

Министерство образования и науки Российской Федерации
Южно-Уральский государственный университет
Кафедра «Технология машиностроения»

621.92(07)
Б287

В.В. Батуев

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Учебное пособие к курсовому проекту

Челябинск
Издательский центр ЮУрГУ
2015

УДК 621.92.06-529(075.8)
Б287

*Одобрено
учебно-методической комиссией
механико-технологического факультета*

Рецензенты:

*Директор ЗАО НИИИТ Опытный завод, заслуженный машиностроитель
России В.С. Гуревич, докт. техн. наук, проф. П.П. Переверзев,*

Батуев, В.В.

Б287 Автоматизация производственных процессов в машиностроении учебное пособие к курсовому проекту / В.В. Батуев. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – 40 с.

Учебное пособие предназначено для использования студентами специальности 15.03.05 при выполнении курсового проекта по дисциплине «Автоматизация производственных процессов в машиностроении».

УДК 621.92.06-529(075.8)

ВВЕДЕНИЕ

Высокий уровень развития цифровых и информационных технологий позволил сделать значительный скачок в современном машиностроении. Это связано, в основном, с применением высокопроизводительной компьютерной техники для планирования производственного процесса, проектирования операций механической обработки, в управлении станками и промышленными роботами, при осуществлении контроля готовых изделий, анализа производственного процесса и многого другого.

Одним из направлений развития современного машиностроения является автоматизация производственных процессов. Данное направление успешно развивается в таких сферах и отраслях промышленности как приборостроение, фармацевтика, машиностроение и т.д. Внедрение средств автоматизации, таких как, станки с ЧПУ, промышленные роботы, автоматизированные транспортная и складская системы и многое другое, позволило ускорить производственный процесс, повысить качество изготавливаемой продукции снизить количество высококвалифицированного персонала, улучшить условия труда.

В данном учебном пособии предложена методика проектирования гибкой производственной системы изготовления деталей машиностроения. Данная методика получена в результате анализа учебной и справочной литературы различных авторов, занимавшихся данной проблематикой, и является начальным этапом для понимания сущности и задач, которые ставятся перед инженером при проектировании гибких производственных систем.

1. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛНОЙ ИЛИ ЧАСТИЧНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ

Целью автоматизации технологического процесса является повышение производительности, качества и надежности изготавливаемых изделий.

Технологический процесс обработки детали может быть автоматизирован полностью или частично в зависимости от целей, которые стоят перед производством, целесообразности и возможности автоматизации. Поскольку технологический процесс состоит из основных и вспомогательных операций, то, соответственно, и автоматизировать можно основные и/или вспомогательные операции.

Основные операции технологического процесса служат для придания требуемых размеров, заданной шероховатости и свойств обрабатываемой детали. Средством автоматизации основных операций является станок с ЧПУ, который по управляющей программе производит обработку детали без непосредственного участия человека. Станки с ЧПУ могут оснащаться навесными роботами и быть встроенными в гибкую производственную систему или линию, что позволяет автоматизировать вспомогательные переходы, связанные с установкой и снятием детали, загрузкой и выгрузкой режущего инструмента в инструментальный магазин станка и т.д.

Вспомогательные операции не связаны с непосредственным изменением размеров, формы и свойств, обрабатываемых деталей, но необходимы для выполнения основных технологических операций. К вспомогательным операциям относятся транспортные операции, моечные операции и т.д. Выполняются вспомогательные операции при помощи таких средств автоматизации как робокары, промышленные роботы, автоматизированные транспортные и складские системы.

С целью получения наибольшей информации о возможности полной или частичной автоматизации необходимо произвести анализ проектного варианта технологического процесса. При проведении анализа необходимо учесть следующие факторы:

- наличие в технологическом процессе слесарных операций или операций, выполняемых на универсальном оборудовании;
- наличие специальных методов обработки и прерывистость технологического процесса;
- возможность встраивания основного оборудования в ГПС;
- концентрация переходов на операциях, выполняемых на станках с ЧПУ;
- габаритные размеры и вес детали;
- возможность использования автоматизированных средств загрузки-выгрузки детали в основное оборудование, промежуточный накопитель или тактовый стол, на робокар, основной или промежуточный склад.

1.1. Наличие в технологическом процессе слесарных, универсальных или специальных операций

При обработке ряда деталей машиностроения существуют ограничения на применение оборудования с ЧПУ. Например, наличие отверстий малого диаметра, наличие поверхностей, требующих для обработки не только специального инструмента, но и определенного способа его позиционирования, сложность при базировании детали по ранее обработанной поверхности и др. В этих случаях возникает необходимость в применении универсального, специального оборудования или в доводке детали вручную. Детали данной категории не технологичны, и полная автоматизация процесса их обработки затруднительна.

Универсальные или ручные операции выделяются в отдельную группу. При последующем проектировании автоматизированной транспортно-складской системы учитывается возможность прерывания процесса обработки рассматриваемой детали и переход на выпуск других деталей, входящих в группу обработки на проектируемом участке. Также необходимо учесть накопители, которые будут использоваться при промежуточном хранении и транспортировке детали на слесарный участок или участок механической обработки с универсальным оборудованием. Накопители должны обеспечивать надежное базирование детали(ей) для последующей обработке в условиях ГПС в автоматическом режиме.

1.2. Возможность встраивания основного оборудования в ГПС

На следующем этапе анализа проектного варианта технологического процесса анализируется применяемое в нем металлорежущее оборудование. Целью анализа является установить возможность встраивания данного оборудования в ГПС. При анализе рассматривается:

- возможность опциональной модернизации оборудования для работы в условиях ГПС;
- наличие систем автоматической уборки отходов из рабочей зоны станка;
- наличие систем автоматизированного открывания-закрывания дверей станка;
- наличие у станка приспособлений для установки, базирования и закрепления спутника или паллеты;
- наличие специальных датчиков для наладки и диагностики работы оборудования, режущего инструмента.

1.3. Концентрация переходов на операциях механической обработки

При анализе возможности автоматизации необходимо рассмотреть целесообразность концентрации технологических переходов на операциях. Это связано с такими требованиями к автоматизированному производству как производительность и надежность. Производительность связана с сокращением такта выпуска деталей равному лимитирующей по времени операции. Надежность заключается в том, что чем больше режущего инструмента

используется на операции, тем более вероятно возникновение отказа инструмента из-за сложности удаления стружки из зоны резания или по иным причинам.

1.4. Габаритные размеры детали

Габаритные размеры детали в значительной части влияют на возможность автоматизации технологического процесса. Особенно на вспомогательных операциях и установочных переходах. Поскольку для установки таких деталей на станок требуются специальные роботы по габаритам, значительно превышающие размеры обрабатываемой детали. Поэтому установку таких деталей, в основном, осуществляют вручную при помощи мостовых кранов.

1.5. Наличие поверхностей для захвата

Данный фактор относится и к этапу отработки конструкции детали на технологичность и определяет возможность использования вспомогательного оборудования для перемещения и установки детали в станок, склад, на накопитель. Отсутствие таких поверхностей вызывает необходимость предусмотреть их в качестве промежуточных технологических баз на заготовке или на операциях механической обработки.

Анализ производится по каждому из пунктов в отдельности, с кратким описанием технических и конструкторских параметров, рассматриваемых при анализе. По каждому пункту производится вывод и предложения для достижения требуемого результата (полной или частичной автоматизации), если это возможно.

2. ГРУППИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ, ПОДЛЕЖАЩИХ ИЗГОТОВЛЕНИЮ НА ГИБКОМ ПРОИЗВОДСТВЕННОМ УЧАСТКЕ

Автоматизация в машиностроении связана с применением энергии неживой природы для выполнения и управления производственными процессами без непосредственного участия человека с целью увеличения производительности и качества выпускаемой продукции. Автоматизация осуществляется путем внедрения в производственный процесс станков с ЧПУ, промышленных роботов, автоматизированной транспортно-складской системы и др. Целесообразность полной или частичной замены ручного труда механическим определяется путем проведения экономических расчетов, которые учитывают, как прибыль от увеличения производительности и качества продукции, так и издержки, связанные с покупкой, внедрением и обслуживанием различных средств автоматизации.

Основой современного автоматизированного производства являются типовые и групповые технологические процессы. Это связано с унификацией общих конструктивных и (или) технологических признаков, что позволяет повысить эффективность производства и свести к минимуму принятие нестандартных технологических решений.

Типовые технологические процессы разрабатываются для группы деталей с общими конструктивными и технологическими признаками. Принципом использования типового технологического процесса является строгое определение способа и последовательности обработки каждой поверхности детали. Типовые технологические процессы применяются, в основном, в крупносерийном и массовом производствах.

Групповые технологические процессы разрабатываются для группы деталей с различными конструктивными, но общими технологическими признаками. Принципом использования группового технологического процесса является одинаковая номенклатура оборудования необходимого для обработки каждой детали группы. Групповые технологические процессы применяются в мелкосерийном и среднесерийном производствах.

Для создания типового или группового технологического процесса необходимо классифицировать детали, подлежащие обработке. Классификация деталей проводится в два этапа. Первый этап – первичная классификация – разделение деталей по конструктивно-технологическим признакам. Вторым этапом – вторичная классификация – группирование деталей с одинаковыми или несущественно отличающимися признаками классификации.

При первичной классификации учитываются следующие признаки: размерная характеристика, группа материала, вид детали по технологическому методу изготовления, вид исходной заготовки, качество, параметр шероховатости, характеристика технологических требований, характеристика термической обработки, толщина покрытия, поверхность покрытия, характеристика толщины, площадь формования, дополнительная характеристика, характеристика массы и др.

При вторичной классификации производится группирование деталей с одинаковыми или незначительно отличающимися признаками классификации.

Для классификации деталей по конструктивным признакам используется Технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения ОК 021-95, который является логическим продолжением и дополнением классов деталей Классификатора ЕСКД (классы 71, 72, 73, 74, 75, 76). В соответствии с данным классификатором все детали машиностроения можно разделить на:

- детали – тела вращения типа колец, дисков, шкивов, блоков, стержней, втулок, стаканов, колонок, валов, осей, штоков, шпинделей и др. (класс 71);

- детали – тела вращения с элементами зубчатого зацепления; трубы, шланги, проволочки, разрезные сектора, сегменты; изогнутые из листов, полос и лент; аэрогидродинамические; корпусные, опорные; емкостные, подшипников (класс 72);

- детали – не тела вращения корпусные, опорные, емкостные (класс 73);

- детали – не тела вращения: плоскостные; рычажные, грузовые, тяговые; аэрогидродинамические; изогнутые из листов, полос и лент; профильные; трубы (класс 74);

– детали – тела вращения и (или) не тела вращения, кулачковые, карданные, с элементами зацепления, арматуры, санитарно-технические, разветвленные, пружинные, ручки, уплотнительные, отсчетные, пояснительные, маркировочные, защитные, посуды, оптические, электрорадиоэлектронные, крепежные (класс 75);

– детали технологической оснастки, инструмента (класс 76).

После классификации и группирования деталей по конструктивно-технологическим признакам из каждой группы выбирают деталь-представитель, обладающую максимальным количеством технологических операций ее изготовления для дальнейшего укрупненного нормирования операций и расчета суммарной станкоемкости по каждой операции на группу изделий.

3. ОТРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛИ НА ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ

В соответствии с ГОСТ 14.205-83 отработкой конструкции изделия на технологичность называют часть работ по обеспечению технологичности, направленная на достижения заданного уровня технологичности, выполняемая на всех этапах разработки изделия. Технологичным называют конструкцию изделия, когда совокупность свойств конструкции изделия, определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, техническом обслуживании и ремонте для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ.

Технологичность конструкции изделия определяют при помощи качественной и количественной оценки [7].

Качественная оценка технологичности детали производится по отдельным конструктивным и технологическим признакам и основана на инженерно-визуальных методах оценки [7]. Инженерно-визуальный метод оценки осуществляется при помощи визуальной оценки конструктивных и технологических признаков изделия. Качественная оценка технологичности изделия дается при помощи таких характеристик как «хорошо –плохо», «технологично – нетехнологично» и т.д.

Количественная оценка технологичности детали производится при помощи следующих показателей:

- трудоемкость изготовления;
- технологическая себестоимость;
- коэффициент унификации конструктивных элементов.

При курсовом проектировании достаточно провести качественную оценку технологичности детали. Качественную оценку технологичности детали, обрабатываемой в условиях гибкой производственной системы, предлагается производить по следующим критериям:

- унифицированность элементов форм детали (резьбы, канавки, диаметры, шпоночные пазы и т.д.);
- простота формы детали;

- возможность обработки максимального количества поверхностей детали за один установ;
- доступность поверхностей детали для обработки;
- наличие труднообрабатываемых поверхностей детали (глубокие отверстия, глухие отверстия и др.);
- возможность совмещения конструкторских и технологических баз;
- обеспечение конструкции детали нормальный подвод и отвод режущего инструмента;
- возможность достижения наиболее точных размеров детали на основном оборудовании;
- возможность достижения минимальной заданной шероховатости поверхности детали на основном оборудовании;
- высокая обрабатываемость основного материала;
- возможность обработки детали универсальным режущим инструментом;
- минимальная номенклатура режущего инструмента необходимая для обработки всех поверхностей детали при обеспечении заданной точности и шероховатости;
- наибольший коэффициент использования материала;
- наличие поверхностей для захвата детали промышленным роботом и базирования на промежуточных накопителях и в основном оборудовании.

Качественная оценка производится с подробным описанием каждого из рассматриваемых критериев. При необходимости описание дополняется рисунками и схемами. Результаты оценки представляются в виде таблицы с полями, указывающими на критерии оценки и характеристику оценки – «технологично – нетехнологично». Один из возможных примеров таблицы представлен на рис. 3.1.

№ п.п.	Критерий оценки	Значение/ Показатель/ Сравнительная характеристика	Характеристика оценки

Рис. 3.1. Пример фрагмента таблицы для качественной оценки технологичности детали

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА И ЧИСЛА ОБОРУДОВАНИЯ СТАНОЧНОГО КОМПЛЕКСА ГПС

Станочный комплекс ГПС может быть представлен в виде отдельных одно- и многоцелевых станков с ЧПУ, гибких производственных модулей (ГПМ), роботизированных технологических комплексов (РТК). При подборе станков для ГПС пользуются двумя принципами: принципом взаимодополняющих станков и принципом взаимозаменяющих станков [5].

Принцип взаимодополняющих станков заключается в расположении станков, участвующих в технологическом процессе, в последовательности его выполнения. Основным недостатком этого принципа является низкая

технологическая надежность, поскольку выход из строя какого-либо станка, имеющегося в составе ГПС в единственном экземпляре, уменьшает номенклатуру выпускаемых деталей.

Принцип взаимозаменяющих станков состоит в использовании для обработки поверхностей различных деталей станков одной группы и/или модели. Следовательно, выход из строя какого-либо станка приведет не к снижению номенклатуры обрабатываемых деталей, как в предыдущем принципе, а только к снижению производительности. Применение этого принципа является наиболее эффективным при использовании в гибком производстве многоцелевых станков или обрабатывающих центров. При этом в зависимости от потребностей производства можно либо загрузить станки выполнением одних операций, либо выполнять ряд последовательных операций по изготовлению одной или более деталей разных наименований.

В случае невозможности применения в ГАУ одного из перечисленных принципов, построение ГАУ осуществляют по смешанному принципу.

Выбор вида станков, их специализации по числу управляемых координат и определение их количества в составе ГПС по выпуску деталей заданной номенклатуры осуществляются на основе разработанных технологических процессов на типовые детали по следующей формуле:

$$K = \frac{C_{\text{ср}}}{T_{\text{ср}}},$$

где $C_{\text{ср}}$ – средняя станкоемкость (показатель затрат времени работы оборудования на производство определенного объема продукции), приходящаяся на каждый станок, мин; $T_{\text{ср}}$ – средний такт выпуска деталей, мин; K – число станков по виду оборудования.

$$C_{\text{ср}} = \frac{C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i,$$

где n – число типовых деталей; C_i – станкоемкость, приходящаяся на каждый станок по обработке i -го представителя типовых деталей, мин.

$$C_i = \sum_{j=1}^p t_{\text{оп}j},$$

где $t_{\text{оп}j}$ – оперативное время по выполнению перехода на рассматриваемом станке, мин; p – число всех переходов, выполняемых на рассматриваемом станке по обработке деталей.

$$t_{\text{оп}j} = t_{o_j} + t_{\text{м-в}j} + t_{y_j},$$

где t_{o_j} – основное время на выполнение перехода, мин; $t_{\text{м-в}j}$ – машинно-вспомогательное время, связанное с выполнением перехода (ускоренный подвод инструмента, автоматическая смена инструмента и т.д.), мин; t_{y_j} – вспомогательное время на снятие-установку заготовки, мин.

Методика расчета оперативного времени при работе на станках с ЧПУ изложена в справочнике [6].

Средний такт выпуска деталей определяется по формуле:

$$T_{\text{ср}} = \frac{60\Phi_0 K_{\text{исп}}}{N_{\text{год}}},$$

где Φ_0 – годовой фонд времени оборудования, ч ($\Phi_0 = 4025$ ч при двухсменном режиме работы оборудования); $K_{\text{исп}}$ – коэффициент использования оборудования по машинному времени ($K_{\text{исп}} = 0,85$); $N_{\text{год}}$ – годовая программа выпуска деталей, шт.

Расчетное значение K по каждому виду оборудования округляют в сторону большего целого числа. При получении большого коэффициента загрузки отдельных видов станков ($K_{\text{исп}} \geq 0,9$) следует перевести обработку части поверхностей на однотипные станки с меньшей загрузкой (принцип взаимодополняющих станков). Недогрузка оборудования на 20...25% позволяет иметь некоторый запас производительности ГПС, который может быть использован для внедрения в производство новых деталей.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СОСТАВА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСКОЙ СИСТЕМЫ ГПС

Автоматизированная транспортно-складская система (АТСС) в ГАП предназначена для: хранения в накопителях большой вместимости (складе) межоперационных заделов деталей и автоматической транспортировки их по заданному адресу по командам от ЭВМ; транспортировки деталей от станка к станку, а также на позиции разгрузки и загрузки; своевременного пополнения накопителей небольшой вместимости (приемно-передающие агрегаты, тактовые столы и др.), установленных около каждого станка; транспортировки обработанных деталей на позиции контроля и возвращения их для продолжения дальнейшей обработки или на позиции разгрузки – загрузки [1].

Существует два основных конструктивных варианта построения АТСС: с совмещенными и разделенными транспортной системой (ТС) и складской системой (СС) [1].

Особенностью АТСС с совмещенными ТС и СС (рис. 5.1) является возможность обслуживания склада, основного и/или вспомогательного оборудования подвижным механизмом ТС. Например, кран-штабелер 2 перемещает заготовки со склада 1 к промежуточным накопителям 3 основного оборудования и после механической обработки возвращает на склад 1 готовые детали.

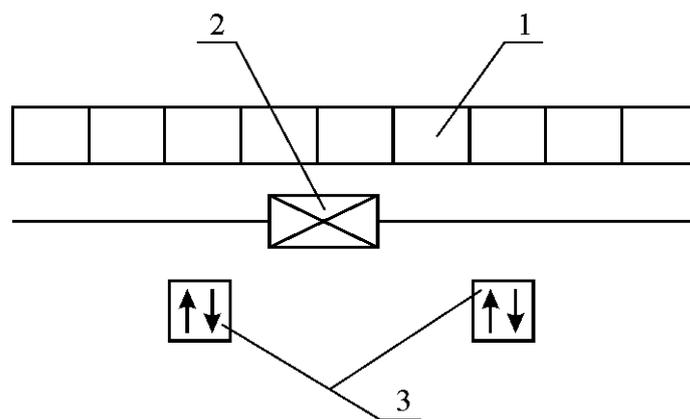


Рис. 5.1. Схема ГПС с совмещенной транспортно-складской системой:
1 – склад (стеллаж); 2 – кран-штабелер; 3 – приемно-раздаточный стол

В АТСС с разделенными ТС и СС (рис. 5.2) СС и ТС функционируют независимо друг от друга, а перемещение материальных потоков осуществляется через приемно-раздаточные столы. Например, кран-штабелер 2 достает из ячейки склада 1 и устанавливает на приемно-раздаточный стол заготовку, робокар 4 перемещает с приемно-раздаточного стола заготовку к накопителю 3 основного оборудования 5 и возвращает на приемно-раздаточный стол готовую деталь после механической обработки, далее кран-штабелер 2 берет с приемно-раздаточного стола готовую деталь и укладывает в ячейку склада 1.

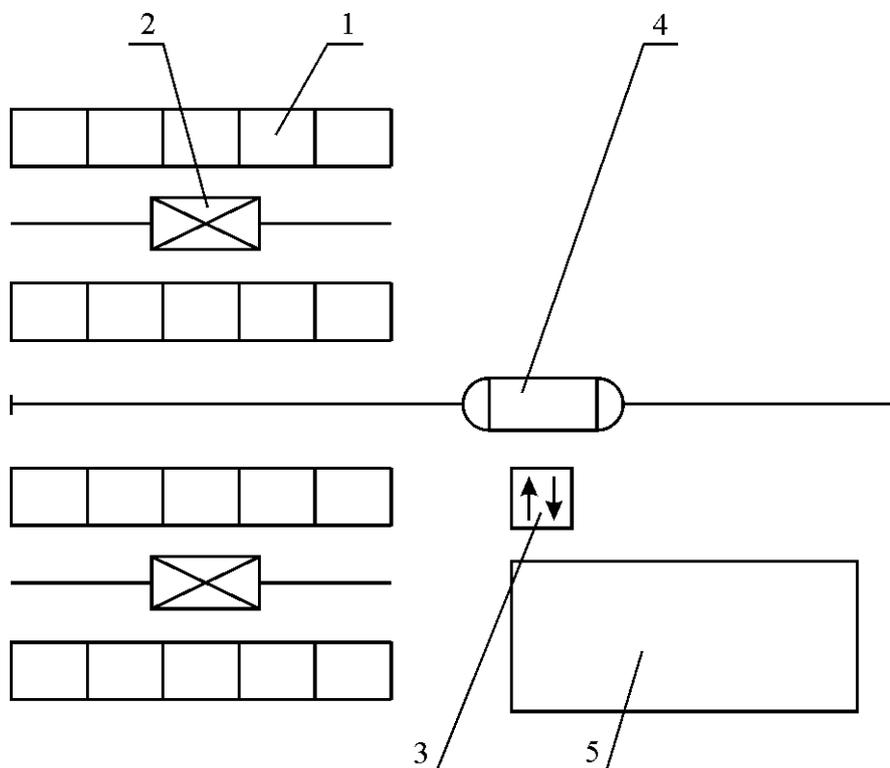


Рис. 5.2. Схема ГПС с разделенной транспортно-складской системой:
1 – склад (стеллаж); 2 – кран-штабелер; 3 – накопитель основного оборудования; 4 – робокар; 5 – станок

Компоновка складов зависит от типа и характера производства, производственной программы, внутрицехового и внутрисистемного транспорта, характеристик производственного здания, где размещается проектируемый участок или цех, а также от типа и оборудования самих складов, их основных параметров.

Наиболее рациональна компоновка складов в ГПС, когда они максимально приближены к технологическому оборудованию. При этом кран-штабелер выполняет не только функции складирования, но и распределяет по рабочим местам материалы, заготовки, изделия и т.д. [1].

5.1. Определение характеристик стеллажа-накопителя

Основной расчетной характеристикой стеллажа является его вместимость, которая определяется исходя из числа спутников, необходимого для полной загрузки станков во время работы комплекса.

Расчеты основных параметров АТСС целесообразно производить исходя из числа среднестатистических величин трудоемкости обработки деталей и их месячной программы выпуска на предприятии. Это позволит при смене обрабатываемой детали обеспечить загрузку ГПС, близкой к расчетной.

Максимальное число деталиустановок различных наименований (число серий), которые могут быть обработаны на комплексе в течение месяца, равно [1]:

$$K_{\text{наим}} = \frac{60\Phi_{\text{ст}} n_{\text{ст}}}{t_{\text{об}} N},$$

где $\Phi_{\text{ст}}$ – месячный фонд отдачи станка, ч ($\Phi_{\text{ст}}=305$ ч); $n_{\text{ст}}$ – число станков, входящих в ГПС; $t_{\text{об}}$ – средняя трудоемкость обработки одной деталиустановки, мин; N – средняя месячная программа выпуска деталей одного наименования.

Полученное число деталиустановок определяет количество ячеек в стеллаже или ином накопителе. С целью унификации зажимных элементов приспособлений, схватов, захватов и т.д. в ГПС рекомендуется осуществлять обработку различных деталей на приспособлениях-спутниках (паллетах) с одинаковыми размерами установочных поверхностей и по возможности одной конструкции.

Для обеспечения нормальной работы ГПС необходим запас ячеек в накопителе, равный примерно 10 % от $K_{\text{наим}}$.

Наиболее рациональной компоновкой стеллажа является многоярусная двухрядная схема, которая позволяет значительно сократить размеры автоматизированного склада и в то же время обеспечить удобное обслуживание его, расположив соответствующие транспортные механизмы и отделения с обеих сторон [5].

5.2. Расчет числа позиций загрузки и разгрузки

Установка и снятие детали с приспособления-спутника осуществляется на участке подготовки производства (УПП). Спутники, с закрепленной на них заготовкой перед последующей обработкой, перемещаются на промежуточный склад или стеллаж-накопитель. На УПП позиции загрузки, где производится установка заготовки в приспособление-спутник, и разгрузки, где обработанная деталь снимается с приспособления, могут быть либо разделены, либо совмещены. При разделении функций должно быть на участке минимум два рабочих места, при совмещении соответственно минимум одно.

Расчет необходимого числа позиций загрузки и разгрузки производят по формуле:

$$n_{\text{поз}} = \frac{t \cdot K_{\text{дет}}}{\Phi_{\text{поз}} \cdot 60},$$

где t – средняя трудоемкость операций на позиции (только загрузки или разгрузки, если операции разделены, и суммарная, если обе операции выполняются на одной позиции), мин; $K_{\text{дет}}$ – число деталиустановок, проходящих через позицию в течение месяца, шт.; $\Phi_{\text{поз}}$ – месячный фонд времени работы позиции, ч.

$$K_{\text{дет}} = K_{\text{наим}} \cdot N,$$

где N – средняя месячная программа выпуска деталей одного наименования $K_{\text{наим}}$, шт.

Для расчетов можно использовать следующие значения трудоемкостей операций по загрузке (t_z) и разгрузке (t_p) деталей [1]:

$$t_z = 5 \text{ мин}; t_p = 3 \text{ мин}.$$

Величина $\Phi_{\text{поз}} = \Phi_{\text{ст}} = 305$ ч (при двусменной работе оборудования).

Расчетное значение числа позиций загрузки и разгрузки округляют в сторону большего целого числа. Для надежности работы ГПС целесообразно выполнять позиции загрузки и разгрузки взаимозаменяемыми. При выходе из строя одной позиции, вторая в этом случае продолжит обслуживание ГПС с большей загрузкой.

5.3. Расчет числа позиций контроля

Для контроля качества выпускаемой продукции в ГПС организуется участок контроля. Участок контроля может быть оснащен автоматизированными контрольно-измерительными средствами, например, контрольно-измерительной машиной. В процессе изготовления партии деталей контроль проходит первая деталь (деталеустановка), а затем каждая n -я. В условиях ГПС контроль детали осуществляется после каждой операции. Число деталиустановок n , через которое деталь выводится на плановый контроль, устанавливает технолог. Помимо планового контроля, производится контроль по вызову, который проводит наладчик, отвечающий за качество обрабатываемых деталей. На контроль вызывается любая деталь в промежутке

обрабатываемых деталей, заданном технологом. Данный вид контроля осуществляется, например, после замены режущего инструмента.

Необходимое число позиций контроля $n_{\text{поз.к}}$ в ГПС рассчитывается по формуле [1]:

$$n_{\text{поз.к}} = \frac{t_{\text{к}} K_{\text{дет.к}}}{\Phi_{\text{поз}} \cdot 60},$$

где $t_{\text{к}}$ – суммарное время контроля одной деталиустановки, мин; $K_{\text{дет.к}}$ – число деталиустановок, проходящих контроль за месяц, шт.; $\Phi_{\text{поз}}$ – месячный фонд времени работы позиции контроля, ч.

$$K_{\text{дет.к}} = \frac{K_{\text{дет}}}{n},$$

где $K_{\text{дет}}$ – число деталиустановок, обрабатываемых на комплексе за месяц, шт.; n – число деталиустановок, через которое деталь выводится на контроль, шт.

$$n = \frac{n_1}{k_1 \cdot k_2},$$

где n_1 – плановое число деталиустановок, через которое деталь выводится на контроль по требованию технолога, шт.; k_1 и k_2 – поправочные коэффициенты, связанные с выводом деталей на контроль по требованию наладчика соответственно для первой деталиустановки в начале смены (k_1) и сразу же после установки нового инструмента (k_2).

$$t_{\text{к}} = t_{k_1} + t_{k_2} + \dots + t_{k_i},$$

где $t_{k_1}, t_{k_2}, \dots, t_{k_i}$ – соответственно время контроля поверхностей детали после обработки на 1, 2 и т.д. i -м станках ГПС.

Для расчетов время каждого промежуточного контроля (после неполной обработки поверхностей на станках комплекса) можно принимать равным:

$$t_{\text{п}} = 5 \text{ мин},$$

время окончательного контроля всех поверхностей детали (после обработки на последнем станке комплекса):

$$t_{\text{к.ок}} = 30 \text{ мин}.$$

Плановый вывод деталей на контроль рекомендуется осуществлять через каждые 5–8 деталиустановок [1], т.е.:

$$n_1 = 5 \dots 8.$$

Величину поправочных коэффициентов рекомендуют принимать:

$$k_1 = 1,15; k_2 = 1,05.$$

Расчетное значение числа $n_{\text{поз.к}}$ округляют в сторону большего целого.

5.4. Проектирование предварительной компоновочной схемы ГПС

Компоновочные схемы ГПС характеризуют взаимосвязь основного и вспомогательного оборудования – станков, обслуживающих их транспортных

устройств, межоперационных складов. Целью проектирования предварительной компоновочной схемы является определение транспортных связей между основным, вспомогательным оборудованием и СС, обеспечивающих минимальные транспортные перемещения материальных потоков и наибольшую маршрутную гибкость.

Проектирование предварительной компоновки ГПС производится в следующей последовательности:

- 1) разработка проектного варианта технологического процесса обработки детали, с учетом особенностей ее обработки в условиях ГПС;
- 2) разработка предварительных компоновок основного и вспомогательного оборудования, участвующего в механической обработке детали, с учетом норм технологического проектирования (ОНТП 14-93) [3];
- 3) анализ перемещений деталиустановок в проектных вариантах компоновочных схем ГПС;
- 4) выбор предварительной компоновочной схемы ГПС, обеспечивающей минимальные транспортные перемещения материальных потоков и наибольшую маршрутную гибкость;
- 5) расчет количества подвижных транспортных механизмов АТСС;
- 6) изображение предварительной компоновки ГПС.

Для определения количества подвижных транспортных механизмов АТСС (кранов-штабелеров, робокаров, конвейеров и т.д.) необходимо знать маршрут обработки деталей на станках ГПС, расстояние и число перемещений детали.

В качестве примера спроектируем компоновку станочной ГПС обработки детали «вал» (рис. 5. 3).

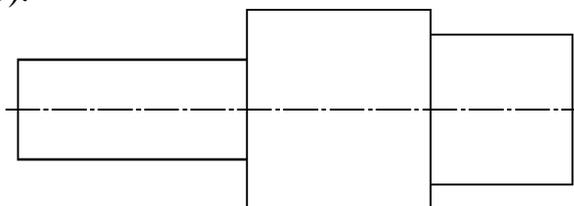


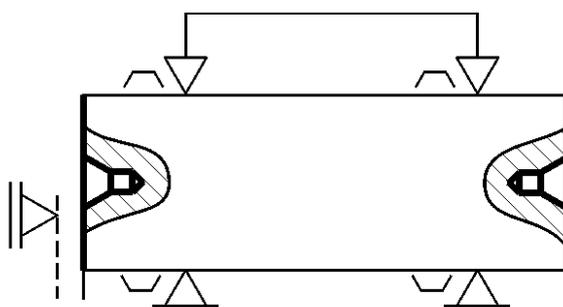
Рис. 5.3. Эскиз детали «вал»

Технологический процесс обработки данной детали включает в себя две фрезерные, две токарные и две шлифовальные операции. Количество операций соответствует количеству станков, участвующих в обработке детали «вал». Маршрутный технологический процесс обработки детали «вал»:

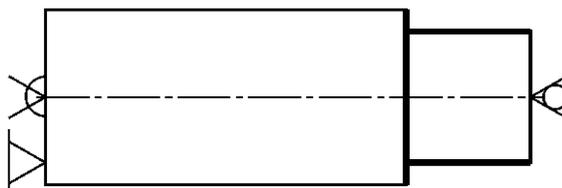
- операция 005 – Фрезерная с ЧПУ;
- операция 010 – Токарная с ЧПУ;
- операция 015 – Токарная с ЧПУ;
- операция 020 – Фрезерная с ЧПУ;
- операция 025 – Шлифовальная с ЧПУ;
- операция 030 – Шлифовальная с ЧПУ.

Операционные эскизы данного технологического процесса представлены на рисунке 5.4.

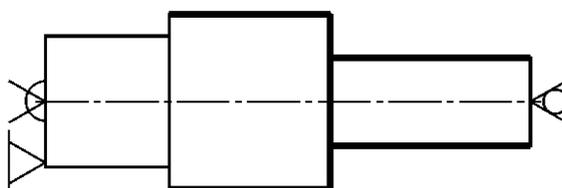
Оп. 005 Фрезерная с ЧПУ



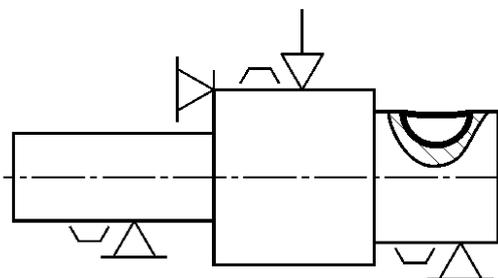
Оп. 010 Токарная с ЧПУ



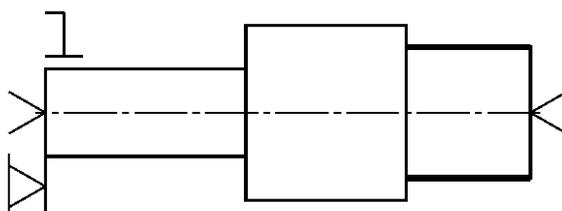
Оп. 015 Токарная с ЧПУ



Оп. 020 Фрезерная с ЧПУ



Оп. 025 Шлифовальная с ЧПУ



Оп. 030 Шлифовальная с ЧПУ

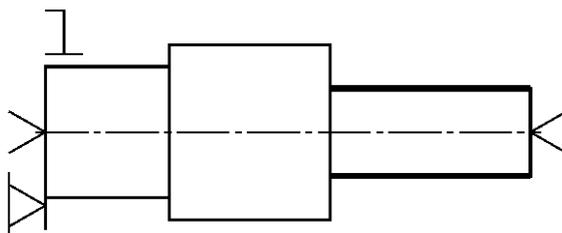


Рис. 5.4. Технологический процесс изготовления детали «вал»

Поскольку в проектном варианте технологического процесса операции каждого вида парные, при выборе основного оборудования воспользуемся принципом взаимозаменяющих станков.

Для последующего анализа спроектируем предварительную компоновку ГПС (рис. 5.5) и рассмотрим для нее два варианта расположения основного оборудования: первый – группирование оборудования по конструктивному признаку; второй – расположение оборудования по ходу выполнения технологического процесса. Циклограммы для обоих вариантов представлены на рис. 5.6 и 5.7.

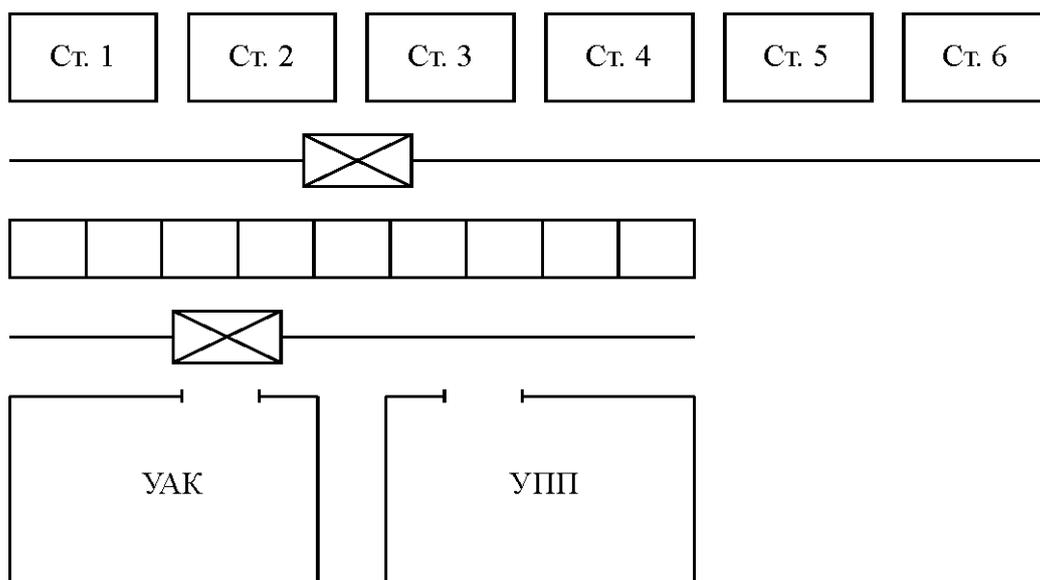


Рис. 5.5. Предварительная компоновка ГПС

Для выявления всех перемещений ТС и последующего расчета суммарных перемещений составим матрицы и графы перемещений подвижных механизмов АТСС.

Матрица перемещения деталиустановок позволяет произвести расчет суммарных перемещений детали в процессе ее обработки в ГПС. Матрицы составляются с учетом технологического процесса изготовления детали для рассматриваемых вариантов предварительных компоновок ГПС. На основе последующего расчета суммарных перемещений производится выбор компоновки, обеспечивающей наименьшие суммарные перемещения.

Ориентировочные графы перемещений подвижных механизмов ТС строятся на основе матриц перемещения деталиустановок и позволяют наглядно изобразить перемещения детали по ГПС.

По результатам расчета и последующего анализа данных принимается решение об окончательной компоновке станочной и транспортной системах ГПС.

В соответствии с разработанными ранее циклограммами станочной системы ГПС (см. рис. 5.6, 5.7) и учетом «норм технологического проектирования

предприятий машиностроения, приборостроения и металлообработки» (ОНТП-14-93) построим матрицы перемещений деталиустановок (табл. 5.1, 5.2).

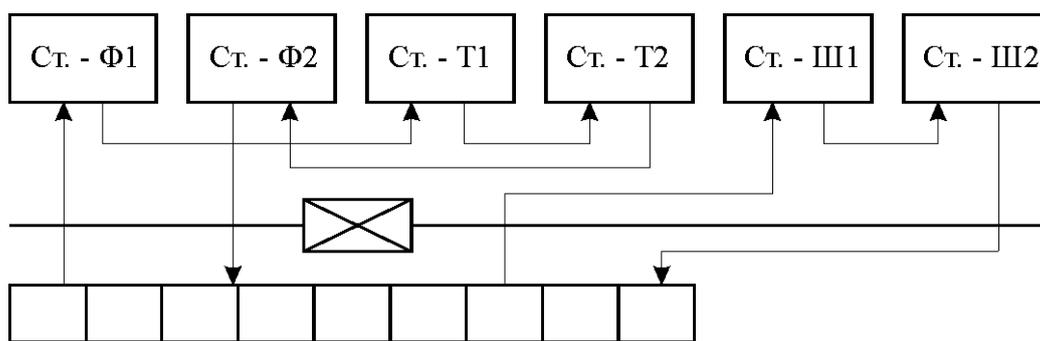


Рис. 5.6. Циклограмма станочной системы ГПС с группированием основного оборудования по конструктивному признаку

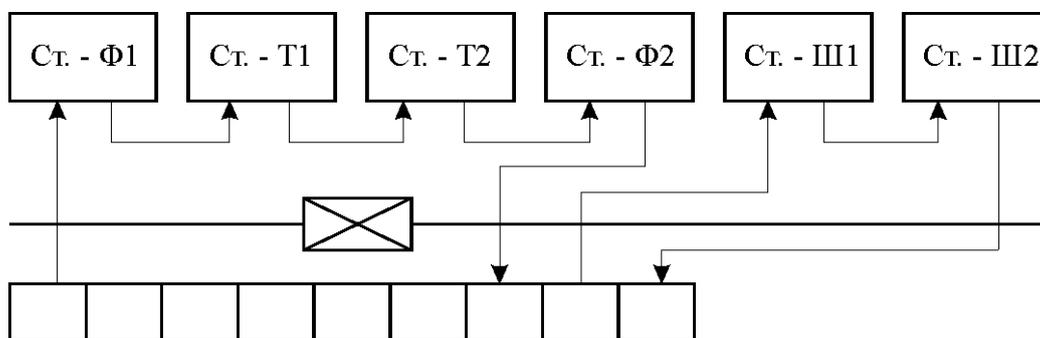


Рис. 5.7. Циклограмма станочной системы ГПС с расположением основного оборудования по ходу выполнения технологического процесса

В горизонтальных строках матриц указано основное оборудование, к которому движется транспортное средство с деталиустановками, а в вертикальных столбцах указано основное оборудование, от которого движется данное транспортное средство. Помимо основного оборудования в матрице перемещений, для наиболее детального анализа, может быть указано и вспомогательное оборудование, обеспечивающее транспортный цикл деталиустановки, например, робокар, промышленный робот, конвейер и др. В ячейки матрицы вносятся расстояния, пройденные деталиустановкой в ходе выполнения транспортного цикла.

Графы перемещений транспортного механизма, в ходе выполнения технологического процесса, представлены на рисунках 5.8 и 5.9. На рисунках приведены графы для ГПС с группированием основного оборудования по конструктивному признаку и ГПС с расположением основного оборудования по ходу выполнения технологического процесса соответственно. Анализ графов сводится к визуальному определению компоновки с наименьшими пересечениями материальных потоков, что должно обеспечить наименьшее число и время перемещений транспортного механизма.

Таблица 5.1

Матрица перемещений деталиустановок для ГПС с группированием основного оборудования по конструктивному признаку

Оборудование, к которому движется транспортное средство	Оборудование, от которого движется транспортное средство						
	Ф1	Ф2	Т1	Т2	Ш1	Ш2	Стеллаж
	Расстояние, пройденное транспортным средством, м						
Ф1	-	-	-	7	-	-	3
Ф2	-	-	-	-	-	-	-
Т1	7	-	-	-	-	-	-
Т2	-	-	3,5	-	-	-	-
Ш1	-	-	-	-	-	-	13,5
Ш2	-	-	-	-	3,5	-	-
Стеллаж	-	3	-	-	-	9	-

Таблица 5.2

Матрица перемещений деталиустановок для ГПС с расположением основного оборудования по ходу выполнения технологического процесса

Оборудование, к которому движется транспортное средство	Оборудование, от которого движется транспортное средство						
	Ф1	Ф2	Т1	Т2	Ш1	Ш2	Стеллаж
	Расстояние, пройденное транспортным средством, м						
Ф1	-	-	-	-	-	-	3
Ф2	-	-	-	3,5	-	-	-
Т1	3,5	-	-	-	-	-	-
Т2	-	-	3,5	-	-	-	-
Ш1	-	-	-	-	-	-	13,5
Ш2	-	-	-	-	3,5	-	-
Стеллаж	-	4,5	-	-	-	9	-

Анализ матриц и графов перемещений для рассматриваемых вариантов компоновок ГПС показал:

– суммарные перемещения транспортного механизма в компоновке с группированием основного оборудования по конструктивному признаку составляют 49,5 м, в компоновке с расположением основного оборудования по ходу выполнения технологического процесса составляют 41 м;

– в компоновке с группированием основного оборудования по конструктивному признаку большее количество пересекающихся грузопотоков.

Таким образом, вариант компоновки ГПС с расположением основного оборудования по ходу выполнения технологического процесса является наиболее предпочтительным.

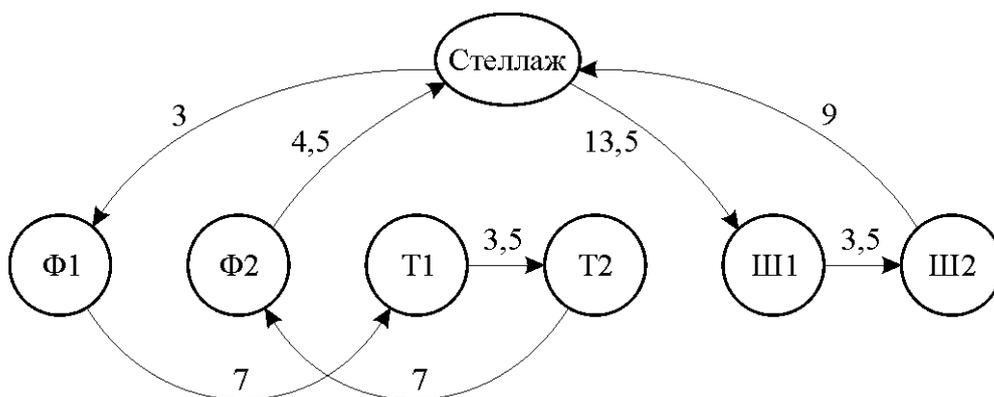


Рис. 5.8. Граф перемещений транспортного механизма в ГПС с группированием основного оборудования по конструктивному признаку

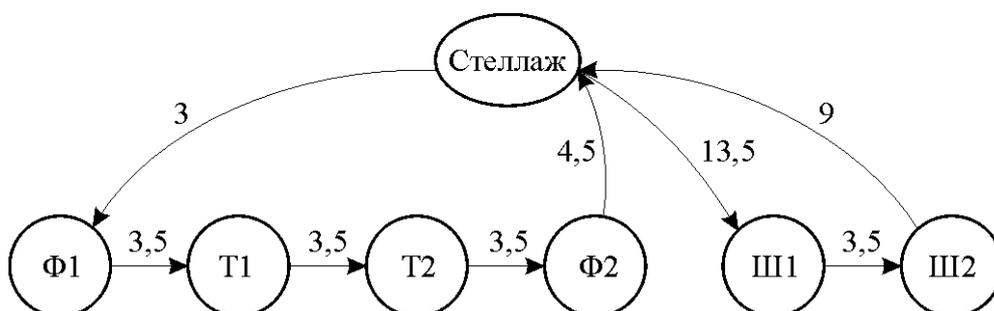


Рис. 5.9. Граф перемещений транспортного механизма в ГПС с расположением основного оборудования по ходу выполнения технологического процесса

5.5. Определение числа подвижных транспортных механизмов АТСС

С целью обеспечения функционирования ГПС в автоматическом режиме необходимо организовать перемещение столов-спутников (паллет) от мест складирования до станков, УПП, УАК, других вспомогательных участков и обратно. Данные функции выполняют автоматизированные транспортные средства. Для дальнейшего проектирования ГПС необходимо произвести расчет минимального количества транспортных механизмов, обеспечивающих перемещение детали-установки в процессе транспортного цикла.

В рассматриваемом нами случае транспортный цикл обеспечивается транспортными механизмами, расположенными со стороны станков и со стороны вспомогательных участков (см. рис. 5.5). Методика расчета количества транспортных механизмов для обоих случаев приведена ниже.

5.5.1. Расчет количества транспортных механизмов, расположенных со стороны станков

Транспортный механизм, расположенный со стороны станков, должен обеспечить передачу спутника с заготовками со стеллажа на станок, со станка на станок и со станка на стеллаж. Передача может осуществляться как непосредственно на станок, так и через промежуточные накопители, приемо-раздаточные столы. Примеры циклограмм работы с применением в качестве

транспортного механизма крана-штабелера, расположенного со стороны станков, представлены выше (см. рис. 5.6 и 5.7).

Для определения числа транспортных механизмов со стороны станков необходимо знать усредненный маршрут обработки деталей по операциям, который наносится на предварительной компоновке ГПС. Знание маршрута позволяет определить общее число перемещений спутников со станка на станок в течение заданного промежутка времени. Зная число обрабатываемых деталиустановок, число выходящих на контроль и возвращающихся деталиустановок по операциям, можно подсчитать общее число перемещений транспортного механизма, расположенного со стороны станков. Зная расстояние между станками и скорость движения транспортного механизма, можно рассчитать суммарное время $T_{\text{обсл}}$ работы штабелера со стороны станков [1]:

$$T_{\text{обсл}} = \frac{K_{\text{стел-ст}} \cdot t_{\text{стел-ст}} + K_{\text{ст-ст}} \cdot t_{\text{ст-ст}}}{60},$$

где $K_{\text{стел-ст}}$ – число перемещений между стеллажом и станками; $K_{\text{ст-ст}}$ – число перемещений между станками; $t_{\text{стел-ст}}$ – среднее время, затрачиваемое на передачу спутника со стеллажа на станок и обратно, мин; $t_{\text{ст-ст}}$ – среднее время, затрачиваемое на передачу спутника со станка на станок, мин.

Время выполнения транспортным механизмом одной передачи спутника ($t_{\text{стел-ст}}$ или $t_{\text{ст-ст}}$) равно:

$$t_{\text{стел-ст}} = t_{\text{ст-ст}} = t_1 + t_2, \quad (5.1)$$

где t_1 – время подход и взятие спутника, мин; t_2 – время затрачиваемое на подход и установку спутника, мин.

$$t_1 = t_k + t_{\text{под}} + t_{\text{в.с}}, \quad (5.2)$$

$$t_2 = t_k + t_{\text{под}} + t_{\text{п.с}}, \quad (5.3)$$

где t_k – время расчета и передачи команды от системы управления устройству ЧПУ транспортного механизма, мин; $t_{\text{под}}$ – время подхода транспортного механизма к заданной точке, мин; $t_{\text{в.с}}$ – время работы цикловой автоматики по выполнению команды о взятии спутника, мин; $t_{\text{п.с}}$ – время работы цикловой автоматики по выполнению команды о установке спутника, мин.

Время t_k колеблется в пределах $t_k=1,5...10$ с; время $t_{\text{в.с}}=t_{\text{п.с}}=0,15...0,25$ мин [1]. Время подхода транспортного механизма к заданной точке:

$$t_{\text{под}} = \frac{L_x}{V_x} + \frac{L_y}{V_y}, \quad (5.4)$$

где L_x и L_y – соответственно длина перемещения транспортного механизма по осям X и Y, м; V_x и V_y – соответственно скорость перемещения транспортного механизма по осям X и Y, м/мин. Для расчетов можно принимать [1]: $V_x = 60$ м/мин; $V_y = 6$ м/мин.

Рассчитав суммарное время обслуживания станков, можно определим число транспортных механизмов для выполнения этой работы:

$$K_{\text{тм1}} = \frac{T_{\text{обсл}}}{\Phi_{\text{тм}} \cdot 60},$$

где $\Phi_{\text{тм}}$ – фонд работы транспортного механизма, ч.

Если в процессе расчета получен очень высокий коэффициент загрузки транспортного механизма ($K_{\text{тм}} \geq 1$) и технические данные выбранного или проектируемого транспортного механизма не могут обеспечить надежности в работе, то необходимо увеличить количество транспортных механизмов со стороны станочного комплекса до двух.

5.5.2. Расчет числа транспортных механизмов, расположенных со стороны вспомогательных участков

Транспортный механизм расположенный со стороны вспомогательных участков (см. рис. 5.5), должен подавать свободные спутники на позицию загрузки УПП, устанавливать загруженные спутники на стеллаж, доставлять спутники с деталями на позиции УАК и разгрузки УПП. Для определения числа транспортных механизмов со стороны вспомогательных участков необходимо прежде всего установить число перемещений транспортных механизмов, которое определяется числом деталиустановок, обрабатываемых в ГПС, и числом деталиустановок, выводимых на УАК. Для этого необходимо построить циклограмму перемещений транспортного механизма со стороны вспомогательных участков, заполнить матрицу перемещений транспортного механизма и изобразить граф перемещений транспортного механизма. Пример построения циклограммы, матрицы и графа разобран выше.

Зная расстояние между позициями и скорость передвижения транспортных механизмов, суммарное время работы транспортного механизма со стороны вспомогательных участков определяются по формуле [1]:

$$T'_{\text{обсл}} = \frac{K_{\text{стел-поз}} \cdot t_{\text{стел-поз}} + K_{\text{поз-поз}} \cdot t_{\text{поз-поз}}}{60},$$

где $K_{\text{стел-поз}}$ и $K_{\text{поз-поз}}$ – соответственно число перемещений между стеллажом и позициями загрузки-разгрузки вспомогательных участков; $t_{\text{стел-поз}}$ и $t_{\text{поз-поз}}$ – соответственно среднее время передачи спутника со стеллажа на позицию загрузки-разгрузки вспомогательных участков и между позициями загрузки-разгрузки вспомогательных участков, мин.

Время на передачу спутника, затрачиваемое транспортным механизмом, работающим со стороны вспомогательных участков, определяется аналогично

работе транспортного механизма со стороны станков по формулам (5.1)–(5.4) с учетом соответствующих расстояний между позициями по осям X и Y.

Для определения числа перемещений между позициями загрузки-разгрузки вспомогательных участков и стеллажом составляется матрица и строится график ориентировочных перемещений штабелера.

Число штабелеров со стороны позиций определяется по формуле:

$$K_{шт2} = \frac{T'_{обсл}}{\Phi_0 \cdot 60},$$

где $T'_{обсл}$ – суммарное время работы штабелеров со стороны позиций загрузки-разгрузки вспомогательных участков, мин; Φ_0 – фонд работы транспортного механизма, ч.

5.6. Предварительная компоновка станочной ГПС

В соответствии с проведенным анализом и выбором наиболее рационального варианта предварительной компоновки ГПС, а также произведенных расчетов количества транспортных механизмов расположенных со стороны станков и вспомогательных участков изображается предварительная компоновка станочной и транспортной систем ГПС. Предварительная компоновка вычерчивается в выбранном масштабе на миллиметровой бумаге с соблюдением всех пропорций и размеров.

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И УЧАСТКОВ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГПС

Для обеспечения функционирования в малолюдном или безлюдном режиме в структуре ГПС должны быть предусмотрены вспомогательные системы и участки. Вспомогательные системы ГПС служат для подготовки заготовок и полуфабрикатов для последующей обработки, обеспечения основного оборудования режущим инструментом, осуществления входного, промежуточного и окончательного контроля и обеспечения своевременного удаления отходов производства. К наиболее важным вспомогательным участкам относятся:

- автоматизированная система инструментального обеспечения (АСИО);
- участок подготовки производства (УПП);
- система автоматизированного контроля (САК);
- автоматизированная система уборки отходов (АСУО).

Вспомогательные системы и участки, как и основные участки механической обработки ГПС связываются единой автоматизированной транспортно-складской системой и системой автоматического управления.

6.1. Автоматизированная система инструментального обеспечения

АСИО служит для организации перемещения, хранения, настройки, сборки инструментов и инструментальных комплектов, восстановления режущих инструментов, очистки инструментов перед их промежуточным хранением,

контроля и технической диагностики состояния режущих инструментов. Организационно АСИО может быть включена в состав ГПС или функционировать отдельно в инструментальном цехе.

Система инструментального обеспечения автоматизированного производства включает в себя склады-накопители, магазины, устройства смены, поиска и контроля инструмента, а также другие средства для решения перечисленных выше задач. АСИО позволяет уменьшить запасы режущего инструмента, сократить его номенклатуру и время поиска, повысить коэффициент использования оборудования и качество обрабатываемых деталей. Таким образом, грамотное проектирование основных элементов АСИО, а также рационализация функционирования всех ее элементов является важной задачей для повышения эффективности использования станков и автоматизированных технологических комплексов.

6.2. Участок подготовки производства

УПП служит для установки, базирования и закрепления деталей на спутниках (паллетах), установки на детали технологических баз, комплектования, установки, выверки станочных приспособлений на спутниках. УПП включает в себя склад приспособлений, устройства выверки детали при установке на спутник, позиции загрузки и разгрузки, обеспечивающие транспортную связь УПП с ГПС.

Все наладочные работы на УПП производятся рабочим, в задачи которого входит своевременное обеспечение производства заготовками и создание задела заготовок для функционирования ГПС в безлюдном режиме.

6.3. Система автоматизированного контроля

САК служит для проведения входного, промежуточного (межоперационного) и окончательного контроля размерно-геометрических параметров заготовок, полуфабрикатов, деталей, диагностирования процессов и оборудования в ходе функционирования ГПС.

Различают три вида автоматического контроля обрабатываемых деталей [2]: до, во время и после обработки. Контроль первого вида необходим для измерения заготовки, поступающей на обработку, и выявления возможных отклонений ее размеров от заданных с целью предупреждения столкновения режущего инструмента и заготовки при завышенном припуске или напуске под обработку.

Контроль второго вида проводится в ходе выполнения технологического процесса обработки детали и предназначен для предотвращения появления брака. По данным, полученным в процессе измерения детали, вносится команда на смену или коррекцию привязочных размеров режущего инструмента.

Контроль третьего вида необходим для окончательного контроля всех размеров и технических требований, предъявляемых к детали, с целью обеспечения гарантии качества изготовления продукции.

Контрольные операции могут выполняться как непосредственно на станках, так и вне станка. На станках с ЧПУ, работающих в автономном режиме, первоначальная привязка, подналадка и наблюдение за износом режущего инструмента выполняются оператором или наладчиком. На станках, работающих в составе ГПС, все эти функции выполняются в автоматическом режиме при помощи аппаратных и программных средств, являющихся элементами САК ГПС.

Контрольные операции вне станка могут проводиться на координатно-измерительных машинах (КИМ) или при помощи других, как автоматических, так и ручных измерительных средств. Оснащенность контрольной операции измерительными средствами определяется исходя из сложности формы детали, измеряемых параметров и целесообразности применения сложных и дорогостоящих измерительных систем.

6.4. Автоматизированная система уборки отходов

АСУО служит для сегментирования сливной стружки, удаления ее от основного оборудования и из ГПС. Транспортирование стружки осуществляется:

- конвейерами или вакуумными трубами, установленными ниже уровня пола;
- транспортными тележками, которые перемещают стружку, собранную в конвейеры, до места сортировки, складирования и утилизации.

Удаление стружки от станков осуществляется в таре при помощи транспортных механизмов. При этом учитываются форма стружки, материал, объем и масса стружки, сменность работы и другие факторы. Также ГПС оснащаются моечными машинами, которые полностью очищают детали и приспособления-спутники от стружки.

7. ВЫБОР ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В ходе проектирования ГПС важным этапом является выбор вспомогательного оборудования. На данном этапе определяется структурно-компоновочные решения, организационные и технологические возможности и другие показатели производства. К вспомогательному относится оборудование, которое содействует процессу производства, но не влияет на свойства, передаваемые изделию. К вспомогательному оборудованию относятся транспортные механизмы, промышленные роботы, моечные машины и др.

Исходной информацией для выбора вспомогательного оборудования являются сведения об изготавливаемых деталях и организационно-технологических условиях их изготовления. На основе подобранной группы деталей с учетом видов обработки и трудоемкости проводится выбор приспособлений, промышленных роботов, транспортных механизмов.

Для определения состава вспомогательного оборудования, включаемого в ГПС, необходима проработка ТП всей группы деталей, обрабатываемой в

системе. Для обеспечения надежности выполнения транспортного цикла, цикла загрузки-разгрузки, установки заготовок или спутников с заготовками на станок необходимо иметь однотипные автоматические устройства для загрузки и закрепления спутников, одинаковые устройства ЧПУ и достаточную вместимость промежуточных накопителей. Таким образом, в состав ГПС необходимо включать универсальное вспомогательное оборудование, параметры которого обеспечивают реализацию ТП обработки определенной группы деталей.

Из многообразия деталей, подлежащих автоматизированной обработке показывает, что можно выделить два основных типа производственных участков, отличающихся оборудованием, средствами автоматического транспортирования и структурно-компоновочным решениями: автоматизированные участки для изготовления деталей типа «тела вращения» и автоматизированные участки для изготовления деталей типа «корпус».

Для автоматизации процесса установки и снятия деталей типа «тела вращения» со станков рекомендуется использование промышленных роботов. Для предварительного базирования и транспортирования заготовок применяются призмы или многоместные накопители без жесткого закрепления.

Для установки и снятия деталей типа «корпус» промышленные роботы применяются редко, за исключением случаев, когда корпусные детали имеют небольшие габаритные размеры и развитые базы. Корпусные детали в основном закрепляют в одноместных или многоместных приспособлениях-спутниках (паллетах) и транспортируют при помощи таких транспортных механизмов как робокар, кран-штабелер, рольганг или конвейер.

При выборе вспомогательного оборудования необходимо руководствоваться следующими критериями:

- технические характеристики по грузоподъемности, скорости срабатывания, точности позиционирования, типу системы ЧПУ;
- совместимость приспособлений-спутников с обслуживаемым оборудованием;
- высокая надежность, универсальность, малое время переналадки;
- соответствие массы транспортируемого объекта и грузоподъемности вспомогательного оборудования;
- обеспечение требуемой скорости и точности движений вспомогательным оборудованием;
- возможность захватывания детали устройством захвата промышленного робота;
- возможность обеспечения требуемой траектории перемещения промышленного робота в рабочей зоне.

В ходе выполнения курсового проекта необходимо, пользуясь электронными ресурсами, произвести выбор конкретной модели и марки вспомогательного оборудования и обосновать свой выбор путем сравнения технических характеристик, совместимости систем управления, территориальной близости отделов технической поддержки.

8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СХЕМ БАЗИРОВАНИЯ ЗАГОТОВОК В ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТАХ, ТРАНСПОРТНЫХ МЕХАНИЗМАХ, ПРОМЕЖУТОЧНЫХ НАКОПИТЕЛЯХ

В современном автоматизированном производстве существует множество систем и подсистем, осуществляющих контроль за материальными и информационными потоками. Это вызвано необходимостью соблюдения всех действий, направленных на получение готовой продукции заданной точности и качества.

На точность и, следовательно, качество выпускаемой продукции в значительной части оказывает влияние правильный выбор поверхностей для:

- промежуточного базирования заготовки или полуфабриката в процессе ее транспортирования, промежуточного хранения;
- закрепления в схвате промышленного робота перед установкой на станок.

Промежуточное базирование, как и базирование для выполнения основных технологических операций должно придавать требуемое положение детали в пространстве. Для этого необходимо определить у заготовки, полуфабриката, готовой детали конструктивные элементы, которые могут служить промежуточными базами. При отсутствии данных конструктивных элементов необходимо предусмотреть их изготовление в процессе механической обработки.

Для подробного рассмотрения данного вопроса необходимо, во-первых, изобразить схемы базирования детали на операциях механической обработки (согласно технологическому процессу). Во-вторых, выявить свободные поверхности, не участвующие в процессе базирования и закрепления детали на станке. В-третьих, в соответствии с маршрутом перемещения заготовки/полуфабриката в ГПС и используемым вспомогательным оборудованием разработать схемы базирования заготовки/полуфабриката в процессе ее/его транспортирования, промежуточного хранения и при закреплении в схвате промышленного робота непосредственно перед установкой на станок. В случае необходимости обеспечения наиболее точного базирования детали перед выполнением операции механической обработки предусмотреть места промежуточного базирования, расположенные рядом со станком и обслуживаемые тем же промышленным роботом, что и станок.

Полученные схемы базирования изобразить в виде таблицы с указанием номеров основных и вспомогательных операций и условных обозначений в соответствии с ГОСТ 3.1107-81 ЕСТД «Опоры, зажимы и установочные устройства. Графические обозначения». Пример оформления схемы базирования представлен на рис. 8.1.

Название операции, схема базирования и закрепления	
Оп. 005 Фрезерная с ЧПУ (базирование заготовки в промышленном роботе)	
Оп. 005 Фрезерная с ЧПУ	

Рис. 8.1. Схемы базирования заготовки

9. АНАЛИЗ УСТАНОВОЧНЫХ РАЗМЕРНЫХ СВЯЗЕЙ

Установочные размерные связи рассчитываются при автоматической установке заготовок на станки, в приспособления, на спутники, в промежуточный накопитель и т.д. Методика выявления и расчета установочных размерных связей аналогична расчету сборочных размерных цепей. Отличие расчетов заключается в величине допусков размеров при установке заготовок в приспособления. Их значения, как правило, значительно больше, чем при сборке изделий. Вместе с тем установка одних и тех же заготовок или спутников может осуществляться многократно, что оказывает влияние на точность последующей обработки [4].

Цель выявления и расчета размерных связей при автоматической установке изделий, загрузки и выгрузки оборудования заключается:

- 1) в обеспечении работоспособности автоматической системы в течение требуемого времени эксплуатации в условиях действия различных факторов, влияющих на стабильность составляющих размеров и размерных связей;
- 2) в выборе методов и средств автоматизации, обеспечивающих требуемые размерные связи;
- 3) в выборе методов и способов размерной наладки системы.

В качестве примера рассмотрим два варианта размерных связей, возникающих при установке заготовки в трехкулачковый патрон токарного станка и установке спутника на стол обрабатывающего центра с ЧПУ.

9.1. Анализ установочных размерных связей при установке заготовки в трехкулачковый патрон токарного станка

В рассматриваемом примере установка заготовки в трехкулачковый патрон осуществляется промышленным роботом. В процессе установки робот берет заготовку с накопителя или приспособления для промежуточного базирования и перемещает ее в рабочую зону станка, обеспечивая параллельность осей заготовки и трехкулачкового патрона. После этого заготовка устанавливается в трехкулачковый патрон, производится зажим кулачков, и промышленный робот покидает рабочую зону станка.

Расчетная схема определения размерных связей для данного случая представлена на рис. 9.1 [4]. Из расчетной схемы видно, что для возможности установки заготовки в трехкулачковый патрон максимальная величина отклонения от соосности A_{Δ} должна не превышать значения:

$$A_{\Delta\max} = 1/2(D-d),$$

где D – диаметр раскрытых кулачков патрона, мм; d – диаметр устанавливаемой в патрон заготовки, мм.

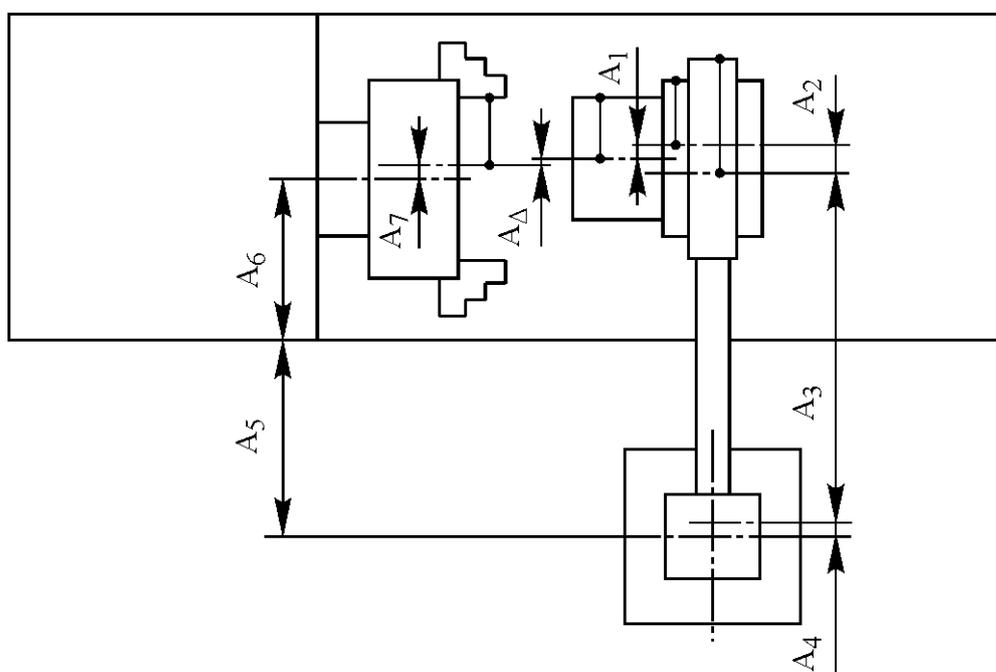


Рис. 9.1. Схема размерных связей при автоматической загрузке токарного станка

Диапазон раскрытия кулачков в современных пневматических и гидравлических трехкулачковых патронах не превышает 8 мм. Таким образом, номинальное значение $A_{\Delta}=0$, а допуск его размер составляет $T_{\Delta}=8$ мм. Значение A_{Δ} можно записать в виде $A_{\Delta}=0\pm 4$ мм.

Для проведения дальнейшего анализа значения A_{Δ} недостаточно. Допустим, что кулачки, в процессе закрепления сдвигаются к оси трехкулачкового патрона. В данном случае наличие отклонения от соосности заготовки и жесткое закрепление заготовки промышленным роботом в момент

ее закрепления будет вызывать перемещение заготовки в положение отличное от заданного. Сила, возникающая при этом может быть определена по формуле:

$$P = j\Gamma_{\Delta}, \quad (9.1)$$

где j – жесткость системы робот – заготовка – патрон.

При жесткости робота $j=500$ Н/мм и максимально возможном в данном случае отклонении от соосности $A_{\Delta}=A_{\Delta\max}=4$ мм сила, действующая в момент закрепления на робота, заготовку и кулачки патрона, составляет $P=2000$ Н. Данное значение силы действующей в момент закрепления не позволит правильно закрепить заготовку, или может нанести повреждения роботу или патрону.

Для расчета допустимой величины погрешности установки, обеспечивающей точное базирование и безопасность для механизмов закрепления и передачи заготовки решается обратная задача. Зная такие технические характеристики трехкулачкового патрона как усилие зажима определим допустимую величину максимального отклонения от соосности:

$$A'_{\Delta\max}=P/j.$$

В соответствии с расчетной схемой (см. рис. 9.2) напомним общее уравнение для расчета максимальная величина отклонения от соосности:

$$A_{\Delta}=A1+A2+A3-A4-A5-A6-A7,$$

где $A1$ – отклонение от соосности технологической базы заготовки, устанавливаемой в патрон, и базы, определяющей положение заготовки в захвате робота; $A2=A2y+A2ц$ – отклонение от соосности поверхности заготовки в схвате, вызванное погрешностью установки заготовки в схвате $A2y$ и отклонением от соосности приспособления схвата $A2ц$; $A3$ – расстояние от оси схвата робота до нуля робота (точки начала отсчета всех перемещений робота по управляющей программе); $A4$ – расстояние от нуля робота до основной базы робота, определяющее его положение относительно станка; $A5$ – расстояние между станком и роботом; $A6$ – расстояние от оси шпинделя станка до основной базы станка; $A7=A7y+A7ц$ – отклонение от соосности кулачков патрона и оси шпинделя станка, вызванное погрешностью центрирования кулачков патрона $A7ц$ и погрешностью установки патрона на шпиндель $A7y$.

Данная размерная цепь характеризует взаимосвязь размеров и отклонений между станком, промышленным роботом и заготовкой.

При автоматической работе комплекса станок-робот необходимо обеспечить точную установку каждой заготовки в патрон станка. Поэтому при решении размерной цепи допуск замыкающего звена должен быть меньше или равен сумме полей допусков составляющих звеньев:

$$T_{\Delta}\geq T1+T2+T3+T4+T5+T6+T7,$$

где $T1 - T7$ – допуски размеров A соответствующего номера.

Допуски, размеров, участвующих в расчете берутся из технической документации на оборудование, конструкторской документации на обрабатываемую деталь, и справочных данных на те или иные виды погрешностей. Например, допуск соосности $T1$ указан на чертеже обрабатываемой заготовки, допуск $T2$ определяется погрешностью установки

заготовки в схвате робота и погрешностью центрирования кулачков патрона и определяется из справочных данных, допуски на остальные звенья, рассматриваемой размерной цепи будут зависеть исключительно от температурных деформаций технологической системы.

9.2. Анализ установочных размерных связей при установке спутника на стол обрабатывающего центра с ЧПУ

В случае обслуживания обрабатывающего центра с ЧПУ робокаром передача спутника происходит с робокара на приемораздаточный стол станка. Для осуществления перемещения спутника с робокара на прямо-раздаточный стол необходимо чтобы их установочные плоскости находились на одном уровне.

При проведении размерного анализа для рассматриваемого случая, прежде всего, необходимо определить исходное звено размерной цепи, которое должно обеспечиваться для правильного перемещения спутника. Из расчетной схемы (рис. 9.2) [4] исходным звеном при передаче спутника с робокара на приемораздаточный стол станка является перепад высоты B_{Δ} между ними. Допустимое значение B_{Δ} определяется конструкцией транспортного прямо-раздаточного механизма. Для данного случая установим значение $B_{\Delta}=0\pm 5$ мм.

Из размерной цепи (см. рис. 9.2) замыкающим звеном будет являться размер B_{Δ} , а размеры B_1 – высота приемораздаточного стола и B_2 – высота робокара являются составляющими звеньями. Стыковка должна обеспечиваться для любого транспортного механизма рассматриваемой ГПС.

Для обеспечения размера B_{Δ} должны соблюдаться следующие условия:

$$\begin{aligned} B_{\Delta} &= B_2 - B_1; \\ T_{\Delta} &= T_2 + T_1; \\ \Delta_{0\Delta} &= \Delta_{02} - \Delta_{01}. \end{aligned} \quad (9.2)$$

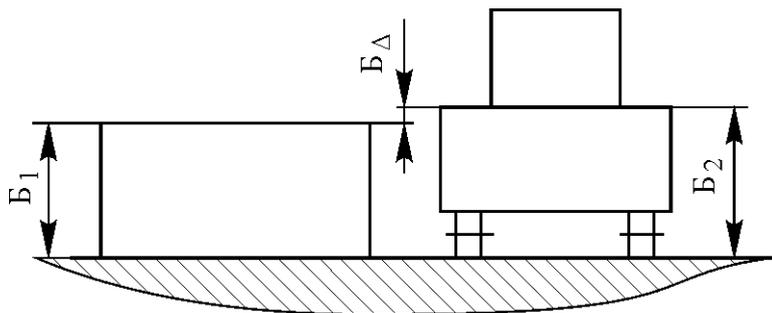


Рис. 9.2 Схема размерных связей при автоматической загрузке многоцелевого станка. Первая проекция

В данной системе уравнений первое уравнение – уравнение размерной цепи в номинальных значениях размеров. Номинальное значение размера $B_{\Delta}=0$. Следовательно, номинальные значения высот приемораздаточного стола и робокара должны быть равны $B_1=B_2$. При этом непосредственно само номинальное значение высот не важно. Во втором уравнении координата

середины поля допуска $\Delta_{0\Delta}$ размера B_{Δ} равна нулю, так как допустимые отклонения симметричны, $\Delta_{0\Delta}=0$. Третье уравнение справедливо при $\Delta_{01}=\Delta_{02}=0$.

Исходя из условия второго уравнение (9.2) видно, что сумма допусков на высоту приемо-раздаточного стола T_1 , и высоту робокара T_2 не должна превышать допуска замыкающего звена $T_{\Delta}=10$ мм ($B_{\Delta}=0\pm 5$ мм); $T_1+T_2=10$ мм. Этому могут удовлетворить различные сочетания T_1 и T_2 , например, $T_1=T_2=5$ мм. Многозначность возможных сочетаний допусков T_1 и T_2 , удовлетворяющих условию $T_1+T_2=10$ мм, является закономерностью проектного расчета, выражающая множество вариантов решения проектной задачи.

Для проведения полного размерного анализа должны быть увязаны размеры и в других координатных направлениях.

На рис. 9.3 [4] показана расчетная схема при виде сверху на робокара со спутником и приемо-раздаточный стол многоцелевого станка с ЧПУ. Для возможности осуществления автоматической передачи спутника с робокара на приемо-раздаточный стол, необходимо, точное позиционирование между ними в момент остановки робокара. Точная остановка тележки может осуществляться при помощи различных датчиков, установленных как на робокаре так и вне него.

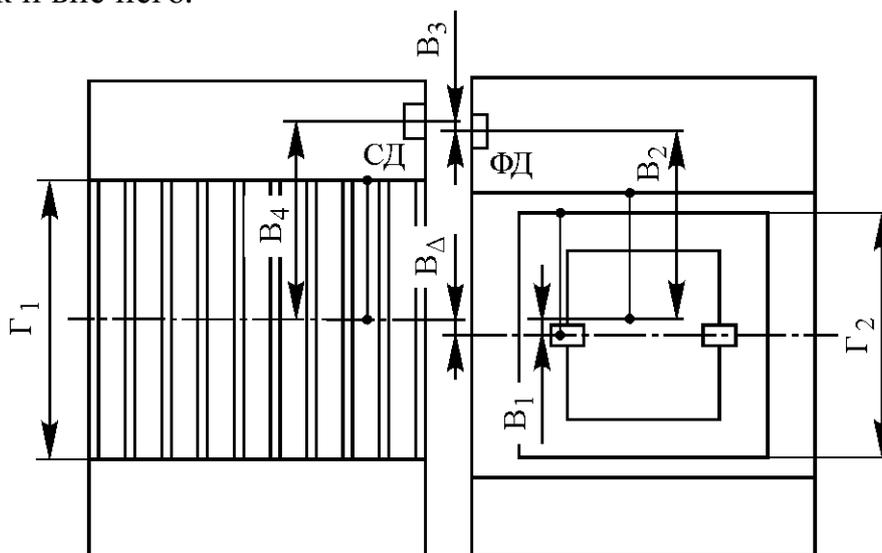


Рис. 9.3. Схема размерных связей при автоматической загрузке многоцелевого станка. Вторая проекция

На расчетной схеме (см. рис. 9.3) исходное звено размерной цепи B_{Δ} – отклонение от осей симметрии базирующего приспособления робокара и направляющего элемента приемо-раздаточного стола. В данной размерной цепи присутствуют следующие звенья: B_1 – отклонение от оси симметрии базирующего приспособления робокара, вызванное погрешностью положения спутника на нем; B_2 – расстояние от оси симметрии спутника до фото датчика ($\Phi Д$) робокара; B_3 – отклонение от соосности $\Phi Д$ тележки и светового датчика (СД) на приемо-раздаточном столе, вызываемое, например, инерционностью

робокара; B_4 – расстояние от СД на приемо-раздаточном столе до оси направляющего элемента приемо-раздаточного стола.

Исходный допуск соосности $T_{\Delta}=0,5(G_1-G_2)$, где G_1 и G_2 – ширина соответственно приемо-раздаточного стола станка и спутника.

В ходе выполнения данного пункта курсового проекта необходимо разработать расчетную схему одного из транспортных механизмов, работающих в ГПС, учитывающую основные факторы оказывающие влияние на точность позиционирования заготовки или приспособления спутника в процессе их автоматизированной передачи между основным и/или вспомогательным оборудованием. На основе разработанной расчетной схемы написать уравнения для последующего проведения размерного анализа. Произвести расчет написанных уравнений с целью определения требуемой точности взаимного расположения транспортных механизмов обеспечивающей безотказного перемещения заготовок или приспособлений-спутников в пределах ГПС.

10. РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ГПС

Под структурной схемой ГПС следует понимать расположение компонентов ГПС, обеспечивающих наиболее рациональное функционирование всей системы. При этом к компонентам ГПС относят технологическое оборудование, транспортную систему, склады, управляющее оборудование и т.п. Производственные возможности ГПС определяют технические характеристики ее отдельных компонентов, таких как емкость склада, от которой зависит возможность работы участка в режиме безлюдного режима производства. Структурная схема ГПС определяется типом обрабатываемых деталей, технологическим процессом их изготовления.

В зависимости от типа изделий ГПС могут быть предназначены обработки корпусных деталей, деталей типа «тело вращения» и смешанного типа. Каждая ГПС оснащается своим технологическим оборудованием, например многоцелевыми станками с ЧПУ сверлильно-фрезерно-расточной группы для обработки корпусных деталей и станками с ЧПУ токарной и шлифовальной групп для обработки деталей тел вращения. Структурная схема ГПС характеризует взаимосвязь основного и вспомогательного оборудования, обслуживающих их транспортных устройств, межоперационных складов.

Структурная схема в целом зависит от серийности производства, для которого создается ГПС. Типовые схемы в зависимости от организации материальных потоков следующие: с централизованным складом, с промежуточным накопителем и с комбинированной структурой (рис. 10.1) [5].

Варианты размещения с централизованной структурой применяют в единичном и мелкосерийном производстве деталей с большой станкоемкостью и/или с крупными габаритными размерами. Реализуются данные варианты по схеме склад – станок – склад (С – Ст – С) в ГПС с верхним уровнем управления АТСС (рис. 10.1, а) и по схеме промежуточный накопитель – станок –

промежуточный накопитель (Н – Ст – Н) в ГПС, где требуется малая вместимость промежуточного накопителя и невысокий уровень управления АТСС (рис. 10.1, б).

Варианты с комбинированной структурой являются наиболее распространенными и применяются в производстве, требующем частых переналадок. Данные варианты реализуются по схемам: склад – промежуточный накопитель – станок – станок – промежуточный накопитель – склад (С – Н – Ст – Ст – Н – С) и склад – промежуточный накопитель – станок – промежуточный накопитель – станок – склад (С – Н – Ст – Н – Ст – Н – С) (рис. 10.1, в и г).

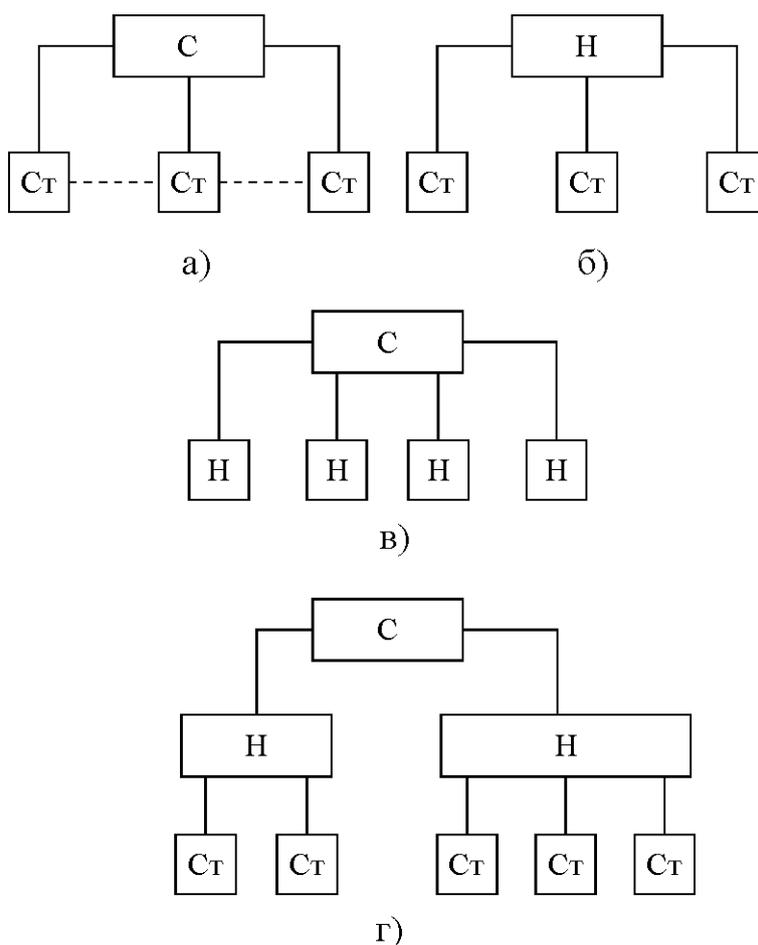


Рис. 10.1. Типы организации материальных потоков

В зависимости от технологии изготовления деталей рекомендуются следующие типовые компоновочные структуры [5]: группирование оборудования по конструктивному признаку; расположение оборудования по ходу выполнения технологического процесса; расположение оборудования по методу жесткой технологической последовательности операций.

Типовые компоновочные структуры в зависимости от взаиморасположения рабочих зон и зон обслуживания оборудования рекомендуются следующие [5]:

фронтальная (рис. 10.2, а); поперечная (рис. 10.2, б); дипольная (рис. 10.2, в); угловая (рис. 10.2, г); круговая (рис. 10.2, д); комбинированная (рис. 10.2, е).

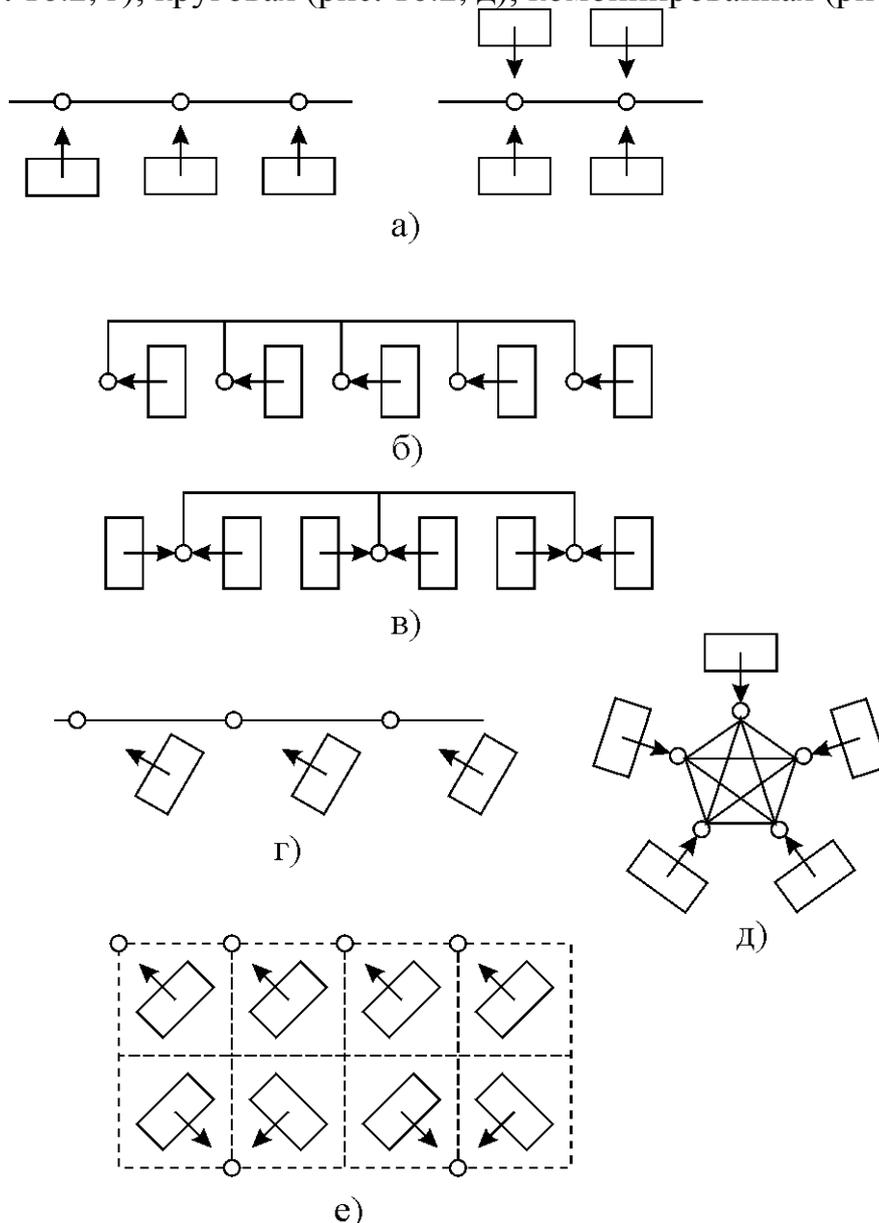


Рис. 10.2. Рекомендуемые схемы размещения основного технологического оборудования

Фронтальная и поперечная компоновочные структуры распространены в ГПС для изготовления деталей типа «тела вращения» и «корпус». В ГПС для изготовления деталей типа «тела вращения» с целью автоматизации процесса загрузки-разгрузки станков широко применяются напольные, подвесные и порталные промышленные роботы и манипуляторы.

Дипольная компоновочная структура рекомендуется для повышения гибкости организации материальных потоков и дает возможность промышленному роботу или манипулятору обслуживать два станка.

Угловая компоновка ГПС позволяет сократить протяженность производственного участка, и целесообразна в случае изготовления деталей типа «тела вращения».

Круговая компоновка применяются в ГПС для изготовления различных деталей при использовании в качестве транспортного и загрузочного средства манипулятора вращательного типа.

Комбинированная компоновка предпочтительна, если она выполняется в форме решетки с квадратными ячейками.

В типовых компоновочных структурах в зависимости от расположения оборудования применяются следующие компоновки СС: вдоль линии станков; перпендикулярно линии станков; без склада. Склады, расположенные вдоль линии станков, применяются при однорядном расположении станков. Поперечные склады рекомендуются при многорядном расположении станков. Планировка с поперечным складом занимает меньшую площадь, но требуется транспорт, обслуживающий станки. Выбор конкретной компоновки ГПС производится исходя из: минимизации используемой производственной площади; минимизации транспортных перемещений материальных потоков; обеспечения наибольшей маршрутной гибкости; доступности обслуживающего персонала к основному и вспомогательному оборудованию, зоне их обслуживания и ремонта; суммы затрат на создание СС и ТС.

При выполнении курсового проекта на структурной схеме ГПС изображаются основное и вспомогательное оборудование, элементы АТСС, вспомогательные участки. Все элементы изображаются в одном масштабе с приблизительным соблюдением расстояния между оборудованием и другими элементами автоматизированного участка. Также на структурной схеме наносятся пути транспортной системы с указанием направления перемещения заготовки в процессе ее транспортирования.

Пример структурной схемы ГПС представлен на рис. 10.3

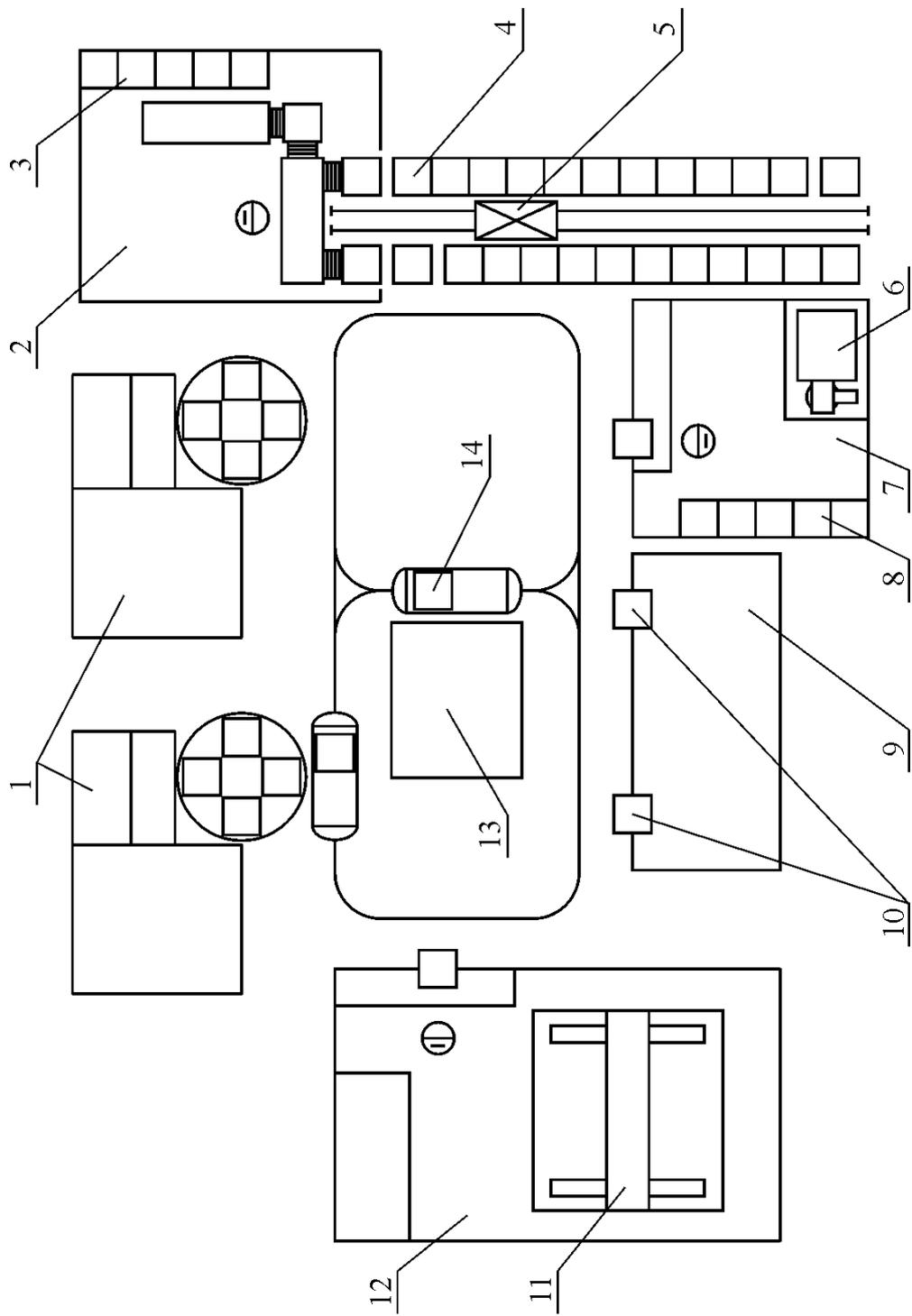


Рис. 10.3. Структурная схема ГПС

1 – ГПС с 4-х местным накопителем паллет; 2 – УПП; 3 – склад стачных приспособлений; 4 – центральный склад; 5 – робот-пгабелер; 6 – прибор для наладки режущего инструмента; 7 – УИО; 8 – склад режущих инструментов; 9 – моечная машина; 10 – приемо-раздаточный стол; 11 – КИМ; 12 – УАК; 13 – станция зарядки аккумуляторных батарей; 14 – робокар

Библиографический список

1. Автоматизация производственных процессов в машиностроении / Н.М. Капустин, П.М. Кузнецов, А.Г. Схиртладзе и др.; под ред. Н.М. Капустина. – М.: Высш. шк., 2004. – 415 с.: ил.
2. Бушуев, В.В. Metallорежущие станки: учебник в 2 т. / В.В. Бушуев, А.В. Еремин, А.А. Какойло и др.; под ред. В.В. Бушуева. – М.: Машиностроение, 2011. – Т.2. – 586 с.: ил.
3. ОНТП 14-93 Нормы технологического проектирования предприятий машиностроения, приборостроения и металлообработки. Механообрабатывающие и сборочные цехи. – М., 1993. – 133 с.
4. Основы автоматизации машиностроительного производства / Е.Р. Ковальчук, М.Г. Косов, В.Г. Митрофанов и др.; под ред. Ю.М. Соломенцева. – 2-е изд. испр. – М.: Высш. шк., 1999. – 312 с.: ил.
5. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник в 3 т. / Под общей ред. А.С. Проникова – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана; Изд-во МГТУ «Станкин», 2000. – Т. 3. – 584 с.: ил.
6. Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением: Справочник / В.И. Гузеев, В.А. Батуев, И.В. Сурков; под ред. В.И. Гузеева. – М.: Машиностроение, 2005. – 368 с.: ил.
7. Технологичность конструкции изделия: Справочник / Ю.Д. Амиров, Т.К. Алферова, П.Н. Волков и др.; под общ. ред. Ю.Д. Амирова. – 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1990. – 768 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Анализ возможности полной или частичной автоматизации технологического процесса обработки детали.....	4
1.1. Наличие в технологическом процессе слесарных, универсальных или специальных операций.....	5
1.2. Возможность встраивания основного оборудования в ГПС.....	5
1.3. Концентрация переходов на операциях механической обработки.....	5
1.4. Габаритные размеры детали.....	6
1.5. Наличие поверхностей для захвата.....	6
2. Группирование деталей, подлежащих изготовлению на гибком производственном участке.....	6
3. Отработка конструкции детали на технологичность.....	8
4. Определение состава и числа оборудования станочного комплекса ГПС.....	9
5. Определение структуры и состава автоматизированной транспортно-складской системы ГПС.....	11
5.1. Определение характеристик стеллажа-накопителя.....	13
5.2. Расчет числа позиций загрузки и разгрузки.....	14
5.3. Расчет числа позиций контроля.....	14
5.4. Проектирование предварительной компоновочной схемы ГПС.....	15
5.5. Определение числа подвижных транспортных механизмов АТСС.....	21
5.6. Предварительная компоновка станочной ГПС.....	24
6. Определение вспомогательных систем и участков, необходимых для функционирования ГПС	
6.1. Автоматизированная система инструментального обеспечения.....	24
6.2. Участок подготовки производства.....	25
6.3. Система автоматизированного контроля.....	25
6.4. Автоматизированная система уборки отходов.....	26
7. Выбор вспомогательного оборудования.....	26
8. Определение схем базирования заготовок в промышленных роботах, станках, промежуточных накопителях.....	28
9. Анализ установочных размерных связей.....	29
9.1. Анализ установочных размерных связей при установке заготовки в трехкулачковый патрон токарного станка.....	30
9.2. Анализ установочных размерных связей при установке спутника на стол обрабатывающего центра с ЧПУ.....	32
10. Разработка структурной схемы ГПС.....	34
Библиографический список.....	39

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Техн. редактор А.В. Миних

Издательство Южно-Уральского государственного университета

Подписано в печать . .2014. Формат 60×84 1/16. Печать офсетная.
Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 100 экз. Заказ / .

Отпечатано в типографии Издательства ЮУрГУ. 454080, г. Челябинск,
пр. им. В.И. Ленина, 76.