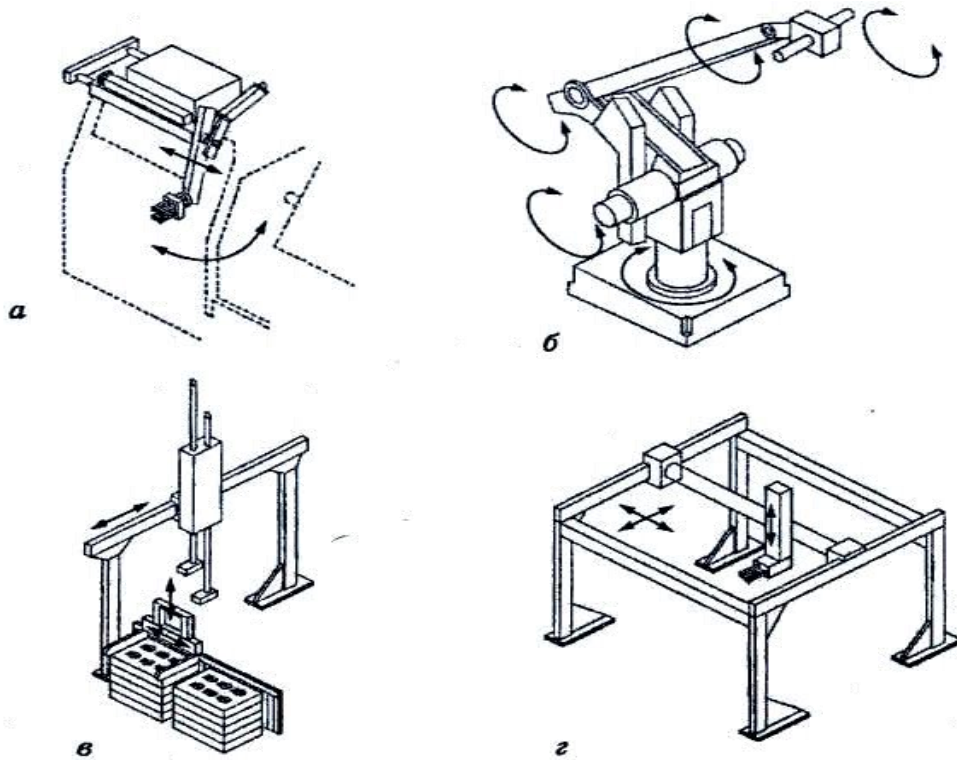


Рисунок 35. Основные типы манипуляционных устройств, используемые в ГПМ: а – робот-манипулятор, установленный на станке; б – универсальный отдельно стоящий робот; в – порталный одноосный манипулятор; г – порталный двухосный манипулятор

Портальные манипуляторы ГПМ часто обеспечивают снабжение не только заготовками, но и инструментами. В этом случае на одной раме и на тех же направляющих действуют две независимые тележки с механическими руками.

Механические руки (схваты) являются важной частью манипулятора. Они могут быть одиночными и сдвоенными, причем в последнем случае имеют последовательное, параллельное или угловое расположение. Сдвоенные схваты характеризуются большой скоростью действия. Форма и размеры схватов должны обеспечивать манипулирование деталями, имеющими разные диапазоны размеров. Если различия в размерах очень велики, можно применять комплекты сменных схватов, хотя такое решение используется очень редко.

3.5.2. Устройства для манипулирования корпусными деталями

В ГПМ и ГПС для обработки корпусных деталей последние обычно установлены на палетах, и именно палеты являются предметами манипулирования, которое осуществляется в основном с помощью устройств для смены палет, перемещающих предметы с транспортной подсистемы (тележки) на рабочую позицию (стол-станка). Такие устройства могут быть поворотными (см. **рис. 18, 19**) или прямолинейного действия, характеризуются простотой взаимодействия с магазином палет и не требуют выполнения каких-либо дополнительных функциональных движений. На тяжелых станках смена палет может осуществляться с помощью цепных передач.

Поворотные устройства используются в ГПС с пассивными магазинами. Устройство располагается в центре магазина, причем позиция загрузки-выгрузки отсутствует. Иногда используются схемы поворотное устройство – линейный неподвижный магазин палет; при этом устройство для смены палет имеет дополнительное движение вдоль магазина. Устройства прямолинейного действия используются вместе с круговыми или овальными магазинами с перемещением палет.

Для манипулирования палетами могут применяться также роботы-манипуляторы.

3.5.3. Кодирование деталей и заготовок

При использовании палет и в случае складирования обрабатываемых деталей и заготовок универсальным является электромагнитное кодирование. В этом случае носители информации имеют вид резьбовых втулок или прямоугольных вставок небольших размеров. Они снабжены элементами, обеспечивающими запись и считывание информации с помощью специальной головки (**рис. 36**). Объем записываемой информации может колебаться в пределах 16...1024 бит. Считывающее устройство соединено с системой управления станка.

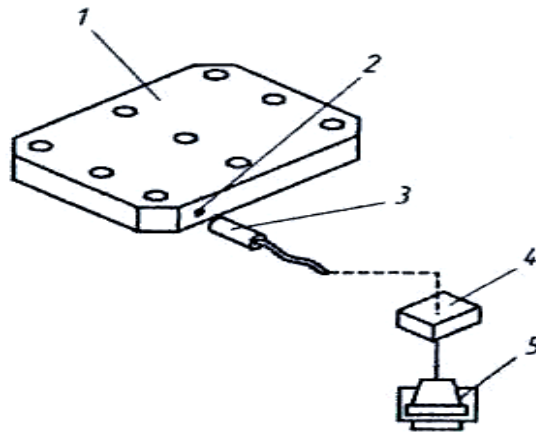


Рисунок 36. Схема устройства для электромагнитной записи и считывания информации: 1 – палета; 2 – носитель информации; 3 – головка для записи и считывания; 4 – устройство контроля правильности считывания сигналов; 5 – компьютер или система управления

4. КОНТРОЛЬ В ГПС

4.1. Системы автоматического контроля, установленные на технологическом оборудовании

Как показывает опыт, известные технологические приемы (многопроходная обработка, стабилизация свойств заготовки, выбор соответствующих режимов обработки и пр.) достаточно эффективны лишь при ограниченных требованиях к точности изготовления. Если задана точность $h5$ $h6$, то существенно возрастает роль таких составляющих, как:

- ошибки настройки;
- износ инструмента;
- тепловые деформации;
- погрешности базирования при автоматической смене инструмента;
- погрешности аппроксимации и пр.

Поэтому **необходима корректировка положения инструмента** по результатам измерения размеров обрабатываемой детали, режущего инструмента или других параметров элементов СПИД.

До последнего времени даже на современных станках с ЧПУ указанную операцию измерения и внесения корректировки осуществлял оператор вручную.

В условиях безлюдной технологии на ГПС решение указанной проблемы возложено на специальную подсистему САУТО (система автоматического управления точностью обработки). Корректировка настройки осуществляется в САУТО на основе измерения либо размеров детали, либо положения (размера) режущей кромки инструмента.

Рассмотрим работу САУТО на примере токарного ОЦ (рис. 37). Собственно измеритель, датчик 5, смонтирован в гнезде револьверной головки 4. Приводами подач шаровидный конец щупа датчика подводится до касания с деталью 6, закрепленной в патроне 8. В момент касания оптический (инфракрасный) сигнал от передающего устройства через воздушный зазор поступает на приемное устройство 2, далее в электронный блок 1 и в УЧПУ, где регистрируется отсчет датчика и вычисляется координата точки касания.

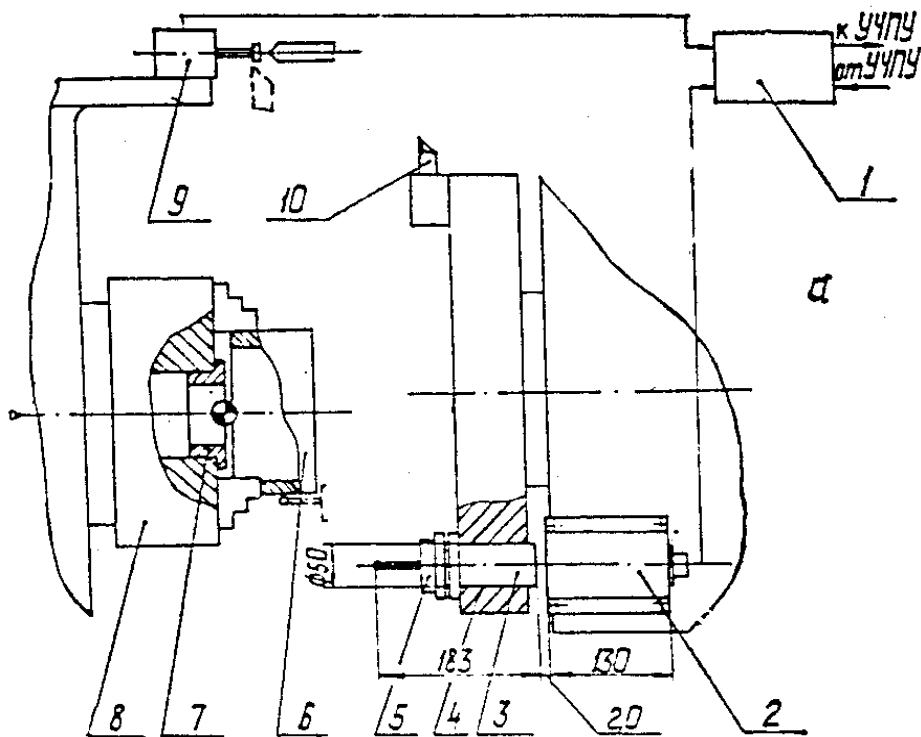


Рисунок 37. САУТО в токарном ОЦ

Для аттестации датчика (привязки его к системе координат станка) служит запрессованная в шпиндель втулка 7 с эталонными размерами.

Измерение координат вершин режущих инструментов осуществляется с помощью датчика размеров инструмента 9, также соединенного с электронным блоком.

На фрезерных ОЦ схема работы аналогичная, только датчик детали устанавливается вместо режущего инструмента в шпиндель станка, а датчик инструмента закрепляется на столе станка.

4.1.1. Виды обеспечения САУТО

Информационное обеспечение

Включает в себя:

а) *исходные данные*: сведения о систематических погрешностях станка;

данные, задаваемые в УП: перечень измеряемых размеров, периодичность, заданные значения размеров и пр.;

б) текущие данные, получаемые в результате измерений.

Математическое обеспечение

Включает алгоритмы и программы для:

- выполнения измерительных операций и преобразования результатов измерений в корректирующее воздействие, в сигналы о смене инструмента, об аварийных ситуациях и пр.;

- регламентирования последовательности измерительных и вычислительных операций;

- оптимизации последовательности измерительных и вычислительных операций. Задача очень важная, так как по 1...2 замерам нельзя получить надежную информацию о получаемых размерах, особенно, для партии деталей. Достаточно вспомнить график кривой нормального распределения. Увеличение же числа измерений приводит к увеличению простоев станка.

Техническое обеспечение

Включает в себя:

а) измерительное устройство (датчики размеров детали и инструмента);

б) вычислительное устройство, преобразующее исходную и текущую информацию в корректирующее воздействие;

в) устройство, реализующее корректирующее воздействие.

Элементы б, в входят в состав станка с ЧПУ.

4.2. Системы автоматизированного контроля установленные вне технологического оборудования

Подсистема размерного контроля вне станка входит в систему поддержки работоспособности, если средства размерного контроля включены в общую систему управления таким образом, что результаты измерений не только обрабатываются в реальном масштабе времени, но и служат основой для автоматического принятия решений, которые передаются в системы управления станками (модулями) для немедленного исполнения. В противном случае разрыв во времени между проведением измерений и реализацией решений может быть настолько велик, что автоматическая ликвидация последствий сбоев и отказов окажется невозможной и потребуются вмешательство операторов, например, для подстройки станков после получения бракованных деталей. Показан вариант структуры подсистемы размерного контроля вне станка, согласно которой результаты измерений передаются в центральную ЭВМ, откуда, в свою очередь, принятые решения (или готовые программы) передаются в системы управления станками, где и исполняются. Основным узлом подобной подсистемы является координатно-измерительная машина (**КИМ**). В отдельных случаях он может находиться вне ГПС с целью создания условий, необходимых для проведения прецизионных измерений (постоянство температуры, определенная влажность и т. п.). Такие посты оснащаются координатно-измерительными машинами, а также измерительными промышленными роботами.

Контроль на координатно-измерительных машинах

4.2.1. Общие положения

Новые возможности для современного производства создают широкоуниверсальные, автоматические, достаточно гибкие средства контроля – координатные измерительные машины (**КИМ**). С их применением повышается точность и достоверность результатов измерения. Использование принципов оперативного и диалогового программирования дало возможность применения **КИМ** как универсального средства контроля в единичном и мелкосерийном производствах.

В КИМ используется координатный метод измерения, сводящийся к последовательному нахождению координат ряда точек изделия и последующему расчету размеров, отклонений размера, формы и расположения в соответствующих системах координат. Структурная схема КИМ и внешний вид представлены на **рис. 38, 39**.

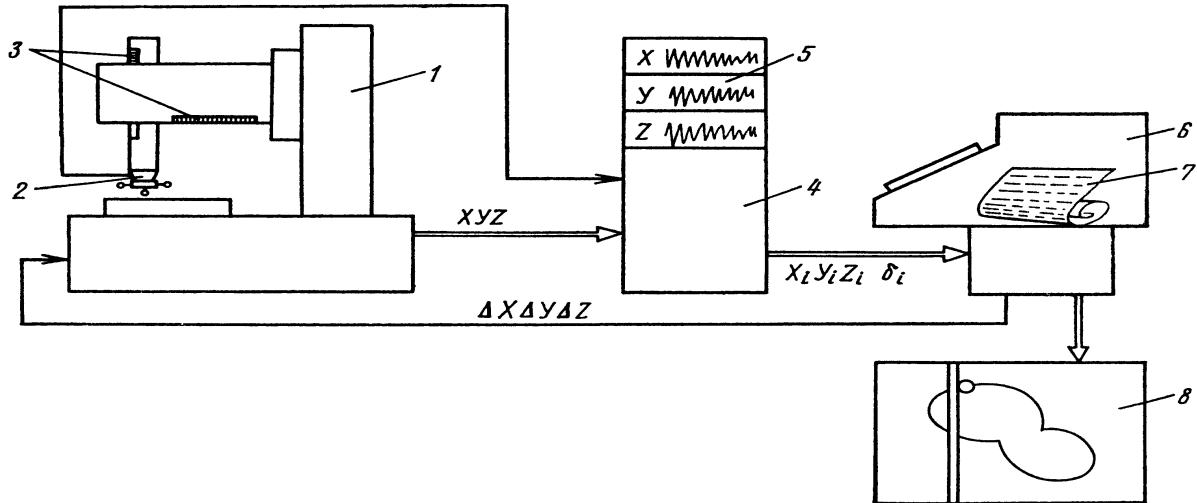


Рисунок 38. Структурная схема КИМ

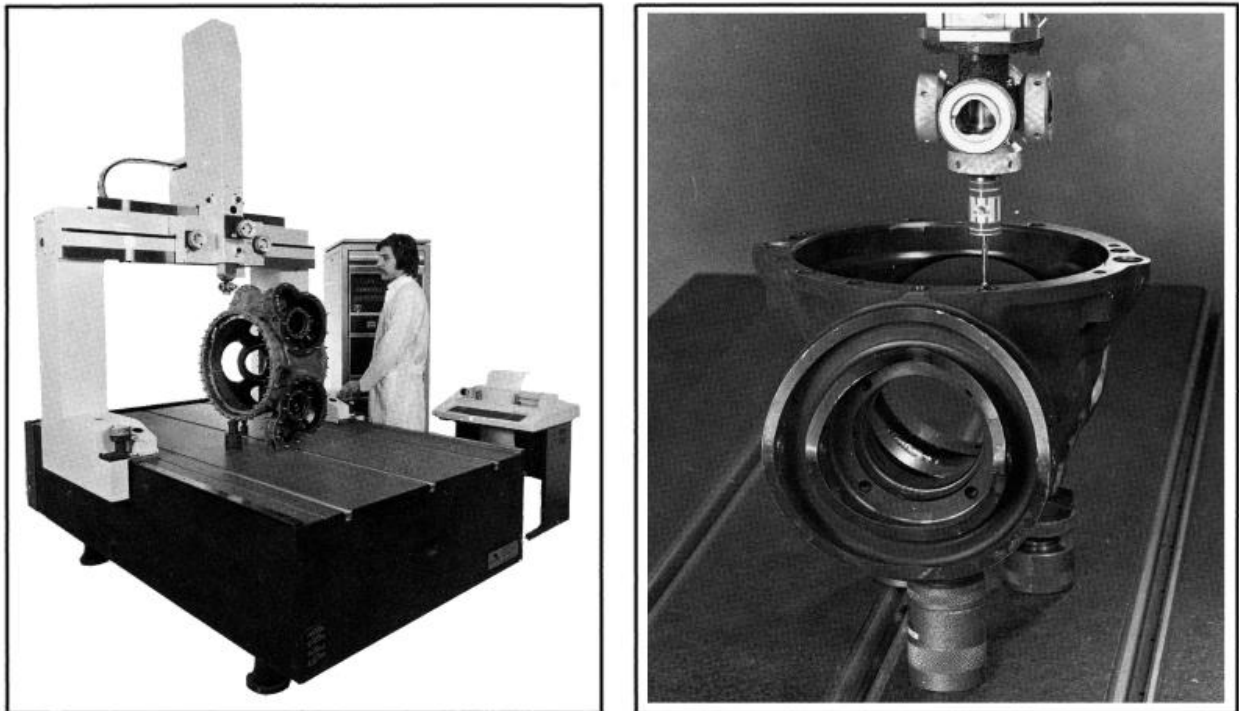


Рисунок 39. КИМ фирмы DEА и измерительная головка

Конструкция КИМ реализует идею мехатронных систем в станкостроении и обеспечивает высокую жесткость корпуса **1** и

прецизионное функционирование механики. Использование виброопор обеспечивает высокоточные измерения даже без использования специального фундамента. Измерительная головка 2 является одним из основных элементов КИМ, так как её погрешность непосредственно входит в результат измерения. Функциональные возможности измерительной головки во многом определяют функциональные возможности КИМ, классы поверхностей и объем параметров изделий, доступные для контроля. В КИМ используются различные типы измерительных головок в зависимости от встречающихся на практике метрологических задач. В любом случае измерительная головка дает первичную измерительную информацию, на основе которой определяются размеры детали. Эта информация может быть получена или в виде фактических координат точек проверяемой поверхности или в виде отклонений этих координат от заданных в определенном направлении.

Датчики 3 больших перемещений обеспечивают измерение перемещений измерительной головки 2 относительно измеряемой детали по пространственным координатам X , Y , Z . Автоматическое управление перемещениями измерительной головки 2 в рабочем пространстве КИМ осуществляется от вычислительного управляющего устройства 6 с погрешностью позиционирования до 0,05 мкм. Связь вычислительно-управляющего устройства с приводами перемещения измерительной головки обеспечивается интерфейсом 4. Отображение результатов измерений обеспечивается блоком цифровой индикации координат 5 и печатающим устройством 7, которые позволяют оператору контролировать движение измерительной головки и выполнение программы, находясь непосредственно у измеряемой детали. КИМ может быть оснащена графопостроителем 8.

КИМ позволяет осуществить переход от контроля размеров к контролю форм в лабораторных и цеховых условиях и позволяют проводить измерения крупногабаритных деталей сложной формы размером до трех метров, таких как корпусные изделия машиностроения, турбины, пресс-формы, штампы. Для них характерны высокая прецизионность и производительность.

Автоматизированные и автоматически КИМ относятся к непрерывно развивающемуся классу технических средств высокоточных измерений, позволяющих исключить ручной труд на

контрольных операциях в механообрабатывающих производствах. Для ГАП механообработки сложных изделий весьма важно применение высокоточных универсальных КИМ, являющихся мощным метрологическим средством, которое позволяет оценивать не только качество выпускаемых машин и агрегатов, но и технологическую точность и стабильность применяемых процессов обработки.

Координатно-измерительные машины обладают так называемой основной универсальной техникой программирования, поскольку могут не только измерять типовые поверхности, но и определять систему координат положения различных специальных поверхностей относительно базовых. При этом результаты измерений представляются потребителям в виде отпечатанных протоколов аттестации или в виде оперативных сообщений на средствах отображения буквенно-цифровой и графической информации; в то же время эти данные могут накапливаться в ЭВМ для последующей статистической обработки. КИМ отличаются более высокой производительностью и точностью измерений по сравнению с металлорежущими станками, на которых выполняется контроль, но имеют высокую стоимость. В связи с этим такое оборудование в составе ГПС должно иметь максимальную загрузку, что в свою очередь, обуславливает необходимость автоматизации доставки измеряемых деталей к координатно-измерительным машинам и их загрузки, возможности работы КИМ в режиме работы оборудования ГПС, а также управления от ЭВМ ГПС верхнего уровня и наличия автоматизированного склада контролируемых деталей.

Для измерения деталей больших габаритов используются координатно-измерительные машины, которые могут либо входить в состав ГПС, либо располагаться отдельно, но управляться единой ЭВМ ГПС верхнего уровня. ГПС соединяется с координатно-измерительными машинами специальной транспортной системой. При этом координатно-измерительные машины должны быть оснащены приспособлением для автоматического приема и зажима спутника с деталью (или детали).

Координатно-измерительная машина (КИМ) может встраиваться в состав ГПС и представляет собой агрегат, в состав которого входят механическая часть и системы ощупывания, измерения,

приводов и управления перемещением механической части, обработки результатов измерения.

Координатно-измерительные машины изготавливают *портального, консольного и мостового типов* (рис. 40). Различные типы конструкции КИМ обусловлены габаритами измеряемых деталей, требуемой степенью точности измерений, экономической эффективностью контроля.

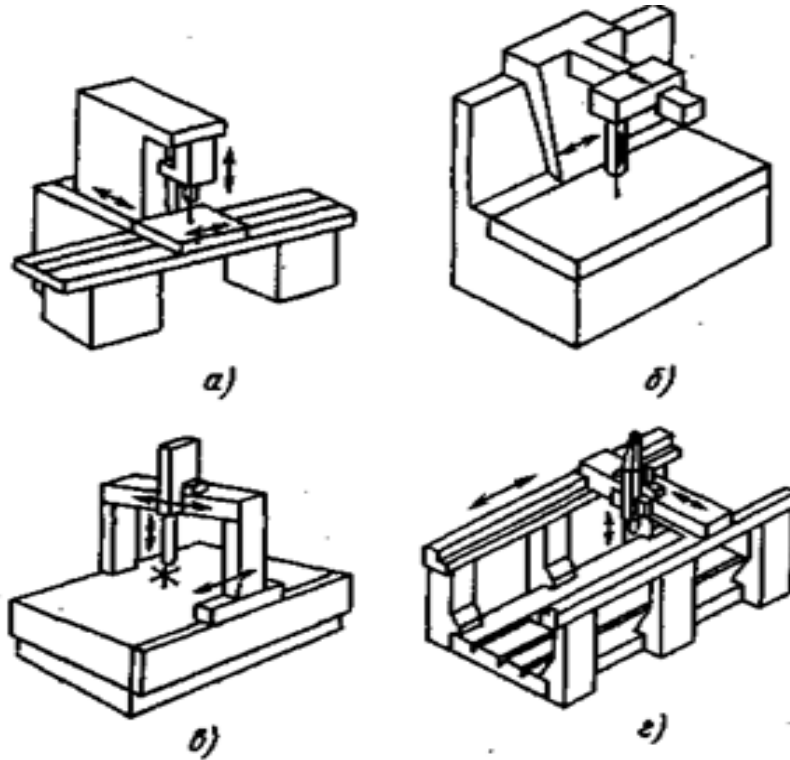


Рисунок 40. Компоновки КИМ: а – консольная для средних деталей; б – консольная для мелких деталей; в – портальная для деталей средних размеров

Для контроля высокоточных деталей средних габаритов, выпускаемых относительно небольшими партиями, применяют КИМ портального типа (рис 40, в), имеющую высокую устойчивость и жесткость конструкции.

КИМ консольного типа отличается небольшой массой, маневренностью, хорошей обзорностью.

В основу работы координатно-измерительных машин положен расчет контролируемых геометрических параметров поверхностей

по результатам измерения положения отдельных точек на этих поверхностях.

Для отсчета положений отдельных точек используется координатная система, относительно которой положение измеряемого объекта фиксировано.

Объект измерения располагают в рабочем пространстве машины, т. е. в области, доступной движению измерительной головки.

Система трех пар направляющих с взаимно перпендикулярными осями обеспечивает возможность перемещения головки относительно измеряемого объекта и подход к нему в произвольном направлении. Измерительная головка оснащена щупами; при касании щупа с поверхностью измеряемого объекта фиксируются три координаты точки касания. Управление перемещениями измерительной головки и обработка результатов измерения осуществляются системой управления, построенной на базе ЭВМ. Для отсчета координат используются датчики положения всех подвижных узлов, входящие в систему управления.

В автоматическом режиме работы КИМ с помощью соответствующей программы определяет пространственную ориентацию заготовок и качество обработки детали. Известно, что любую поверхность можно получить, измерив ее не менее чем в трех точках.

4.2.2. Требования к средствам промежуточного выносного и выходного контроля детали

КИМ должны отвечать следующему ряду требований:

- простота обслуживания;
- оптимальная доступность;
- высокая точность измерения и воспроизведения;
- величины ходов по осям должны удовлетворять всей номенклатуре размеров деталей;
- непродолжительность измерений;
- наличие трех режимов работы: ручной, полуавтоматический, автоматический;
- управление от вычислительного устройства;
- универсальность;

- возможность работы с большим количеством измерительных щупов;
- наличие развитого программного и математического обеспечения, позволяющего производить измерения зубчатых колес, кулачковых валов, кривых и пространственных поверхностей;
- наличие обучающей программы;
- наличие специальных и универсальных приспособлений (поворотный стол и пр.), облегчающих и повышающих точность измерений;
- возможность встраивания в технологическую линию.

4.2.3. Принцип работы КИМ

Работа КИМ основана на координатных измерениях, т. е. на поочередном измерении координат определенного числа точек поверхности детали и последующих расчетах линейных и угловых размеров, отклонений размера, формы и расположения в соответствующих системах координат. Используются три основные системы координат: **абсолютная система координат машины (СКМ), относительная система координат машины (СКО) и система координат детали (СКД).**

СКМ образуют направляющие координатных перемещений и измерительные системы КИМ; начало СКМ выбирается произвольно. Направление осей СКО совпадает с направлением осей СКМ, а начало совмещается с центром или другой точкой калибратора (геометрического элемента, неподвижного во время измерения). СКО обеспечивает единство координатных данных при измерении несколькими чувствительными элементами КИМ, взаимодействующими с измеряемой поверхностью, в случае изменения их параметров или положения в СКМ.

Результаты измерения представляются в СКД, которая формируется путем измерения положения в СКМ выбранных базовых поверхностей детали. СКД может изменяться в процессе измерения. Все операции по расчету систем координат и трансформации значений координатных данных выполняются по программе автоматически, на основе данных измерений, вводимых в системы координат машины.

Координатные измерения реализуются комплексом аппаратных и программных средств. КИМ условно можно разделить на *базовую часть*, содержащую узлы координатных перемещений, измерительные преобразователи (ИП) и измерительную головку (ИГ) и предназначенную для непосредственного измерения координат точек, и *управляющий вычислительный комплекс* (УВК) на основе ЭВМ, предназначенный для управления процессом измерения, обработки и представления данных измерения.

Габариты, конструкция, точность базовой части в основном определяются параметрами измеряемых деталей и условиями эксплуатации. Для определения структуры УВК решающими являются тип ИП и ИГ базовой части КИМ, требуемая степень автоматизации измерения, показатели программно-математического обеспечения и требования к форме представления результатов измерения. Состав и показатели программно-математического обеспечения зависят от спектра метрологических задач и степени автоматизации КИМ.

Координаты точек детали измеряются в СКМ (X_M, Y_M, Z_M), реализуемой прецизионными линейными перемещениями ИГ 6 относительно измеряемой детали (**рис. 41**). Деталь или ИГ перемещаются с помощью узлов 2 координатных перемещений базовой части КИМ.

Перемещения отсчитываются посредством ИП 3 в направлении всех координатных осей СКМ. Перемещения ИГ или детали механизированных и автоматических КИМ производятся электро-механическими приводами 4 или вручную.

Для обеспечения доступа к измеряемым поверхностям определенного класса деталей и упрощения расчетных операций при измерении в полярной, цилиндрической и сферической системах координат базовая часть КИМ снабжается поворотными столами, предоставляющими возможность поворачивать детали относительно одной или нескольких осей, расположенных под различными углами в пространстве.

натные. Поэтому весь этот класс измерительных устройств часто называют координатно-измерительными машинами и роботами (сокращенно КИМ и КИР соответственно). Использование поворотных столов для установки деталей позволяет вести измерения как в декартовой, так и в цилиндрической системе координат.

Эволюция КИМ и КИР происходит в основном в **двух направлениях**:

- автоматизация считывания, обработки и записи результатов координатных измерений;
- совершенствование методов и алгоритмов управления движением исполнительных механизмов, несущих измерительную головку и измеряемую деталь.

Средства автоматического считывания, обработки и записи результатов координатных измерений в зависимости от используемого метода измерения делятся на **нулевые** и **дифференциальные**.

Нулевой метод измерения основан на определении фактического положения головки относительно измерительных баз детали с помощью «нулевой» измерительной головки, работающей в режиме нуль-индикатора. «Нулевая» головка формирует импульсные сигналы, определяющие абсолютные координаты корпуса головки в системе координат КИМ или КИР в момент ее соприкосновения с деталью. Эти данные подаются в микропроцессор, который сравнивает фактические координаты с идеальными, соответствующими эталонной детали, и определяет координатные отклонения измеряемой детали от эталонной.

«Нулевые» головки обычно конструируются на базе датчиков касания, в качестве которых широко используются электро-, радио- и виброконтатные датчики. Эти головки, называемые еще головками касания, делятся на два класса: с изменяющимся и фиксированным нулевым положением измерительного наконечника.

Головки первого класса после отвода их от детали сохраняют то положение наконечника, которое было достигнуто после контакта. Поэтому нулевое положение наконечника таких головок изменяется в процессе измерений. Примером головки с изменяющимся нулевым положением может служить однокоординатная головка 7Т-4 итальянской фирмы «ДЕА» («DEA»), схематично изображенная на **рис. 42, а**.

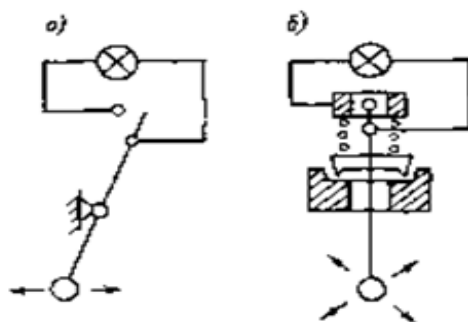


Рисунок 42. Схемы «нулевых» измерительных головок

Головки второго класса имеют специальный механизм возврата, который после очередного измерения приводит наконечник в одно и то же нулевое положение. Такие головки называют самовозрастающимися. Примером головки с фиксированным нулевым положением наконечника может служить двух координатная головка с грибковым механизмом возврата наконечника, представленная на рис. 42, б.

При **дифференциальном** методе сравнения с мерой (по ГОСТ 16263-70) используются «дифференциальные» измерительные головки, формирующие сигнал, пропорциональный отклонению измерительного наконечника (щупа) относительно корпуса головки. При этом сравнение фактических координат детали с идеальными производится либо в аналоговой форме с помощью схемы сравнения, либо программно на микропроцессоре.

«Дифференциальные» головки часто называют головками **отклонения**. Они имеют устройство ориентации, обеспечивающее установку наконечника под определенным углом (обычно по нормали к поверхности измеряемой детали). В зависимости от принципа действия и конструкции этого устройства головки отклонения делятся на два класса: с управляемым наконечником и с самоустанавливающимся наконечником.

Примером управляемой трехкоординатной головки может служить головка отклонения западногерманской фирмы «Оптон» (Opton, ФРГ), представленная на рис. 43, а. В конструкцию головки входит три каретки с взаимно перпендикулярными направляющими на пружинных параллелограммах. Каждая каретка имеет встроенный индуктивный датчик. Измерительное усилие создается с по-

мощью трех подвижных катушек, связанных с наконечником. В качестве примера самоустанавливающейся двухкоординатной головки может служить головка с грибовым механизмом возврата наконечника, схематически изображенная на **рис. 43 б**.

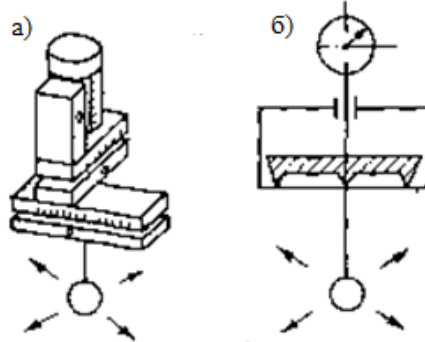


Рисунок 43. Схема дифференциальных измерительных головок

Описанная классификация измерительных головок представлена на **рис. 44**. Большое разнообразие типов измерительных головок обусловлено разнообразием метрологических задач, возникающих в условиях автоматизированного производства.

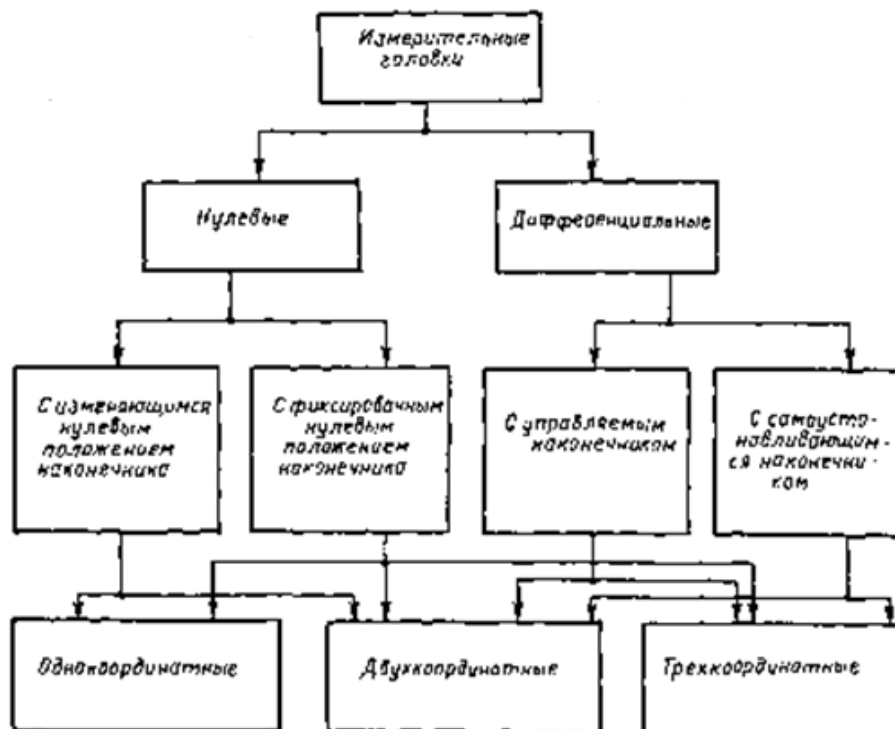


Рисунок 44. Классификация измерительных головок

Универсальность и гибкость КИР в ГАП в значительной степени обеспечиваются возможностью автоматической смены измерительных головок. Выбор той или иной головки определяется конфигурацией измеряемой детали и особенностями технологии обработки и измерения.

В специализированных КИМ обычно применяются двухкоординатные головки. В КИР, имеющих сравнительно невысокую точность, используются трехкоординатные «нулевые» головки с фиксированным (самовозвращающимся) нулевым положением наконечника. Эти головки особенно удобны для измерения корпусных деталей. В прецизионных КИР используются, как правило, трехкоординатные дифференциальные головки, позволяющие автоматизировать широкий спектр метрологических операций.

Важную роль при автоматизации измерений играют способы подхода и обхода поверхностей измеряемых деталей. Подход к контрольным точкам обычно осуществляется посредством управляемых перемещений измерительного наконечника или детали по одной или нескольким координатам. Это достигается за счет предварительного программирования взаимосвязанных движений и скоординированного управления приводами. В ряде случаев дополнительно требуется, чтобы подход наконечника или обход детали по контуру производились по нормали к поверхности детали. При этом обход детали может производиться дискретно (по принципу «от точки к точке») или непрерывно. Особый интерес представляет отслеживание поверхности детали. При этом приводы исполнительных механизмов работают как следящие системы. Поскольку поверхность измеряемой детали может быть заранее неизвестной, КИР в режиме отслеживания как бы адаптируется к детали. По мере отслеживания считывается, обрабатывается и выводится информация о координатах поверхности детали, отклонении этих координат от соответствующих координат эталонной детали и т. п.

Координаты точек могут считываться при движении узлов КИМ или в состоянии их покоя. Первый режим реализуется с применением нулевых измерительных головок (головок касания) или головок отклонения (ИГО). В головках касания в момент соприкосновения измерительного наконечника с измеряемой поверхностью происходит дискретное изменение электрического сигнала, являющееся командным сигналом на останов и реверс приводов.

Головки данного типа не дают информации о значении и направлении смещения их измерительных наконечников. При взаимодействии же наконечника ИГО с измеряемой поверхностью представляется информация о значении, а иногда и направлении смещения измерительного наконечника из исходного положения. Отсчет координат точек проводится после достижения нулевых показаний встроенных в ИГО измерительных преобразователей или по команде от системы управления. Измерения в динамическом режиме обладают высоким быстродействием и универсальностью, однако несколько меньшей точностью (главным образом, из-за колебаний подвижных узлов КИМ).

Точность измерения повышается при измерении в статическом режиме, когда отсчет координат точек производится в состоянии покоя подвижных узлов КИМ. Этот способ измерения реализуется только с применением ИГО.

Измерения в динамическом режиме реализуются при ручном и автоматическом управлении, а в статическом – только при автоматическом управлении, за исключением КИМ с жесткими измерительными наконечниками, устанавливаемыми вместо ИГ. Такие наконечники используются в малогабаритных ручных КИМ невысокой точности.

Обработку электрических сигналов ИГ и ИП, управление электроприводами, обработку и представление данных измерений осуществляет УВК. В состав УВК входят нормирующие преобразователи ИП ИГО и ИП базовой части КИМ, блок управления электроприводами, которые через блок связи или непосредственно соединены с ЭВМ. Управление подвижными узлами КИМ в автоматическом режиме осуществляется от ЭВМ, а в ручном – от специального пульта. ЭВМ, кроме управления измерительными органами КИМ, выполняет обработку данных измерения. Эта обработка включает следующие операции:

1. Определение координат и поправок отдельных измерительных наконечников измерительных головок. Необходимую информацию для этих расчетов получают измерением калибратора – аттестованной с высокой точностью образцовой детали (сферы или куба), сохраняющей в процессе измерения неизменное положение относительно СКМ.

2. Формирование систем координат детали, которые необходимы для правильной оценки результатов измерения, возможности переставлять деталь в процессе измерения, не теряя при этом единства измерений. СКД может быть сформирована относительно любых геометрических элементов детали, однозначно определяющих положение и ориентацию СКД в СКМ. Число СКД не ограничивается.

3. Выполнение расчетов геометрических параметров деталей. При этом учитываются координаты и параметры отдельных измерительных наконечников ИГ, производится трансформация результатов, связанная с образованием нескольких систем координат.

4. Выполнение статистической обработки результатов измерений.

5. Подготовка данных для автоматического управления с учетом уже выполненных операций и полученных результатов измерения.

6. Представление результатов измерения в необходимом объеме и в удобном для пользования виде.

Для выполнения функций управления КИМ, обработки и представления данных ЭВМ снабжается следующими основными периферийными устройствами: накопления и ввода данных – с перфоленты, магнитной ленты, магнитного диска; представления данных – алфавитно-цифровое печатающее устройство, графопостроитель, дисплей. Для оперативного программирования пульт ручного управления снабжается специальной клавиатурой с символическими обозначениями конкретных подпрограмм измерения.

Порядок измерения на КИМ зависит от устройства УВК, базовой части, средств и методов подготовки программ и включает следующие операции:

1. По чертежу или образцу детали определяются и с использованием соответствующей символики обозначаются параметры, подлежащие контролю.

2. Определяется последовательность измерений и расчетов; системы координат детали; необходимое число, форма и ориентация измерительных наконечников; способ установки и крепления детали; форма представления результатов измерений.

3. В соответствии с разработанным планом проведения измерений составляется программа измерений, включающая подготовку

системы управления КИМ, калибровку измерительных наконечников ИГ, определение СКД, измерение координат точек, ввод номинальных значений и предельных отклонений измеряемых параметров, расчет их фактических значений, распечатку протоколов и представление данных в графическом виде.

4. Измерение первой детали включает установку детали на предметном столе КИМ; ввод программы измерения; ручную калибровку измерительных наконечников; ручное измерение координат точек на базовых поверхностях детали для формирования СКД; ручное или автоматическое измерение детали и расчет измеряемых параметров. Результаты расчетов в процессе измерения накапливаются в памяти ЭВМ. Эти данные в дальнейшем используются для расчета производных геометрических элементов.

5. Результаты измерений представляются в виде распечатанных протоколов и на экране дисплея, или выводятся на внешние машинные носители информации, накапливаются во внешней памяти, пересылаются в другую ЭВМ. Результаты измерений отклонений формы и взаимного расположения для удобства анализа могут быть представлены в графическом виде.

При измерении последующих деталей калибровка ИГ и определение положения детали могут быть исключены или все операции могут быть выполнены автоматически.

Высокая точность измерения достигается за счет использования прецизионных направляющих, выполненных из твердокаменных пород, аэростатических опор координатных перемещений. Высокая производительность обеспечена перемещением привода с высокомоментным двигателем с бесступенчатым регулированием частот вращения. Машина управляется управляюще-вычислительным комплексом, в состав которого входят ЭВМ, алфавитно-цифровой дисплей, печатающее устройство, графопостроитель.

К недостаткам КИМ следует отнести большие габаритные размеры, невысокие манипуляционные свойства, низкие скорости координатных перемещений. Как правило, КИМ требуют отдельных термоконстантных помещений. Это не позволяет использовать их для контроля прямо на потоке после изготовления детали. Использование КИМ целесообразно при измерении размеров сложных деталей, а также расположения поверхностей и осей.

Сдерживает применение КИМ в производстве и их высокая стоимость. КИМ имеют практически одинаковую точность во всем диапазоне измерения. Это предъявляет высокие требования к точности изготовления отдельных деталей и узлов КИМ. Большинство деталей обрабатывается на ГПС фрезерной и токарной группы и имеют точность не ниже 8–9-го качества.

4.2.4. Алгоритмизация и программное обеспечение контрольно-измерительных машин

Состав программного обеспечения КИМ предусматривает решение ряда типовых задач, некоторые из которых являются универсальными и не зависят от типа детали. Другая часть программ ориентирована на определенный тип деталей.

Приведем примеры трехмерных измерений деталей с плоскими, сферическими, цилиндрическими и коническими поверхностями. Эти **программы** используют для измерения корпусных деталей и некоторых деталей типа тел вращения.

1. При каждом ощупывании автоматически выполняется программа «ТОЧКА». Происходит измерение координаты в направлении ощупывания. Корректировка радиуса щупового шара производится с учетом системы координат, записанной в память вычислительного устройства (трехмерное выравнивание).

2. Программа «ПРЯМАЯ» предусматривает измерение ряда точек и расчет оптимально вписанной в них прямой. Выдаются два угла, определяющие пространственное расположение прямой, а также координаты точки, в которой прямая пересекает нулевую плоскость системы координат. Если для определения прямой измеряется больше двух точек, тогда выдается средний разброс, а также точки максимального положительного и отрицательного отклонения от идеальной прямой.

3. Программа «КРУГ» позволяет выполнить измерение с помощью N контрольных точек. При использовании более трех точек выдается средний разброс и также, как в случае прямой, две контрольные точки, наиболее отдаленные от оптимально вписанного круга. В число выдаваемых данных входят координаты центра круга и его диаметр с автоматическим учетом диаметра щупа.

4. Программа «ЭЛЛИПС» позволяет, в частности, упростить определение координатной системы детали с наклонными отверстиями. Эллипс идентифицируется пятью точками. Определяются координаты центра, соотношение между осями, разброс измерительных параметров при числе точек более пяти. Аналогичные данные по разбросу определяются также во всех указанных ниже программах.

5. Программа «ПЛОСКОСТЬ» с помощью от трех до N контрольных точек определяет пространственное расположение плоскости, а также ее не плоскостность. Выдаются два угла, задающие направление нормали к плоскости. При использовании больше трех контрольных точек вычисляются средний разброс и крайние величины отклонения от найденной идеальной плоскости.

6. Программа «ЦИЛИНДР» позволяет на основе измерения не менее пяти точек определить геометрические параметры цилиндров с любым наклонным положением. В качестве данных выдаются два угла, определяющие пространственное положение цилиндра, и точка оси цилиндра, пересекающая нулевую плоскость системы координат детали.

7. Программа «КОНУС» позволяет на основе измерения координат не менее 10 точек определить геометрические параметры конусов с любым наклонным положением в пространстве. В число параметров входят: два угла, определяющие пространственное положение оси конуса; угол конуса; координаты точки пересечения оси конуса с нулевой плоскостью системы координат детали, а также любые вводимые комбинации диаметра конуса и высоты его сечения. Если используется большее число контрольных точек можно определить отклонение от прямолинейности боковой поверхности и отклонение от круглости конуса. Для идентификации шаровой поверхности или полусферы требуется не менее четырех контрольных точек. Определяется три координаты центра и диаметр шара.

Перечисленные стандартные программы для определения геометрических элементов позволяют измерить разнообразные детали, поверхности которых образованы из плоскостей, цилиндров, конусов, сфер и их сочетаний.

8. Программа «ПОЗИЦИЯ» позволяет подвести измерительный щуп к определенной точке, заданной в координатах детали

или КИМ. Эту программу можно использовать в режиме контроля и при задании УП методом обучения.

9. Программа «ШАГ» позволяет производить измерения через определенный интервал по заданным расстояниям в системе координат детали. При круглом столе программа обеспечивает расчет и последующий учет полученных данных по эксцентricности и наклону измеряемой детали. Применение поворотного стола для контроля корпусных деталей с отверстиями позволяет уменьшить число измерительных щупов и ускорить процесс контроля.

Большинство программ за исключением отдельных случаев преобразования координат, достаточно просты и сводятся к несложным арифметическим действиям. Поэтому они реализуются в системе управления нижнего уровня КИМ. Статистическая обработка результатов измерения и их хранение выполняются на ЭВМ верхнего ранга ГПС.

При автоматическом измерении в функции оператора входит задание КИМ команды на выполнение той или иной программы в соответствии с модификацией детали и оценка результата.

В автоматическом режиме работы КИМ с помощью соответствующей программы определяет пространственную ориентацию заготовок. Известно, что любую поверхность можно задать, измерив ее не менее чем в трех точках. В соответствии с законами геометрии в табл. 3 отражено необходимое и достаточное число и месторасположение точек контакта щупа с измеряемой поверхностью для получения геометрических параметров и конфигураций поверхностей различных типов.

В зависимости от вида измерительного органа иногда необходимо учитывать размер измерительного щупа. Схема коррекции замеров щупом представлена на рис. 46. Действительные координаты проверяемого параметра передаются вычислительному устройству, которое рассчитывает корректирующие сигналы.

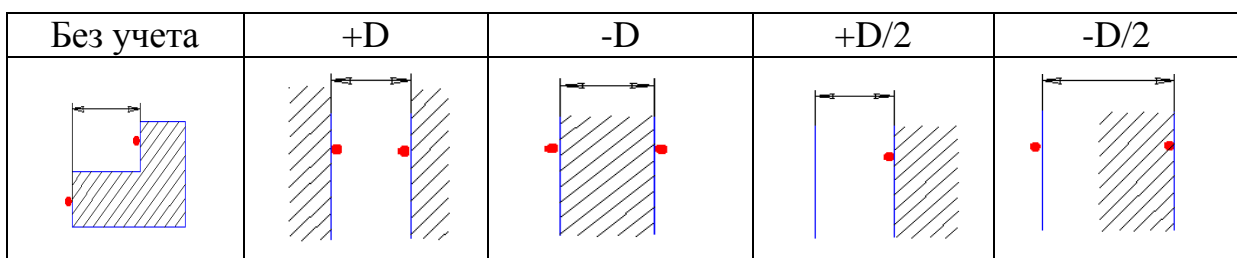
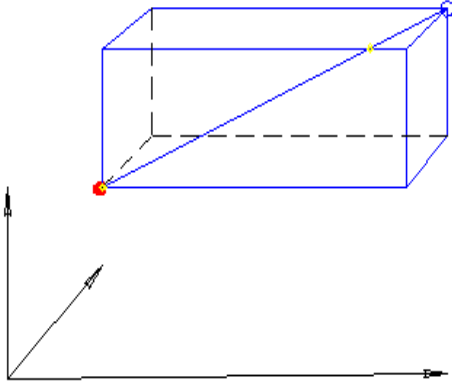
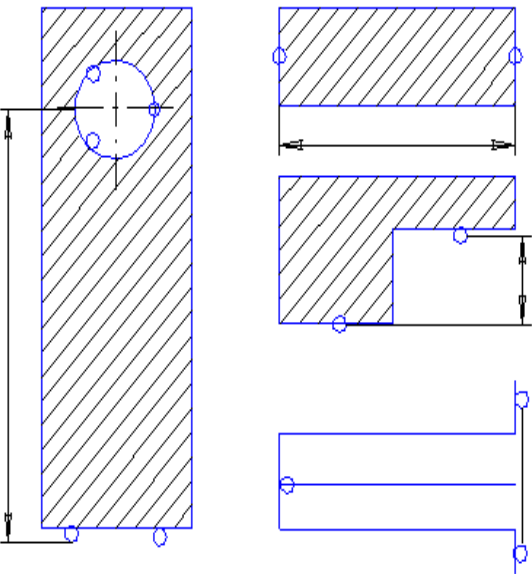
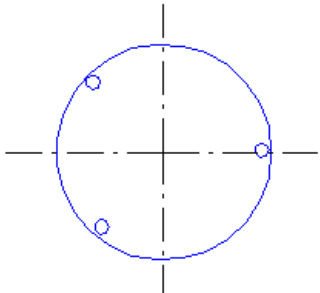
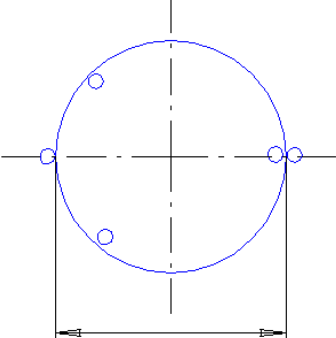
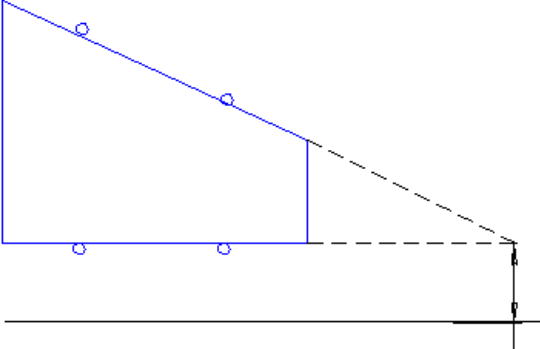
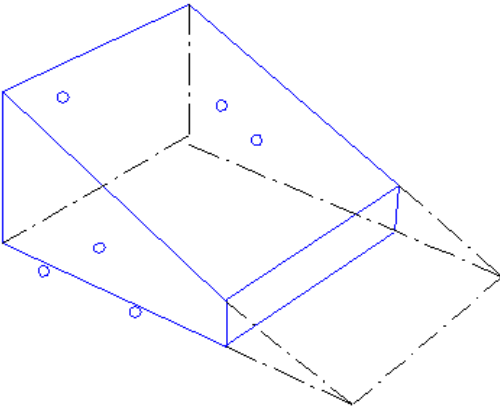
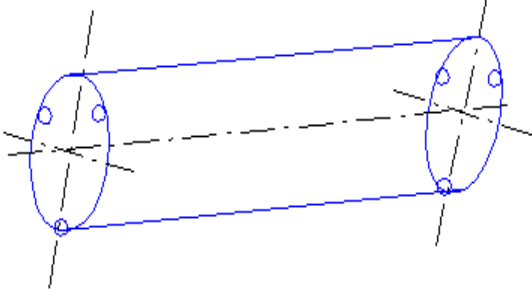


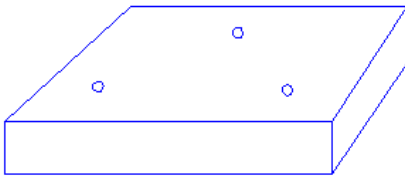
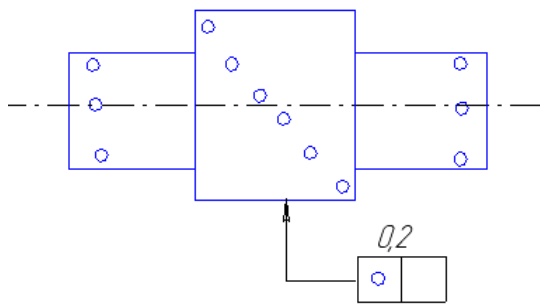
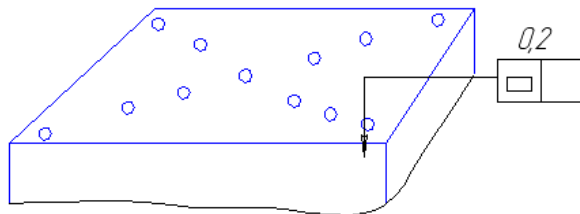
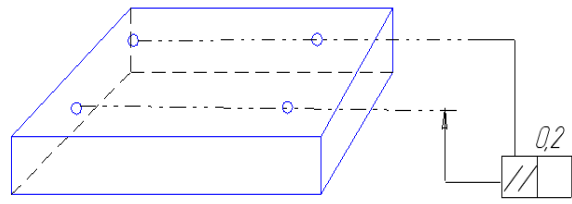
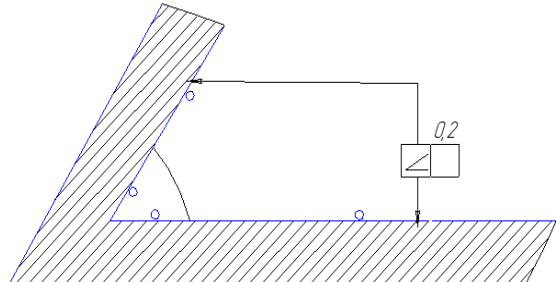
Рисунок 46. Схема коррекции замеров щупом

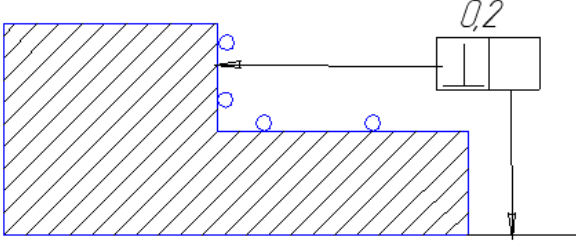
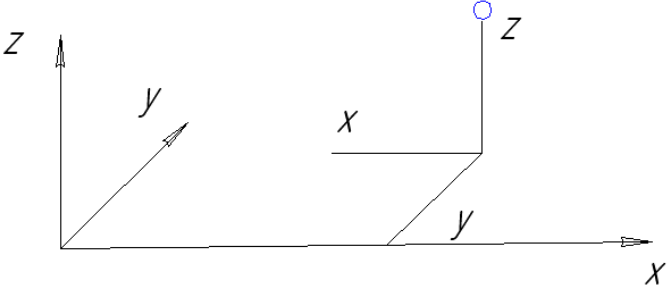
Таблица 3

Число и месторасположения точек контакта щупа
с измеряемой поверхностью

Изображение	Задание
<p style="text-align: center;">1</p> 	<p style="text-align: center;">2</p> <p style="text-align: center;">Расстояние в координатном направлении</p>
	<p style="text-align: center;">Пространственное расстояние</p>
	<p style="text-align: center;">Центр круга</p>

Изображение	Задание
<p style="text-align: center;">1</p> 	<p style="text-align: center;">2</p> <p style="text-align: center;">Диаметр круга</p>
	<p style="text-align: center;">Точка сечения</p>
	<p style="text-align: center;">Прямая пересечения</p>
	<p style="text-align: center;">Прямая</p>

Изображение	Задание
<p style="text-align: center;">1</p> 	<p style="text-align: center;">2</p> <p style="text-align: center;">Плоскость</p>
	<p style="text-align: center;">Круглость</p>
	<p style="text-align: center;">Плоскостность</p>
	<p style="text-align: center;">Параллельность</p>
	<p style="text-align: center;">Угол</p>

Изображение	Задание
<div style="text-align: center;">1</div> 	Перпендикулярность
	Точка пространства

Кроме контроля параметров готовой продукции или заготовок системы контроля должны обеспечивать диагностику процессов и оборудования непосредственно при выполнении производственных операций. К диагностическим задачам относят контроль типа инструмента, его геометрические формы, степени износа; контроль влияния параметров внешней среды на процессы обработки. При этом появляется возможность оперативного вмешательства в производственный процесс и проведения корректировки отклонений.

Таким образом, система контроля и диагностики заготовок, оборудования, процессов ГАП осуществляется в реальном масштабе времени до, после и во время выполнения операций обработки. Измеряемые при автоматическом контроле характеристики представлены в табл. 4.

Таблица 4

Измеряемые характеристики при автоматическом контроле

Объект контроля	Перед выполнением операции	В процессе выполнения операции	Между двумя технологическими операциями	После выполнения операции
Заготовка	– припуск – твердость	– положение заготовки (исход-	– форма – качество	– качество обработки

Объект контроля	Перед выполнением операции	В процессе выполнения операции	Между двумя технологическими операциями	После выполнения операции
	<ul style="list-style-type: none"> – правильность положения – соответствие типу обработки 	<ul style="list-style-type: none"> ная, промежуточная и конечная формы) – качество обработки (размеры, допуск, форма поверхности) – корректировка значений 	<ul style="list-style-type: none"> поверхности – соответствие размеров, допусков 	<ul style="list-style-type: none"> – соответствие размеров, допусков (сбор статистики)
Инструмент	<ul style="list-style-type: none"> – размеры инструмента – форма и тип инструмента – износ – деформация 	<ul style="list-style-type: none"> – непредвиденный износ – время работы (взаимодействие с материалом) – поломка – данные обработки – наличие путанной стружки, другие помехи 	<ul style="list-style-type: none"> – непредвиденный износ – поломка инструмента (замена инструмента и заготовки) – наличие путанной стружки, другие помехи 	
Технологический процесс	<ul style="list-style-type: none"> – наличие заготовки и инструмента – данные программы 	<ul style="list-style-type: none"> – сбор данных диагностики по появлениям сбоев, коррекции, остановок системы 	<ul style="list-style-type: none"> – статистика по общим параметрам – статистика ошибок – анализ причин ошибок и их устранение 	

4.3. Измерительные работы

4.3.1. Основное положение и классификация

Автоматизация в крупносерийном производстве экономически выгодна на основе специализированных автоматических линий.

Для мелко- и среднесерийного производства при частой сменяемости выпускаемых изделий более выгодно идти по пути создания безлюдной технологии и использования перепрограммируемых промышленных роботов. Но в этом случае часто требуется точное позиционирование, например, контролируемых деталей.

Контурные управляющие устройства обеспечивают погрешность установки захватного устройства манипулятора относительно детали порядка $\pm 0,01$ мм. Но такие системы сложны и дороги. Более перспективным является применение серийно выпускаемых роботов с тремя степенями подвижности, обеспечивающих точность позиционирования $\pm 0,1$ мм, имеющих грузоподъемность 1–10 кг, скорость перемещения захватного устройства 0,6 м/с, размеры зоны обслуживания $500 \times 500 \times 500$ мм и использующих электропривод. Точность позиционирования определяет, например, выполнение тех контрольных операций деталей, зазоры между калибром и деталью в которых соизмеримы с этой точностью. При меньших допусках в захватном устройстве монтируется специальная головка или в системе управления манипулятором используются корректирующие обратные связи с датчиком очувствления, установленным на захватном устройстве или позиционере, где закреплена основная деталь. При контроле с заданными координатами программно-управляющий блок оценивает погрешности отработки каждым приводом заданного положения. При наличии погрешности формируется закон изменения положения. **Главная функция измерительного робота (ИР) – захват и перемещение предмета (детали, измерительного средства) на требуемую позицию в сориентированном положении и в нужный момент времени.** На основе использования ИР можно:

- осуществлять метрологические процессы, которые по условиям производства невозможны с участием человека (токсичная, запыленная, загазованная, взрывоопасная среда, высокий уровень радиации рабочего пространства, сверхвысокие быстродействия, монотонные и тяжелые операции и т. п.);
- достичь высокой производительности контроля в условиях быстрой сменяемости производства (гибкого автоматизированного производства), сокращения сроков обучения метрологическим приемам при выпуске новой продукции.

В массовом и крупносерийном производстве КИР пока еще не могут конкурировать с контрольными автоматами, вследствие их большей сложности, меньшей надежности и быстродействия. Во многих случаях роботы еще уступают человеку по

быстродействию, мобильности и гибкости реагирования на внешние изменяющиеся условия. И так, робот может выполнять типовые контрольные операции, такие, как:

- качественная оценка состава рабочей среды;
- установление присутствия определенных объектов, их счет, определение возможного расположения, качественная оценка, сортировка;
- оценка значения параметров имеющихся или изготавливаемых предметов (деталей);
- определение правильности функционирования отдельных объектов или их частей.

Применение роботов в сочетании с ЭВМ позволяет:

- ликвидировать нехватку в рабочей силе;
- повысить производительность оборудования и труда рабочих контролеров;
- улучшить условия и безопасность труда, сократить монотонные и утомительные операции, вредные и опасные для здоровья операции;
- выполнять работы в труднодоступных для человека местах (морское дно, космос, топки, запыленные пространства, шахты и т. п.);
- улучшить качество выпускаемой продукции, уменьшить брак, улучшить охрану окружающей среды и др.;
- сократить простои оборудования, уменьшить цикл производства, увеличить количество смен;
- осваивать новые технологические процессы, принципиально не реализуемые при участии человека;
- комплексно автоматизировать не только массовое, но и мелкосерийное многоцелевое и многономенклатурное производство;
- сократить сроки освоения новой продукции.

Роботы способны увеличивать производительность в 1,5–2 раза, они окупаются в течение 2–2,5 лет. В зависимости от назначения и сложности выполняемых операций ИР условно делят на три поколения.

Первое поколение роботов служит для перемещений грузов различной массы, осуществляя более 1000 движений.

Роботы второго поколения являются уже «очувствленными». Для «очувствления» они снабжены различными датчиками, выдающими информацию о состоянии рук, предметов и среды (рис. 47).

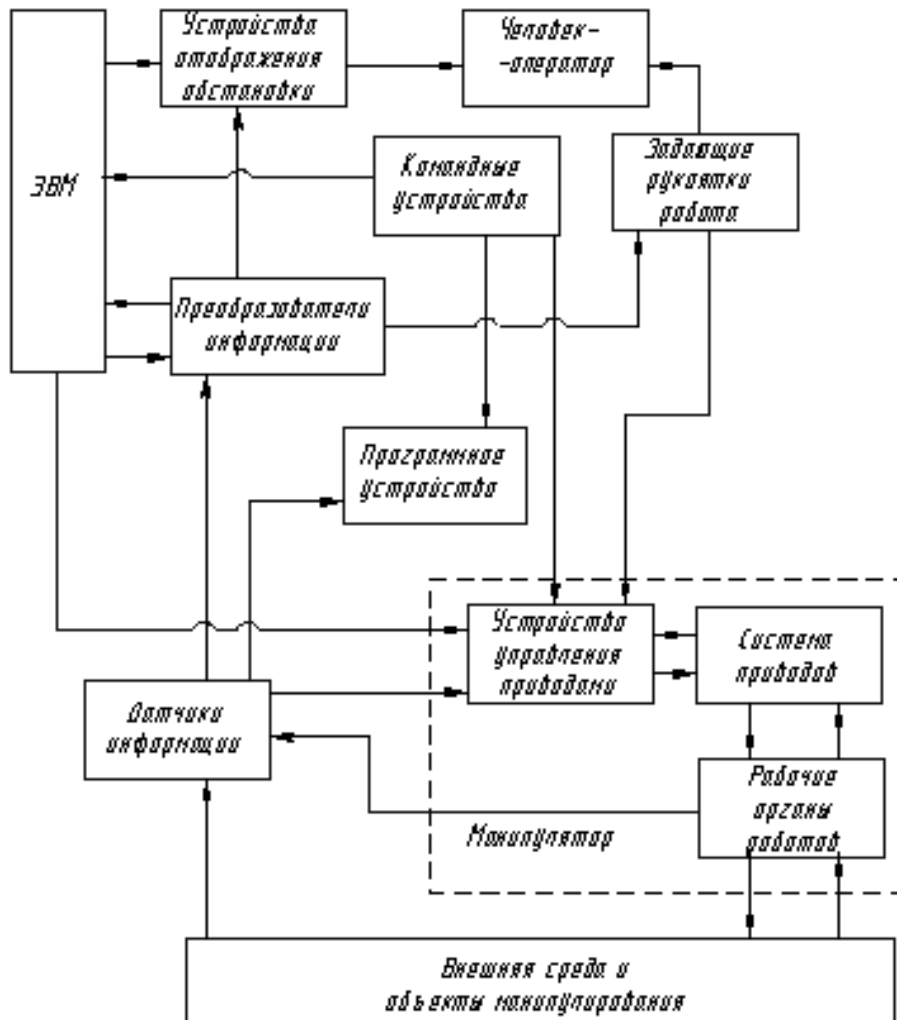


Рисунок 47. Структурная схема робототехнической системы

После преобразования сигналы обрабатываются в ЭВМ и позволяют осуществить управление исполнительными устройствами с учетом фактических ситуаций. В сравнении с роботами первого поколения эти роботы обладают повышенной маневренностью, имеют большее число сложных программ и позволяют управлять оборудованием, автоматизировать контроль сборки и другие процессы в производстве с частым изменением условий. Роботы третьего по-

колениа (интегральные роботы) имеют искусственный интеллект, высокую степень восприятия и распознавания обстановки, способность выработки решений автоматического планирования и контроля операций. Эти роботы могут изменять свои действия (адаптироваться) под влиянием изменения окружающей среды или под воздействием команд от заданной программы. Они могут обрабатывать, собирать и испытывать отдельные виды изделий, управлять несколькими видами оборудования, контрольно-измерительными установками, следить за состоянием оборудования и ходом производства, осуществлять учет продукции на различных стадиях производства, выполнять некоторые конструкторские, исследовательские и лабораторные работы и т. п. Адаптивные роботы могут определять параметры объекта и окружающей среды, оценивать реальную картину, изменять последовательность действий.

4.3.2. Сенсорные визуальные роботы

Наиболее перспективно использование для метрологических целей роботов, имеющих возможность визуальной ячейки положения и качественного состояния контролируемых объектов. Во многих системах визуальная информация от телевизионной камеры, связанной с ЭВМ, обеспечивает построение описаний объектов и их пространственных отношений. В других случаях используются упрощенные датчики (например, матрицы фотоприемников), в которых изображение фиксируется в небольшом числе точек рабочей зоны, поскольку часто не требуется подробного анализа сцен и заранее известны массы встречающихся объектов. Таким образом, практически важной является задача определения массы объектов, их ориентации и координат среди неупорядоченного потока деталей, лежащих на конвейере, причем очень часто эта задача решается не в пространстве, а сводится к двумерной задаче анализа случайных изображений. Даже в этом случае обработка информации является сложной. Процесс восприятия робота имеет несколько этапов:

а) ввод в ЭВМ информации об изображении в виде матрицы яркости размера $N_x N_y$;

б) предварительная обработка этой информации (фильтрация, подчеркивание границ однородных участков, выделение контуров

силуэтных изображений, признаков и т. п.);

в) анализ изображений (выделение и классификация объектов, определение их координат и ориентации);

г) измерение заданных параметров объекта (осуществление программы траектории движения считывающего луча, фиксация результатов контроля, выявление качественного состояния объекта);

д) управление действиями робота (удаление бракованных объектов, рассортировка на группы качества, выработка управляющих воздействий на технологический процесс).

Алгоритм, приведенный на **рис. 48**, показывает функционирование системы технического зрения робота в режимах обучения и работы. В режимах обучения роботу поочередно предъявляется весь набор возможных объектов, ориентированных стандартным образом, и указывается класс, к которому относится каждый объект. В режиме работы полученные значения измерений сравниваются с образцовыми значениями, и делается вывод о качественной принадлежности объекта. Для движения в полностью или частично неизвестной среде адаптивный робот должен собрать о ней информацию, и после обработки этой информации решить ряд задач, например, по оценке проходимости, выявлению препятствий, проходов, отбору нужных объектов по их характеристикам и т. п.

4.3.3. Области применения измерительных роботов

Измерительные роботы в сочетании с ЭВМ позволяют ликвидировать нехватку в рабочей силе, сократить утомительные, в том числе ночные, операции, выполнять работы в труднодоступных и опасных для здоровья человека местах, ускорить освоение контроля новой продукции. Одной из распространенных областей использования роботов является отбор из группы неподвижных (**рис. 49, а**) или перемещающихся (**рис. 49, б**) деталей только определенного наименования для последующего их контроля на данной измерительной позиции.

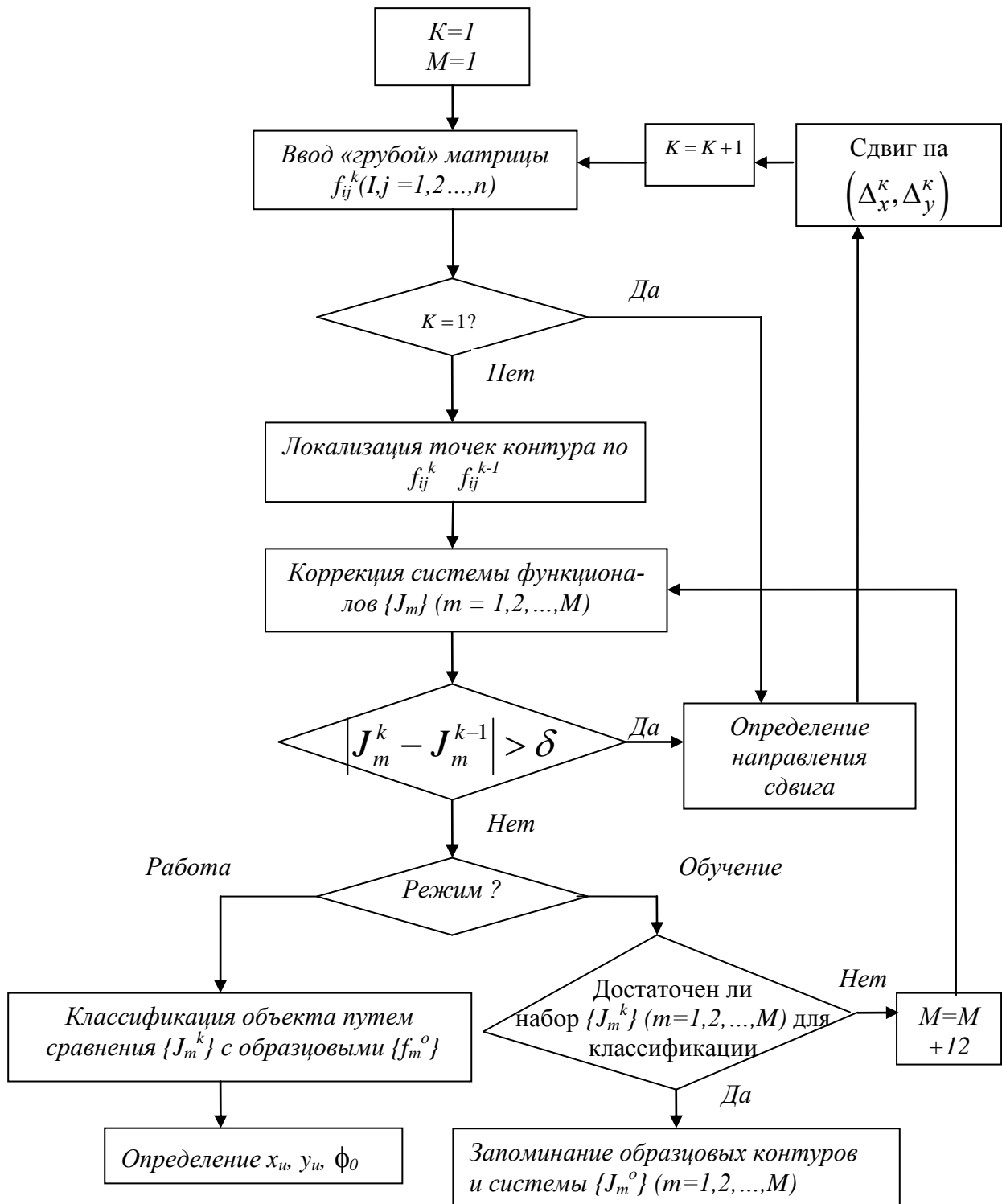


Рисунок 48. Алгоритм ввода и обработки изображений

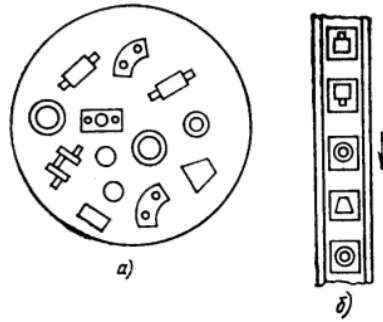


Рисунок 49. Виды расположений деталей: а) неподвижных; б) перемещающихся

Другой областью использования роботов является рассортировка. Так, на **рис. 50** показана схема робота-рассортировщика проконтролированных изделий при большом числе групп качества, определяемых различным сочетанием параметров годности и брака. Проконтролированные изделия подаются в зоны захвата руки 2 робота 3 транспортирующим диском 1 (**рис. 50, а**). ЭВМ запоминает результаты контроля всех параметров изделия и управляет движением робота, который сбрасывает изделие в нужный отсек приемника 4. В данном случае отпадает необходимость в установке многочисленных заслонок и приводов к ним направляющих изделия в соответствующий отсек.

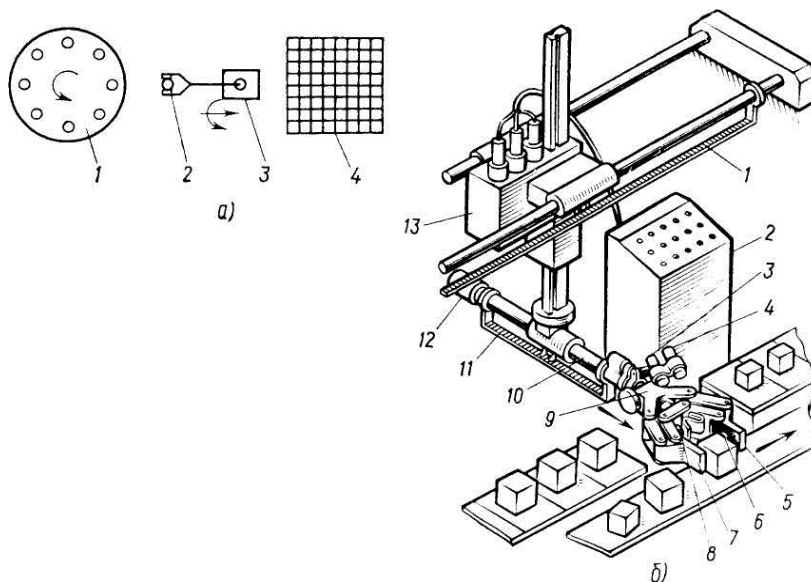


Рисунок 50. Робот-рассортировщик: а) схематическое изображение; б) общий вид

Как видно на конструктивной схеме (**рис. 50, б**), этот робот осуществляет захват детали без предварительного задания ее координат и затем производит доставку ее в заданную точку, осуществляя тем самым ее рассортировку. После запуска робота от пульта управления 2 приводится в действие привод 13 продольного перемещения манипулятора 10, который перемещается до тех пор, пока не сработает фотореле, состоящее из осветителя 4 и фоторезистора 3. Это фотореле по отражению света обнаруживает наличие детали между губками 5 и 7 захватного устройства манипулятора. По сигналу фотореле привод 13 отключается и включается привод 12 поперечного перемещения. Привод перемещает кисть захватного устройства до тех пор, пока деталь не окажется между губками 5 и 7 и не произойдет затемнения фотодиода фотореле 6. Затем включается привод 9 сжатия кисти и блок коммутации. Датчик 8 габаритных размеров захваченной детали через схемы сравнения вводит необходимые программы с координатами точек доставки детали. Для этой цели служат также датчик 1 продольного и датчик 11 поперечного положения манипулятора 10. Когда заданное положение кисти будет достигнуто, приводы отключаются, деталь освобождается, и цикл перемещения робота повторяется.

На **рис. 51** показана схема измерительно-транспортного робота 3, который снимает изделие 5 с транспортирующего устройства 4 и подает его на измерительную позицию 2. Затем подходит к изделию головка 1, несущая ряд преобразователей, осуществляющих по заданной программе контроль в заданных точках. Иная схема построения и иные задачи решает измерительный робот (**рис. 52**) со спутниками. Изделия 1 различной конфигурации располагаются на спутниках 2, которые перемещаются транспортирующим устройством 3.

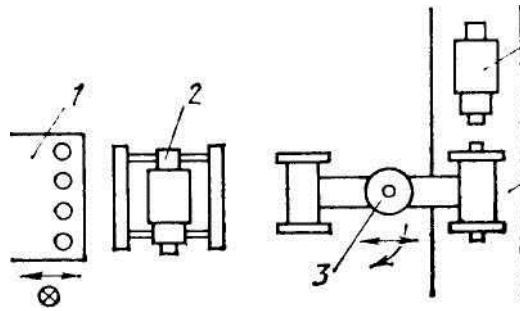


Рисунок 51. Схема измерительно-транспортного робота

При установлении спутника с изделием в заданное положение к нему подходит захватное устройство 4 и устанавливает его на исходную позицию 5. Затем автоматически подводятся головки 6, несущие измерительные преобразователи 7. В зависимости от типа контролируемого изделия микропроцессор 8 управляет привязкой преобразователя 7 к измерительной базе спутника, а затем осуществляет контроль изделия в заданных точках. Результаты контроля фиксируются с одной стороны в блоке записи 9, а с другой – в блоке индикации 10.

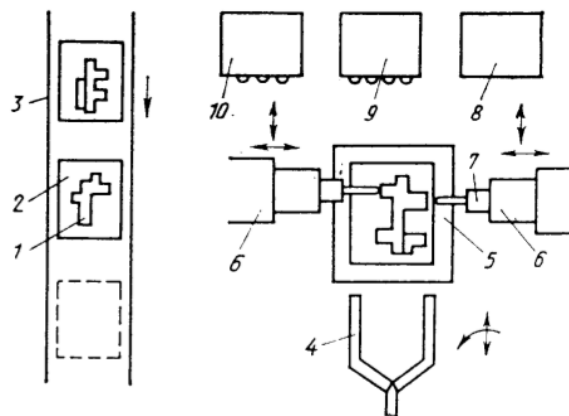


Рисунок 52. Схема измерительного робота со спутниками

Наиболее сложны робототехнические комплексы, которые не только выбирают из общего потока требуемые изделия, но и затем находят в строго фиксированных местах нужное измерительное средство, подносят его к изделию и осуществляют качественную и количественную оценку параметров изделия. С целью упрощения конструкции захватных устройств робота такие измерительные средства должны иметь типовые захватываемые элементы. С

общим развитием робототехники, специализированных ЭВМ и микропроцессоров область использования роботов в измерительной технике постоянно расширяется.

5. ИНСТРУМЕНТООБЕСПЕЧЕНИЕ В ГПС

5.1. Состав системы инструментообеспечения

Задачи системы инструментообеспечения. Система инструментообеспечения (СИО) предназначена для эффективного решения вопросов, связанных с работой режущих инструментов. В настоящее время в отечественной и зарубежной практике применяют системы, способные:

- заблаговременно осуществлять настройку инструментов вне станка;
- проверять состояние устанавливаемых на станок инструментов и подготавливать корректирующие команды для УП;
- оперативно и рационально перемещать инструменты;
- повышать надежность информации об ожидаемом периоде стойкости инструментов, что снижает вероятность отказов;
- рационально организовывать оперативную смену инструментов; а заранее давать команды на сборку, наладку и другую подготовку инструментов, что сокращает вынужденные простои;
- обеспечивать учет и хранение инструментов.

Правильное функционирование СИО имеет большое значение, поскольку ее стоимость может достигать 25 % общей стоимости ПС. Известны ГПС, содержащие до 50 тысяч только режущих инструментов.

Структура СИО. Возможны два уровня реализации СИО.

На *первом уровне* каждый станок (гибкий модуль) снабжен одним или несколькими магазинами режущих инструментов. В магазин устанавливается группа инструментов для обработки конкретной детали. Обычно используются магазины вместимостью до 60 инструментов при достаточно большой программе выпуска деталей. Фактически это гибкая поточная линия.

Более перспективно применение групповой технологии обработки деталей. В этом случае станки с магазином вместимостью

80–140 инструментов используются для обработки значительной номенклатуры деталей, требующих одноптипных операций. Общий запас режущих инструментов сокращается при одновременном повышении уровня гибкости технологической системы.

На *втором уровне* реализации СИО используется автоматизированный склад, связанный с инструментальными магазинами группы станков с помощью автоматических транспортных средств. Необходимо наличие отделения или участка подготовки инструментов, а также компьютера для управления инструментальным потоком, работающего во взаимосвязи с другими компьютерами. Этот же компьютер транслирует УП в устройства ЧПУ ОЦ и управляет функциями еще двух компьютеров. Первый из них используется для учета запросов на материалы, управления потоками материалов и оперативного планирования производством, второй управляет центральным автоматизированным складом и перемещениями транспортных средств.

Взаимосвязи элементов СИО показаны на **рис. 53**.

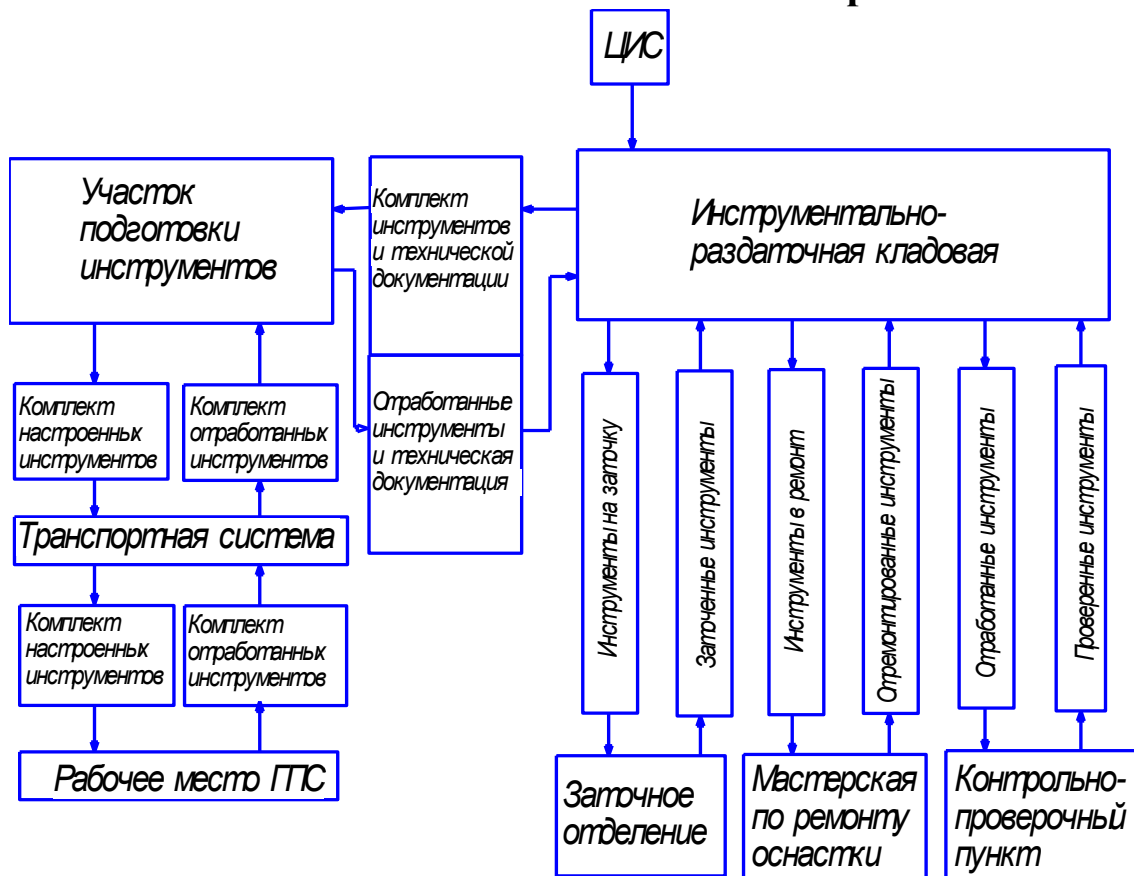


Рисунок 53. Взаимосвязи элементов СИО

Функции основных элементов СИО. *Центральный инструментальный склад (ЦИС* выполняет функции главного хранилища инструментов. Он является и первым звеном в системе обеспечения предприятия инструментами. В ЦИСе хранится только новый и пригодный для работы инструмент. Обычно запасы инструментов в ЦИСе составляют 25...50 % годового расхода. Для каждого завода устанавливаются нормы хранения запасов инструментов на ЦИСе.

Порядок пополнения запасов инструментов на ЦИСе осуществляется по системе минимум – максимум. Качество покупного инструмента подвергается проверке контрольно-проверочным пунктом (КПП) отдела технического контроля (ОТК) завода непосредственно на ЦИСе.

В соответствии с принятой классификацией инструмента ЦИС делится на секции, стеллажи, полки, ячейки. Ячейки обычно отводятся под отдельные типоразмеры инструмента.

Для обслуживания ГАП и ГПС инструментами находят применение автоматические склады:

- с клеточными стеллажами и автоматическим стеллажным краном-штабелером (складским роботом);
- автоматические элеваторные; а карусельные на основе подвесного и тележечного горизонтально замкнутых конвейеров;
- вертикально замкнутого цепного или роторного накопителей.

Из ЦИСа инструменты в соответствии с их технологическим назначением передаются в *инструментально-раздаточные кладовые (ИРК)*. Эти кладовые осуществляют:

- обеспечение ГПС режущими и вспомогательными инструментами;
- хранение минимальных запасов режущих и вспомогательных инструментов и технической документации;
- передачу затупленных режущих инструментов в отделение централизованной заточки;
- контроль режущих и вспомогательных инструментов (работниками центрально-измерительной лаборатории – ЦИЛ);
- учет и списание всех видов инструментов;
- передачу инструментов в ремонт.

Подготовка СИО к работе. При запуске новой партии деталей определяется количество инструментов, необходимых для ее обработки; на это количество выдается документация, в которой содержится следующая информация: дата подготовки комплекта инструментов, номер партии деталей, код комплекта инструментов, номер инструмента и их общее количество. При этом в зависимости от места нахождения подготовленного инструмента в алгоритме функционирования СИО предусматриваются соответствующие коды. Например: код 1 – инструмент находится в ИРК, код 2 – инструмент выдан на станок, код 3 – инструмент снят со станка и возвращен в ИРК. В компьютер с пульта ввода данных, установленного в ИРК, вводится сообщение. Оно содержит: код комплекта инструментов, код места нахождения комплекта (склад инструментов, магазин инструментов, расположение в накопителе и т.п.), номер станка, на который выдан или с которого снят комплект. Если в сообщении код места нахождения инструмента 1 (при принятом нами коде), то компьютер формирует массив с кодом подготовленного инструмента; при коде 2 в массив добавляется номер станка, на который будет выдан комплект; при коде 3 из массива памяти подготовленных комплектов удаляются код комплекта и номер станка.

Выходная информация о наличии и месте нахождения подготовленного инструмента выводится на табло или дисплей по запросу оператора.

Потребность и номенклатура инструментов для обслуживания ГПС определяются на основании типовых технологических процессов механической обработки деталей.

Запас вспомогательных инструментов принимают из расчета двух комплектов в зоне обслуживания и двух комплектов настроенных инструментов на каждый станок.

5.2. Инструментальная оснастка

Конструкцию инструментальной оснастки станков с ЧПУ определяют присоединительные поверхности для крепления на станке, промежуточные присоединительные поверхности и поверхности для крепления режущего инструмента. Выбор рациональных присоединительных поверхностей и степень их унификации оказывают влияние на построение системы инструментальной оснастки.

Создание систематизированной инструментальной оснастки обусловлено использованием устройств для автоматической смены инструмента. Конструкции устройств, осуществляющих смену инструментов и их крепление на станках, определяют форму хвостовика инструмента, который для данного станка должны иметь все без исключения режущие инструменты. Необходимость обеспечения размеров инструментов (в соответствии с программой обработки) обуславливает введение в конструкции вспомогательных инструментов устройств, позволяющих регулировать положение режущих кромок.

Неотъемлемой частью станка с ЧПУ является комплект вспомогательных инструментов, состоящий из резцедержателей, патронов, оправок и втулок различных конструкций, предназначенных для крепления режущих инструментов. Такой комплект вместе с прибором предварительной настройки должен обеспечивать быструю наладку и подналадку инструментов при работе в условиях ГПС.

В настоящее время разработаны системы инструментальной оснастки для станков с ЧПУ, представляющие собой наборы унифицированных вспомогательных и специальных режущих инструментов (резцедержателей, оправок, втулок, зажимных патронов и т. п.). Это обеспечивает качественное крепление всего стандартного режущего инструмента, необходимое для полной реализации технологических возможностей станков с ЧПУ.

К системе инструментальной оснастки предъявляются следующие требования:

- номенклатура вспомогательного и специального режущего инструмента, входящего в систему, должна быть сведена к минимуму;
- элементы системы должны обеспечивать крепление режущего инструмента с требуемой точностью, жесткостью и виброустойчивостью (с учетом интенсивных режимов работы);
- элементы, входящие в систему, должны обеспечивать в необходимых случаях регулирование положения режущих кромок инструмента относительно координат технологической системы;
- элементы системы инструментальной оснастки должны быть удобными в обслуживании и технологичными в изготовлении.

Системы инструментальной оснастки предназначены для компоновки специальных функциональных единиц – **инструментальных блоков** (комбинаций режущих и вспомогательных инструментов), каждый из которых служит для выполнения конкретного технологического перехода. Поэтому важно наименьшим количеством вспомогательных инструментов крепить наибольшее количество режущих инструментов. Осуществляется эта задача унификацией всех конструкций, входящих в систему инструментальной оснастки станков с ЧПУ.

На основании анализа затрат, связанных с эксплуатацией режущих инструментов, установлены два пути повышения экономичности их использования: сокращение потерь времени на смену инструментов, вызванных их износом, и повышение периодов стойкости инструментов, а значит – снижение затрат на их эксплуатацию. Для этого инструментальная оснастка должна обеспечивать:

- сокращение потерь времени на установку и смену инструментов за счет упрощения элементов крепления и создания быстросменных инструментов, а также механизмов автоматической смены инструментов во время вспомогательного хода станка;
- сокращение потерь времени на наладку инструментов на станке, что достигается созданием инструментов, настраиваемых на размер вне станка, чтобы вновь установленные инструменты обеспечивали получение размеров детали в требуемых пределах;
- повышение периодов стойкости, в том числе размерной. Размерная стойкость инструментов может быть повышена путем применения их автоматической подналадки, адаптивного управления процессом резания и т. д., а общая стойкость – применением инструментов с износостойкими покрытиями, подвижными режущими кромками, обильным подводом СОЖ в зону резания;
- снижение простоев оборудования, связанных с внеплановым выходом инструментов из строя, которое достигается повышением надежности инструментов, созданием информационных систем диагностики состояния режущих инструментов, надежным дроблением стружки.

Способы присоединения инструментального блока.

В станках сверлильно-фрезерно-расточной группы наиболее широко используется соединение конических поверхностей с конусностью 7:24 (**рис. 54**). Такой конус не является самотормозящимся и позволяет легко извлекать оправку из шпинделя. Крутящий момент со шпинделя передается с помощью торцовых шпонок. Оправка удерживается в шпинделе с помощью тяги и тарельчатых пружин или затягивается винтом. Движение передается тяге или винту от гидроцилиндра или электродвигателя.

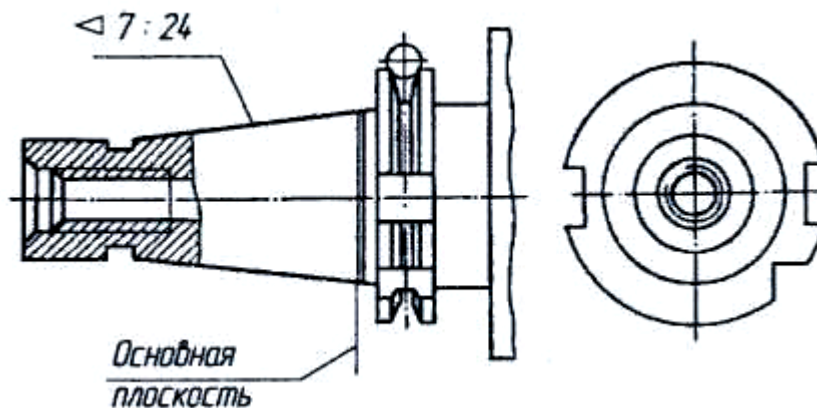


Рисунок 54. Хвостовик шпиндельных оправок станков сверлильно-фрезерно-расточной группы

В станках токарной группы широко используется присоединение инструмента к револьверной головке или резцедержателю с помощью цилиндрического хвостовика. Пример конструкции такой державки приведен на **рис. 55**.

Режущие инструменты могут устанавливаться непосредственно в резцедержатель станка токарной группы либо через промежуточный вспомогательный инструмент (переходные оправки и втулки).

В связи с возрастанием скоростей резания и усложнением конструкции режущих и вспомогательных инструментов важную роль играют возникающие при работе станка колебания. Они резко снижают стойкость режущих инструментов, отрицательно действуют на шпиндельные опоры станка, ухудшают качество обработанной поверхности. Поэтому борьба с вибрациями в условиях работы ГПМ приобретает большое значение.

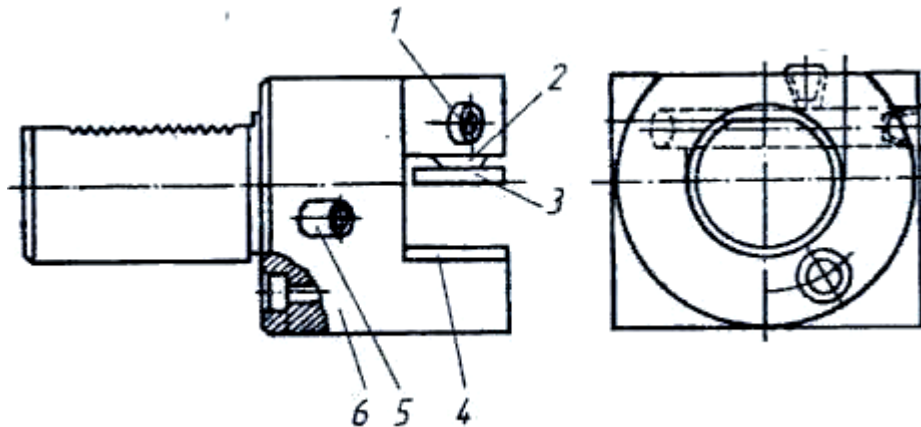


Рисунок 55. Резцедержатель с цилиндрическим хвостовиком к станкам токарной группы

Имеется много пассивных и активных методов, позволяющих снизить статические деформации и (или) повысить виброустойчивость консольных инструментальных оправок, особенно большой длины. Этого можно добиться снижением уровня сил резания, использованием оправок с высокой демпфирующей способностью, периодическим изменением режимов резания путем изменения частоты вращения инструмента или обрабатываемой детали, шага зубьев многолезвийных инструментов и т. д., применением систем адаптивного управления.

В современных станках даже относительно крупные шпиндели, с диаметрами шеек подшипников 100...120 мм и конусом 50, работают с частотами 20...30 тыс. об/мин. Такие высокие частоты предъявляют жесткие требования к инструментальной оснастке, в том числе по степени ее динамической балансировки, так как центробежные силы могут достигать очень высоких значений. Например, для инструмента, имеющего массу 10 кг и эксцентриситет только 1 мкм, дисбаланс достигает 108 Нм, а центробежная сила при частоте вращения 30 тыс. об/мин равна 100 Н. Такая сила может существенно воздействовать на динамическое состояние станка, особенно если частоты резания близки к частотам собственных колебаний. В системе инструментальный блок-шпиндель именно первый отвечает за появление дисбаланса, поскольку шпиндель точно сбалансирован на станкостроительном заводе. Дисбаланс в инструментальном блоке возникает вследствие целого ряда причин, в частности из-за наличия торцовых и продольных шпонок, пазов

для захватов манипулятора и ориентации оправки в магазине, головок винтов, единичных лезвий режущих инструментов, например расточных резцов и др.

Точность балансировки для многоцелевых станков, работающих в традиционном диапазоне скоростей, должна быть не ниже класса G2.5 по стандарту ISO 1940/1:1986; для высокоскоростных станков – в пределах классов G1–G0.4. Номер в обозначении класса представляет допустимый дисбаланс (в миллиметрах) на 1 кг массы, вращающейся с частотой 10 тыс. об/мин.

Согласно данным фирмы «Kennametal-Hertel», использование шпиндельных оправок с комплектом балансировочных колец обеспечивает устойчивую работу при частотах вращения до 40 тыс. об/мин, тогда как для обычных оправок частоты не превышают 8 тыс. об/мин.

5.3. Настройка инструмента на размер

Для настройки инструмента на размер **на станке** наряду с жесткими применяются регулируемые оправки (**рис. 56**). Они устанавливаются в переходную державку (с конусностью 7:24), в корпусе 1 которой имеется внутреннее цилиндрическое отверстие диаметром 36 или 48 мм со шпоночным пазом. Хвостовик 3 регулируемой оправки или втулки устанавливается в отверстие. Регулирование вылета инструмента осуществляется вращением регулировочной гайки 5 по наружной трапецеидальной резьбе хвостовика 3. Это обеспечивает осевое перемещение инструмента, который не вращается из-за шпонки 2, передающей крутящий момент. После настройки на размер гайка фиксируется на хвостовике с помощью стопорного винта 6 и медной прокладки 7, а сам хвостовик в корпусе – винтами 4. Для предотвращения вытягивания инструмента из корпуса на поверхности хвостовика сделан косой срез под углом 2°.

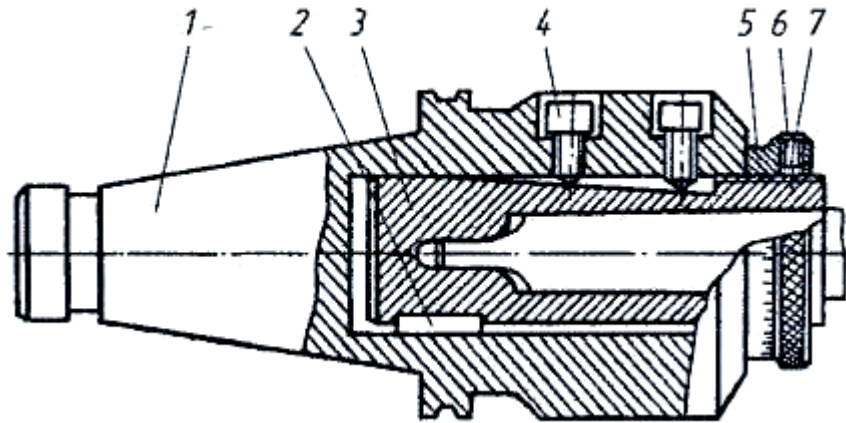


Рисунок 56. Схема закрепления регулируемой оправки

Для расширения технологических возможностей многооперационных станков, с целью сокращения их простоев применяются специальные конструкции вспомогательного инструмента.

Используются головки для прецизионного растачивания с автоматической компенсацией износа резца, головки со встроенными планетарными механизмами, позволяющие увеличивать частоту вращения мелких сверл и фрез в несколько раз по сравнению с частотой вращения шпинделя.

Настройка инструментов на размер **вне станка** рациональна в условиях применения быстросменного и взаимозаменяемого однотипного инструмента. Точность настройки зависит от конструкции применяемых приспособлений, способа базирования инструмента в приспособлении, способа поджима инструмента к базовым поверхностям приспособления, погрешности перебазирования при переустановке инструмента, формы поверхности, контактирующей с режущими кромками (вершинами) инструмента при настройке, формы обработанной поверхности, средств контроля, места настройки, квалификации наладчика.

К приспособлениям для настройки режущего инструмента предъявляются следующие требования:

1) базовые поверхности для крепления инструмента в приспособлениях должны быть одинаковыми с базовыми поверхностями на станке;

2) форма поверхности, контактирующей с режущими кромками инструмента при настройке, по возможности должна соответ-

ствовать форме поверхности детали, обработанной данным инструментом;

3) усилие, действующее на режущие кромки инструмента, не должно быть более $2H$, так как в противном случае возможно выкрашивание кромок. Следует избегать непосредственного контакта измерительного наконечника индикатора часового типа с режущими кромками;

4) приспособления для настройки инструмента должны обеспечивать требуемую точность настройки, быть простыми и удобными в эксплуатации.

Для размерной настройки инструмента вне станка используются специальные приборы. Резцовый блок (державка) закрепляется на подставке, перекрестие проектора устанавливается на требуемые координаты вершины инструмента в поперечном и продольном направлениях. Режущий инструмент закрепляют в державке и с помощью регулировочных элементов смещают его вершину так, чтобы ее проекция попала в перекрестие, а проекции режущих кромок совпали с соответствующими линиями перекрестия экрана (**рис. 57**). Приборы имеют пульт с устройством цифровой индикации, с помощью которого ведется отсчет по двум координатам.

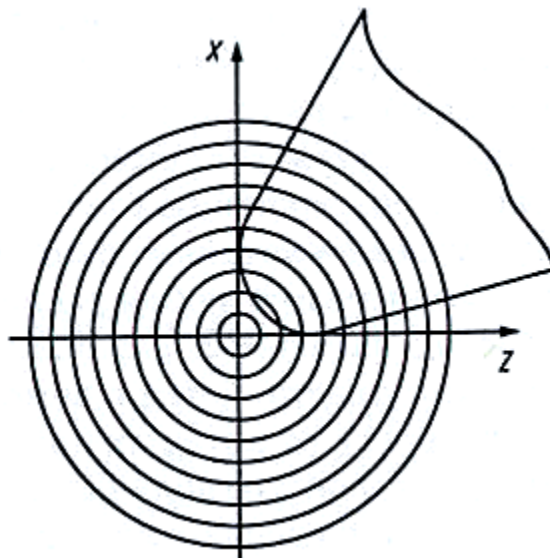


Рисунок 57. Изображение вершины инструмента на экране проектора при настройке инструмента на размер

Более совершенны устройства на микропроцессорах. В таких приборах после установки инструмента в базирующем устройстве

положение его режущей части фиксируется с помощью оптических сканирующих щупов. Микропроцессор по специальной программе определяет координаты вершины и вносит их в магнитную метку на корпусе инструмента. После установки в инструментальном магазине станка эти сведения считываются для соответствующей коррекции программы обработки.

5.4. Транспортирование инструмента

В условиях ГАП используются различные транспортные системы для автоматической подачи нового инструмента и удаления изношенного или поломанного, обеспечивающие возможность работы по безлюдной технологии. Станки могут оснащаться дополнительными (буферными) накопителями, инструменты из которых автоматически заменяются в магазинах станков. Дополнительные магазины с автооператорами могут быть установлены непосредственно на станке либо в виде отдельных агрегатов, установленных около станка и обслуживающих один станок.

Так, на **рис. 58** показан пример СИО, состоящей из централизованного склада-накопителя инструмента, расположенного сзади обрабатывающих станков. Склад выполнен в виде подвесного конвейера, один конец которого доходит до участка подготовки инструмента. Здесь осуществляется обмен нового и изношенного инструмента. Станки имеют собственные локальные магазины инструмента, емкости которых как минимум должно хватать на обработку детали одного наименования. При необходимости обмен инструментами между центральным накопителем и локальными магазинами осуществляется специальными автооператорами.

На **рис. 59** представлена подсистема СИО, входящая в состав АТСС. Магазины с настроенным инструментом подаются специальной тележкой 9 (по принципу: один магазин – одна деталь). Интересная СИО, показанная на **рис. 58, 59** используется на станках фирмы HULLER HILLE (Германия). Налаженные инструменты закрепляются в специальные кассеты, которые могут подаваться к станку на тележке, управляемой человеком или автоматически. На станке (см. **рис. 58**) устанавливается несколько кассет 1, с помощью транспортного устройства и автооператора 2 (см. также

рис. 59) инструмент подается в дополнительный магазин 4, откуда непосредственно в шпиндель станка.

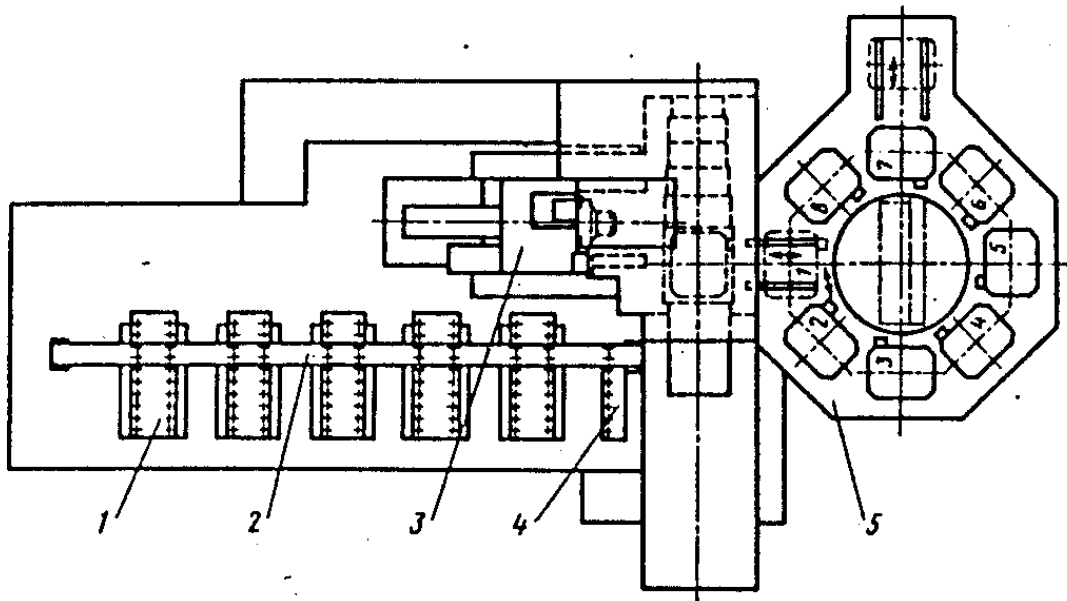


Рисунок 58. Многоцелевой станок с кассетным инструментальным магазином

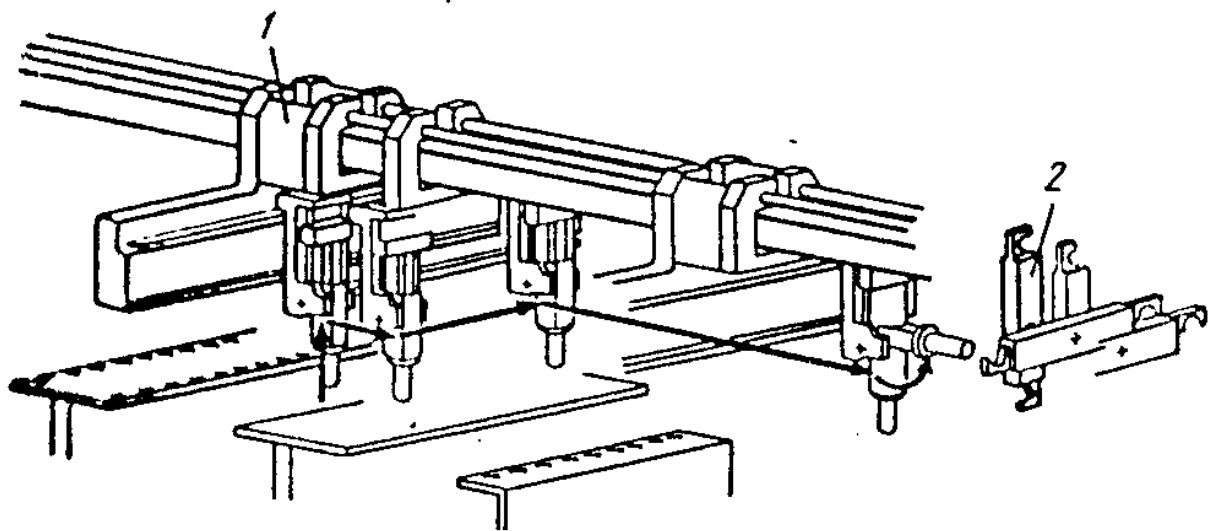


Рисунок 59. Транспортное приспособление и автооператор смены инструмента

5.5. Расчет отделения подготовки инструмента

Рациональное функционирование и эффективное использование АПС определяется в значительной степени выбором режущего, вспомогательного инструмента и приспособлений, их доставкой к

технологическому оборудованию, хранением в АТСС и в инструментальных магазинах станков, что выполняется подсистемой инструментального обеспечения.

Размерная настройка инструмента для станков с ЧПУ является неотъемлемой частью ТПП.

Отделение состоит из двух зон:

«А» – комплектования инструмента;

«Б» – размерной настройки.

В зоне «А» хранится минимальный запас режущего, инструментального, вспомогательного инструментов и техническая документация. Осуществляется комплектация инструмента и передача в зону «Б». В зоне «Б» выполняется сборка и настройка инструмента.

Для настройки инструмента используют приборы типа БВ-2026 – для станков токарной группы и БВ-2027 – для многооперационных станков.

Расчет количества приборов производят по формуле

$$H_n = \frac{260 \cdot 2T_n}{60 \cdot \Phi_{об}}, \quad (1)$$

где T_n – трудоемкость настройки сменного инструмента, мин;
 $\Phi_{об}$ – эффективный месячный фонд времени прибора, ч.

При укрупненном расчете потребного количества приборов используют зависимости:

прибор типа БВ-2026 $H_n = 0,07 \cdot S_{ток}$;

прибор типа БВ-2027 $H_n = 0,05 \cdot S_{оц}$ (≤ 20 инструментов);

прибор типа БВ-2027 $H_n = 0,1 \cdot S_{оц}$ (до 50 инструментов);

прибор типа БВ-2027 $H_n = 0,2 \cdot S_{оц}$ (> 50 инструментов),

где $S_{ток}$, $S_{оц}$ – количество обслуживаемого оборудования, токарного и многооперационного.

Число слесарей-настройщиков по настройке:

$$P_n = \frac{\Phi_o H_n}{\Phi_p} K_3, \quad (2)$$

где Φ_o – эффективный годовой фонд времени работы прибора, ч;
 Φ_p – эффективный годовой фонд времени работы слесаря, ч.

Число слесарей по разборке:

$$P_p = 0,4P_n. \quad (3)$$

Число слесарей по комплектовке:

$$P_{\text{к}} = 0,5P_{\text{н}}. \quad (4)$$

Площадь отделения определяют по формуле

$$F = S_{\text{ст}}(A_1 + A_2) + P_{\text{к}}A_3(P_{\text{н}} + P_{\text{р}})A_3, \quad (5)$$

где A_3 – удельная площадь рабочего места (на одного рабочего) для настройки-разборки, $A_3 = 6 \dots 7 \text{ м}^2$; A_3 – удельная площадь (на один станок) для хранения минимального комплекта, $A_2 = 0,3 \dots 0,2 \text{ м}^2$; A_1 – удельная площадь (на один станок) для хранения технической документации, $A_1 = 0,7 \dots 2,2 \text{ м}^2$.

6. ОБСЛУЖИВАЮЩИЕ ПОДСИСТЕМЫ ГПС

6.1. Система удаления отходов

Одним из факторов надежной работы станков АПС является своевременный автоматический отвод стружки из рабочей зоны обработки.

Особенность организации уборки стружки в АПС заключается в необходимости одновременной работы с различными обрабатываемыми материалами и составами СОЖ. Многообразие сортов СОЖ и материалов стружки обуславливает необходимость применения различных емкостей.

Работа транспорта и слежение за состоянием наполняемости емкостей требуют использования управляющей техники.

Кроме того, управлению подлежат и механизмы, и средства обслуживания (машины, приспособления, устройства для удаления стружки и пыли).

Стружку из рабочей зоны станков удаляют смывом (подачей эмульсии), сжатым воздухом или путем движения конвейеров с подвижными элементами. При обработке деталей из чугуна (без охлаждения) стружка и графитовая пыль отсасываются с помощью гидроциклонов.

При обработке отверстий стружку из них выдувают сжатым воздухом или вытряхивают специальными поворотными устройствами.

При обработке деталей из стали сливную стружку дробят. Это значительно облегчает ее транспортировку и очистку от нее поса-

дочных и базовых поверхностей обрабатываемых деталей, которые обычно смывают СОЖ.

В АПС для удаления стружки, как правило, применяют конвейеры, которые проходят либо сзади станков, либо монтируют в канале, расположенном под станками.

Для удаления стружки получили распространение конвейеры, приведенные в табл. 5.

Таблица 5

Конструктивные разновидности конвейеров для стружки

Материал стружки	Линейные конвейеры	Магистральные конвейеры
1. Сталь	Винтовые (шнековые) 400–500 мм Ершово-штанговые 400–500 мм Скребокковые 400–500 мм	Пластинчатые 800 мм
2. Чугун	Пневматический отсос Скребокковые 181–500 мм	Ленточные 800 мм Скребокковые 800 мм
3. Цветные металлы	Лотковые со смывом 250–450 мм Ленточные 250–450 мм	Пластинчатые 600 мм

При выборе способов удаления и переработки стружки определяют ее количество как разность массы заготовок и деталей.

При укрупненных расчетах массу стружки можно принимать равной 10–15 % массы готовых деталей.

При количестве стружки до 0,3 т в год, приходящейся на 1 м² площади цеха, целесообразно собирать стружку в специальные емкости и доставлять к месту сбора или переработки напольным автоматизированным транспортом.

При количестве стружки 0,3–0,65 т в год на 1 м² площади участка предусматривают линейные конвейеры вдоль станочных линий со специальной тарой в конце конвейера в углублении на подъемнике. Заполненная стружкой тара вывозится на участок переработки напольным транспортом.

Если на 1 м² площади участка приходится 0,65–1,2 т стружки, рекомендуется создавать систему линейных и магистральных кон-

вейеров, которые транспортируют стружку на участок сбора и переработки стружки.

В процессе переработки витая стружка подвергается дроблению, затем стружку всех видов с остатками масел и СОЖ подвергают обезжириванию. Для этого на центрифугах отделяют СОЖ, а затем промывают стружку горячей водой или щелочными растворами в специальных моечных машинах или подвергают обжигу, где органические примеси испаряются и выгорают.

Лучшим способом переработки стружки (для вторичной переработки) является брикетирование. Для этого используют специальные горизонтальные брикеты-прессы, на которых стружку пресуют в брикеты цилиндрической формы диаметром 140–180 мм, высотой 40–100 мм и массой 5–8 кг.

6.2. Проектирование системы подачи охлаждающей жидкости (СОЖ)

В современных автоматизированных системах металлообработки применение СОЖ приобретает важное значение.

В условиях работы ГПС выбор СОЖ, контроль за ее состоянием, дозирование подачи в зону резания должны производиться в автоматическом режиме и изменяться в зависимости от обрабатываемой детали, выполняемого перехода, применяемого инструмента и т. п.

Возникает необходимость в выборе оптимальных составов СОЖ, обеспечивающих эффективное резание на различных операциях, а также оперативном контроле и коррекции эксплуатационных свойств СОЖ, влияющих на надежность работы оборудования.

Среди систем подачи СОЖ различают индивидуальные, групповые и централизованные.

Преимуществом индивидуальных систем является возможность быстрого переключения на новый состав СОЖ. Системы группового и централизованного обслуживания СОЖ позволяют осуществить полную автоматизацию, уменьшают затраты на приготовление, очистку и регенерацию СОЖ.

Сложностью использования централизованных систем подачи жидкости является слабая мобильность при переходе на другой тип СОЖ. Поэтому использование в ГАП нескольких видов СОЖ, не-

обходимых для обеспечения ТП, во многом предопределяет компоновку и структуру комплекса.

В большинстве случаев система подачи охлажденной жидкости в зону резания кроме своих основных функций выполняет и дополнительные по очистке станков от стружки и промывке деталей.

Применяя СОЖ в условиях ГАП, необходимо выбрать оптимальный вид СОЖ, удовлетворяющий всем операциям механической обработки.

При назначении СОЖ нескольких марок возникают проблемы их совместимости, приготовления и регенерации. Поэтому используемая в ГАП СОЖ должна обладать определенной гибкостью, то есть универсальностью и совместимостью с СОЖ других марок. Надежность и долговечность работы СОЖ зависит от бактерицидных и антикоррозионных свойств, эмульсионной, термической и микробиологической стабильности.

Для повышения надежности проектирования ГПС должна быть снабжена автоматизированной системой контроля состояния СОЖ (АИС СОЖ). Годовой расход определяется исходя из количества оборудования и нормы расхода на единицу оборудования. Норма расхода СОЖ принимается по практическим данным и в среднем составляет 5–10 литров в 2 смены на один станок. Площадь отделения для приготовления СОЖ составляет 40–120 м² при числе станков соответственно 50–400 ед.

Учитывая пожарную опасность, отделения для приготовления СОЖ располагают у наружной стены здания с отдельным выходом наружу.

В отделении предусматривают подвод воды, пара для подогрева и стерилизации, а также сжатого воздуха для перемешивания растворов.

6.3. Подсистема обеспечения безопасной работы

Подсистема обеспечения безопасной работы персонала предназначена для создания безопасной эксплуатации и обслуживания оборудования, профилактики и ликвидации пожаров, а также ограничения их последствий. В автоматизированном производстве роль этой подсистемы возрастает, так как возрастает насыщенность производства автоматическими средствами, представляющими особую

опасность для работающих. Большое значение приобретает защита от воздействия механических устройств. На планировке автоматизированных участков необходимо предусматривать защитные ограждения у основного и вспомогательного оборудования и пульта аварийного отключения его.

Рекомендуемая высота ограждения 1,3 м от уровня пола при условии, что расстояние от исполнительных устройств автоматизированного комплекса до ограждения составляет не менее 0,8 м. Ограждения рекомендуется выполнять из труб, обшитых металлической сеткой с ячейками 60 × 60 мм. Ограждения следует окрашивать в соответствии с требованиями ГОСТ 12.4.026–76 в виде чередующихся наклоненных под углом 45–60 ° полос шириной 130–200 мм желтого и черного цвета при соотношении ширины полос 1:1.

При использовании подвешенного транспорта под проходами, проездами и рабочими местами в целях предупреждения несчастных случаев необходимо предусматривать под зоной движения защитные сетки или другие устройства, предупреждающие падение перемещаемых изделий.

Скорость перемещения исполнительных устройств промышленных роботов во время программирования и обучения не должна превышать 0,3 м/с. Запрещается присоединять и отсоединять захватные устройства без предварительного отключения последних от источника питания.

Все захватные устройства для манипулирования должны быть снабжены устройствами блокирования от выпадения изделия при прекращении подачи электро- и гидроэнергии. Захватные устройства, робокары часто оснащают защитными скобами, срабатывающими при контакте захвата с препятствием на пути его перемещения.

Ограждение рабочей зоны автоматизированного участка может быть выполнено с применением устройств, использующих различные контактные, силовые, ультразвуковые, индукционные, светолокационные и другие датчики. К числу таких устройств относятся трапики, переходные мостики, буфера и т. п.

Светолокационные датчики (например, датчики, работающие на просвет) определяют месторасположение человека в рабочей зоне автоматизированного участка. На **рис. 60** приведены ти-

повые схемы планировки рабочих позиций и размещения на них светолокационных стоек.

Защитное устройство работает следующим образом. Пересечение светового луча человеком при его входе в зону рабочего пространства приводит к включению лампочек-светофоров стоек, ограничивающих эту зону. Если промышленный робот находится в этой зоне либо входит в нее, формируется команда на аварийное торможение и выключение движения робота.

Вместе с тем для увеличения безопасности обслуживающего персонала предусматривают дополнительные устройства, например выдвижные упоры, располагаемые в местах, ограничивающих рабочую зону автоматических транспортных средств. Эти упоры выдвигаются как по команде от оператора, так и по сигналу светозащиты при появлении в данной зоне человека и препятствуют перемещению робота в эту зону.

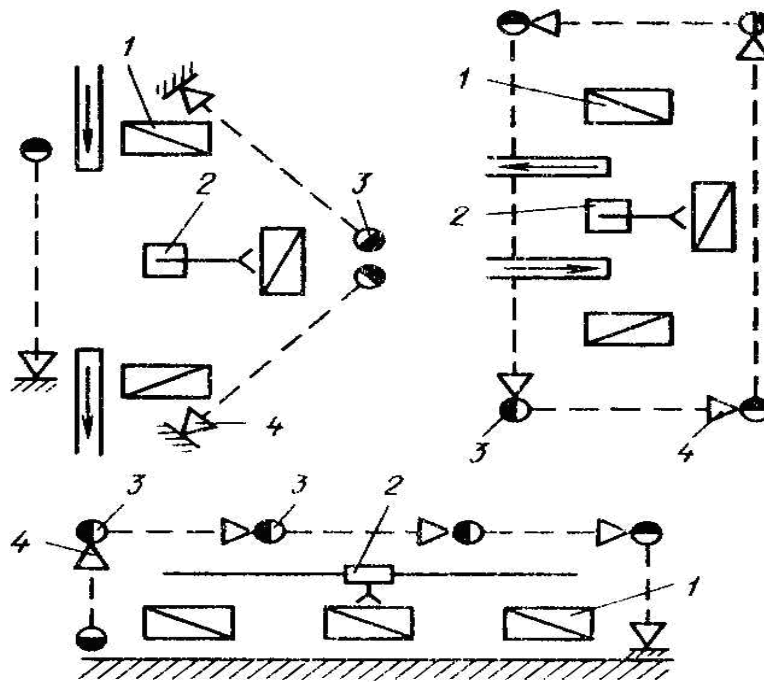


Рисунок 60. Типовые схемы планировок роботизированных комплексов и размещение на них светолокационных стоек: 1 – технологическое оборудование; 2 – промышленный робот; 3 – излучатель; 4 – приемник

Защита от стружки и СОЖ может быть индивидуальной (защитные костюмы, очки, специальная обувь и т. п.) и может осуществляться

ся с помощью оградительных средств, которые могут быть стационарными, подвижными и переносными.

Должны быть приняты меры, обеспечивающие защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Пожарная безопасность может быть обеспечена мерами пожарной профилактики и активной пожарной защиты. Пожарная профилактика включает комплекс мероприятий, необходимых для предупреждения возникновения пожара или уменьшения его воздействия. Активная пожарная защита обеспечивает успешную борьбу с возникающими пожарами. При проектировании механосборочного производства для активной пожарной защиты предусматривают систему пожарных водопроводов, стационарные пожарные установки автоматические и ручные с дистанционным пуском, огнетушители и противопожарные щиты с ящиками для песка.

7. ПЛАНИРОВКА УЧАСТКА

К планировке предъявляются следующие основные требования:

1. Планировки ГПС выполняются в масштабе 1:50, 1:100, 1:200 на основе строительного чертежа промышленного здания, сохраняя принятые в нем разбивку и маркировку осей колонн, стен и других строительных конструкций.

2. На планировке изображают и указывают: сечение колонн с фундаментом, наружные и внутренние стены, ворота и двери, магистральные проезды, основное, вспомогательное и транспортное оборудование, рабочие места работающих, ширину пролетов, шаг колонн; а также установленные минимальные расстояния между станками и элементами зданий, что дает возможность рационально использовать площадь и улучшить технико-экономические показатели.

3. Выполнить нумерацию оборудования с ее расшифровкой в спецификации, указать название всех производственных участков и отделений.

4. Ввиду большого количества строительных элементов и устройств, изображенных на планах, целесообразно пользоваться принятыми условными обозначениями ([см. табл. 7](#)).

5. При расстановке станков необходимо руководствоваться нормативными размерами, (разрывов между станками, расстояний от стен и колонн) (**рис. 61, б**).

6. На планировке должна быть решена подсистема удаления стружки. Критерием оценки выбранного варианта являются минимальные приведенные затраты.

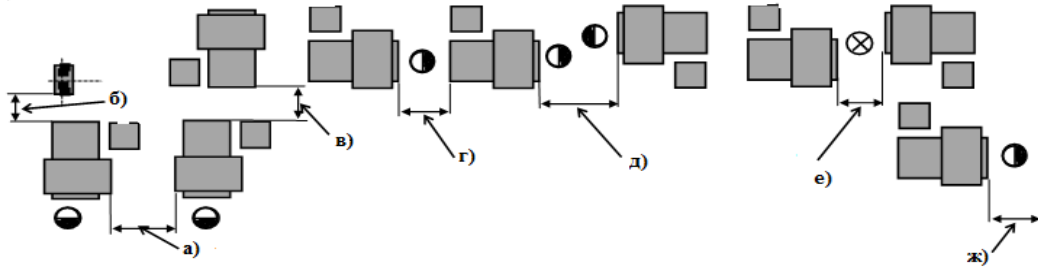


Рисунок 61. Размеры к таблице 6

Таблица 6

Нормативы расположения оборудования

Габаритные размеры, м	а	б	в	г	д	е	ж
до 1,8×0,6	700	700	700	1300	2000	1300	1300
до 4,0×2,0	900	800	800	1500	2500	1500	1500
свыше 4,0×2,0	1200	900	1000	1800	2800	–	1800

Проезды: магистральные – 4,5–5,5 м; цеховые – $A = B + 1400$ для одностороннего; $A = 2B + 1600$ – для двухстороннего движения (B – ширина транспортного средства); пешеходные проходы – 1400 мм.

7.1. Одноэтажные здания

Производственные одноэтажные здания в большинстве случаев состоят из нескольких параллельных однотипных пролетов, образуемых рядами колонн – металлических или железобетонных.

Каждый пролет цеха характеризуется основными размерами: шириной пролета L и шагом колонн t или, иначе, сеткой колонн $L \times t$.

Шириной пролета здания L называется расстояние между осями подкрановых стоек или колонн. Ширина пролетов здания обычно принимается кратной 3 ($L = 18, 24, 30, 36$) (**рис. 62**).

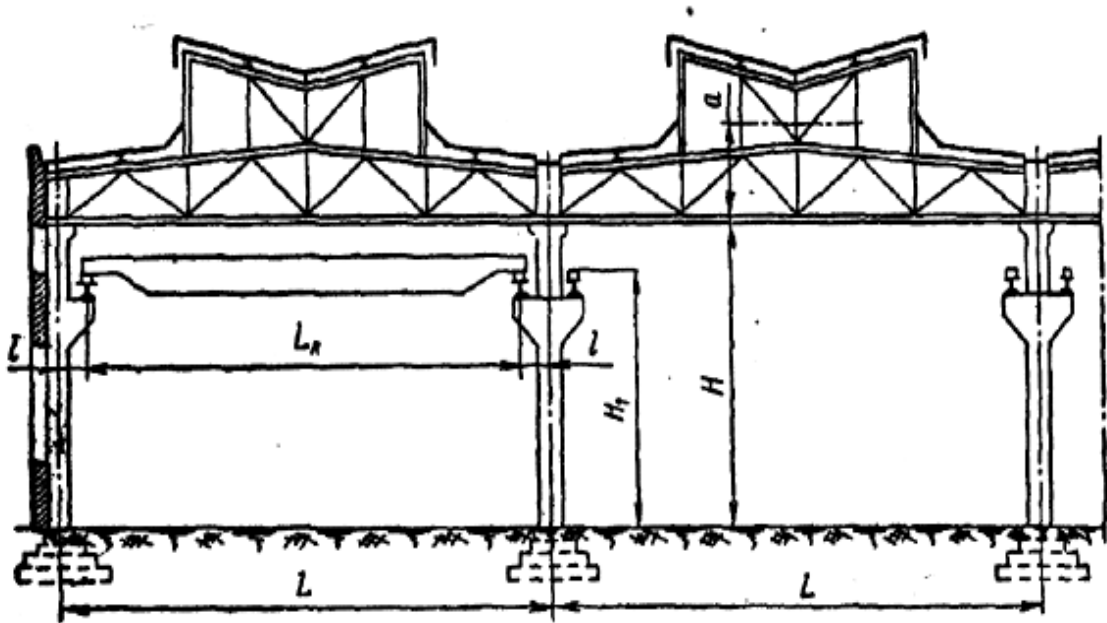


Рисунок 62. Схема пролетов

Шагом колонн называется расстояние между осями двух колонн в направлении продольной оси пролета ($t = 6$ или 12 м). Высота пролета цеха определяется исходя из размеров изготавливаемых изделий, габаритных размеров оборудования (по высоте), размеров и конструкций мостовых кранов.

Общая высота здания H (рис. 63) от пола до нижней выступающей части верхнего перекрытия или до нижней точки стропильной затяжки складывается из расстояния H от пола до головки подкранового рельса и расстояния h от головки рельса до нижней выступающей части верхнего перекрытия или до нижней точки стропильной затяжки:

$$H = H_1 + h. \quad (6)$$

Величина H_1 складывается из следующих величин:

$$H_1 = k + z + e + f + c, \quad (7)$$

где k – высота наиболее высокого станка, но не менее 2–3 м; z – промежуток между транспортируемым изделием, поднятым в крайнее верхнее положение, и верхней точкой наиболее высокого станка. Этот промежуток принимается равным 0,5–1,0 м; e – высота

наибольшего по размеру изделия в положении транспортирования, м; f – расстояние от верхней кромки наибольшего транспортируемого изделия до центра крюка крана в верхнем его положении, принимается не менее 1 м; c – расстояние от предельного верхнего положения крюка до горизонтальной линии, проходящей через вершину головки рельса, принимается равным от 0,5–1,0 м.

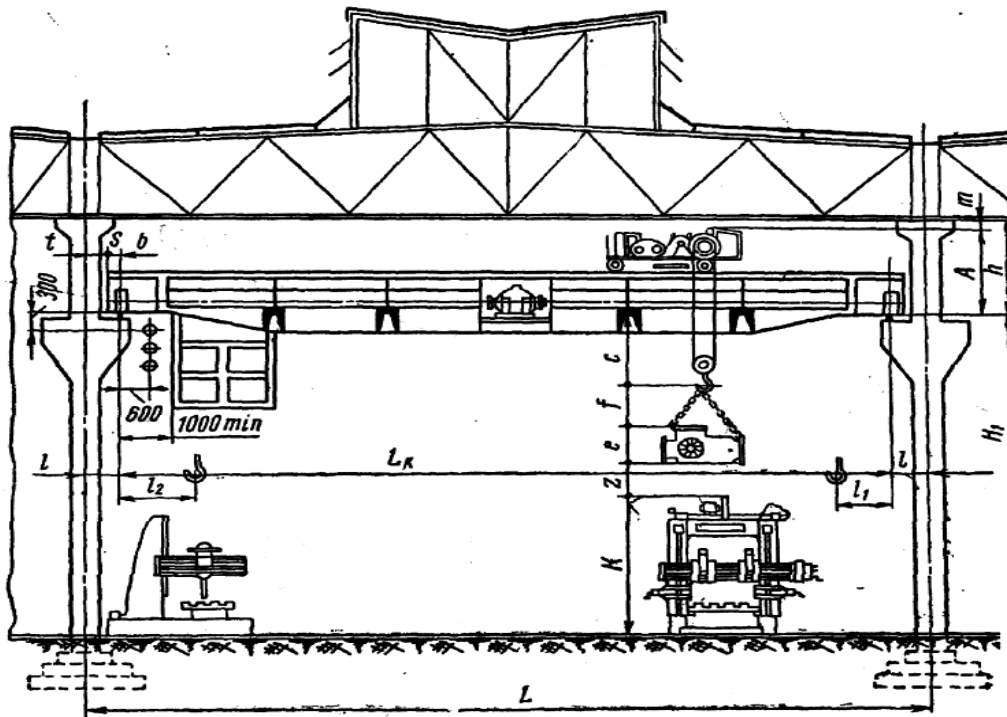


Рисунок 63. Схема для определения ширины и высоты пролета цеха

Вторая часть высоты пролета h определяется в зависимости от конструкции и размера крана; она равна сумме габаритной высоты крана A и расстояния m между верхней точки крана и нижней точкой перекрытия, т. е.

$$h = A + m. \quad (8)$$

Высоту помещений (от отметки чистого пола до низа несущих конструкций покрытия на опоре) следует назначать:

- в зданиях без мостовых кранов для пролетов 18 и 24 м – 5,4; 6,0; 7,2; 8,4; 9,6; 10,8; 12,6;

- в зданиях с мостовыми кранами для пролетов 18 и 24 м – 8,4; 9,6; 10,8; 12,6; 14,4; 16,2; 18,0.

7.2. Многоэтажные здания

Многоэтажные здания в 2–5 этажей, а иногда и больше – можно применять для механических и сборочных цехов при производстве легких и мелких изделий: режущего и измерительного инструмента, приборов, перфораторов и др.

Нормативная полезная нагрузка на пол в многоэтажных зданиях принимается 500, 1000 и 1500 кг/м².

При этом более тяжелые и более быстроходные станки, а также станки с ударной нагрузкой следует располагать на первом этаже. Цехи с большим выделением тепла или вредных газов следует располагать в верхних этажах многоэтажных зданий.

Для многоэтажных зданий принимается сетка колонн 6×6 и 9×6 м.

Высота этажей от отметки чистого пола до отметки чистого пола следующего этажа принимается 3,6; 4,8; 6,0 м; для первого этажа высота может быть 7,2 м.

7.3. Планировка оборудования

Планировка оборудования – это детальное расположение всех видов оборудования на участке (в цехе).

К планировке наряду с требованиями эстетики предъявляются производственные и эксплуатационные требования:

- удобство и безопасность работы;
- максимальное обеспечение межоперационной детали и многостаночного обслуживания;
- возможность уборки стружки.

Планировку оборудования выполняют в масштабе 1:100 для малых и средних цехов и 1:200 для больших цехов.

На планировке изображают и указывают:

- сечение колонн с фундаментами;
- магистральные проезды;
- наружные и внутренние стены;
- окна, ворота и двери, как наружные, так и внутренние;

- основное и вспомогательное оборудование;
- рабочие места;
- подвалы, каналы, шахты и антресоли;
- верстаки, рабочие столы, подставки;
- места для хранения инструмента;
- места для складирования заготовок и готовой продукции;
- транспортные устройства;
- площадки для контроля;
- места для мастеров;
- ширину пролетов;
- шаг колонн;
- общую ширину цеха;
- длину пролетов и всего цеха;
- расстояние между станками и рабочими местами;
- нумерацию оборудования с ее расшифровкой в спецификации.

Рекомендации расположения станков на линиях и участках:

1. Для непрерывно- и переменнo-поточных линий выбор вариантов расположения станков относительно прост. Последовательность размещения оборудования определяется последовательностью выполнения операций технологического процесса. Относительно транспортного средства возможны варианты продольного, поперечного, углового и кольцевого размещения станков (**рис. 64**).

Продольное размещение станков по отношению к транспортному средству обеспечивает наиболее благоприятные условия для механизации и автоматизации межоперационного транспортирования и обслуживания рабочих мест.

При поперечном расположении условия обслуживания станка оператором ухудшаются в связи с его удалением от конвейера. Однако при использовании манипуляторов или ПР нормального типа это противоречие разрешается, и при этом варианте обеспечивается компактность планировки.

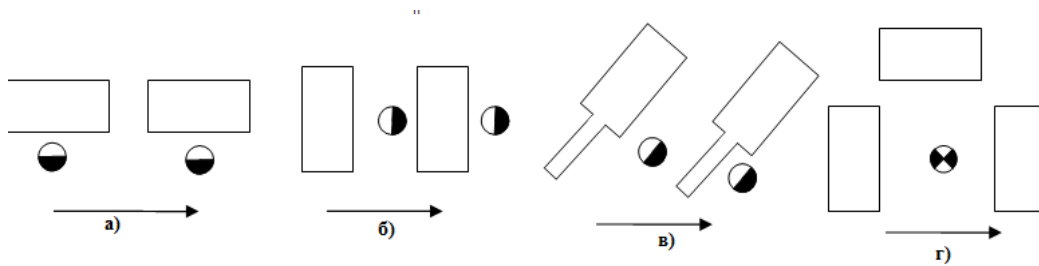


Рисунок 64. Варианты расположения станков относительно транспортных средств: а – продольное; б – поперечное; в – угловое; г – кольцевое

Расположение станков под углом к проезду применяется для расточных, продольно-строгальных, продольно-фрезерных станков, прутковых автоматов, револьверных и других станков, длина которых значительно превышает их ширину.

Кольцевое размещение станков благоприятно для многостаночного обслуживания, но создает трудность для использования межоперационного транспорта и инженерных коммуникаций.

Выбор того или иного варианта определяется также способом удаления стружки от станков.

В зависимости от длины технологического потока и длины станочных участков применяют однорядное или многорядное размещение станков. При этом для обеспечения прямоточности зону заготовок (начало линий) располагают со стороны одного проезда, а конец линий – с противоположной стороны в направлении дальнейшего перемещения деталей на сборку.

Основные варианты размещения оборудования в непрерывно- и переменнo-поточных линиях показаны на рис. 65.

Для линии, оборудование которой размещается в пределах длины участка, применяют однорядный вариант размещения (рис. 65, а).

Короткие линии обработки располагают последовательно (рис. 65, б).

Поточные линии с большим числом станков размещают в два или несколько рядов (рис. 65, в, г), но с обязательным условием, чтобы начало линий располагалось со стороны зоны заготовок, а конец линии – с противоположной стороны.

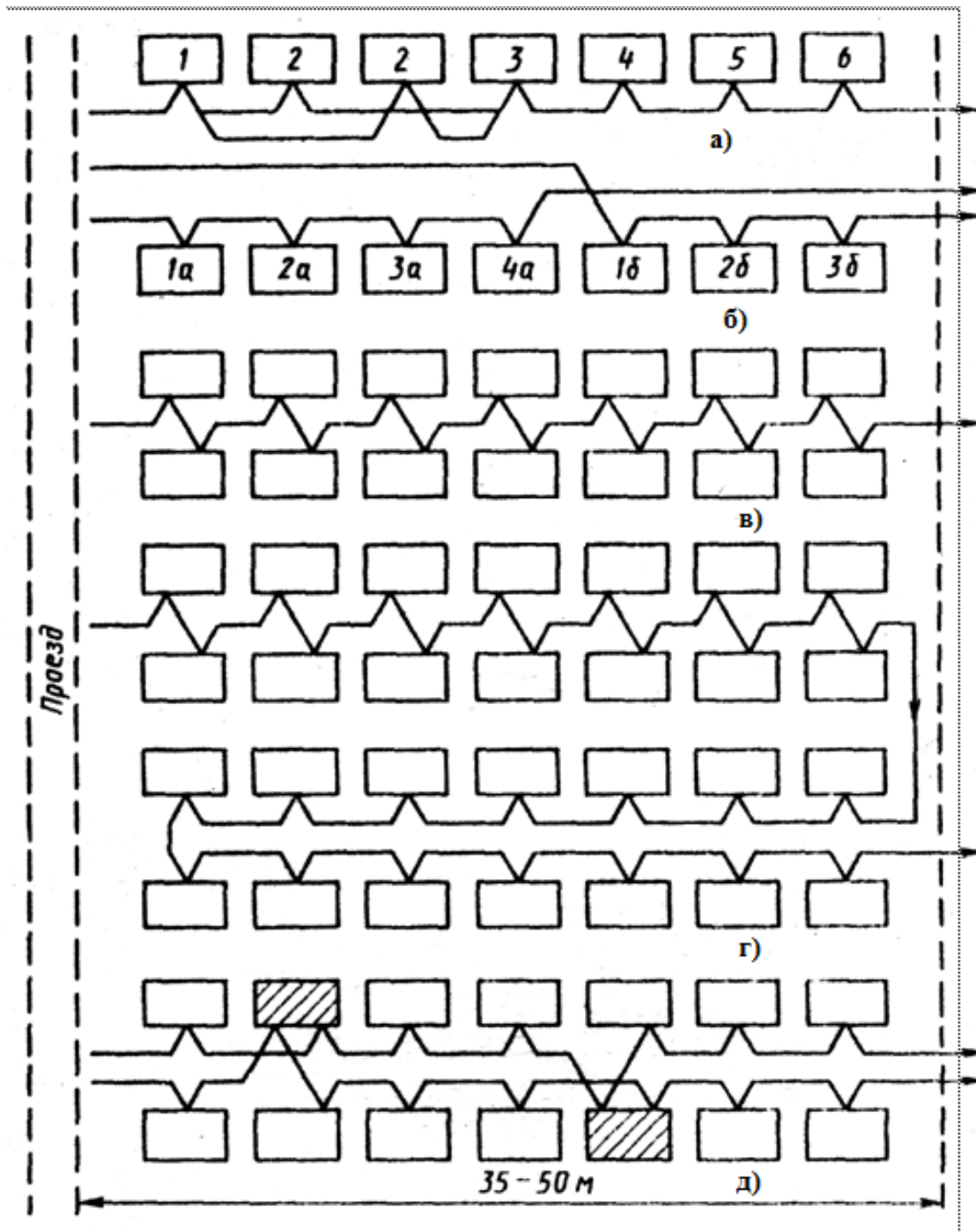


Рисунок 65. Варианты размещения оборудования в непрерывно- и переменнo-поточных линиях

Для обеспечения лучшего использования отдельных станков возможно параллельное размещение линии с использованием общего для двух линий оборудования (рис. 65, д).

2. Для подетально-специализированных участков возможны три варианта расположения оборудования:

Точечный вариант расположения станков возможен при полном изготовлении деталей на одном станке. Его применяют при изготовлении крупных деталей, при использовании многоцелевых станков и на автоматных участках при изготовлении несложных деталей.

Рядный и гнездовой варианты расположения станков характерны для групповых поточных линий, где в зависимости от степени синхронизации работы могут осуществляться как на переменноточной линии с определенным тактом, или линия может быть не синхронной – прямоточной (рис. 66, а, б).

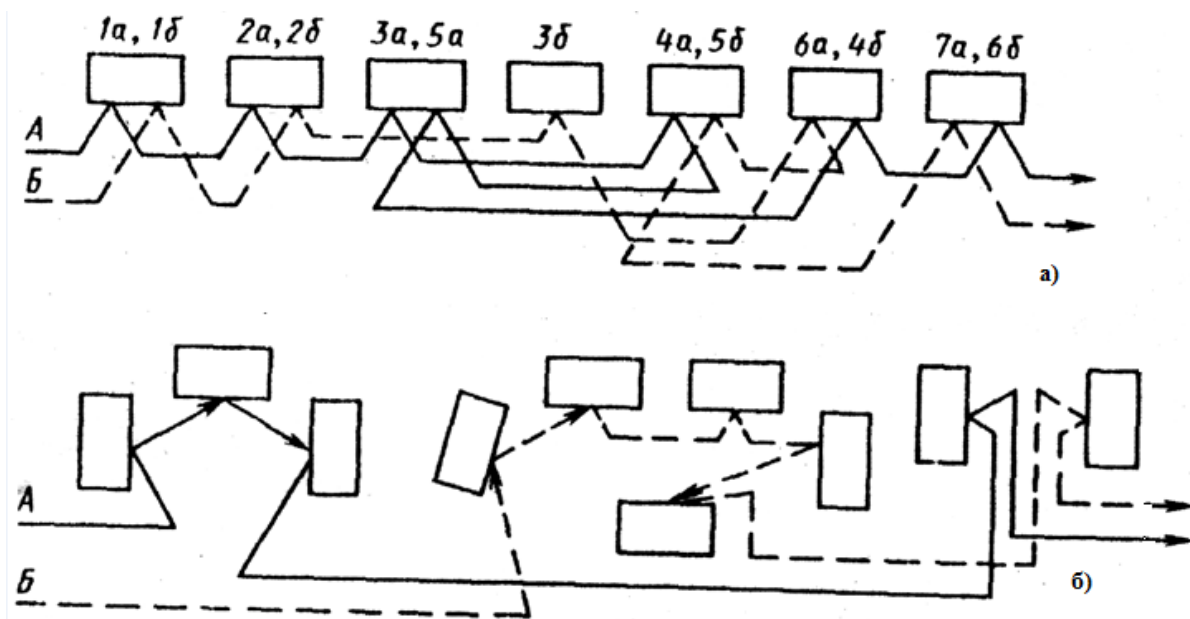


Рисунок 66. Варианты размещения станков в групповых поточных линиях: а – линейного; б – гнездового

Возможны также комбинации указанных вариантов расположения станков внутри одного участка.

3. Для гибких производственных систем (ГПС) рациональный выбор планировки оборудования имеет много общего в подходе, принципах размещения модулей и критериях оптимальности.

На основе анализа ГПС можно выделить несколько вариантов размещения станочных модулей (рис. 67).

Произвольный вариант – несколько модулей или станков с ЧПУ произвольно размещаются на площади участка. При этом варианты существенно усложняются и удлиняются транспортные

маршруты, если станков, выполняемых при изготовлении одной детали, более трех. Однако при полном изготовлении на одном станке этот вариант приемлем.

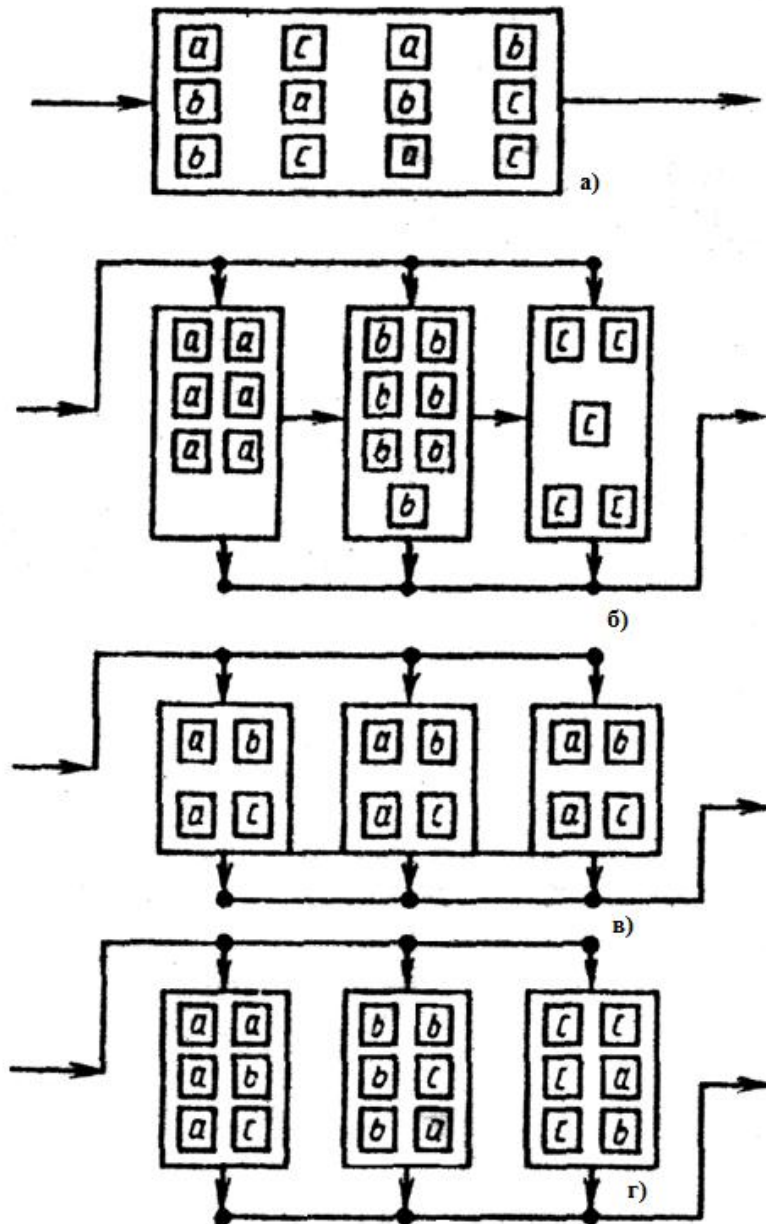


Рисунок 67. Варианты размещения станочных модулей: а – произвольное; б – функциональное; в – модульное; г – групповое

Функциональный вариант – станочные модули группируют по их технологическому назначению (токарные, фрезерные, шлифовальные и т. д.).

Недостатком являются неизбежные встречные потоки при обработке разных деталей. Указанную схему поэтому нельзя считать перспективной, несмотря на то, что создано много ГПС данного типа.

Модульный вариант – сходные технологические процессы (ТП) обработки выполняются параллельными группами ГПМ. Указанный тип компоновки имеет более высокую надежность, так как построен по принципу резервирования и может быть применен при больших объемах выпускаемых однотипных деталей, например, на специализированных заводах по производству зубчатых колес или других деталей.

Групповой вариант – каждая группа модулей служит для изготовления определенной группы деталей, близких по конструктивным и технологическим признакам. Указанный тип компоновки ГПС наиболее перспективен, поскольку нацелен на изготовление законченных деталей.

7.4. Расчет площади

Площадь механического цеха по своему назначению делится на производственную, вспомогательную и площадь служебно-бытовых помещений.

К *производственной* относится площадь, занятая станками, верстаками и стендами, проходами и проездами между рядами станков (не магистральных), складами заготовок и деталей, конвейерами, рольгангами и другим транспортным оборудованием.

К *вспомогательной* относится площадь, занятая вспомогательными службами: ремонтным, инструментальным хозяйством, складами и кладовыми и др., а также магистральными проездами, обслуживающими разные цехи.

К *площади служебно-бытовых помещений* относятся площади, занятые раздевалками, душевыми, санитарными узлами, пунктами медицинской помощи, а также площадь, занимаемая администрацией цеха и другими техническими и конторскими службами.

Сумма производственной и вспомогательной площади является общей площадью цеха.

Площадь служебно-бытовых помещений учитывается в строительной части проекта.

Основным показателем по определению площади цеха является удельная площадь, приходящаяся на один производственный станок.

Величина удельных площадей зависит от характера производства, габаритов принимаемого оборудования, а также особенности планировки оборудования.


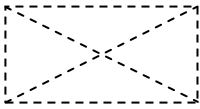
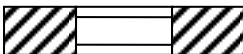


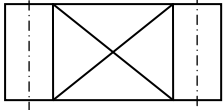


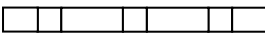
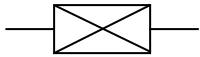

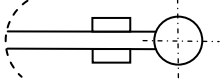
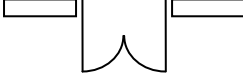

Вспомогательная площадь принимается в процентах от производственной площади.

7.5. Условные обозначения

Основные условные обозначения технологического, вспомогательного и транспортного оборудования и строительных элементов, помещаемых на планировках, показаны в табл. 7.

Таблица 7

Условные обозначения

Наименование	Условное обозначение	Наименование	Условное обозначение
Капитальная стена		Место складирования заготовок и изделий	
Окно		Пульт управления	
Сплошная перегородка		Кран мостовой	
Перегородка из стеклоблоков		Стеллаж многоярусный одnorядный	
Барьер		Кран-штабелер автоматизированный	
Ворота откатные		Кран консольный поворотный с электроталью	
Ворота распашные		Каретка-оператор с автоматическим адресованием грузов	

Наименование	Условное обозначение	Наименование	Условное обозначение
Колонны железобетонные и металлические		Тележка рельсовая	
Канал для транспортирования стружки		Конвейер подвесной цепной	
Автоматическая линия и технологическое оборудование		Промышленный робот	
Место рабочего		Конвейер роликовый однорядный	
Многостаночное обслуживание одним рабочим		Подвод сжатого воздуха (цифры указывают давление в сети)	
Контрольный пункт		Точка подвода кабеля к оборудованию	

7.6. Расчет числа позиций загрузки и разгрузки

Функционально позиции загрузки и разгрузки могут быть либо разделены, либо объединены. При разделении функций позиции должно быть минимум два рабочих места. При объединении на одном рабочем месте операций загрузки-разгрузки позиция может быть одна, если на ней успевают выполнить весь объем работ за месяц.

Число позиций определяют по формуле

$$n_{\text{загр}} = \sum_{i=1}^k \frac{N t_i C_i}{60 \cdot \Phi \cdot n_i}, \quad (9)$$

где $t_i = t_{\text{загр}}$ – для позиций загрузки, мин; $t = t_{\text{разгр}}$ – для позиций разгрузки, мин; $t = t_{\text{загр}} + t_{\text{разгр}}$ – для совмещенной позиции загрузки-разгрузки, мин; N – годовая программа выпуска i -й детали; Φ – годовой фонд времени работы позиции, ч; C_i – необходимое число

переустановок (перекладок) деталей в таре (на спутнике); n_i – число деталей в таре.

Если полученные $n_{\text{поз}} > 1$, то необходимо ввести дополнительную позицию и рассчитать коэффициент загрузки позиций по времени:

$$K_{\text{вр.поз}} = \frac{n_{\text{поз.расч}}}{n_{\text{поз.прин}}}, \quad (10)$$

где $n_{\text{поз.прин}}$ – принятое число позиций.

При варианте функционального разделения позиций загрузки-разгрузки, в случае выхода из строя, например, позиции загрузки, позиция разгрузки не сможет принять на себя ее функции. Поэтому, если имеются две позиции с разделенными функциями загрузки-разгрузки, целесообразно иметь одну резервную позицию с совмещенными функциями загрузки-разгрузки или еще по одной позиции загрузки и разгрузки.

Пример расчета.

Среднее время установки заготовки в приспособление равно $t_3 = 5$ мин, разгрузки $t_p = 3$ мин.

I вариант – позиции разделены.

Необходимое число позиций загрузки примерно – 0,35 (формула 4), а позиций разгрузки – 0,21.

Принимаем одну позицию, которая будут загружены на 56 %.