

В.А. Полтаев

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Учебное пособие

Кемерово 2004

ВВЕДЕНИЕ

Повышение эффективности современного машиностроительного производства возможно только путем комплексной автоматизации.

В условиях частой сменяемости продукции, расширения номенклатуры ее выпуска, сокращения сроков технологической подготовки производства (освоения) средства автоматизации и производства должны быть унифицированы, построены по модульному принципу, иметь широкую универсальность и способность к быстрой переналадке, то есть быть гибкими. Интенсификация технологических процессов и снижение себестоимости изготовления изделий в гибких производствах осуществляются за счет применения многоцелевых систем машин, оборудования, приборов, промышленных роботов и манипуляторов, автоматизированных транспортных и складских систем, интенсивных ТП, обеспечивающих высокую производительность и автоматизацию всех процессов производства, а также использование микропроцессоров (МП) и микроЭВМ в управлении переналаживаемым автоматизированным производством.

Такое гибкое автоматизированное производство (ГАП) позволит в дальнейшем создать заводы-автоматы, работающие по принципу безлюдной технологии и круглосуточно.

Другим направлением автоматизации является совершенствование традиционных средств автоматизации, обладающих наибольшей производительностью, но имеющих малую универсальность и малую мобильность к переналадке. Эти средства хорошо зарекомендовали себя в условиях массового и крупносерийного производства, для которого характерна редкая сменяемость изделий, большая продолжительность срока выпуска, малая номенклатура, малая доля вспомогательного и подготовительно-заключительного времени в общей трудоемкости изготовления изделия. Традиционные средства производства и автоматизации - автоматические линии - строятся на базе специального и специализированного оборудования, соединенного автоматическим транспортом. Это классические направления. Возникает производство с большим объемом ограничения сроком выпуска изделий - многономенклатурные производства с большим объемом выпуска.

Создание любого автоматизированного производства начинается с разработки ТП. На этом этапе решаются следующие задачи: выбор заготовки и метода ее получения, выбор методов обработки заготовки и сборки изделий; определение количества и последовательности операций, агрегатирование операций (концентрация или дифференциация); выбор оборудования, инструмента, приспособлений; определение режимов и условий выполнения операции и др.

Особенностью автоматизированных ТП является возможность их интенсификации. Для этой цели используют: концентрацию (объединение) операций, объединение действий (совмещение рабочих ходов с холостыми ходами, холостых ходов с холостыми ходами, холостых ходов с рабочими ходами), приме-

нение новых высокопроизводительных процессов, реализация которых при неавтоматическом управлении невозможна; оптимизацию и адаптацию ТП.

Для традиционной технологии характерно:

1) при массовом и крупносерийном производстве - единичные (индивидуальные) ТП с детальной проработкой (операционные ТП); высокая степень специализации (дифференцирование ТП); полная синхронизация операций (либо большое незавершенное производство в виде операционных заделов); поточные методы организации труда; однопредметные автоматические линии на базе специальных и агрегатных станков, которые расположены в порядке выполнения ТП; транспортная связь с жестким ритмом (без заделов); высокая степень автоматизации; высокая производительность; низкая универсальность, отсутствие гибкости; обслуживание оператором низкой квалификации;

2) при серийном производстве - групповые и типовые ТП с неполной детальной проработкой; средняя степень специализации; синхронизация операций; поточный метод организации труда; многопредметные автоматизированные и механизированные поточные линии на базе агрегатного и универсального оборудования с ЧПУ и механизированных рабочих мест; низкий уровень автоматизации; высокая универсальность; низкая гибкость; повышенная квалификация операторов;

3) при мелкосерийном производстве - групповые и единичные ТП без детальной проработки, низкий уровень специализации; укрупнение операций (интегрирование, концентрация); при сборке применяют поточные (позиционные) методы организации труда, универсальное оборудование, в том числе с ЧПУ, много неавтоматизированных операций; высокая универсальность, низкая гибкость; операторы высокой квалификации.

Для гибкой автоматизированной технологии характерно:

1) при серийном производстве применяют типовые и групповые ТП с детальной их проработкой (операционные); укрупнение (концентрация) операций, синхронность необязательна, применяется для выполнения операций ГПМ, объединение с автоматизированными накопителями и транспортным оборудованием в ГАЛ или ГАУ с управлением от ЭВМ;

2) при многономенклатурном мелкосерийном производстве - в основном то же, что и при серийном, но еще больше укрупняются операции (стремление выполнить процесс обработки на одном обрабатывающем или сборочном центре; основу ГАУ составляют обрабатывающие или сборочные центры, а также универсальное оборудование с микропроцессорным управлением, автоматизированные транспорт и накопители с ПУ или ЧПУ, сопрягаемые с общим управлением от УВК (управление вычислительным комплексом) или ЭВМ.

Указанные особенности гибкой автоматизации вносят существенные изменения в процесс проектирования традиционной технологии.

1. ВИДЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Устанавливаются три вида технологических процессов в зависимости от количества изделий, охватываемых процессом: единичный, типовой и групповой.

Единичный ТП разрабатывается для изделия одного наименования, типоразмера и исполнения, независимо от типа производства.

Типоразмер - одна из нескольких деталей одного типа, отличается только одним или несколькими размерами.

Исполнение - одна из нескольких деталей одного типоразмера, отличающаяся от других или материалом, или видом покрытия и т.п. при одних и тех же размерах.

Типовой ТП разрабатывается для группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками.

Групповой технологический процесс разрабатывается для изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками.

Типовая технологическая операция характеризуется единством содержания и последовательности технологических переходов для группы изделий с общими конструкционными и технологическими признаками.

Групповая технологическая операция характеризуется совместным изготовлением группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками.

В соответствии со стандартами ЕС ТПП, в первую очередь разрабатываются типовые или групповые ТП и ТО и только в случае невозможности этого разрабатываются единичные ТП.

По степени детализации описания ТП подразделяются на маршрутные, операционные и маршрутно-операционные.

Типовые ТП, как правило, имеют общий маршрут для всех деталей - типоразмеров этого типа.

При разработке групповых ТП группирование может осуществляться как по отдельным операциям, так и по всему ТП. В первом случае могут не совпадать количество и последовательность переходов, а во втором случае могут не совпадать операции обработки конкретных деталей, входящие в одну и ту же группу.

Поэтому при разработке групповых ТП рекомендуется представить схему последовательности операций группового ТП для деталей группы (на основе комплексного маршрута) или переходов групповой операции (на основе комплексной детали) (табл. 1.1 и 1.2).

Разработка ТП производится для изготовления изделий, конструкции которых отработаны на технологичность.

Группирование изделий по конструктивным и технологическим признакам с учетом организации производства является обязательным этапом, предшествующим разработке ТП.

Таблица 1.1

Схема последовательности операций

Наименование деталей	Операции						
	1	2	3	4	5	6	7
Комплексная деталь	x	x	x	x	x	x	x
Втулка	x	x	x	-	-	-	x
Гайка	x	x	-	x	x	-	-

Таблица 1.2

Схема последовательности переходов

Наименование детали	Переходы						
	1	2	3	4	5	6	7
Комплексная деталь	x	x	x	x	x	x	x
Гайка	x	x	-	x	-	-	x
Заглушка	x	x	x	-	-	x	x

Разработка ТП в общем случае в соответствии с ЕСТПП осуществляется в такой последовательности:

- выбор заготовки;
- выбор типового ТП;
- определение последовательности и содержания ТП;
- определение, выбор и заказ новых средств технологического оснащения;
- назначение и расчет режимов обработки;
- нормирование процесса;
- определение профессий и квалификации исполнителей;
- организация производственных участков;
- выбор средств механизации и автоматизации элементов ТП и внутрицеховых средств транспортирования;
- составление планировок производственных участков и разработка операций перемещения изделий и отходов;
- оформление рабочей документации на ТП.

2. МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТП

Анализ существующих методов проектирования позволяет разделить их на две группы: проектирование методом заимствования на основе аналога и метод синтеза технологических процессов [1, 2, 4] (рис. 2.1).

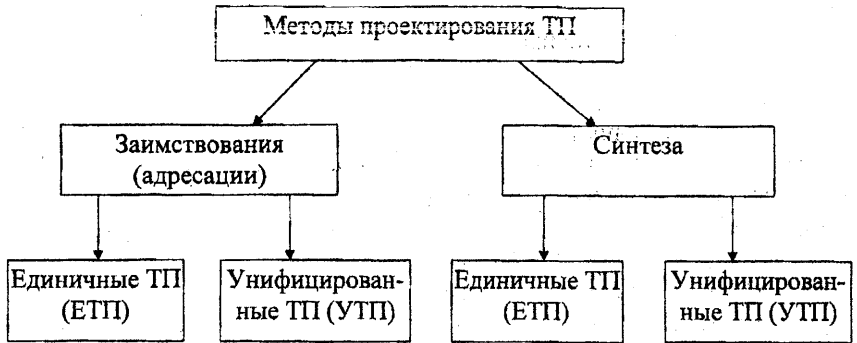


Рис. 2.1. Методы проектирования ТП

Первый метод имеет две разновидности: проектирование на основе повторного использования единичных технологических процессов и проектирование на основе унифицированных (типовых и групповых) технологических процессов.

Первая разновидность метода основана на использовании готовых решений на всех уровнях проектирования за счет заимствования существующих единичных технологических процессов. Схема проектирования в этом случае следующая: деталь, на которую требуется разработать технологический процесс, → деталь-аналог → технологический процесс на деталь-аналог. Технологический процесс для детали-аналога, его общие характеристики и состав операций используются как исходный вариант для проектирования. Сущность процесса проектирования сводится к корректировке исходного процесса с целью получения необходимого рабочего. Корректировки касаются небольших изменений структур операций, параметров режущего инструмента (размеры сверл, зенкеров, разверток, состав технологических переходов и т.д.), измерительного инструмента применительно к размерам исходной детали. Заново могут быть просчитаны операционные размеры и режимы резания.

Таким образом, разрабатывается единичный технологический процесс, полученный по аналогии с существующим. Обычно такой технологический процесс не является оптимальным, так как он ориентирован на прошедший опыт и в качестве аналога может быть выбран далеко не самый лучший процесс. Качество спроектированного технологического процесса зависит от того, насколько удачно будет выбрана деталь-аналог.

Использование данного метода позволяет ускорить процесс проектирования и снизить стоимость технологической подготовки за счет применения готовых технологических решений и заимствования технологического оснащения.

Иначе обстоит дело при использовании второй разновидности метода заимствования, основанного на унифицированных технологических процессах. Унификация технологии ориентирована на применение прогрессивного технологического оснащения и передовых форм организации производства. Применение унифицированных технологических процессов позволяет в большей степени учесть конструктивные особенности исходной детали при формировании структур операций.

Схема проектирования технологического процесса в этом случае следующая: исходная деталь → типовой представитель группы деталей (деталь-аналог) → унифицированный технологический процесс → рабочий технологический процесс. Процесс проектирования разбивается на этапы: отнесение детали к группе по конструктивному подобию с типовым представителем группы, выбор унифицированного технологического процесса для выделенной группы и доработка унифицированного технологического процесса до рабочего.

Детали, которые относятся к одному технологическому процессу, образуют группу. Для группы проводится расчет загрузки оборудования и себестоимости: чем больше деталей будет входить в одну группу, тем выше будет загрузка оборудования и ниже себестоимость обработки каждой детали.

Создание унифицированных технологических процессов основано на предварительной классификации и группировании деталей по конструкторско-технологическому подобию. Параллельно с этим необходимо разработать классификатор, по которому детали будут относиться к группам.

Второй метод проектирования основан на синтезе маршрутно-операционных единичных технологических процессов. Синтез технологического процесса проводится на основе анализа структурных связей в заготовке и детали с элементами технологической системы. Метод синтеза также имеет две разновидности: нисходящий и восходящий синтез [3].

Нисходящий синтез (проектирование "сверху вниз") характеризуется тем, что решение проектно-технологических задач более высоких иерархических уровней предшествует решению задач нижних уровней. При этом исходные данные для проектирования представляются только для высшего иерархического уровня. На всех последующих уровнях исходные данные формируются в процессе проектирования. Методика проектирования для данного метода рассмотрена в работе [5].

Восходящий синтез (проектирование "снизу вверх") предполагает предварительную разработку и описание всех элементов по каждому уровню проектирования. Объекты, проектируемые на каждом уровне восходящего проектирования, должны быть типовыми, предназначенными для многих применений.

Рассмотрим нисходящее проектирование технологических процессов. При проектировании выделяются следующие основные иерархические уровни:

1) определение принципиальной схемы технологического процесса, то есть состава и последовательности этапов обработки детали;

- 2) разработка маршрутного технологического процесса, то есть определение состава и последовательности технологических операций; выбор баз и технологического оборудования;
- 3) проектирование операционной технологии;
- 4) разработка управляющих программ для станков с ЧПУ и промышленных роботов.

Иерархические уровни проектирования иногда называются уровнями абстрагирования при описании объектов. Совокупность описания некоторого уровня вместе с постановками задач и методов получения этих описаний будем называть иерархическим уровнем проектирования. Охарактеризуем уровни проектирования.

Первый уровень отражает принципиальную схему технологического процесса, которая включает в себя состав и последовательность этапов обработки детали. В качестве этапа рассматривается часть технологического процесса, включающая однородную по характеру и точности обработку различных поверхностей и детали в целом. Всего выделяется тринадцать этапов: заготовительный, черновой, термический 1, полустойкой 1, термический 2 и т.п. Исходной информацией для задач этого уровня являются сведения о детали, программе ее выпуска, а также о существующих методах и видах обработки, цель уровня - получение нескольких наиболее рациональных принципиальных схем технологического процесса механической обработки.

На втором уровне проектируется маршрутный технологический процесс. Исходной информацией для этого уровня является исходная информация уровня принципиальных схем, полученные принципиальные схемы и сведения об оборудовании и технологической оснастке. Цель второго уровня проектирования - получение нескольких наиболее рациональных вариантов маршрутного технологического процесса.

Третий уровень включает проектирование операционной технологии. Исходная информация для этого уровня включает исходную информацию двух предыдущих уровней, сведения о маршрутном технологическом процессе и средствах технологического оснащения. Проектные задачи уровня связаны с выбором режущего и вспомогательного инструмента, станочных приспособлений, формированием технологических переходов, расчетом операционных размеров, режимов резания и нормирования. В результате проектирования формируется несколько вариантов операционных технологических процессов, из которых выбирается один, имеющий лучшие технико-экономические показатели.

Четвертый этап характерен для технологических процессов обработки деталей на станках с ЧПУ.

Проектирование технологического процесса по рассмотренной схеме представляет собой итерационный, многоуровневый процесс последовательной детализации и оптимизации проектных решений. Схема этого процесса приведена на рис. 2.2 (C_1 - синтез допустимых принципиальных схем технологического процесса; $OЦ_1$ - оценка и выбор наиболее рациональных принципиальных

схем; C_2 - синтез вариантов технологических маршрутов; $ОЦ_2$ - оценка и отбор рациональных маршрутных технологических процессов; C_3 - синтез различных вариантов операционных технологических процессов; $ОЦ_3$ - оценка и выбор наиболее эффективного операционного технологического процесса).

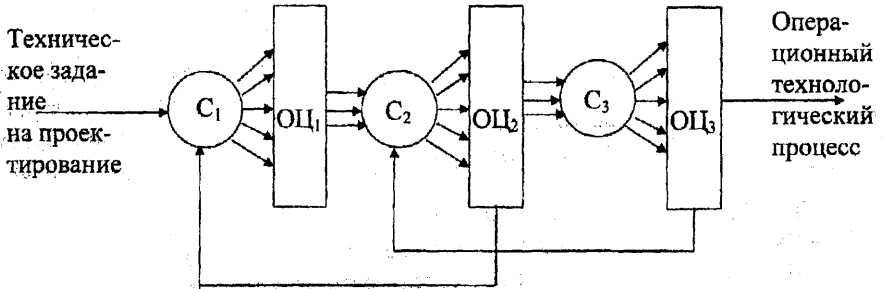


Рис. 2.2. Общая схема нисходящего проектирования технологических процессов

3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТП

Исходная информация подразделяется на базовую, руководящую и справочную. Базовая включает в себя конструкторскую документацию и годовой выпуск изделия; руководящая включает в себя ГОСТы на ЕСТП, ЕСТД и другие классификаторы деталей и операций, трудовые нормативы и т.п.; справочная содержит справочники, каталоги, паспортные данные на оборудование, нормативы и т.п.

3.1. Служебное назначение изделия и технические требования

Под служебным назначением (машины) изделия понимают максимально уточненную и четко сформулированную задачу, для решения которой предназначены машины [6]. Формулировка служебного назначения должна отражать не только общую задачу, для решения которой создаются машины, но и все дополнительные условия и требования, которые эту задачу количественно уточняют и конкретизируют.

Каждая машина предназначена для выполнения полезного труда. Поэтому изучение служебного назначения следует начинать с ознакомления с назначенными результатами действия машины. Например, если в результате должна быть получена продукция надлежащего качества, то формулировка служебного назначения производственной машины должна содержать сведения о виде, качестве и количестве продукции.

Другую задачу данных по служебному назначению машины могут составлять показатели производительности, которой должна обладать машина. Формулировка служебного назначения машины должна включать перечень условий, в которых ей предстоит работать и производить продукцию требуемого качества и в необходимых количествах.

Условия работы таких машин вытекают из описания технологического процесса изготовления продукции и включают комплекс показателей с допустимыми отклонениями, характеризующими количество исходного продукта, количество потребляемой энергии, режим работы машины и состояние окружающей среды.

Формулировка служебного назначения машины может содержать также ряд дополнительных сведений, которые необходимо учитывать при ее проектировании и изготовлении, например требования к внешнему виду, безопасности работы, удобству и простоте обслуживания и управления, уровню шума, КПД, степени механизации и автоматизации.

Опыт показывает, что ошибки, допущенные при выявлении и уточнении служебного назначения машины, приводят не только к созданию недостаточно качественной машины, но и вызывают лишние затраты труда на ее изготовление и эксплуатацию, а также увеличивают сроки ее освоения.

Первоначально служебное назначение машины формулируется заказчиком и уточняется при оформлении заказа на проектирование. Для конструктора формулировка служебного назначения машины является и сходным документом, который впоследствии он прилагает к чертежам машины. От технолога, приступающего к разработке технологии изготовления машины и являющегося лицом, ответственным за сдачу готовой машины, помимо изучения, требуется критическая оценка формулировки служебного назначения машины.

Разработав конструкцию и сделав необходимые расчеты, конструктор в описании конструкции дает формулировку служебного назначения машины и ее сборочных единиц, обоснованно назначает технические требования и нормы точности, вытекающие из служебного назначения, указывает методы достижения требуемой точности в соответствии с данными по количественному выпуску машины, обеспечивающие более экономичное ее изготовление.

Каждая машина, как и ее отдельные механизмы, выполняет свое служебное назначение при помощи ряда поверхностей или их сочетаний, принадлежащих отдельным деталям машины. Эти важнейшие поверхности деталей машины или ее механизмов принято называть исполнительными.

Исполнительные поверхности определяют положение заготовки и инструмента, поскольку в процессе их относительного движения формируется поверхность детали (ее положение относительно технологических баз, точность размера, формы, шероховатость). Так у токарного станка исполнительными поверхностями являются внутренние конуса шпинделя и пиноли задней бабки, служащие для определения положения обрабатываемой заготовки; торец шпинделя и посадочный буртик, служащие для определения положения патрона с за-

готовкой; поверхности резус-держателя или резцовой головки, определение положения режущего инструмента.

В качестве примера рассмотрена шпиндельная бабка агрегатного станка.

Шпиндельная бабка, как исполнительный рабочий орган агрегатного станка, оказывает доминирующее влияние на обеспечение точности обрабатываемых заготовок. Служебное назначение этой сборочной единицы - передача каждому из шпинделей изменения $M_{кр}$ в определенных диапазонах, обеспечение равномерности вращения и неизменности положения в пространстве исполнительных поверхностей каждого шпинделя.

Оно вытекает из результата работы шпиндельной бабки: необходимости обеспечения составляющей частоты вращения и передачи $M_{кр}$ режущему инструменту, устанавливаемому в шпинделе станка по исполнительным поверхностям. Первоначально заданное положение в пространстве не должно изменяться, как не должна изменяться и задаваемая ему частота вращения, что может сказаться при получении главного результата - обеспечении требуемой точности размера, формы обрабатываемых поверхностей вращения заготовок и их положения относительно технологических баз.

Если технологическая система должна обеспечить при обработке отверстий в заготовках точность радиального положения отверстий в пределах 0,1 мм, точность углового положения в пределах 30', перпендикулярность осей отверстий относительно технологической базы заготовки в пределах 0,15 мм на 100 мм длины; твердость материала заготовки НВ 163-19, масса заготовки 1,95 кг, температура заготовки $20^{\circ} \pm 10^{\circ}$ С, температура в цехе $20^{\circ} \pm 4^{\circ}$ С, производительность станка 1500 дет./ч, его долговечность 8 лет, то приведенные уточнения служебного назначения технологической системы позволяют сформулировать технические требования и обоснованно задать нормы точности как для станка в целом, так и для его отдельных сборочных единиц. При учете же влияния на точность заготовок их входных параметров, инструмента, оснастки можно задать технические требования и на элементы всей технологической системы, на которой должны быть отработаны эти заготовки.

3.2. Соответствие технических требований и норм точности служебному назначению машины

Поскольку технические требования (ТТ) и нормы точности машины являются отражением ее служебного назначения, то приступая к разработке ТП ее изготовления, технологу необходимо глубоко понимать смысл требований, которые предъявляют к качеству изготавливаемой машины, и быть уверенным в том, что они разработаны правильно. Разработка ТТ и норм точности является достаточно сложным процессом. Нередки случаи, когда конструкторы пытаются уклониться от обоснования задаваемых норм или задают ТТ не в явной форме. Технологом в таких случаях приходится уточнять и даже дополнять недостающие ТТ.

Разработке или проведению анализа соответствия ТТ и норм точности служебному назначению машины могут способствовать:

- теоретические исследования физической сущности явлений, сопутствующих работе машины;
- проведение экспериментов на опытных образцах и моделях;
- изучение опыта эксплуатации машин-аналогов;
- суждения логического характера на основании опыта, которым обладает технолог, проводящий анализ.

Значительное число показателей качества машины обеспечивается при ее изготовлении. Одним из важнейших показателей, обеспечение которого связано с наибольшими трудностями, является точность. На соответствие этого показателя служебному назначению данной машины следует в первую очередь обратить внимание.

Анализ соответствия ТТ и норм точности служебного назначения машины предлагает решение прямой задачи. Только идя от служебного назначения к техническим требованиям и нормам точности (НТ), можно установить их правильность и достоверность. Поэтому технолог, так же как и конструктор, должен владеть методами разработки технических требований и НТ машины.

Исходными данными для назначения ТТ и НТ машины, например станка, могут быть требования к качеству обрабатываемых на нем заготовок, производительности, долговечности. В итоге соблюдение этих требований зависит от точности формы, размеров, относительного положения, движения, исполнительных поверхностей станка, что, в свою очередь, определяется точностью размерных и кинематических связей.

Чтобы перейти от служебного назначения машины к выявлению ТТ и НТ, необходимо:

- выявить исполнительные поверхности (ИП) машины;
- выявить виды связей ИП, посредством которых машины должны осуществлять процесс или производить продукцию;
- осуществить переход от параметров процесса или продукции к параметрам связей ИП;
- преобразовать эти связи ИП в размерные связи и установить НТ формы, размеров, относительного положения и движения ИП машины.

4. ОБРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЯ НА ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ

4.1. Общие положения

Технологичность есть совокупность свойств конструкции изделия, характеризующих один из его показателей качества.

Оценка технологичности конструкции изделия согласно ГОСТ 14.201-73 основана на трех видах показателей:

- базовых показателях технологичности, значения которых регламентированы в обязательном порядке соответствующей директивной документацией на изделие (ТЗ и пр.);

- показателях проектируемой конструкции, достигнутых в процессе обработки конструкции на технологичность;

- показателях уровня технологичности конструкции изделия, значения которых регламентированы соответствующей директивной документацией, обуславливающей производство (изготовление) изделия (ТУ и пр.).

Виды технологичности и виды оценки и главные факторы, определяющие требования к технологичности конструкции изделия, приведены на рис. 4.1.



Рис. 4.1. Технологичность конструкции изделия

4.2. Задачи при отработке конструкции изделия на технологичность

Основная задача отработки конструкции на технологичность заключается в повышении производительности труда при оптимальном снижении затрат труда, средств, материалов и времени на проектирование, подготовку производства, изготовление, техническое обслуживание и ремонт, обеспечении прочих заданных показателей качества изделия.

При решении основной задачи отработки конструкции на технологичность необходимо учитывать, что каждое изделие должно рассматриваться как объект проектирования, производства и эксплуатации.

Технолог должен учитывать в разработке конструкции изделия на всех стадиях проектирования, отчетливо представлять специфику каждой стадии проектирования и специфику изделия как объекта эксплуатации. Это позволит полноценно вести отработку конструкции изделия на технологичность.

При отработке на технологичность конструкции изделия, являющегося объектом производства, учитываются:

- виды и методы получения заготовок;
- виды и методы обработки;
- виды и методы сборки;
- виды и методы контроля и испытаний;
- возможность механизации и автоматизации процессов изготовления и технологической подготовки производства;
- условия материального обеспечения производства;
- требуемая квалификация рабочих кадров.

Для всех видов изделия при отработке конструкции на технологичность ставятся следующие задачи:

- снижение трудоемкости изготовления изделия.

Снижение трудоемкости изготовления изделия зависит от многих факторов, главными из которых следует считать стандартизацию, унификацию составных частей изделий и их элементов, типизацию технологических процессов изготовления, технического обслуживания и ремонта изделия;

- стандартизация составных частей изделия, являющихся сборочными единицами (блоки, агрегаты) или деталями (крепеж, метизы и др.).

При использовании стандартных составных частей изделия создаются предпосылки для их централизованного производства. На специализированном предприятии, благодаря массовому или крупносерийному производству, стоимость продукции значительно меньше, чем на неспециализированном. Использование в конструкции изделия стандартных составных частей облегчает обеспечение их взаимозаменяемости. Это дает возможность ликвидировать пригонные работы при сборке и существенно облегчить техническое обслуживание и ремонт изделия;

- унификация составных частей изделия.

Эта задача включает: использование в проектируемых изделиях составных частей конструкций, отработанных на технологичность и освоенных в производстве; использование покупных изделий; унификацию конструктивных материалов; сокращение количества наименований и типоразмеров составных частей изделия;

- унификация элементов конструкции деталей.

Это касается унификации применяемых посадок, классов точности, шероховатости поверхностей, резьб, шлицев, шпонок, модулей зубьев, диаметров отверстий, радиусов сопряжения поверхностей и т.д.;

- возможность применения типовых технологических процессов сборки, обработки, контроля, испытаний, технического обслуживания и ремонта.

Применение типовых технологических процессов основано на группировании однотипных составных частей изделия с целью повышения серийности производства, что создает условия для повышения уровня его механизации и автоматизации, сокращения сроков изготовления, обслуживания и ремонта изделий.

Для изделий вида сборочных единиц задачами отработки конструкции на технологичность (кроме указанных) являются:

- обеспечение технологичности принципиальной и конструкторской схем сборочной единицы.

Технологичной схеме сборочной единицы характерно надежное выполнение установленных для изделий функций, при минимальном числе составных частей;

- обеспечение технологичной компоновки сборочной единицы.

Рациональной компоновке свойственна компактность, сочетаемая с удобствами сборки и технического обслуживания при эксплуатации;

- обеспечение правильных и рациональных установочных баз.

Установочная база сборочной единицы является весьма важной конструктивно-технологической характеристикой изделия и должна удовлетворять требованиям удобной и точной сборки изделия (кроме требований, диктуемых условиями прочности и жесткости соединений). Например, недопустимо базирование одной составной части изделия на нескольких параллельных плоскостях и криволинейных поверхностях (исключая цилиндрические);

- обеспечение рационального членения изделия на составные части.

Членение изделия на составные сборочные единицы обеспечивает независимую параллельную сборку, сокращает цикл общей сборки изделия, улучшает условия сборки и контроля по составным частям изделия;

- обеспечение условий регулировки.

Для многих видов изделий удобство регулировки является весьма важным фактором при сборке и эксплуатации;

- использование компенсаторов при сборке.

Компенсаторы при сборке позволяют понизить требования к точности изготовления составных частей;

- обеспечение условий применения высокопроизводительных технологических процессов сборки, контроля и испытаний.

Эта задача касается не только многодетальных сборочных единиц, но и соединений (разъемных и неразъемных) двух деталей между собой. Например,

условия автоматической сварки или склеивания имеют свою специфику, которая должна быть учтена при конструировании соединения;

- ограничение и сокращение номенклатуры материалов, используемых в составных частях изделия.

Ограничение номенклатуры конструкционных материалов облегчает подготовку и материально-техническое снабжение производства. Чем меньше номенклатура, тем проще подготовка и организация производства изделия.

Для изделий вида деталей при отработке конструкции на технологичность решаются следующие задачи (кроме указанных):

- рациональный выбор конструктивных баз, обеспечивающий возможность их использования в качестве технологических баз, что позволяет повысить точность изготовления за счет исключения погрешности базирования;

- выбор однотипных форм обрабатываемых поверхностей.

Разновидность форм обрабатываемых поверхностей в одной детали вызывает увеличение требуемых операций, переходов и оборудования для обработки:

- правильная постановка размеров, обеспечивающая требуемую точность функциональных параметров и методов их обеспечения;

- выбор рационального типа заготовки и ее конфигурации, допускающих возможность использования в конструкции детали необработанных поверхностей и минимальных припусков на обработку;

- обеспечение возможности применения высокопроизводительных технологических процессов. Это снижает трудоемкость и время обработки;

- обеспечение четкой принадлежности конструкции детали к определенной классификационной группе, на представителя которой составлен типовой технологический процесс. Обработка по типовому технологическому процессу сокращает процесс технологической подготовки производства и создает условия для использования наиболее производительного оборудования и другого технологического оснащения;

- обеспечение возможностей групповой обработки деталей при изготовлении.

4.3. Классификация и состав показателей технологичности конструкции изделия

Классификация производится по следующим признакам: по объекту и области проявления; по количеству признаков технологичности; по области анализа; по способу выражения; по значимости; по системе оценки (рис. 4.2).

Частные показатели характеризуют только один показатель технологичности конструкции изделия. Комплексные характеризуют два или больше признаков технологичности конструкции.

Комплексный показатель может обобщать группу частных показателей и характеризовать один из видов технологичности конструкции изделия в целом.



Рис. 4.2. Классификация показателей технологичности конструкции изделия

Абсолютные показатели, численное значение которых характеризует один или несколько признаков технологичности конструкции (например, масса изделия характеризует необходимость применения в процессе изготовления грузоподъемных средств и прочие условия производства, трудоемкость изготовления характеризует затраты времени и живого труда).

Относительные показатели, которые дают сравнительную характеристику технологичности конструкции проектируемого изделия (например, удельные показатели, в которых признак технологичности конструкции выражается по отношению к главному параметру изделия).

Количество рассчитываемых частных и комплексных показателей должно быть минимальным, но достаточным для отработки конструкции на технологичность на всех стадиях проектирования.

Номенклатура основных и дополнительных показателей и их обозначения представлены в табл. 4.1 (ГОСТ 14.202-73).

Таблица 4.1
Основные и дополнительные показатели и их обозначения

Классификация показателей	Наименование показателей	Обозначение
Основные	Трудоемкость изготовления изделия	T_n
	Уровень технологичности конструкции по трудоемкости изготовления	$K_{y,t}$
	Технологическая себестоимость изделия	C_T
	Уровень технологичности конструкции по себестоимости (технологической)	$K_{y,c}$
Дополнительные технико-экономические показатели трудоемкости	Относительная трудоемкость заготовительных работ	$T_{o.z.p}$
	Относительная трудоемкость вида процесса изготовления	T_{oi}
	Относительная трудоемкость подготовки изделия к функционированию	$T_{o.n.f}$
	Относительная трудоемкость профилактического обслуживания функционирующего изделия	$T_{o.ob}$
	Относительная трудоемкость ремонтов изделия	$T_{o.p}$
	Удельная трудоемкость изготовления изделия	T_n
Дополнительные технико-экономические показатели трудоемкости	Удельная трудоемкость подготовки изделия к функционированию	$T_{n.f}$
	Удельная трудоемкость профилактического обслуживания функционирующего изделия	T_{ob}
	Удельная трудоемкость ремонтов	T_p
	Коэффициент эффективности взаимозаменяемости	$K_{вз}$
Дополнительные технико-экономические показатели себестоимости	Относительная себестоимость подготовки изделия к функционированию	$C_{o.n.f}$
	Относительная себестоимость профилактического обслуживания функционирующего изделия	$C_{o.ob}$
	Относительная себестоимость ремонтов	$C_{o.p}$

Классификация показателей	Наименование показателей	Обозначение
	Удельная технологическая себестоимость изделия	C_t
	Удельная себестоимость подготовки изделия к функционированию	$C_{п.ф}$
	Удельная себестоимость профилактического обслуживания	$C_{об}$
	Удельная технологическая себестоимость изготовления изделия	$C_{т.н}$
	Удельная стоимость ремонтов	C_p
Дополнительные технические показатели унификации конструкции	Коэффициент унификации изделия	K_y
	Коэффициент унификации сборочных единиц изделия	$K_{y.e}$
	Коэффициент унификации деталей изделия	$K_{y.д}$
	Коэффициент унификации конструктивных элементов	$K_{y.э}$
	Коэффициент стандартизации конструкции изделия	$K_{ст}$
	Коэффициент стандартизации сборочных единиц изделий	$K_{ст.e}$
	Коэффициент стандартизации деталей изделия	$K_{ст.д}$
	Коэффициент повторяемости	$K_{пов}$
Дополнительные технические показатели унификации применяемых процессов	Коэффициент применения типовых технологических процессов	$K_{т.п}$
Дополнительные технические показатели расхода материалов	Масса изделия	M
	Удельная материалоемкость изделия	$K_{y.м}$
	Коэффициент использования материала	$K_{н.м}$
	Коэффициент применяемости материала	$K_{п.м}$
Дополнительные технические показатели обработки	Коэффициент точности обработки	$K_{тч}$
	Коэффициент шероховатости поверхности	$K_{ш}$
Дополнительные технические показатели состава конструкции	Коэффициент сборности конструкции изделия	$K_{сб}$
	Коэффициент перспективного использования в других изделиях	$K_{п.и}$

Основные обозначения принятых понятий:

T - трудоемкость;

t - удельная трудоемкость;

T_0 - относительная трудоемкость;

C - себестоимость;

c - удельная себестоимость;

c_0 - относительная себестоимость;

E - число сборочных единиц, входящих в состав изделия;

D - число деталей, входящих в состав изделия;

K - коэффициент;

M - масса.

4.4. Определение основных показателей технологичности конструкции изделия

Абсолютный технико-экономический показатель трудоемкости изготовления изделия (T_n) выражается суммой нормо-часов, затраченных на изготовление изделия:

$$T_n = \sum T_i, \quad (4.1)$$

где T_i - трудоемкость изготовления и испытания i-й составной части изделия в нормо-часах.

Подсчет трудоемкости изделия (T_n), состоящего из большого числа составных частей (сборочных единиц и деталей), следует вести укрупненно по типовым представителям составных частей изделия по формуле

$$T_n = \sum T_{ie} n_{ie} + \sum T_{ид} n_{ид} + T_{сб} + T_{ис}, \quad (4.2)$$

где T_{ie} - трудоемкость изготовления i-й сборочной единицы;

$T_{ид}$ - трудоемкость изготовления i-й детали (не вошедшей в состав при подсчете T_{ie});

n_{ie} - количество i-х сборочных единиц;

$n_{ид}$ - количество i-х деталей;

$T_{сб}$ - трудоемкость общей сборки изделия;

$T_{ис}$ - трудоемкость испытаний.

Уровень технологичности конструкции по трудоемкости изготовления ($K_{y.t}$) определяется как отношение достигнутой трудоемкости изделия (T_n) к базовому показателю трудоемкости изделия ($T_{б.и}$).

$$K_{y.t} = \frac{T_n}{T_{б.и}}. \quad (4.3)$$

Предварительный расчет $K_{y,t}$ в процессе проектирования изделия можно производить по приближенным расчетам трудоемкости изготовления основных составных частей, используя опытно-статистические данные по изделиям-представителям и корректирующие коэффициенты.

Технологическая себестоимость изделия (C_T) определяется как сумма затрат на единицу изделия при осуществлении технологического процесса изготовления изделия:

$$C_T = C_M + C_3 + C_{ц,р}, \quad (4.4)$$

где C_M - стоимость материалов, затраченных на изготовление изделия;

C_3 - заработная плата производственных рабочих с начислениями;

$C_{ц,р}$ - цеховые расходы, включающие расходы на электроэнергию, потребляемую оборудованием, на ремонт и амортизацию оборудования, инструмента и приспособлений, на смазочные, охлаждающие, обтирочные и другие материалы, предусмотренные процессом производства изделия.

Для однотипных изделий заработная плата производственных рабочих и цеховые расходы могут быть выражены соотношением к стоимости материалов. Коэффициенты соотношения устанавливаются опытно-статистическими данными.

$$\text{Тогда } C_T = C_M (1 + K_1 + K_2),$$

$$\text{где } K_1 = \frac{C_3}{C_M}; K_2 = \frac{C_{ц,р}}{C_M}.$$

В тех случаях, когда $K_2 \ll K_1 < 1$ и соответственно $C_M + C_3 \gg C_{ц,р}$, допускается величину $C_{ц,р}$ в приближенных расчетах не учитывать, а на стадии рабочего проектирования принимать равной величине $C_{ц,р}$ для типового представителя изделия без корректирования.

Уровень технологичности конструкции по технологической себестоимости определяется как отношение достигнутой себестоимости изделия (C_T) к базовому показателю технологической себестоимости изделия ($C_{б,т}$)

$$K_{y,c} = \frac{C_T}{C_{б,т}}. \quad (4.5)$$

Предварительный расчет $K_{y,c}$ в процессе проектирования изделия может производиться по приближенным расчетам технологической себестоимости основных составных частей с использованием опытно-статистических данных по изделиям-представителям и корректирующих коэффициентов.

4.5. Определение дополнительных показателей технологичности конструкции изделия

4.5.1. Техничко-экономические показатели трудоемкости

1. Относительная трудоемкость заготовительных работ ($T_{о.з.р}$) определяется как отношение трудоемкости работ по изготовлению всех видов заготовок к общей трудоемкости изготовления изделия:

$$T_{о.з.р} = \frac{T_{з.р}}{T_{и}}, \quad (4.6)$$

где $T_{з.р} = T_{л} + T_{к} + T_{ш} + \dots$ - трудоемкость заготовительных работ;

$T_{л}, T_{к}, T_{ш} \dots$ - трудоемкость, соответственно, литейных, кузнечных, штамповочных и прочих работ.

2. Относительная трудоемкость вида процесса изготовления (T_{oi}) определяется как отношение трудоемкости отдельного процесса (обработки и сборки) к общей трудоемкости изготовления изделия:

$$T_{oi} = \frac{T_i}{T_{и}}, \quad (4.7)$$

где T_i - трудоемкость i -го процесса изготовления (обработки и сборки).

3. Относительная трудоемкость подготовки изделия к функционированию ($T_{о.п.ф}$) определяется как отношение трудоемкости подготовки изделия к функционированию к трудоемкости изготовления:

$$T_{о.п.ф} = \frac{T_{п.ф}}{T_{и}}, \quad (4.8)$$

где $T_{п.ф}$ - трудоемкость подготовки изделия к функционированию.

4. Относительная трудоемкость профилактического обслуживания функционирующего изделия ($T_{о.об}$) определяется как отношение трудоемкости планово-профилактического технического обслуживания изделия к трудоемкости изготовления:

$$T_{о.об} = \frac{T_{об}}{T_{и}}, \quad (4.9)$$

где $T_{об}$ - трудоемкость обслуживания функционирующего изделия в заданный период эксплуатации.

5. Относительная трудоемкость ремонтов изделия ($\tau_{o.p}$) определяется как отношение трудоемкости планового ремонта изделия к трудоемкости изготовления:

$$\tau_{o.p} = \frac{T_p}{T_H}, \quad (4.10)$$

где T_p - трудоемкость ремонтных работ изделия в заданный период эксплуатации.

6. Удельная трудоемкость изготовления изделия (τ_H) определяется как отношение трудоемкости изготовления к номинальному значению основного технического параметра изделия:

$$\tau_H = \frac{T_H}{P}. \quad (4.11)$$

Показатель является удобной характеристикой для сравнительной оценки изделий.

7. Удельная трудоемкость подготовки изделия к функционированию ($\tau_{п.ф}$) определяется как отношение трудоемкости технического обслуживания изделия для подготовки его к функционированию к номинальному значению основного технического параметра изделия:

$$\tau_{п.ф} = \frac{T_{п.ф}}{P}. \quad (4.12)$$

8. Удельная трудоемкость профилактического обслуживания функционирующего изделия ($\tau_{об}$) определяется как отношение трудоемкости планово-профилактического технического обслуживания изделия к номинальному значению основного технического параметра изделия:

$$\tau_{об} = \frac{T_{об}}{P}. \quad (4.13)$$

9. Удельная трудоемкость ремонтов (τ_p) определяется как отношение трудоемкости планового ремонта изделия к номинальному значению основного технического параметра изделия:

$$\tau_p = \frac{T_p}{P}. \quad (4.14)$$

10. Коэффициент эффективности взаимозаменяемости ($K_{вз}$) определяется по формуле

$$K_{вз} = \frac{T_{сб} - (T_{пр} + T_{г.вз})}{T_{сб}} = 1 - \frac{T_{пр} + T_{г.вз}}{T_{сб}}, \quad (4.15)$$

где $T_{сб}$ - трудоемкость сборочных работ;

$T_{пр}$ - трудоемкость пригоночных работ;

$T_{г.вз}$ - трудоемкость работ по методу групповой взаимозаменяемости.

Показатель характеризует степень устранения пригоночных работ и организации групповой взаимозаменяемости при сборке изделия, а также качество расчета размерных цепей.

4.5.2. Техничко-экономические показатели себестоимости

1. Относительная себестоимость подготовки изделия к функционированию ($c_{о.п.ф}$) определяется как отношение себестоимости подготовки изделия к функционированию к себестоимости изготовления:

$$c_{о.п.ф} = \frac{C_{п.ф}}{C_{и}}. \quad (4.16)$$

2. Относительная себестоимость профилактического обслуживания функционирующего изделия ($c_{о.об}$) определяется как отношение себестоимости планово-профилактического обслуживания ($C_{об}$) к себестоимости изготовления ($C_{и}$):

$$c_{о.об} = \frac{C_{об}}{C_{и}}. \quad (4.17)$$

3. Относительная себестоимость ремонтов изделия ($c_{о.р}$) определяется как отношение себестоимости плановых ремонтов изделия к себестоимости изготовления:

$$c_{о.р} = \frac{C_{р}}{C_{и}}, \quad (4.18)$$

где $C_{р}$ - себестоимость плановых ремонтов изделия в заданный период эксплуатации.

4. Удельная технологическая себестоимость изделия ($c_{т}$) определяется как отношение технологической себестоимости изделия к номинальному значению основного параметра изделия:

$$c_T = \frac{C_T}{P}. \quad (4.19)$$

5. Удельная себестоимость подготовки изделия к функционированию ($c_{п.ф}$) определяется как отношение себестоимости технического обслуживания изделия для подготовки к функционированию к номинальному значению основного технического параметра изделия:

$$c_{п.ф} = \frac{C_{п.ф}}{P}. \quad (4.20)$$

6. Удельная себестоимость профилактического обслуживания функционирующего изделия ($c_{об}$) определяется как отношение себестоимости планово-профилактического технического обслуживания изделия к основному техническому параметру изделия:

$$c_{об} = \frac{C_{об}}{P}. \quad (4.21)$$

7. Удельная технологическая себестоимость изготовления изделия ($c_{т.и}$) определяется как отношение себестоимости изготовления к номинальному значению основного технического параметра изделия:

$$c_{т.и} = \frac{C_{и}}{P}. \quad (4.22)$$

Показатель является удобной характеристикой для сравнительной оценки изделия.

8. Удельная стоимость ремонтов (c_p) определяется как отношение себестоимости планового ремонта изделия к номинальному значению основного технического параметра изделия:

$$c_p = \frac{C_p}{P}. \quad (4.23)$$

4.5.3. Технические показатели унификации конструкции

1. Коэффициент унификации изделия (K_y) определяется по формуле

$$K_y = \frac{E_y + D_y}{E + D}, \quad (4.24)$$

где $E_y = E_{y,z} + E_{y,n} + E_{ст}$ - число унифицированных сборочных единиц в изделии;

$D_y = D_{y,z} + D_{y,n} + D_{ст}$ - число унифицированных деталей, являющихся составными частями изделия и не вошедших в E_y (стандартные крепежные детали не учитываются);

$E_{y,z}$ и $D_{y,z}$ - соответственно число заимствованных унифицированных сборочных единиц и деталей;

$E_{y,n}$ и $D_{y,n}$ - соответственно число покупных унифицированных сборочных единиц и деталей;

$E_{ст}$ и $D_{ст}$ - соответственно число стандартных сборочных единиц и деталей;

$E = E_y + E_{ор}$ - количество сборочных единиц в изделии;

$D = D_y + D_{ор}$ - количество деталей, являющихся составными частями изделия;

$E_{ор}$ и $D_{ор}$ - соответственно число оригинальных сборочных единиц и деталей.

Показатель выражает унификацию изделия, учитывая все его составные части, включая крепежные детали.

Коэффициент унификации характеризует преемственность проектируемой конструкции, а его выражение является исходным для получения формул отдельных составляющих этого обобщающего понятия.

Подставляя в исходную формулу выражения E_y , D_y , E и D и учитывая отдельные слагаемые, получаем формулы для вычисления коэффициентов унификации сборочных единиц (п. 2) и деталей (п. 3), стандартизации конструкции изделия (п. 5) и его составных частей (п. 6, 7). При необходимости аналогично могут быть получены формулы для покупных, заимствованных и других составных частей изделия, характеризующих преемственность конструкции.

2. Коэффициент унификации сборочных единиц изделия ($K_{y,e}$) определяется как отношение унифицированных сборочных единиц изделия к общему числу сборочных единиц в изделии:

$$K_{y,e} = \frac{K_y}{E}. \quad (4.25)$$

3. Коэффициент унификации деталей изделия ($K_{y,d}$) определяется как отношение унифицированных деталей к общему числу деталей в изделии, кроме крепежных:

$$K_{y,d} = \frac{D_y}{D} \quad (4.26)$$

4. Коэффициент унификации конструктивных элементов ($K_{y,z}$) определяется по формуле

$$K_{y,z} = \frac{Q_{y,z}}{Q_z} \quad (4.27)$$

где $Q_{y,z}$ - число унифицированных типоразмеров конструктивных элементов;
 Q_z - число типоразмеров конструктивных элементов в изделии.

Примерами конструктивных элементов изделия являются резьбы, крепления, галтели, фаски, проточки, отверстия и т.д.

5. Коэффициент стандартизации изделия ($K_{ст}$) определяется по формуле

$$K_{ст} = \frac{E_{ст} + D_{ст}}{E + D} \quad (4.28)$$

где $E_{ст} = E_{ст,z} + E_{ст,п} + E_{ст,и}$ - число стандартных сборочных единиц в изделии;
 $D_{ст} = D_{ст,z} + D_{ст,п} + D_{ст,и}$ - число стандартных деталей, являющихся составными частями изделия и не вошедших в $E_{ст}$ (стандартные крепежные детали не учитываются);

$E_{ст,z}$ и $D_{ст,z}$ - соответственно число заимствованных стандартных сборочных единиц и деталей;

$E_{ст,п}$ и $D_{ст,п}$ - соответственно число покупных стандартных сборочных единиц и деталей;

$E_{ст,и}$ и $D_{ст,и}$ - соответственно число сборочных единиц и деталей, стандартизация которых осуществлена при разработке данного изделия.

Показатель выражает стандартизацию изделия, учитывая все составные части, кроме крепежных деталей.

Примечания:

1. Стандартные сборочные единицы и детали, входящие в другие стандартные сборочные единицы, не учитываются.

Пример. Составной частью изделия является учитываемая сборочная единица - насос, в котором имеются, но не учитываются, стандартные составные части в виде сборочных единиц (например, редуционные и предохранительные клапаны, подшипники и пр.) или стандартные детали (например, шпонки, крышки, рым-болты и пр.).

2. Стандартные сборочные единицы и детали, входящие в состав нестандартной сборочной единицы, являющейся составной частью изделия, учитываются при определении количества стандартных сборочных единиц и деталей.

Пример. Если в нестандартном насосе (см. пример к примечанию 1) используются стандартные составные части (сборочные единицы и детали), то они учитываются при определении $E_{ст}$ и $D_{ст}$.

6. Коэффициент стандартизации сборочных единиц ($K_{ст.е}$) определяется как отношение числа стандартных сборочных единиц к числу сборочных единиц:

$$K_{ст.е} = \frac{E_{ст}}{E}. \quad (4.29)$$

7. Коэффициент стандартизации деталей ($K_{ст.д}$) определяется как отношение числа стандартных деталей к общему числу деталей (кроме крепежных), которые являются составными частями изделия:

$$K_{ст.д} = \frac{D_{ст}}{D}. \quad (4.30)$$

8. Коэффициент повторяемости ($K_{пов}$) определяется по формуле

$$K_{пов} = 1 - \frac{Q}{E + D}, \quad (4.31)$$

где Q - число наименований составных частей;
 $(E + D)$ - общее число составных частей в изделии.

4.5.4. Технические показатели унификации применяемых процессов

1. Коэффициент применяемости типовых технологических процессов ($K_{т.п}$) определяется как отношение числа типовых технологических процессов изготовления (ремонта, технического обслуживания) к общему числу применяемых при этом технологических процессов:

$$K_{т.п} = \frac{Q_{т.п}}{Q_{п}}. \quad (4.32)$$

4.5.5. Технические показатели расхода материала

1. Величина массы изделия (M) является важной технической характеристикой изделия, которая используется как абсолютный показатель и для сравнительной оценки.

В процессе изготовления составных частей масса изделия характеризует необходимость применения грузоподъемных средств и другие условия процесса производства.

2. Удельная материалоемкость изделия ($K_{у.м}$) определяется как отношение сухой массы конструкции изделия к номинальному значению основного технического параметра изделия (производительность, мощность и др.):

$$K_{у.м} = \frac{1}{P} \Sigma M. \quad (4.33)$$

3. Использование конструкционных материалов при изготовлении характеризуется коэффициентом использования материала ($K_{и.м}$):

$$K_{и.м} = \frac{1}{\Sigma M_{и.м}} \Sigma M, \quad (4.34)$$

где $M_{и.м}$ - масса материала, израсходованного на изготовление составной части изделия.

При расчете коэффициента покупные изделия не учитываются. Показатель характеризует качество конструкции и технологии изготовления заготовок, а также объем наиболее трудоемкой обработки резанием.

4. Коэффициент применяемости материала ($K_{п.м}$) определяется как отношение суммарной массы данного материала в изделии к общей массе конструкции изделия:

$$K_{п.м} = \frac{M_{и.м}}{M}. \quad (4.35)$$

4.5.6. Технические показатели обработки

1. Коэффициент точности обработки ($K_{тч}$) определяется по формуле

$$K_{тч} = 1 - \frac{1}{A_{ср}} = 1 - \frac{\Sigma n_i}{\Sigma A n_i}, \quad (4.36)$$

где $A_{ср} = \frac{\Sigma A n_i}{\Sigma n_i} = \frac{n_1 + 2n_2 + 3n_3 + \dots}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots}$ - средний квалитет точности обработки изделия;

A - квалитет точности обработки;

n_i - число размеров соответствующего квалитета точности.

Примечание. Допустимо n_i определять как число деталей, для которых данный класс точности является наивысшим.

2. Коэффициент шероховатости поверхности ($K_{ш}$) определяется по формуле

$$K_{ш} = \frac{1}{B_{ср}} = \frac{\sum n_{im}}{\sum B n_{im}}, \quad (4.37)$$

где $B_{ср} = \frac{\sum B n_{im}}{\sum n_{im}} = \frac{n_1 + 2n_2 + \dots + 14n_{14}}{n_1 + n_2 + \dots + n_{14}}$ - средний класс шероховатости поверхностей деталей изделия;

B - класс шероховатости поверхностей (частоты);

n_{im} - число поверхностей соответствующего класса шероховатости.

Примечание. Допустимо n_{im} определять как число деталей, для которых данный класс шероховатости поверхности является наивысшим.

4.5.7. Технические показатели состава конструкции

1. Коэффициент сборности ($K_{сб}$) определяется как отношение числа специфицируемых составных частей изделия (равное числу сборочных единиц) к общему числу его составных частей:

$$K_{сб} = \frac{E}{E + Д}. \quad (4.38)$$

2. Коэффициент перспективного использования в других изделиях ($K_{п.и}$) определяется по формуле

$$K_{п.и} = 1 - \frac{1}{\sum_{i=1}^Q n_i}, \quad (4.39)$$

где n_i - число данных изделий, используемых в качестве составной части i -го изделия;

Q - число наименований типоразмеров, в которых планируется использование данного изделия.

Показатель характеризует перспективность изделия для использования его в качестве составной части в других планируемых изделиях.

4.6. Определение комплексных показателей технологичности конструкции изделия

Комплексные показатели технологичности конструкции в отличие от частных характеризуют не отдельные частные признаки технологичности, а определенную группу признаков технологичности конструкции изделия.

Технологичность конструкции изделия может характеризоваться одним комплексным показателем или несколькими, обобщающими группы частных показателей или выражающими различные виды технологичности конструкции изделия.

Оценка технологичности проектируемой конструкции изделия только по частным показателям требует предварительного определения их сравнительной экономической эквивалентности, так как в сравниваемых вариантах отдельные частные показатели могут иметь не только различные численные значения, но и различную экономическую значимость. Поэтому методика определения комплексных показателей должна учитывать различную экономическую эффективность входящих частных показателей. Это достигается введением коэффициентов экономической эффективности частных показателей технологичности конструкции изделия.

Коэффициент экономической эффективности (K_3) целесообразно ограничить пределами, принятыми для показателей технологичности:

$$0 < K_3 \leq 1.$$

Определение коэффициента экономической эффективности может исходить из различных условий:

$$a) \sum_{i=1}^n K_{i3} = 1,$$

$$\text{тогда } K_{i3} = 1 - \sum_{i=1}^{n-1} K_{i3}.$$

Отсюда следует, что значение коэффициента выражается долей общей эффективности всех учитываемых факторов технологичности конструкции.

Например, технологичность конструкции изделия оценивается четырьмя частными коэффициентами технологичности (K_1, \dots, K_4). Считаем условно, что только эти факторы имеют существенное влияние на трудоемкость и себестоимость данного изделия. Следовательно, между ними распределяется 100 % эффективности всех средств повышения технологичности изделия. По типовому представителю данного изделия (или иным образом) установлено соотношение рассматриваемых показателей $K_{13} = 0,5$; $K_{23} = 0,3$; $K_{33} = 0,1$; $K_{43} = 0,1$.

Эти значения могут являться коэффициентами экономической эффективности показателей технологичности конструкции изделия;

$$b) K_3^{\max} = 1.$$

При этом условии определяют в учитываемых факторах (показателях) наиболее эффективный, для которого коэффициент экономической эффективности $K_j = 1$, то есть имеет максимальное значение. Значения коэффициентов экономической эффективности для остальных показателей определяются в сравнении с показателем, для которого принят $K_j^{\max} = 1$.

$$K_{i_3} = K_3^{\max} - \Delta_3 = 1 - \Delta_3, \quad (4.40)$$

где $\Delta_3 = K_3^{\max} - K_{i_3} = 1 - K_{i_3}$.

Если рассмотреть пример, приведенный в подпункте а, то K_1 имеет $K_3^{\max} = 1$. Имевшаяся разница, указанная в подпункте а: $\Delta_{2_3} = K_{1_3} - K_{2_3} = 0,5 - 0,3 = 0,2$, следовательно, $K_{2_3} = 1 - \Delta_{2_3} = 0,8$, для K_{3_3} разность $K_{3_3} = 0,5 - 0,1 = 0,4$ и соответственно $K_{3_3} = 1 - \Delta_{3_3} = 0,6$ и аналогично $K_{4_3} = 0,6$.

Определение коэффициентов способом, указанным в подпункте б, удобнее, так как возможно установить, что из-за малых значений K_{i_3} нецелесообразно их учитывать, а при определении комплексного показателя его численное значение точнее выражает процентное отношение к максимальному значению технологичности конструкции.

Комплексные показатели технологичности конструкций изделий можно определять различными методами. Многие из них подобны и не отличаются принципиальными положениями. При обобщении основных принципов практическое применение имеют следующие методы определения комплексных показателей технологичности конструкций:

- комплексный показатель выражается произведением частных показателей или отношением произведения частных показателей к их количеству или сумме. В отдельных случаях эта методика предусматривает введение коэффициентов экономической эквивалентности используемых частных показателей;
- комплексный показатель выражается среднеарифметической или средневзвешенной величиной частных показателей с введением коэффициентов их экономической эквивалентности;
- комплексный показатель определяется на основании обработанных опытных статистических данных частных показателей методом корреляционного анализа. Полученные функции регрессии (уравнение зависимостей различных частных факторов) позволяют определить комплексный технико-экономический показатель (трудоемкость, себестоимость и др.);
- комплексный показатель определяется по системе баллов, которыми оценивают показатели технологичности для последующего определения технико-экономического показателя, считая их взаимосвязь строго линейной;
- комплексный показатель определяется по системе уменьшения максимального значения показателя технологичности при несоответствии конструк-

тивно-технологических факторов изделия наиболее технологичной конструкции представителя;

- комплексный показатель определяют, используя отдельные элементы изложенных выше методов.

4.7. Определение базовых показателей технологичности конструкции изделия

Базовые показатели могут быть частными и комплексными обобщающими отдельные группы частных показателей или характеризующими технологичность изделия в целом.

Они могут быть абсолютными и относительными.

Для определения базовых показателей необходимо основываться на статистических данных о ранее созданных конструкциях, имеющих общие конструктивно-технологические признаки с проектируемой конструкцией, на данных аналогов или типовых представителей.

Во всех случаях необходимо учитывать отличие проектируемого изделия от выполненных ранее по сложности, оригинальности и перспективности конструкции, а также рост производительности труда за счет совершенства технологии производства к периоду изготовления нового изделия.

Для расчетов применяются корректирующие коэффициенты:

- коэффициенты сложности ($K_{сл.i}$), определяемые сравнением соответствующих технических требований к старым и новым изделиям;
- коэффициент снижения трудоемкости изготовления изделия (K_T).

Коэффициент сложности ($K_{сл.i}$) может быть определен как отношение технических параметров проектируемой конструкции к параметрам аналога или прототипа.

Следует отметить, что коэффициент сложности проектируемой конструкции зависит от технических требований к новому изделию и может быть $K_{сл.i} = 1$ по сравнению с существующими подобными конструкциями.

Общей тенденцией технического прогресса является уменьшение массы конструкции (отношение сухой массы к основному параметру изделия) и, как правило, соответствующее повышение сложности проектирования и изготовления новых конструкций изделий. Поэтому коэффициент сложности обычно $K_{сл.i} > 1$. Это условие соблюдается в зависимости от физического смысла принятых для расчета $K_{сл.i}$ технических параметров изделия, то есть может иметь место два выражения коэффициента сложности:

$$K_{сл.i} = \frac{P}{P_a} > 1 \quad \text{и} \quad K_{сл.i} = \frac{P_a}{P} > 1, \quad (4.41)$$

где P - технический параметр конструкции (абсолютный или удельный) проектируемого изделия;

P_a - технический параметр конструкции аналога или параметр, определенный по статистическим данным.

Если, например, параметром для сравнения принята масса конструкции, то повышение сложности проектируемого изделия выразится неравенством $K_{сл.i} > 1$. Если параметром является мощность, скорость и прочие, то $K_{сл.i} > 1$.

Если параметром принята удельная масса конструкции, то есть $\frac{M}{N}$ или $\frac{M}{V}$ (где M, N, V - соответственно масса конструкции, мощность двигателя, скорость перемещения), то обычно $K_{сл.i} > 1$.

Коэффициент снижения трудоемкости (K_T) зависит от планируемого роста производительности труда и периода времени до начала производства нового изделия:

$$K_T = \left(\frac{100}{100 + K_{п.т}} \right)^t, \quad (4.42)$$

где $K_{п.т}$ - планируемый рост производительности труда;

t - период времени от начала проектирования до запуска в производство.

Обычно одним из базовых показателей технологичности конструкции изделия принимают основной показатель трудоемкости, выражаемый в норма-часах.

Базовый показатель трудоемкости изготовления изделия ($T_{б.и}$) равен

$$T_{б.и} = T_a K_{сл.i} K_T, \quad (4.43)$$

где T_a - трудоемкость конструкции, являющейся аналогом проектируемого изделия или полученная по данным статистики для изделий, имеющих общие конструктивно-технологические признаки с проектируемым изделием.

Полученный базовый показатель трудоемкости изготовления изделия является абсолютным, так как выражен абсолютным числом норма-часов.

Удельный базовый показатель трудоемкости изготовления определяется как отношение базового показателя трудоемкости изготовления к номинальному значению основного технического параметра изделия:

$$T_{б.и} = \frac{T_{б.и}}{P}. \quad (4.44)$$

Пример. Определить базовый показатель трудоемкости для проектируемого автомобиля. Данные изготавливаемого автомобиля того же класса (аналога для проектируемого): трудоемкость $T_a = 10000$ норма-часов, отношение су-

хой массы автомобиля и мощности двигателя $P_a = 29,2$ кг/л. с. (основной техни-
ческий параметр изделия). Данные технического задания на новый проектируе-
мый автомобиль: сухая масса автомобиля $M \leq 1360$ кг, мощность двигателя
 $N \geq 70$ л. с. ; планируемый рост производительности труда $K_{п.т} = 10$ %; время до
запуска в производство $t = 3$ года.

Основной технический параметр проектируемого изделия:

$$P = \frac{1360}{70} = 19,5;$$

$$K_{сл} = \frac{P_a}{P} = \frac{29,2}{19,5} = 1,5;$$

$$K_{ст} = \left(\frac{100}{100 + K_{п.т}} \right)^t = \left(\frac{100}{100 + 10} \right)^3 = 0,79.$$

Абсолютный базовый показатель трудоемкости изготовления будет равен
 $T_{б.и} = T_a K_{сл.1} K_r = 10000 \cdot 1,5 \cdot 0,79 = 11850$ нормо-часов.

Если принять за основной технический параметр проектируемой конст-
рукции сухую массу, то удельный базовый показатель будет выражать трудоем-
кость, приходящуюся на единицу массы конструкции:

$$T_{б.и} = \frac{T_{б.и}}{P} = \frac{11850}{1360} = 8,7 \text{ нормо-часов/кг} = 0,0087 \text{ нормо-часов/г.}$$

Из методики определения прогнозируемой трудоемкости изготовления
изделия, являющейся базовым показателем технологичности, видно значение
правильного расчета корректирующих коэффициентов.

Для этого требуется правильно определить основные технические пара-
метры проектируемого изделия и аналога по конструктивно-технологическим
признакам, а также правильно установить их рациональное соотношение.

Для повышения точности определения базовых показателей технологич-
ности конструкции изделий и показателей технологичности представителей
классификационных групп составных частей необходимо использовать стати-
стический метод накопления опытных данных (о ранее спроектированных или
изготовленных конструкциях) по частным и комплексным показателям техно-
логичности.

Наличие статистических данных является основой для применения наи-
более эффективных (по точности и затратам времени и средств) методик опре-
деления частных и особенно комплексных показателей технологичности изде-
лий.

Прогнозирование технологической или общей себестоимости изделия,
аналогично прогнозированию трудоемкости изготовления, может производиться
на основе статистических данных, методами корреляционного анализа, кор-
ректирующих коэффициентов или баллов.

4.8. Определение уровня технологичности конструкции изделия

Уровень технологичности конструкции изделия (K_y) определяется как отношение достигнутого показателя технологичности к значению базового показателя, заданного в техническом задании:

$$K_y = \frac{K}{K_6} \quad (4.45)$$

Уровень технологичности может определяться по одному или нескольким частным и комплексным показателям, принятым в качестве критериев оценки технологичности конструкции в техническом задании на изделие.

Уровень технологичности конструкции изделия следует определять по показателям, характеризующим производственную и эксплуатационную технологичность конструкции изделия.

Допустимые пределы значений уровней технологичности соответствуют установленным для базовых показателей.

Количественной оценке технологичности изделия должна предшествовать качественная оценка в соответствии с требованиями к технологичности изделия, приведенными в ГОСТ 14.203-73 (табл. 4.2) и ГОСТ 14.204-73 (табл. 4.3).

Таблица 4.2

Требования к технологичности конструкции сборочной единицы и сферы проявления эффекта при их выполнении

Содержание требований	Сфера проявления эффекта при выполнении требований				
	в КПП	в ТПП	в процессах изготовления	в техническом обслуживании	в ремонте
<i>Требования к составу</i> Сборочная единица должна расчленяться на рациональное число составных частей с учетом принципа агрегатирования	+	+	+	+	+
Конструкция сборочной единицы должна обеспечивать возможность компоновки из стандартных и унифицированных частей	+	+	+	+	+

Продолжение табл. 4.2

Содержание требований	Сфера проявления эффекта при выполнении требований				
	в КПП	в ТПП	в процессах изготовления	в техническом обслуживании	в ремонте
Сборка изделия не должна обуславливать применение сложного технологического оснащения	-	+	+	+	+
Виды используемых соединений, их конструкции и месторасположение должны соответствовать требованиям механизации и автоматизации сборочных работ	-	+	+	+	+
В конструкции сборочной единицы и ее составных частей, имеющих массу более 20 кг, должны предусматриваться конструктивные элементы для удобного захвата грузоподъемными средствами, используемыми в процессе сборки, разборки и транспортирования	-	+	+	+	+
Конструкция сборочной единицы должна предусматривать базовую составную часть, которая является основой для расположения остальных составных частей	-	+	+	+	+
Примечание. Базовая составная часть должна быть удобной для правильной установки на рабочем месте сборки: в стапеле, приспособлении, на рабочем столе, сборочной площадке и пр.	-	+	+	+	+
Компоновка конструкции сборочной единицы должна позволять производить сборку при неизменном базировании составных частей	-	+	+	-	+

Содержание требований	Сфера проявления эффекта при выполнении требований				
	в КПП	в ТПП	в процессах изготовления	в техническом обслуживании	в ремонте
В конструкции базовой составной части необходимо предусматривать возможность использования конструктивных сборочных баз в качестве технологических и измерительных	+	+	+	-	-
Компоновка сборочной единицы должна обеспечивать общую сборку без промежуточной разборки и повторных сборок составных частей	-	-	+	-	+
Компоновка составных частей сборочной единицы должна обеспечивать удобный доступ к местам, требующим контроля, регулировки и проведения других работ, регламентированных технологией подготовки изделия к функционированию и технического обслуживания	-	-	+	+	+
Компоновка сборочной единицы и способы соединений должны обеспечивать легкосъемность составных частей с малым ресурсам	-	-	+	+	+
Компоновка сборочной единицы должна предусматривать рациональное расположение такелажных узлов, монтажных опор и других устройств для обеспечения транспортабельности изделия	-	+	+	+	+
<i>Требования к конструкции соединений составных частей</i> Количество поверхностей и мест соединений составных частей в общем случае должно быть меньшим	-	+	+	+	+

Продолжение табл. 4.2

Содержание требований	Сфера проявления эффекта при выполнении требований				
	в КПП	в ТПП	в процессах изготовления	в техническом обслуживании	в ремонте
Места соединений составных частей должны быть доступны для механизации сборочных работ и контроля качества соединений	-	+	+	+	+
Соединение составных частей не должно требовать сложной и необоснованно точной обработки сопрягаемых поверхностей	-	+	+	-	+
Конструкции соединений составных частей не должны требовать дополнительной обработки в процессе сборки	-	+	+	-	+
<i>Требования к точности и методу сборки</i>					
Точность расположения составных частей должна быть обоснована и взаимосвязана с точностью изготовления составных частей	-	+	+	-	+
Выбор метода сборки для данного объема выпуска и типа производства должен проводиться на основании расчета и анализа размерных цепей	+	+	+	-	+
Расчет размерных цепей следует проводить, используя методы максимума - минимума или вероятностный	-	+	+	-	-
Примечание. Метод максимума - минимума применяют при расчете коротких размерных цепей (с числом звеньев менее пяти) с высокой точностью замыкающего звена или многозвенных размерных цепей с малой точностью замыкающего звена					

Продолжение табл. 4.2

Содержание требований	Сфера проявления эффекта при выполнении требований				
	в КПП	в ТПП	в процессах изготовления	в техническом обслуживании	в ремонте
При выборе метода сборки следует учитывать трудоемкость сборочных работ и затраты на изготовление составных частей с точностью, необходимой для данного метода сборки	-	+	+	-	+
Примечание. Методы сборки располагаются по убывающей производительности труда сборочных единиц в следующем порядке: <ul style="list-style-type: none"> • с полной взаимозаменяемостью; • с неполной взаимозаменяемостью; • с групповой взаимозаменяемостью; • с регулировкой компенсаторами; • с пригонкой 					
В конструкции должны предусматриваться устройства, обеспечивающие заданную точность относительного расположения составных частей (центрирующие, фиксирующие, компенсирующие и др.)	+	+	+	-	+
Пределы регулирования и параметры компенсаторов должны рассматриваться на основе теории размерных цепей	+	+	+	-	+
Компенсирующие, центрирующие и фиксирующие устройства должны иметь простую конструкцию и свободный доступ для рабочего и контрольного инструмента	-	+	+	-	+

Примечание. Знак "+" означает, что эффект проявляется, знак "-" означает, что эффекта нет.

Требования к технологичности конструкции детали и сферы проявления эффекта при их выполнении

Содержание требований	Сфера проявления эффекта при выполнении требований				
	в КПП	в ТПП	в процессах изготовления	в техническом обслуживании	в ремонте
Конструкция детали должна состоять из стандартных и унифицированных конструктивных элементов или быть стандартной в целом	+	+	+	+	+
Детали должны изготавливаться из стандартных или унифицированных заготовок	-	+	+	-	-
Размеры и поверхности детали должны иметь соответственно оптимальные точность и шероховатость	-	+	+	-	+
Примечание. Оптимальные точность и шероховатость поверхности - экономически и конструктивно обоснованы					
Физико-химические и механические свойства материала, жесткость детали, ее форма и размеры должны соответствовать требованиям технологии изготовления (включая процессы упрочнения, коррозионной защиты и пр.), хранения и транспортирования	-	+	+	+	+
Показатели базовой поверхности (точность, шероховатость) детали должны обеспечивать точность установки, обработки и контроля	-	+	+	-	+
Заготовки должны быть получены рациональным способом с учетом заданного объема выпуска и типа производства	-	+	+	-	-

Содержание требований	Сфера проявления эффекта при выполнении требований				
	в КПП	в ТПП	в процессах изготовления	в техническом обслуживании	в ремонте
Метод изготовления должен обеспечивать возможность одновременного изготовления нескольких деталей	-	+	+	-	+
Соприжения поверхностей деталей различных классов точности и частоты должны соответствовать применяемым методам и средствам обработки	-	+	+	-	+
Конструкция детали должна обеспечивать возможность применения типовых и стандартных технологических процессов ее изготовления	-	+	+	-	-

Примечание. Знак "+" означает, что эффект проявляется, знак "-" означает, что эффекта нет.

5. ВЫБОР ЗАГОТОВКИ И МЕТОДОВ ЕЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

5.1. Методика выбора

Общая структура схемы выбора заготовки представлена на рис. 5.1.

При анализе оценивают:

- служебное назначение детали, ее эксплуатационные свойства, срок службы, вид рабочих нагрузок и т.д., так как конкретным условиям эксплуатации должны соответствовать и определенные свойства деталей, именуемые эксплуатационными (износостойкость, усталостная прочность, коррозионная стойкость и др.). В свою очередь, эксплуатационные свойства формируются на всем протяжении процесса;

- тип производства, предварительно установленный по массе и объему выпуска деталей;

- технологичность конструкции детали, включающую анализ: материала, его химического состава, физических и технологических свойств; вида детали,

ее сложности, формы и конфигурации; конструктивных элементов; уровня их унификации и стандартизации, точности и шероховатости поверхностей и др.

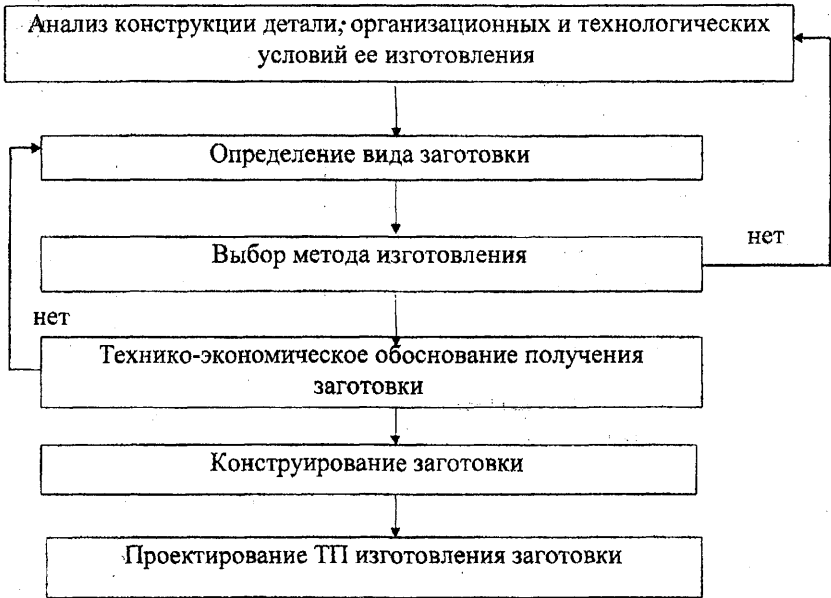


Рис. 5.1. Схема выбора заготовки и метода ее изготовления

Анализ технологичности в условиях конкретного производства определяет возможность получения заготовки данной детали тем или иным методом.

Исходя из назначения и технологичности конструкции детали, определяют вид заготовки: сортовой материал, изготавливаемый прокатом, волочением и т.п., отливка, поковка, штамповка, сварная и др. На этом этапе возможен выбор двух или более видов заготовок, отвечающих требованиям, предъявляемым к конструкциям детали.

Выбор метода получения заготовки проводится в зависимости от материала детали и ее массы (габаритов), типа производства, требований к точности формы, размеров и взаимного расположения поверхностей, их шероховатости и других факторов.

Если для данной детали невозможно выбрать метод получения заготовки, решают вопрос изменения конструкции детали или получения заготовки комбинацией известных методов.

В ряде случаев несколько методов обеспечивают требуемые технические показатели заготовки, поэтому необходимо произвести экономический анализ. Необходимо отметить, что:

- технико-экономическое обоснование метода получения заготовки проводится в условиях конкретного предприятия;
- экономические затраты рассчитывают по нескольким переделам, чаще всего по заготовительному и механообрабатывающему;
- из двух или нескольких методов со схожими техническими характеристиками выбирают более экономичный;
- если выбранные методы неэкономичны, изменяют вид заготовки, вновь определяют метод ее получения и повторяют экономический анализ;
- на данном этапе можно использовать статистические данные по технической себестоимости и капитальным затратам.

5.2. Технико-экономическое обоснование метода получения заготовки [7]

В зависимости от применяемых заготовок детали можно подразделить на две группы.

Для первой группы используют, как правило, только заготовки, отвечающие необходимым требованиям к качеству, - корпусные коробчатые детали со стенками неравномерной толщины, независимо от типа производства, целесообразно изготавливать из отливок. В этом случае выбор метода получения заготовки обусловлен только конструктивными и эксплуатационными требованиями и не влечет за собой изменения экономических показателей, например технологической себестоимости.

Детали второй группы изготавливают из двух, трех и более видов заготовок при выполнении конструктивных и эксплуатационных требований. При этом вид заготовки выбирают, исходя из затрат по всем сравниваемым вариантам.

Народнохозяйственный годовой экономический эффект, достигаемый благодаря применению оптимального варианта, оценивается по показателю экономии затрат:

$$\Delta C_{п.н} = C'_{п.н} - C''_{п.н} , \quad (5.1)$$

где $C'_{п.н}$ и $C''_{п.н}$ - затраты приведенные народнохозяйственные, обусловленные производством годового количества продукции по базовому и новому вариантам, определяют по формуле

$$C_{п.н} = C_x + E_n K , \quad (5.2)$$

где C_x - полная себестоимость изделия;
 K - суммарные капиталовложения по народному хозяйству, р.;

$E_{\text{н}} = 0,15 \frac{p./\text{год}}{p.}$ - норма народнохозяйственной экономической эффективности дополнительных капиталовложений - учитывает долю нормативной прибыли от капиталовложений за год, а произведение $E_{\text{н}}K$ характеризует всю нормативную прибыль.

Новый вариант экономичнее базового, если

$$C''_{\text{п.н}} < C'_{\text{п.н}}. \quad (5.3)$$

Расчеты проводят для каждой заготовки или для одной тонны заготовок, используя единую исходную базу. В общем случае такой базой является металлошхта, что позволяет учитывать эффективность всех технологических переделов (металлургического, заготовительного и механообрабатывающего). Одновременно оценивается сквозной коэффициент использования металла по всем переделам:

$$K_{\text{и.м}} = K_{\text{и.м}1} K_{\text{и.м}2} K_{\text{и.м}3} K_{\text{и.м}4}, \quad (5.4)$$

где индексами 1, 2, 3, 4 обозначены соответственно переделы: сталеплавильный, прокатный, заготовительный и механическая обработка.

Из табл. 5.1 видно, что оценка по одному из показателей может привести к ошибке. Учет же расходов по всем переделам позволяет определить наиболее экономичный метод.

Указанные числовые значения характеризуют производство заготовок по машиностроению в целом без указания способа их получения, скажем, литьем в кокиль или песчаные формы, штамповкой в открытых или закрытых штампах и т.д. Поэтому данные табл. 5.1 могут быть использованы на этапе предварительного анализа методов получения заготовки. Более точный результат возможен при детальном расчете текущих затрат (себестоимости) и капиталовложений по сравниваемым вариантам.

Приведенные затраты по первому и второму переделам рассчитывают по справочной литературе. При их отсутствии, что чаще всего бывает на машиностроительном предприятии, расчет ведут по третьему и четвертому переделам, т.е. на стадиях получения и механической обработки заготовок. При этом следует учитывать лишь изменяющиеся элементы затрат - технологическую себестоимость и капиталовложения. Затраты здесь и далее приведены в ценах 1989 года.

Технико-экономические показатели производства
заготовок в машиностроении

Показатель	Отливки		Заготовки из проката		
	чугунные	стальные	сварные	штампованные	кованые
$K_{и.м}$, %	0,56	0,465	0,55	0,43	0,42
$K_{и.м3}$, %	0,66	0,58	0,82	0,82	0,88
$K_{и.м4}$, %	0,85	0,8	0,97	0,76	0,68
Затраты энергетические, кг усл.топл./ч	995/322	1212/684	1148/34	2073/364	2160/364
Трудоемкость, чел.-ч/т	118/49,4	126/63,1	130/32,0	194/37,2	245/56,4
Капиталовложения на охрану окружающей среды, р./т	115/90	146/108	151/-	192/-	200/-
Затраты, р./г:					
текущие	375/260	537/350	379/360	631/370	620/340
капитальные на производство	1323/750	1771/900	1359/600	1881/500	2909/1000
приведенные	573/372	803/485	583/450	913/455	1056/490

Примечание: в числителе - сквозные показатели, в знаменателе - в заготовительном производстве.

Технологическая себестоимость годового выпуска литых, кованых или штампованных заготовок определяется по формуле

$$C_{т.з} = (C_m + C_z + C_o) N_r + C_{ос}^r, \quad (5.5)$$

то есть состоит из затрат (р./год):

C_m - на основные материалы за вычетом реализуемых отходов;

C_z - на заработную плату (основную, дополнительную с отчислениями на социальное страхование) по штучно-калькуляционному времени производственных рабочих;

C_o - по содержанию и эксплуатации оборудования;

$C_{ос}^r$ - годовых затрат по содержанию и эксплуатации оснастки;

N_r - годовая программа выпуска заготовок.

Технологическая себестоимость механической обработки

$$C_{т4} = (C_3 + C_0 + C_H) N_T + C_{пз}^r + C_{ос}^r, \quad (5.6)$$

где C_H , $C_{пз}$ - затраты на эксплуатацию инструмента и годовые затраты на подготовительно-заключительные операции (на настройку станков).

Технологическая себестоимость годового выпуска деталей из отливок, кованных или штампованных заготовок на стадиях изготовления механической обработки

$$C_T = [(C_M + C_3 + C_p)N_T + C_{пз}^r]_3 + (C_3 + C_0 + C_H)N_T + C_{пз}^r + C_{ос}^r]_4. \quad (5.7)$$

Выражение для расчета технологической себестоимости годового выпуска деталей из сортового или листового проката на тех же стадиях имеет вид

$$C_T = [(C_M + C_3 + C_0 + C_H)N_T + C_{пз}^r + C_{ос}^r]_3 + [(C_3 + C_0 + C_H)N_T + C_{пз}^r + C_{ос}^r]_4. \quad (5.8)$$

В целях упрощения расчетов считаем, что изменяются только капиталовложения и оборудование и дорогостоящую оснастку. С учетом сказанного приведенные затраты по двум пределам определяются как

$$C_{п.н} = (C_{т3} + C_{т4}) + E_M(K_3 + K_4), \quad (5.9)$$

где K_3 и K_4 - капиталовложения соответственно на заготовительной и механической стадиях обработки.

Возможны несколько способов расчета технологической себестоимости и капитальных вложений в частности:

- поэлементный, предполагающий наличие необходимого объема данных и использование вышеприведенных формул;
- базирующийся на знании эмпирических величин затрат по технологическим пределам;
- нормативный, основанный на укрупненных затратах за один час работы оборудования.

Второй и третий способы имеют больше погрешностей, но менее трудоемки по сравнению с первым.

Используя второй прием расчета, примем базовую массу $m_3^6 = 5$ кг. Расчеты проведем, исходя из единой нормативной базы - одной тонны заготовок.

Допустим, что в структуре себестоимости заготовки трудоемкость колеблется в основном в зависимости от изменения ее массы. Тогда

$$T_3 = T_3^6 \sqrt[6]{(n_3 / m_3^6)^2}, \quad (5.10)$$

где T_3 ; T_3^6 - трудоемкость получения заготовки и базовой заготовки (табл. 5.2, ч.-ч/т).

Таблица 5.2
Затраты на получение металла и некоторых видов заготовок

Материал, вид заготовки	Трудо- емкость, чел.-ч/т	Себестои- мость, р./т	Капиталовложе- ния, р./т
Жидкая сталь	48	-	-
Чугун:			
передельный	38	-	-
литейный	45	-	-
Стальной прокат	63,5	-	730
Поковки:			
из слитков (проката)	16 (56)	(350)	700 (1000)
штампованные	39	370	700
Точные прокатные заготовки	12	280	970
Отливки:			
чугунные	49	260	750
стальные	63	350	900
Сварные заготовки	40	360	600
Одна тонна снимаемой стружки	1000	500	1000

Исходя из массы детали и коэффициента использования металла на чет-
вертом переделе получим

$$m_3 = m_d K_{км4} . \quad (5.11)$$

$K_{км4}$ - определяют по табл. 5.3

Таблица 5.3

Коэффициент использования металла

Способ получения заготовки	Коэффициент использования металла	
	$K_{км}$	$K_{км4}$
Литье:		
чугунное	0,56	0,85
стальное	0,47	0,8
точное		0,9
Ковка	0,42	0,68
Объемная штамповка:		
горячая	0,43	0,76
холодная	-	0,82
Сварка	0,55	0,97

Примечание. Данные табл.5.2, 5.3 - по состоянию на 01.01.85.

Доля заработной платы в структуре себестоимости по базовому варианту

$$C_{з.з}^6 = KC_{т.з}^6, \quad (5.12)$$

где $K = 0,23$ - затраты на заработную плату в структуре технологической себестоимости в среднем по машиностроению;

$C_{т.з}^6$ - технологическая себестоимость базовой заготовки, р./т (см. табл. 5.2).

Сумма затрат на материалы, содержание и эксплуатацию оборудования и оснастки составляет 0,77.

Затраты на заработную плату

$$C_{з.з} = C_{з.з}^6 T_3 / T_3^6. \quad (5.13)$$

Технологическая себестоимость данного варианта изготовления заготовки

$$T_{т.з} = C_{т.з}^6 0,77 + C_{з.з}. \quad (5.14)$$

Определить технологическую себестоимость механической обработки исходя из расчета на одну тонну стружки

$$C_{т.ч} = C_{т.ч}^6 m_{стр}, \quad (5.15)$$

где $C_{т.ч}^6$ - см. табл. 5.2, р./т;

$m_{стр} = m_3 - m_d$ - масса стружки, удаляемой с заготовки, кг.

Стоимость отходов находят из формулы

$$C_{отк} = m_{отк} Ц_{отк}, \quad (5.16)$$

где $m_{отк} = m_{и.з} - m_d$; $m_{и.з} = m_d / (K_{и.м3} K_{и.м4})$ - масса отходов и исходной заготовки, кг;

$K_{и.м3}$ - см. в табл. 5.4;

$Ц_{отк}$ - стоимость отходов, р./кг (р./т).

Определяют капиталовложения по заготовительному и механообрабатывающему переделам (см. табл. 5.2), причем последние относят к одной тонне снимаемой стружки.

Приведенные затраты рассчитывают по формуле (5.9), из их суммы вычитают стоимость реализуемых отходов материала.

При выборе метода получения заготовки наиболее приемлем вариант использования нормативов приведенных затрат на один час работы оборудования применительно к линейным, кузнечным, станочным, термическим и сварочным операциям. Подобные нормативы рассчитаны для многих видов заготовительного и металлорежущего оборудования. Если по рассматриваемому варианту

применяют оборудование, для которого нет нормативов затрат на один час работы, то примерный объем таких затрат устанавливают по данным для ближайшего его аналога с поправками на различие в габаритных размерах, мощности, стоимости и т.д.

Для расчетов составляют структуру технологических процессов получения заготовки и последующей механической обработки по сравниваемым вариантам. По справочным таблицам определяют нормативы приведенных затрат на один час работы соответствующего оборудования и суммируют по вариантам. Предпочтителен вариант с меньшими приведенными народнохозяйственными затратами.

Если изменение заготовки не приводит к изменениям в технологическом процессе механической обработки, можно ограничиться расчетами только на заготовительной стадии, используя нормативные документы.

Таблица 5.4

Кoeffициенты использования материалов на третьем переделе

Вид заготовки	$K_{и.м.з}$
Поковки:	
из проката кованные	0,79
из слитков кованные	0,65
горячештампованные	0,78
Заготовки, полученные:	
холодной высадкой	0,91
холодным выдавливанием	0,93
листовой штамповкой	0,76
прессованием металлопорошков и твердых сплавов	0,92
прессованные из пластмасс	0,92
из пластмасс, отлитые под давлением	0,95
Отливки, полученные литьем:	
в песчаные формы	
чугуна	0,68
стали	0,6
цветных сплавов	0,7
в кокиль	0,7
под давлением	0,6

5.3. Виды заготовок

5.3.1. Заготовки из сортового материала

Сортовой материал следует применять в тех случаях, когда профиль материала соответствует профилю детали.

Круглые прутки и трубы применяют в основном для изготовления деталей, имеющих форму тел вращения (осей, валиков, втулок и т.п.). Для деталей, обработка которых предусматривается на токарных автоматах или на прессах-автоматах, следует выбирать калиброванные прутки 7-11 квалитетов. Плоский прокат используется главным образом в условиях единичного и мелкосерийного производства для деталей, заготовки к которым нецелесообразно изготавливать в виде отливок, объемных штамповок и т.п. Плоский прокат малой толщины применяется для изготовления деталей методом холодной штамповки на прессах. В массовом и крупносерийном производствах для этих деталей целесообразно применять ленты (в бухтах).

Необходимые сведения о различных видах проката (размеры, точность изготовления, качество поверхности и др.) заключены в ГОСТах на сортамент.

Номинальные значения диаметральных размеров заготовки, соответствующие стандартизованным размерам по сортаменту, определяются по приводимым формулам (с последующим округлением размера до стандартизованного).

$$D_1 = D + Z_{\text{нар}} + \delta'_{\text{заг}}; d_1 = d - Z_{\text{вн}} - \delta'_{\text{заг}}, \quad (5.17)$$

где D_1 - наружный расчетный диаметр заготовки;
 d_1 - внутренний расчетный диаметр заготовки;
 D - наружный диаметр детали по чертежу;
 d - внутренний диаметр детали по чертежу;
 $Z_{\text{нар}}$ - припуск на обработку по наружной поверхности;
 $Z_{\text{вн}}$ - припуск на обработку по внутренней поверхности;
 $\delta'_{\text{заг}}$ - учитываемая часть величины допуска заготовки, указанного в сортаменте.

При расчете наружного диаметра заготовки следует учитывать только часть, определяемую минусовым отклонением, а при расчете внутреннего - только часть, определяемую плюсовым отклонением от номинала.

Величины припусков $Z_{\text{нар}}$ и $Z_{\text{вн}}$ выбираются из табл. 5.5, если допуски на размеры D и d не точнее значений 12-го квалитета, а шероховатость поверхности R_a - не менее 1,25 мкм.

Припуски на диаметр

Диаметр обработки, мм	При длине обработки, мм	
	до 100	свыше 100 до 200
До 10	2,0	2,5
Свыше 10 до 30	2,2	2,8
Свыше 30 до 80	2,5	3,0
Свыше 80 до 180	3,0	4,0

На основании рассчитанных размеров D_1 и d_1 проводится выбор стандартизованных диаметров заготовки по сортаменту. При этом должно быть выдержано условие: $D'_1 \gg D_1$ и $d'_1 \leq d$, где D'_1 и d'_1 - наружный и внутренний диаметры заготовки, выбранные по сортаменту.

Номинальный размер длины заготовки L_1 , получаемой из прутка, определяется по формулам

$$L_1 = L + 2\ell_1 + \ell_2 + \frac{\ell_3 + \ell_4}{n}, \quad (5.18)$$

- при получении из прутка n деталей, мм;

$$L_1 = L + 2\ell_1 + \ell_4 \quad (5.19)$$

- при получении из прутка одной детали, мм,

где L - размер детали по чертежу;

ℓ_1 - припуск на подрезку торца с одной стороны;

ℓ_2 - припуск на отрезку детали;

ℓ_3 - длина отрезка, необходимого для зажима прутка в патроне или цанге при обработке последней детали;

ℓ_4 - припуск на отрезку прутка в заготовительном цехе (участке);

n - количество деталей, получаемых из прутка.

Так как длина прутка, подаваемая на токарные или токарно-револьверные станки, не должна превышать длины шпинделя, то количество деталей n можно определить из неравенства

$$(L + 2\ell_1 + \ell_2)n + \ell_3 \ll 600 - 800 \text{ мм.}$$

Величины $\ell_1, \ell_2, \ell_3, \ell_4$ выбираются из табл. 5.6.

Таблица 5.6

Определение припусков и назначение номинальных размеров
плоских заготовок

Диаметр прутка, мм	Величина припуска, мм				Диаметр прут- ка, мм	Величина припус- ка, мм			
	$2l_1$	l_2	l_3	l_4		$2l_1$	l_2	l_3	l_4
До 10	1,5	2	40	2	Свыше 30 до 50	2	4	50	5
Свыше 10 до 30	1,5	3	40	5	Свыше 50 до 80	2	4	50	8

Номинальные размеры плоских заготовок, соответствующие размерам по сортаменту (по высоте или ширине), определяются с последующим округлением размера до стандартизованного по формуле

$$B_1 = B + 2Z_0 + \delta'_{\text{заг}}, \quad (5.20)$$

где B_1 - расчетный размер заготовки (высота или ширина);

B - размер детали по чертежу;

Z_0 - припуск на сторону;

$\delta'_{\text{заг}}$ - учитываемая часть указанного в сортаменте поля допуска заготовки, определяемая минусовым отклонением.

Величина припуска Z_0 выбирается из табл. 5.7, если допуск B не точнее значений 12-го качества, а шероховатость поверхности по параметру R_a - не менее 1,25 мкм.

Таблица 5.7

Припуски на размер B на сторону

Размер обработки, мм	При длине обработки, мм			
	до 50	свыше 50 до 100	свыше 100 до 200	свыше 200 до 300
До 10	1,0	1,2	1,5	1,8
Свыше 10 до 30	1,3	1,5	1,8	2,0
Свыше 30 до 80	1,5	1,6	2,0	2,5
Свыше 80 до 180	1,6	1,8	2,2	2,8

На основании рассчитанного размера B_1 (или двух размеров - толщины и ширины или длины) выбирается стандартизованный размер (размеры) по сортаменту. При этом должно быть выдержано условие

$$B'_1 \gg B_1,$$

где B'_1 - размер заготовки, выбранный по сортаменту.

При расчете размера заготовки, получаемого путем отрезки (вырезка заготовки из плиты, отрезка полосы от листа, отрезка мерной заготовки по длине из прутка и т.п.), следует пользоваться формулой

$$B_1 = B + 2Z_0 + \ell_p + \delta'_{\text{заг}}, \quad (5.21)$$

где B - размер детали по чертежу (или сумма размеров на n деталей при групповой заготовке);

Z_0 - припуск на сторону, определяемый по табл. 5.7;

ℓ_p - ширина реза (выбирается по табл. 5.8);

$\delta'_{\text{заг}}$ - учитываемая часть поля допуска на отрезку заготовки, определяемая минусовым отклонением (см. табл. 5.8).

Таблица 5.8

Допуски на отрезку

Оборудование для резки	Ширина реза ℓ_p , мм при толщине заготовки, мм			$\delta'_{\text{заг}}$, мм
	до 4	свыше 4 до 12	свыше 12	
	Гильотинные ножницы	0	-	
Рычажные ножницы	-	0	-	2
Дисковые ножницы	0	0	-	3
Дисковая пила	-	-	5-10	1
Газовая резка	-	-	10	3
Фрезерный станок (только для цветного материала)	-	4	6	1

Примечание. Прочерк в графах указывает на неприменимость данного вида оборудования для резки материала.

Если деталь изготавливается методом холодной штамповки из мерной по ширине ленты (полосы), то при одностороннем раскрое

$$A_1 = A + Z_0; B_1 = B + 2Z_1 + \delta'_{\text{заг}}, \quad (5.22)$$

где A_1 и B_1 - расчетные размеры заготовки соответственно вдоль и поперек ленты (полосы);

A и B - размеры детали соответственно вдоль и поперек ленты (полосы);

Z_0 - величина перемычки между деталями вдоль заготовки;

Z_1 - величина боковой перемычки по краю заготовки. Величины Z_0 и Z_1 выбираются по табл. 5.9;

$\delta_{\text{заг}}$ - учитываемая часть поля допуска на изготовление ленты (полосы), определяемая минусовым отклонением (см. сортамент на материалы).

На основании рассчитанного размера B_1 по сортаменту выбирается стандартный размер ширины заготовки, при этом должно быть выдержано условие

$$B'_1 \gg B,$$

где B'_1 - размер заготовки по сортаменту (рис. 5.2).

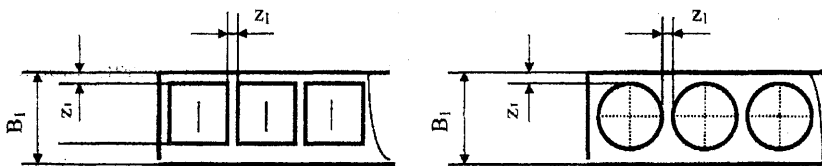


Рис. 5.2. Схема разметки

Таблица 5.9

Размеры перемычек

Толщина штампуемого материала, мм	Для круглых и овальных деталей		Для прямоугольных и фасонных деталей при длине, мм			
			до 50		свыше 50 до 100	
	Z_0	Z_1	Z_0	Z_1	Z_0	Z_1
До 0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	2,0	2,5
1,1 - 1,0	1,0	1,5	1,5	2,0	1,5	2,0
1,1 - 1,2	1,2	1,8	1,5	2,0	1,5	2,0
1,3 - 1,5	1,5	2,0	1,5	2,0	1,5	2,0
1,6 - 2,0	1,5	2,0	2,0	2,5	2,0	2,5
2,1 - 2,5	1,8	2,3	2,5	3,0	2,5	3,0
2,6 - 3,0	2,0	2,5	2,5	3,0	3,0	3,5

Расчет массы заготовки из сортового материала производится по формуле

$$Q = v \gamma, \quad (5.23)$$

где v - объем заготовки, м^3 ;
 γ - плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$.

$$v = \frac{\pi(D'_1)^2}{4} L_1 - \text{для сплошного круглого прутка;}$$

$$v = \frac{\pi[(D'_1)^2 - (d'_1)^2]}{4} L_1 - \text{для трубы;}$$

$v = A'_1 B'_1 S'_1$ - для заготовки из плоского проката,

где D'_1 - наружный диаметр заготовки, выбранный по сортаменту, м;

d'_1 - внутренний диаметр заготовки, выбранный по сортаменту, м;

L_1 - длина заготовки с учетом всех отходов по длине прутка, м;

A'_1, B'_1, S'_1 - длина, ширина и толщина заготовки с учетом припусков на отрезку (от полосы, листа и т.п.), м.

5.3.2. Отливки и штамповки

Отливки применяются для изготовления корпусных и других деталей сложной конфигурации (корпусов, кронштейнов, стоек, плат, фланцев и т.п.). Для получения отливок наиболее распространены виды литья: в песчано-глинистые формы; в кокиль; по выплавляемым моделям; под давлением; в оболочковые формы.

Выбор того или иного вида литья зависит от материала детали; точности и шероховатости поверхностей, получаемых при изготовлении заготовки данным методом; от конфигурации; размера и массы детали; а также от типа производства. В приборостроении применяются также заготовки, получаемые штампованием нагретого металла (горячее штампование) и расплавленного металла (штампование жидкого металла) под прессами и молотами в штампах. Заготовки, получаемые горячим штампованием, целесообразно применять для изготовления толстостенных сравнительно простых по конфигурации деталей в тех случаях, когда их нельзя или неэкономично изготавливать из литых заготовок или сортового материала и когда штампованная заготовка позволяет значительно уменьшить объем механической обработки. Штамповки из жидкого металла получаются с более тонкими стенками, более сложной конфигурации и с отверстиями.

В табл. 5.10 приведены рекомендуемые методы получения заготовок из разных материалов и достижимые при этом точность размеров и шероховатость поверхностей. Таблица составлена для условий серийного производства и учитывает наиболее распространенные в приборостроении металлы и сплавы.

Допустимые отклонения на размеры отливок в песчано-глинистые формы по ГОСТ 1855-55 указаны в табл. 5.10.

Таблица 5.10

Допустимые отклонения на размеры отливок

Марка материала детали	Метод получения заготовки	Достижимые качества	Шероховатость	
			классы	R _a , мкм
СЧ12-28	Литье в песчано-глинистые формы	см. табл. 5.11	1 - 3	320 - 40
СЧ21-40	Литье в оболочковые формы	14 - 15	4 - 5	40 - 10
Сталь 20Л, 30Л, 35Л, 40Л, 45Л, 50Л	Литье по выплавляемым моделям	12 - 14	4 - 5	40 - 10
	Литье в оболочковые формы	14 - 15	4 - 5	40 - 10
ЛС59-1	Горячее штампование	12 - 14 ^{x)}	3 - 4	80 - 20
	Штампование жидкого металла	12 - 14 ^{x)}	4 - 5	40 - 10
ЛС59-1Л, ЛО62-1Л	Литье под давлением	12 - 14	4 - 5	40 - 10
ЛК80-3Л	Литье в песчано-глинистые формы	см. табл. 5.11	1 - 3	320 - 40
	Литье в кокиль	12 - 14	3 - 4	80 - 20
	Литье в оболочковые формы	14 - 14	4 - 5	40 - 10
Бронзы литейные	Литье в песчано-глинистые формы	см. табл. 5.11	1 - 3	320 - 40
	Оболочковое литье	14 - 15	4 - 5	40 - 10
АЛ2	Литье в песчано-глинистые формы	см. табл. 5.11	2 - 3	160 - 40
	Литье в кокиль	14 - 15	4 - 5	40 - 10
	Литье под давлением	12 - 14	4 - 6	40 - 6,3
Д1(Д1Т) Д16(Д16Т)	Штампование из жидкого металла	12 - 14 ^{x)}	4 - 5	40 - 10
БРОЦС6-6-3	Штампование жидкого металла	12 - 14 ^{x)}	4 - 5	40 - 10

Примечание. ^{x)} Точность линейных размеров, выполняемых в одной половине штампа (матрицей или пуансоном), соответствует 12-14 качествам. Пределы допустимых отклонений линейных размеров, зависящих от конечного положения пуансона, располагаются симметрично относительно номинального размера и не могут быть точнее $\pm 0,5$.

Таблица 5.11

Допустимые отклонения, мм

Чугунные отливки			Цветное литье				
Номинальные размеры, мм			Номинальные размеры, мм				
до 50	свыше 50 до 120	свыше 120 до 260	до 30	свыше 30 до 50	свыше 50 до 120	свыше 120 до 180	свыше 180 до 260
± 0,5	± 0,8	± 1,0	± 0,5	± 1,0	± 1,2	± 1,4	± 1,6

Поверхности детали, для которой выбирается заготовка, могут выполняться без припуска на механическую обработку, если достижимые точность и шероховатость, указанные в табл. 5.10, 5.11, соответствуют заданным или грубее их. Исключение составляют те поверхности, которые в последующем служат технологической или конструкторской (основной или вспомогательной) базами и подлежат обработке из содержаний применения "чистой" базы.

В табл. 5.12-5.15 приведены значения: минимально допустимых толщин стенок (табл. 5.12), минимальных диаметров литых отверстий (табл. 5.13), величины литейных и штамповочных уклонов (табл. 5.14) и радиусов закруглений (табл. 5.15).

Таблица 5.12

Значения минимально допустимых толщин стенок

Методы получения заготовки	Минимальная толщина стенки в заготовке, мм
Литье в песчано-глинистые формы	4 - 6
Литье в оболочковые формы	2 - 4
Литье по выплавляемым моделям	1,5 - 2,5
Литье в кокиль	2 - 3
Литье под давлением	1 - 1,5
Штампование жидкого и горячего металла	4 - 5

Примечание. Меньшие значения - для отливок малых габаритов, большие - для протяженных стенок.

Таблица 5.13

Значения минимальных диаметров литых отверстий

Методы получения заготовки	Диаметр d , мм	
Литье в песчано-глинистые формы	цветные сплавы	22
	чугун	30
Литье в кокиль		10
Литье по выплавляемым моделям	при толщине стенки: 1,5 - 5	5
	свыше 5 - 8	8
	свыше 8 - 10	10
	свыше 10 - 25	12
	свыше 25 - 50	15
Литье под давлением		2,5
Штампование	жидкого металла	$\leq 1,5\ell$
	горячего металла	$\leq \ell$

Примечание. d - минимальное значение диаметра сквозного отверстия в заготовке в миллиметрах; ℓ - длина отверстия.

При штамповании горячего и жидкого металла сквозные отверстия получить невозможно. В заготовке остаются перемычки толщиной 2-5 мм при штамповании горячего металла и 0,3-0,8 мм при штамповании жидкого металла.

Таблица 5.14

Величины литейных и штамповочных уклонов

Методы получения заготовки	Значение уклонов в градусах
Литье в песчано-глинистые формы оболочковые, в кокиль	2 - 5
Литье по выплавляемым моделям, под давлением	0,5
Штампование жидкого и горячего металла	для внутренних поверхностей - 5 для наружных - 0

Таблица 5.15

Величины радиусов закруглений

Методы получения заготовки	Значение радиуса, мм
Литье в песчано-глинистые формы	3 - 4
Литье в оболочковые формы	2 - 3
Литье по выплавляемым моделям	0,5 - 1
Литье в кокиль	1 - 1,5
Литье под давлением	0,5 - 1
Штампование жидкого и горячего металла	1

При решении вопроса о применении одного из видов литья для получения заготовки-отливки часто приходится решать вопрос о возможности замены материала, не обладающего литейными свойствами, на материал, обладающий этими свойствами. Иногда приходится решать обратную задачу. В табл. 5.16 даны некоторые рекомендации для таких замен.

Таблица 5.16

Рекомендации для замены материала

Марка материала, применяемого для проката и обработки давлением	Марка материалов-заменителей с литейными свойствами
Сталь 20 30 40 50	Сталь 20Л 30Л, 35Л 40Л, 45Л 50Л
Алюминиевые сплавы Д1, Д1Т Д16, Д16Т	Алюминиевые литейные сплавы АЛ2 АЛ3
Латуни ЛС59-1 ЛО62-1 ЛК80-3	Латуни ЛС59-1Л ЛО62-1Л ЛК80-3Л
Бронза БрОЦС-4-4-2,5 БрОЦЧ-3 БрОЦС3-7-5-1 БрОЦС-6-6-3	Бронза БрАМЦ9-2Л

В табл. 5.17-5.19 даны значения припусков на механическую однократную обработку поверхностей отливок и штамповок, то есть для случая, когда допуск на размеры детали находится в диапазоне 12-17 квалитетов, а к качеству поверхности не предъявляется особых технологических требований.

В табл. 5.17 приведены значения рекомендуемых припусков на сторону для однократной обработки отливок из серого чугуна, получаемых литьем в песчаные формы; в табл. 5.18 - для отливок из цветных сплавов; в табл. 5.19 - для отливок из стали, получаемых литьем по выплавляемым моделям.

Таблица 5.17
Припуски на сторону при литье из серого чугуна, мм

Наибольший габаритный размер отливки из серого чугуна, мм	Положение поверхности при заливке	При номинальном размере, мм			
		свыше 50	свыше 50 до 120	свыше 120 до 250	свыше 250 до 500
До 120	верх	2,5	2,5		
	низ, бок	2,0	2,0		
Свыше 120 до 260	верх	2,5	3,0	3,0	
	низ, бок	2,0	2,0	2,5	
Свыше 260 до 500	верх	3,5	3,5	4,0	4,5
	низ, бок	2,5	3,0	3,5	3,5

Таблица 5.18
Припуски на сторону при литье из цветных сплавов, мм

Наибольший габаритный размер отливки из цветных сплавов, мм	В песчаные формы	В оболочковые формы	По выплавляемым моделям	В кокиль	Под давлением
До 3	1,5	1,0	0,7	1,0	0,5
Свыше 3 до 6	1,5	1,0	0,8	1,0	0,5
Свыше 6 до 10	1,5	1,1	0,8	1,2	0,5
Свыше 10 до 18	2,0	1,2	1,0	1,3	0,6
Свыше 18 до 30	2,0	1,3	1,0	1,5	0,6
Свыше 30 до 50	2,0	1,4	1,4	1,6	0,6
Свыше 50 до 80	2,5	1,6	1,6	1,8	0,7
Свыше 80 до 120	3,0	1,7	1,7	2,0	0,8
Свыше 120 до 180	3,0	1,8	1,8	2,5	0,9
Свыше 180 до 260	3,5	2,0	2,0	3,7	1,0
Свыше 260 до 360	4,0	3,2	3,2	3,7	1,1

Таблица 5.19

Припуски на сторону при литье из стали, мм

Наибольший габаритный размер отливки, мм	Припуск на сторону, мм
До 40	0,7 - 1,0
Свыше 40 до 100	1,0 - 1,5
Свыше 100 до 250	1,5 - 2,0

Припуск для заготовок, получаемых горячей штамповкой и штамповкой из жидкого металла, следует устанавливать, соотносясь с размерами заготовки в пределах от 0,8 до 1,2 мм для медных сплавов и от 0,5 до 1 мм для алюминиевых и цинковых сплавов.

Установленные значения припусков во всех случаях прибавляются к номинальному значению размера по чертежу (или отнимаются от номинального значения для размеров внутренних поверхностей), после чего номинальный размер заготовки округляется с увеличением (или уменьшением для внутренних поверхностей) до ближайшего значения рекомендуемого размера из ряда предпочтительных чисел.

6. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТП

Согласно ЕСТПП ГОСТ 14.303-81 определяет следующие этапы и их последовательность при проектировании ТП (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Этапы и последовательность при проектировании ТП

Этапы разработки типовых технологических процессов	Задачи, решаемые на этапе	Основные документы, обеспечивающие решение задач
Классификация объектов производства	Создание групп объектов производства, обладающих общностью конструкторско-технологических характеристик Выбор типовых представителей групп объектов производства	Методика классификации Классификаторы объектов производства

Этапы разработки типовых технологических процессов	Задачи, решаемые на этапе	Основные документы, обеспечивающие решение задач
Количественная оценка групп объектов производства	<p>Определение типа производства для каждого типового представителя групп объектов производства (единичное, серийное, массовое)</p>	<p>Спецификации конструкторских документов Плановые задания</p>
<p>Анализ конструкций типовых представителей объектов производства по чертежам и техническим условиям, программ выпуска и типа производства</p> <p>Выбор заготовки и методов ее изготовления</p>	<p>Разработка основных маршрутов изготовления объектов производства, включая заготовительные процессы</p>	<p>Рабочие чертежи и технические условия на объекты производства Действующие типовые технологические процессы для данного класса деталей</p>
<p>Выбор технологических баз</p>	<p>Определение вида исходной заготовки</p> <p>Выбор метода изготовления исходной заготовки. Техничко-экономическая оценка выбора заготовки</p>	<p>Основные маршруты изготовления объектов производства Классификатор заготовок</p>
<p>Выбор технологических баз</p>	<p>Выбор поверхностей базирования</p> <p>Оценка точности и надежности базирования</p>	<p>Методика технико-экономической оценки выбора заготовки</p>
<p>Выбор вида обработки (литье, обработка давлением, механическая обработка резанием и др.)</p>	<p>Выбор вида обработки</p> <p>Оценка точностных характеристик метода и качества поверхностей</p>	<p>Классификатор способов базирования</p> <p>Методика выбора технологических баз</p>
<p>Составление технологического маршрута обработки</p>	<p>Выбор метода обработки</p> <p>Определение последовательности операций</p> <p>Определение групп оборудования по операциям</p>	<p>Классификаторы изделий и операций</p> <p>Методика оценки точности и качества поверхностей деталей</p>
<p>Составление технологического маршрута обработки</p>	<p>Определение последовательности операций</p> <p>Определение групп оборудования по операциям</p>	<p>Классификаторы технологического оборудования</p>

Продолжение табл. 6.1

Этапы разработки типовых технологических процессов	Задачи, решаемые на этапе	Основные документы, обеспечивающие решение задач
Разработка технологических операций	<p>Рациональное построение технологических операций Выбор структуры операции</p> <p>Установление рациональной последовательности переходов в операции Выбор оборудования, обеспечивающего оптимальную производительность при условии обеспечения требуемого качества Расчет загрузки технологического оборудования Выбор конструкции оснастки Установление принадлежности выбранной конструкции к стандартным системам оснастки Установление исходных данных, необходимых для расчетов, и расчет припусков на обработку и межоперационных припусков Установление исходных данных, необходимых для расчетов оптимальных режимов обработки, и их расчет</p>	<p>Общая структурная схема развития технологических операций Структурные формулы развития технологических операций Модели развития структур в операциях типового технологического процесса Методика установления рациональной последовательности переходов Стандарты на технологическое оборудование Классификаторы технологического оборудования Таблицы технологических компоновок станков для различных методов обработки поверхностей деталей ГОСТ 14.304-81 Стандарты на технологическую оснастку ГОСТ 14.305-81 Классификаторы технологической оснастки Методики и стандарты по расчету режимов обработки</p>

Этапы разработки типовых технологических процессов	Задачи, решаемые на этапе	Основные документы, обеспечивающие решение задач
<p>Расчет точности, производительности и экономической эффективности вариантов типовых технологических процессов</p> <p>Оформление типовых технологических процессов</p>	<p>Установление исходных данных, необходимых для расчетов норм времени, и их расчет</p> <p>Определение разряда работ и обоснование профессий исполнителей для выполнения операций в зависимости от сложности этих работ</p> <p>Выбор оптимального варианта</p> <p>Согласование типовых технологических процессов со всеми заинтересованными службами и утверждение их</p>	<p>Методики разработки норм времени</p> <p>Классификаторы разрядов работ и профессий</p> <p>Методика расчета экономической эффективности</p> <p>Методика расчета точности</p> <p>Стандарты ЕСТД</p>

При разработке группового ТП создается группа изделий с разными конструктивными признаками, но с общими технологическими признаками. Последовательность этапов разработки ТП сохраняется. Если на этапе классификации невозможно создание групп объектов производства, то разрабатывается единственный ТП.

7. СТРУКТУРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА [3]

7.1. Общие положения

В общем случае процесс проектирования можно рассматривать как целенаправленную последовательность действий по принятию и реализации проектных решений, приводящих к составлению на технологическом языке описания процесса механической обработки. Процесс проектирования рассматривается как процесс взаимосвязанных задач анализа и синтеза. При решении зада-

чи анализа осуществляется построение структурной модели процесса проектирования, при решении задачи синтеза - структурное проектирование ТП.

7.2. Структуризация процесса проектирования

Сущность структуризации процесса проектирования состоит в представлении его в виде иерархической системы, уровни которой отражают этапы проектирования. На каждом этапе (уровне) выделяются проектно-технологические задачи.

Применительно к технологическому процессу механической обработки структуру процесса проектирования можно представить в виде схемы (табл. 7.1). Более подробно остановимся на анализе взаимосвязей между боковыми элементами на каждом уровне проектирования. При описании уровней проектирования будем придерживаться следующей схемы: введем понятия и рассмотрим их свойства, рассмотрим логическую взаимосвязь между свойствами и понятиями по их взаимному предопределению. Предопределение в данном случае рассматривается как однонаправленная связь между свойствами или понятиями; например, присоединительные размеры резцедержателя предопределяют размеры державки резца, который может быть закреплен в резцедержателе. Однонаправленные связи показывают взаимосвязь между свойствами и направлением проектирования. Состав базовых элементов на уровнях проектирования определяется решаемыми проектно-технологическими задачами.

Таблица 7.1

Описание уровней проектирования

Уровни проектирования	Проектно-технологические задачи	Данные, необходимые для решения задач
Принципиальной схемы технологического процесса	Назначение методов и видов обработки по поверхностям детали Формирование принципиальной схемы на уровне этапов распределения поверхностей и видов обработки по этапам Распределение поверхностей и видов обработки по этапам Рассмотрение схем совмещения переходов по этапам	Таблица экономической точности обработки ГОСТы, справочные материалы, типовые технологические процессы Принципиальные схемы и виды обработки Требования чертежа и существующие схемы обработки

Уровни проектирования	Проектно-технологические задачи	Данные, необходимые для решения задач
Маршрутного технологического процесса	Предварительное выделение технологических операций на уровне компоновочных схем Выбор баз по технологическим операциям	Разработанные схемы совмещения переходов Принципы базирования и типовые схемы базирования
	Выбор схем установки и анализ доступности обработки поверхностей Выбор типов оборудования и инструмента	Типовые схемы установки заготовок на станках Каталоги и прейскуранты
	Уточнение типоразмеров и моделей технологического оборудования	Выбранные типы, каталоги и прейскуранты
	Введение контрольных переходов Выбор системы и типоразмеров станочных приспособлений	ГОСТы, нормативные и руководящие материалы Методики, нормативные и справочные материалы
Операционного технологического процесса	Выбор типоразмеров режущего инструмента Выбор вспомогательного инструмента	ГОСТы и справочники ГОСТы, справочники и данные о технологическом оборудовании
	Выбор моделей и типоразмеров мерительного инструмента и контрольных приспособлений	ГОСТы, справочники и операционные эскизы
	Формирование инструментальных переходов	Состав видов обработки и обрабатываемых поверхностей по этапам, а также схем совмещения
Формирование позиционных переходов	Состав инструментальных и блочных переходов, а также схем обработки	
Формирование блочных переходов	Состав инструментальных переходов и схем обработки	

Уровни проектирования	Проектно-технологические задачи	Данные, необходимые для решения задач
	Расчет операционных размеров и припусков Расчет режимов резания по операциям Нормирование технологических операций	Нормативно-справочные таблицы и ГОСТы по расчету припусков Нормативы для расчета режимов резания Нормативные материалы по расчету трудоемкости обработки

Назначение методов и видов обработки по поверхностям детали связано с использованием следующих понятий: метод обработки, вид обработки, элементарный технологический процесс, деталь, заготовка, элементарная поверхность.

Метод обработки характеризует процесс взаимодействия инструмента с поверхностью заготовки, в результате которого эта поверхность приобретает определенную геометрическую форму и качество. В свою очередь, метод обработки характеризуется свойствами: типом режущего инструмента, совокупностью движений формообразования при резании, формой получаемой поверхности и параметрами качества поверхностей заготовки и детали.

Вид обработки предопределяет диапазон параметров шероховатости и точности применительно к конкретному методу обработки, например черновое, получистовое и чистовое точение. Вид обработки характеризуется методом обработки и уточняется в зависимости от требований по точности и шероховатости.

Элементарный технологический процесс представляет собой последовательность видов обработки, преобразующую исходную элементарную поверхность заготовки в элементарную поверхность детали с учетом требуемых форм, размеров, точности и шероховатости. Элементарный технологический процесс характеризуется составом и последовательностью видов обработки, при проектировании назначается по таблицам экономической точности.

Деталь будем рассматривать как исходное понятие. В общем случае это ограниченное непрерывной поверхностью тело, которое характеризуется общими свойствами, свойствами элементов и связями между элементами. Общие свойства характеризуют форму, габаритные размеры, общие требования и шероховатости, массу, марку материала и т.п. Деталь может быть расчленена на элементы - элементарные поверхности. Каждая поверхность детали рассматривается как элементарная геометрическая поверхность, отделяемая от других поверхностей граничным контуром и не имеющая самопересечений. Элементарная поверхность на всем протяжении имеет постоянную шероховатость и точность.

Заготовка также является исходным понятием и рассматривается как полуфабрикат, подлежащий обработке с целью получения детали.

Формирование принципиальной схемы технологического процесса требует введения понятия - этап технологического процесса, а также использования ранее описанных понятий. Под этапом будем понимать часть технологического процесса, включающую однородную по характеру и придаваемым свойствам обработку детали в целом или отдельных ее поверхностей. Например, за этапами механической обработки закрепляются виды обработки, которые обеспечивают примерно одинаковые точность и шероховатость при обработке заготовки: этапы черновой, получистовой, чистовой и отделочной обработок. В состав принципиальной схемы технологического процесса вводятся этапы, не связанные с механической обработкой: термическая обработка (улучшение, цементация и закалка, старение, азотирование, гальванические покрытия). Состав этапов в принципиальной схеме определяют свойства исходной заготовки и требования детали: метод получения заготовки, наличие облоя и кузнечных напусков, состояние поверхностного слоя заготовки, требования по точности и шероховатости поверхностей детали, требования по термической обработке, покрытиям поверхностей и т.п.

Распределение поверхностей и видов обработки по этапам связано с классификацией поверхностей и видов обработки и объединением их в группы по различным классификационным признакам. Решение названной задачи выполняется на основе введенных понятий, но требует анализа элементарных поверхностей детали и их взаимосвязей.

При анализе выделяются поверхности, которые должны быть обработаны совместно (соосные поверхности вращения, прилегающие к ним торцы, параллельные поверхности и т.п.). Выделяются поверхности или комплексы поверхностей, требующие для обработки специального или специализированного оборудования (зубчатые поверхности, шлицевые и т.п.). Выявляются поверхности, не требующие механической обработки, а также поверхности, которые обрабатываются сразу же окончательно. В отдельную группу выделяют поверхности наиболее точные. После выделения группы поверхностей с видами обработки распределяются по этапам.

Для рассмотрения допустимых схем совмещения переходов по этапам вводятся понятия: технологический переход и элементарный переход.

Под технологическим переходом понимается законченная часть технологической операции, выполняемая над одной или несколькими поверхностями заготовки одним или несколькими одновременно работающими инструментами без изменения режима резания. Элементарный переход может рассматриваться как часть технологического перехода, выполняемая одним режущим инструментом над одной поверхностью заготовки. В частном случае понятия технологического и элементарного перехода могут совпадать, когда обрабатывается одна поверхность заготовки одним режущим инструментом при снятии промежуточного припуска за однократное перемещение инструмента.

Схемы совмещения формируются за счет выделения различных комбинаций или сочетаний поверхностей при выполнении одного или нескольких технологических переходов. Различные варианты схем совмещения предопределяют понятия уровня операционного технологического процесса: инструментальный, блочный и позиционный переходы, на характеристике которых останемся чуть ниже.

Предварительное выделение технологических операций на уровне компоновочных схем основано на следующих понятиях: технологическая операция, технологическое оборудование и компоновочная схема технологической операции.

Технологическая операция рассматривается как часть процесса, выполняемая на рабочем месте одним или несколькими исполнителями. При механической обработке технологическая операция неразрывно связана с технологическим оборудованием, на котором она реализуется. Технологическое оборудование размещается на рабочем месте и характеризуется рядом свойств: кинематической структурой, степенью специализации, геометрической точностью, размерами рабочей зоны, размерами посадочных мест исполнительных поверхностей станка и компоновочной схемой станка. Компоновочная схема в определенной степени характеризует уровень специализации станка по реализуемым методам обработки, но в большей степени характеризует его технологические возможности по совмещению технологических переходов. Компоновочная схема определяет состав исполнительных органов станка, расположение осей шпинделей, направление перемещения исполнительных органов и количество режущих инструментов. Компоновочная схема зависит от структуры технологической операции, то есть от принятых схем совмещения переходов.

Выбор баз по технологическим операциям связан с рассмотрением следующих понятий: базирование, база, схема базирования, комплект баз и доступность обработки.

Применительно к механической обработке под базированием понимается придание заготовке требуемого положения относительно элементов станка, определяющих траекторию перемещения режущего инструмента. Для придания требуемого положения заготовке вводится понятие "база". В качестве баз у заготовки могут использоваться реальные поверхности или сочетания поверхностей, плоскости симметрии, оси и точки. Для придания требуемого положения заготовке в целях обеспечения требуемой точности и производительности в каждом конкретном случае необходимо выделять комплект баз, то есть совокупность трех баз, образующих систему координат заготовки. Относительно комплекта баз (системы координат) определяются положение поверхностей, подлежащих обработке, и, соответственно, достигаемая точность форм, размеров и их взаимного расположения после обработки. Комплект баз, в свою очередь, предопределяет схему базирования, то есть схему расположения опорных точек на базах. Опорные точки при установке заготовки реализуются установочными элементами станочных приспособлений и предопределяют доступ режущего

инструмента к поверхностям заготовки. Доступность обработки поверхностей заготовки зависит от схемы установки заготовки и конструкции станочного приспособления.

Выбор схем установки и анализ доступности обработки поверхностей заготовки основываются на использовании ранее введенных понятий, а также следующих понятий: станочное приспособление, схема установки заготовки и поверхность наложения.

Станочное приспособление рассматривается как элемент технологической системы, дополняющий технологическое оборудование для выполнения технологической операции. Станочное приспособление используется для установки заготовки и служит связующим звеном между заготовкой и технологическим оборудованием. Приспособление характеризуется следующими свойствами: схемой установки заготовки, присоединительными размерами, габаритными размерами приспособления и размерами закрепляемой заготовки, геометрическими характеристиками направляющих элементов и типом привода.

Схема установки заготовки в приспособлении представляет схему расположения установочных элементов, а также определяет места приложения и направления действия сил зажима.

Доступность обработки характеризуется свободным подводом режущего инструмента по кратчайшему пути к обрабатываемой поверхности и возможностью ее полной обработки. Поверхность считается недоступной для обработки в том случае, если она перекрывается установочными или зажимными элементами приспособления.

При рассмотрении элементарных поверхностей типа резьбовых, зубчатых, шлицевых и т.п. дополнительно вводится понятие поверхности положения. Например, внутренняя резьбовая поверхность является поверхностью наложения на внутреннюю цилиндрическую. Поэтому доступность для обработки резьбовой поверхности может перекрываться необработанной элементарной цилиндрической поверхностью. В данном случае выделение поверхности наложения предопределяет схему ее обработки.

Задача выбора типов оборудования и режущего инструмента решается на основе использования ранее выделенных понятий: элементарная поверхность, элементарный переход и компоновочная схема технологической операции.

Уточнение модели и типоразмера оборудования производится на основе понятий технологического оборудования, компоновочной схемы операции, станочного приспособления, схемы установки и доступности обработки.

Следует помнить взаимную обусловленность свойств станка, "размеры посадочных мест для установки приспособления" и габаритных размеров заготовки. Эти свойства связаны не напрямую, а через станочное приспособление по схеме: габаритные размеры и схемы установки заготовки → станочное приспособление, его присоединительные размеры → присоединительные размеры станка.

Введение контрольных переходов связано с введением понятия контрольный переход.

Контрольный переход в технологической операции направлен на определение фактических значений контролируемых параметров путем измерений. Контролируемыми параметрами могут быть геометрические параметры поверхностей заготовки и детали, размеры, форма поверхностей и их взаимное расположение.

Выбор систем и типоразмеров станочных приспособлений основан на понятии системы станочного приспособления и ранее рассмотренном понятии станочного приспособления. Под системой станочных приспособлений понимается совокупность конструктивных и организационных принципов, используемых при создании приспособлений и определяющих их область применения. В соответствии с ГОСТ 14.305-75 выделены системы универсально-безналадочных приспособлений (УБП), универсально-сборных приспособлений (УСП), универсально-наладочных приспособлений (УНП), специализированных наладочных приспособлений (СНП), сборно-разборных приспособлений (СРП) и неразборных специальных приспособлений (НСП). Выбор системы станочных приспособлений рассматривается в методике проектирования и иллюстрируется примером. Уточнение типоразмера проводится в рамках выбранной системы с учетом свойств, описанных при рассмотрении понятия "станочное приспособление".

Выбор типоразмеров режущего инструмента осуществляется на основе понятия "режущий инструмент", а также сформулированных ранее понятий "технологическая система" и "деталь". При этом режущим инструментом будем считать исполнительный элемент технологической системы, используемый для непосредственного формообразования поверхностей детали со снятием слоя материала.

Основными свойствами, предопределяющими выбор типоразмера режущего инструмента, являются геометрические параметры режущей части и материал режущей части. Выбор типоразмера производится по соответствующим стандартам и рассматривается в методике проектирования технологии.

Выбор вспомогательного инструмента основан на использовании понятия "вспомогательный инструмент", а также введенных ранее понятий "технологическое оборудование" и "режущий инструмент".

Вспомогательный инструмент - элемент технологической системы, играющий роль связующего звена между режущим инструментом и технологическим оборудованием. Вспомогательный инструмент предназначен для согласования размеров посадочных поверхностей режущего инструмента и исполнительных поверхностей станка, обеспечения необходимого положения режущего инструмента в рабочей зоне станка и передачи крутящего момента от шпинделя станка режущему инструменту. Выбор вспомогательного инструмента предопределяется размерами и расположением базовых поверхностей режущего ин-

струмента и исполнительных поверхностей технологического оборудования и рассматривается в методике проектирования технологических процессов.

Выбор моделей и типоразмеров мерительного инструмента и контрольных приспособлений связан с введением понятий "контрольное приспособление", "мерительный инструмент" и ранее сформулированного понятия "контрольный переход".

Контрольное приспособление и мерительный инструмент - соответственно устройство или элемент, используемый для выполнения контрольного перехода.

Контрольное приспособление и мерительный инструмент характеризуются свойствами: способ контроля, точность контроля, производительность контроля и предельные значения контролируемого параметра. Способ контроля может быть качественным и количественным.

При количественном контроле с помощью предельных измерительных устройств (калибров, электроконтактных датчиков) определяется годность отработанной детали без измерения численных значений геометрических характеристик. При количественном контроле определяются численные значения контролируемых параметров.

Формирование инструментальных переходов связано с введением понятия "инструментальный переход" и использованием понятий "элементарный переход" и "режущий инструмент". Под инструментальным переходом подразумевается законченный процесс выполнения нескольких (или одного) элементарных переходов одним инструментом.

Инструментальный переход характеризуется видом режущего инструмента и его типоразмеров, количеством и свойствами входящих в него элементарных переходов, а также схемой выполнения инструментального перехода. Схема выполнения характеризует последовательность выполнения отдельных элементарных переходов и их совмещение во времени и определяется структурой технологической операции, а также требованиями производительности.

Формирование блочных переходов производится на основе понятий "инструментальный блок", "позиция", "блочный переход", а также сформулированных ранее понятий.

Инструментальный блок представляет собой один или несколько однотипных либо разнотипных режущих инструментов, объединенных в одном базовом агрегате, имеющем поверхности для его установки в технологическом оборудовании. Основными параметрами, определяющими свойства инструментального блока, являются количество, вид и типоразмер режущих инструментов, составляющих блок. Эти параметры задаются структурой технологической операции.

Под позицией понимается неизменное положение установленной в станочном приспособлении заготовки относительно базовой части технологического оборудования. Позиция характеризуется количеством установленных на ней инструментальных блоков, а также их свойствами. Свойства позиции пре-

допределяются содержанием технологической операции и параметрами технологического оборудования.

Блочным считается переход, при котором в одной позиции выполняется законченный процесс образования одной или нескольких поверхностей с помощью инструментального блока. Содержание инструментальных переходов определяется конструкцией инструментов, поскольку все инструменты блока имеют один и тот же состав движения, все инструментальные переходы, входящие в блочный переход, совмещены во времени и выполняются одновременно.

Формирование позиционных переходов требует введения нового понятия "позиционный переход".

Позиционный переход включает в себя совокупность всех блочных и, следовательно, всех инструментальных переходов, выполняемых при обработке детали в одной позиции. Состав позиционного перехода предопределяется свойствами позиции и блочных переходов, выполняемых каждым инструментальным блоком позиции.

Последовательность выполнения блочных переходов и совмещение их во времени диктуются структурой технологической операции, конструктивными особенностями оборудования, а также требованиями производительности обработки.

Расчет операционных размеров и припусков предполагает введение таких новых понятий, как "припуск промежуточный", "припуск общий" и "операционный размер".

Припуск промежуточный - слой материала, снимаемый с поверхности заготовки при выполнении элементарного перехода. Припуск промежуточный характеризуется минимальной величиной, определяемой по известной методике [8]. Припуск считается симметричным при параллельной обработке противоположных поверхностей, а также при обработке наружных и внутренних поверхностей вращения. В остальных случаях припуск несимметричен.

Припуск общий - слой материала, удаляемый с поверхности заготовки до получения заданных размеров, точности и шероховатости готовой детали. Припуск общий определяется как сумма промежуточных припусков по всему элементарному технологическому процессу получения данной поверхности детали. Как и промежуточный, общий припуск может быть симметричным и несимметричным.

Под операционным размером понимается размер, который должен быть получен при выполнении данного элементарного перехода обработки поверхности. Операционный размер характеризуется величиной и допуском, которые определяются по известной методике [8]. Операционные размеры являются основой для расчета настроечных размеров технологического оборудования по каждой операции.

Расчет режимов резания по операциям связан с понятием "режим резания". Под режимом резания понимается совокупность характеристик физиче-

ского процесса обработки поверхности заготовки при выполнении элементарного перехода.

Режим резания характеризуется числом рабочих ходов, глубиной резания, подачей и скоростью резания. Расчет этих характеристик производится по методикам, изложенным в книге [8], и в данном учебном пособии не рассматривается.

Нормирование технологических операций производится на основании понятия "норма времени".

Норма времени - это регламентированное время выполнения технологических операций в определенных организационно-технических условиях рабочим или группой рабочих определенной квалификации. Норма времени характеризуется структурой, под которой понимается состав входящих в нее элементов. Структура нормы времени предопределяется типом производства. Так, в серийном производстве в состав нормы времени входит подготовительно-заключительное время, тогда как при нормировании массового производства этот элемент отсутствует. Главными составляющими нормы времени являются основное и вспомогательное время, определяемые на основании соответствующих нормативов. Методика нормирования подробно рассмотрена в книге [9] и здесь не приводится.

7.3. Методика структурного проектирования технологических процессов механической обработки

При разработке методики структурного проектирования будем исходить из того, что она в определенной степени должна дополнять существующие методические материалы по проектированию технологических процессов механической обработки. В современных методических материалах подробно рассмотрены вопросы расчета режимов резания, расчета припусков и операционных размеров, нормирования и расчета себестоимости, выбора заготовок и отработки их на технологичность. Поэтому в методике особое внимание будет уделено проектным задачам, то есть проблемам принятия решений в различных проектных ситуациях на основе анализа логических взаимосвязей между понятиями и их свойствами, используемыми при проектировании.

Исходные данные для проектирования регламентированы ГОСТ 14.301-81. В рассматриваемой методике в качестве исходных данных принимаются также тип производства, вид и метод получения заготовки. Тип производства оказывает решающее влияние на выбор технологических решений на всех уровнях проектирования. Вид заготовки предопределяет структуру технологического процесса, поэтому можно говорить о рациональности или оптимальности технологического процесса относительно конкретной заготовки.

В основу предлагаемой методики положены рассмотренные выше понятия и их свойства (базовые элементы). С целью демонстрации возможностей методики ее основные положения изложены на примере проектирования реального

технологического процесса изготовления детали, представленной на рис. 7.1. Заготовка - поковка с точностью размеров $\pm 2,0$ мм. Шероховатость поверхности заготовки $Ra = 1000$ мкм. Готовая программа выпуска деталей - 700 шт., тип производства - мелкосерийное.

7.3.1. Принципиальная схема технологического процесса

Перед началом проектирования все поверхности детали должны быть разделены на две группы:

- основные - поверхности, обеспечивающие выполнение деталью своего функционального назначения и определяющие форму детали;
- вспомогательные - поверхности, выполняющие вспомогательные функции (крепежные отверстия, отверстия под пробки и т.п.).

В рассматриваемом примере к вспомогательным относятся крепежные отверстия М5.

Все поверхности детали нумеруются, начиная с основных поверхностей. Вспомогательные поверхности нумеруются в последнюю очередь (рис. 7.1).

Назначение методов и видов обработки по поверхностям. При решении данной задачи:

- количество видов обработки каждой поверхности должно быть минимальным, обеспечивающим заданную точность и шероховатость поверхности детали;
- количество методов обработки поверхностей детали должно быть минимальным с целью использования наименьшего количества моделей технологического оборудования и типоразмеров оснастки, а также с целью максимальной концентрации элементарных переходов по технологическим операциям.

Назначение методов и видов обработки производится по таблицам точности обработки [8].

Поверхности 1 и 3, 2 и 4, 5 и 6 связаны попарно общими размерами - $62_{-0,3}^{+0,3}$, $62_{-0,3}^{+0,3}$ и $75_{-0,12}^{+0,12}$ соответственно, заданная точность этих размеров может быть получена при обработке одной из попарно связанных поверхностей при базировании на другую, что учтено в табл. 7.2.

Обработанные поверхности 1 и 3 являются поверхностями заготовки при обработке поверхности 10. Аналогично, обработанная поверхность 5 является поверхностью заготовки при обработке поверхности 11.

Формирование принципиальной схемы на уровне этапов. Количество этапов механической обработки детали определяется количеством видов обработки поверхности, имеющей наивысшую точность либо наименьшую шероховатость.

В рассматриваемом примере поверхность 9 имеет наивысшую точность размеров - 6 качество и подвергается четырем видам обработки (табл. 7.2).

Поверхности, имеющие наименьшую шероховатость $Ra-1$ 6 мкм (5, 10), подвергаются трем видам обработки (табл. 7.2).

Неуказанные предельные отклонения размеров - по IT15

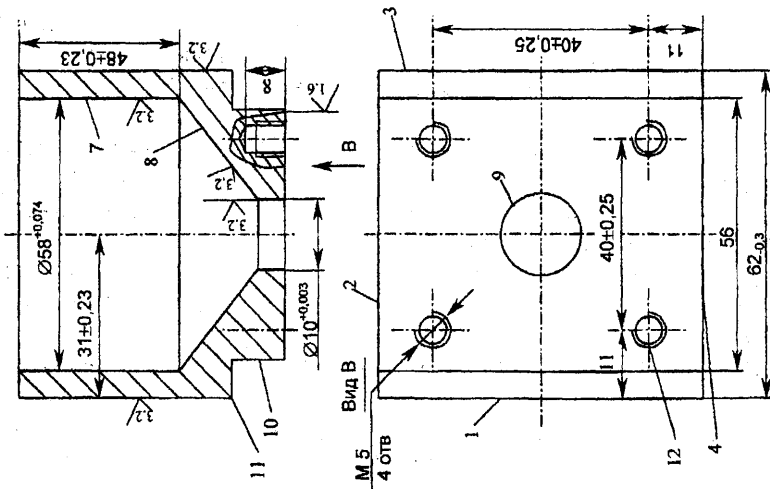
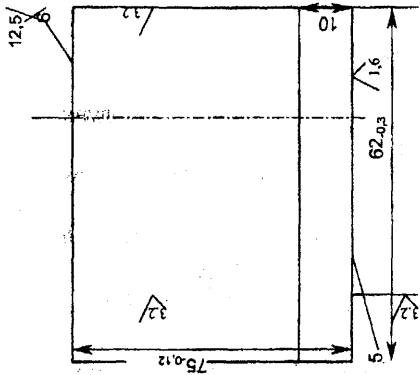


Рис. 7.1. Эскиз детали

Назначение методов и видов обработки поверхностей

Номер поверхности	Точность размеров, квали-тет	Шеро-ховатость Ra, мкм	Метод обработки	Вид обработки	Точность размеров, квали-тет	Шеро-ховатость Ra, мкм
1 (10)	12	3,2	Фрезерование	Черновое Чистовое	15 12	12,5 3,2
2	12	3,2	Фрезерование цилиндрическое	Черновое Чистовое	15 12	12,5 3,2
3 (10)	12	3,2	Фрезерование цилиндрическое	Черновое Чистовое	15 12	12,5 3,2
4	12	3,2	Фрезерование цилиндрическое	Черновое Чистовое	15 12	12,5 3,2
5 (11)	10	1,6	Фрезерование цилиндрическое Шлифование плоское	Черновое Чистовое Однократное	15 12 10	12,5 3,2 1,6
6	15	12,5	Фрезерование цилиндрическое	Черновое	15	12,5
7	9	3,2	Сверление и рассверливание Растачивание	- Черновое Чистовое	12 11 9	25 12,5 3,2
8	15	3,2	Сверление и рассверливание Растачивание	- Черновое Чистовое	12 11 9	25 12,5 3,2
9	6	3,2	Сверление Зенкерование Развертывание	- Чистовое Точное Тонкое	12 20 6 6	25 12,5 6,3 3,2
10	15	1,6	Фрезерование цилиндрическое Шлифование плоское	Чистовое Однократное	12 10	3,2 1,6
11	15	12,5	Фрезерование цилиндрическое	Чистовое	12	3,2
12	8	12,5	Сверление Нарезание резьбы	- Однократное	12 8	25,0 12,5

В этой связи выделяются четыре основных этапа обработки:

- 1) черновая обработка;
- 2) получистовая обработка;
- 3) чистовая обработка;
- 4) отделочная обработка.

Отдельным вспомогательным этапом выделяется обработка крепежных отверстий, которая производится перед отделочной обработкой.

Распределение поверхностей и видов обработки по этапам производится по данным табл. 7.3.

Таблица 7.3

Содержание этапов обработки

Номер этапа	Номер поверхности	Методы и виды обработки поверхностей
1 Черновой	1	Фрезерование цилиндрическое черновое
	2	Фрезерование цилиндрическое черновое
	3	Фрезерование цилиндрическое черновое
	4	Фрезерование цилиндрическое черновое
	5	Фрезерование цилиндрическое черновое
	6	Фрезерование цилиндрическое черновое
	7	Сверление и рассверливание
	8	Сверление и рассверливание
	9	Сверление
2 Получистовой	1	Фрезерование цилиндрическое чистовое
	2	Фрезерование цилиндрическое чистовое
	3	Фрезерование цилиндрическое чистовое
	4	Фрезерование цилиндрическое чистовое
	5	Фрезерование цилиндрическое чистовое
	7	Растачивание черновое
	8	Растачивание черновое
	9	Зенкерование чистовое
	10	Фрезерование цилиндрическое чистовое
	11	Фрезерование цилиндрическое чистовое
	3 Чистовой	5
7		Растачивание чистовое
8		Растачивание чистовое
9		Развертывание точное
10		Шлифование плоское однократное
Вспомогательный		12
	4	Развертывание тонкое
4 Отделочный	9	Развертывание тонкое

Рассмотрение схем совмещения переходов по этапам. Основой для совмещения переходов по этапам являются общие методы обработки либо различные методы обработки, реализуемые на оборудовании одной группы.

На этапе черновой обработки возможны следующие схемы совмещений элементарных переходов:

- 1) фрезерование цилиндрическое черновое поверхностей 1, 2, 3, 4, 5, 6;
- 2) сверление и рассверливание поверхностей 7, 8, сверление поверхности

9.

Получистовая обработка:

- 1) фрезерование цилиндрическое чистовое поверхностей 1, 2, 3, 4, 5, 10,

11;

2) растачивание черновое поверхностей 7, 8, зенкерование чистовой поверхности 9.

Чистовая обработка:

- 1) шлифование плоское однократное поверхностей 5, 10;
- 2) растачивание чистовое поверхностей 7, 8, развертывание точное поверхности 9.

Вспомогательная обработка:

- 1) сверление и нарезание резьбы однократной поверхности 12

Отделочная обработка:

- 1) развертывание тонкое поверхности 9.

Предварительное выделение технологических операций на уровне компоновочных схем.

Операция 1

Возможны две компоновочные схемы:

- 1) поочередное последовательное черновое фрезерование поверхностей 1, 2, 3, 4, 5, 6 с переустановкой детали после обработки каждой поверхности;
- 2) попарное черновое фрезерование поверхностей 1 и 3, 2 и 4, 5 и 6 с переустановкой детали после обработки каждой пары поверхностей.

Выбор той или иной компоновочной схемы операции определяется технико-экономическим расчетом. В данном случае предпочтительнее первая компоновка, так как:

- мелкосерийный тип производства не накладывает ограничение по производительности;
- данная компоновка предполагает использование более простого и, следовательно, более дешевого оборудования и технологической оснастки.

Операция 2

Возможна одна компоновка со следующими элементарными переходами:

- 1) сверление поверхности 9 под последующую обработку;
- 2) рассверливание поверхностей 7 и 8 под последующую обработку.

Операция 3

По причинам, изложенным при формировании операции 3, принимаем следующую компоновку:

1) поочередное последовательное чистовое фрезерование поверхностей 1, 2, 3, 4, 5;

2) чистовое фрезерование поверхностей 10, 11 одновременно с поверхностями 1 и 3.

Операция 4

Последовательное выполнение элементарных переходов:

1) растачивание черновое поверхности 7;

2) растачивание черновое поверхности 8;

3) зенкерование чистовое поверхности 9.

Операция 5

Возможна единственная компоновка - поочередное шлифование поверхностей 5, 10 с переустановкой детали после обработки каждой поверхности.

Операция 6

Включает следующие последовательно выполненные переходы:

1) растачивание чистовое поверхности 7;

2) растачивание чистовое поверхности 8;

3) развертывание точное поверхности 9.

Операция 7

Здесь возможны две компоновочные схемы:

1) поочередное либо одновременное сверление всех отверстий и затем поочередное либо одновременное нарезание резьбы во всех отверстиях 12. Смена инструмента однократная;

2) поочередная полная обработка каждой поверхности 12 с периодической сменой инструмента. С точки зрения производительности и трудоемкости обработки предпочтительнее первая компоновка.

Операция 8

Тонкое развертывание поверхности 9.

В сформированной принципиальной схеме технологического процесса обработка поверхностей 7, 8, 9 разделена между четырьмя операциями - 2, 4, 6 и 8. Это приводит:

1) к ухудшению точности обработки вследствие несоблюдения принципа единства баз при переустановке заготовки на каждую из перечисленных операций;

2) к увеличению трудоемкости обработки детали вследствие наличия большого количества переустановок;

3) к увеличению капитальных затрат на реализацию техпроцесса, связанных с необходимостью приобретения технологического оборудования и оснастки для каждой из перечисленных операций.

Оставляя без изменений отделочную операцию 8, требующую применения высокоточного оборудования и оснастки, существует возможность совмещения чернового, получистового и чистового этапов механической обработки поверхностей 7, 8 и 9. Данная возможность возникает вследствие общности методов обработки этих поверхностей по перечисленным этапам.

Реализация этой возможности позволит:

- повысить точность обработки, так как все технологические переходы обработки поверхностей 7, 8 и 9 будут выполняться за одну установку заготовки;
- снизить трудоемкость обработки детали за счет отсутствия переустановок и сокращения количества операций;
- снизить капитальные затраты на реализацию техпроцесса за счет сокращения количества технологического оборудования и оснастки.

В этой связи необходимо стремиться к максимальному совмещению черновых, получистовых и чистовых этапов обработки поверхностей деталей во всех случаях, когда позволяет конфигурация детали, форма поверхностей и наборы методов обработки элементарных поверхностей.

В рассматриваемом примере мелкосерийный тип производства не накладывает сколько-нибудь заметных ограничений по производительности. В этой связи черновой, получистовой и чистовой этапы обработки поверхностей 7, 8 и 9 должны быть совмещены в одной операции.

Принципиальная схема технологического процесса в этом случае выглядит следующим образом.

Операция 1

Поочередное последовательное черновое фрезерование поверхностей 1, 2, 3, 4, 5, 6 с переустановкой детали.

Операция 2

Поочередное последовательное чистовое фрезерование поверхностей 1, 2, 3, 4, 5 с переустановкой детали.

Операция 3

Включает элементарные переходы, выполняемые в заданной последовательности (табл. 7.4) без переустановки детали:

- 1) сверление поверхностей 7, 8, 9;
- 2) рассверливание поверхностей 7, 8;
- 3) растачивание черновое поверхностей 7, 8;
- 4) зенкерование чистовое поверхности 9;
- 5) растачивание чистовое поверхностей 7, 8;
- 6) развертывание точное поверхности 9.

Операция 4

Поочередное плоское шлифование поверхностей 5, 10 с переустановкой детали.

Операция 5

Поочередное либо одновременное сверление всех отверстий и затем поочередное либо одновременное нарезание резьбы во всех отверстиях поверхности 12.

Операция 6

Тонкое развертывание поверхности 9.

Выбор баз по технологическим операциям. При решении этой задачи должны быть выполнены следующие условия:

Схема базирования по операциям

Номер операции	Номер поверхности	Схема базирования
1	1	
	4	
	3	
	2	
	5	
	6	
2	1	
	10, 11	
	2	
	3	
	10, 11	

Номер операции	Номер поверхности	Схема базирования
	4	
	5	
3	7, 8, 9	
4	5	
	10	
	10	
5	12	
6	9	

- по возможности принцип единства и совмещения баз;
- базирование на необработанные поверхности должно производиться один раз - на первой операции.

Приступая к выбору баз, необходимо отметить, что определенный для первой операции метод обработки поверхностей - цилиндрическое черновое фрезерование - не позволяет выдержать второе условие. Так при обработке поверхности 1 деталь базируется на необработанную поверхность 3, при обработке поверхности 2 деталь вынуждена базироваться на необработанной поверхности 4 и при обработке поверхности 6, то есть заготовка при обработке трижды устанавливается, - на необработанные поверхности. Для того, чтобы избежать этого, необходимо вернуться к началу проектирования и заменить метод и вид "фрезерование цилиндрическое черновое", дающие ту же точность обработки (1Т15) и шероховатость поверхности ($Ra = 12,5$ мкм).

Выбор схем установки производится при определении принципиальных возможностей реализации теоретических схем базирования.

Анализ доступности обрабатываемых поверхностей производится с точки зрения:

- возможности подвода к обрабатываемой поверхности высокопроизводительного прогрессивного инструмента по наикратчайшему пути;
- возможности обработки поверхности напроход с целью упрощения настройки оборудования и увеличения производительности обработки.

Операция 1

При обработке поверхностей 1, 2, 3, 4, 5, 6 все опорные точки на схемах базирования могут быть реализованы непосредственно в виде опор приспособлений.

При обработке поверхностей 1, 2, 3, 4 возможен подвод любого инструмента по наикратчайшему пути со стороны поверхностей 5, 6, а также сверху.

При обработке поверхности 5, 6 возможен подвод любых инструментов по наикратчайшему пути со стороны поверхностей 2, 4, а также сверху. Возможна обработка поверхностей 1, 2, 3, 4, 5, 6 напроход.

Операция 2

При обработке поверхностей 1, 2, 3, 4, 5 все опорные точки на схемах базирования могут быть реализованы непосредственно в виде опор приспособлений.

При обработке поверхностей 1, 2, 3, 4, 5 возможен подвод любого инструмента по наикратчайшему пути с любого предельного направления, а также сверху. Возможна обработка всех поверхностей напроход.

Операция 3

Двойная направляющая база (точки 1, 2, 3, 4) может быть реализована при установке заготовки по наружным поверхностям 1, 2, 3, 4 с помощью центрирующего устройства (четырёхручалочкового патрона). Опорная база 5 может быть непосредственно реализована опорой приспособления, скрытая опорная база 6 реализуется за счет сил трения при закреплении заготовки.

Возможен подвод любого инструмента по наикратчайшему пути только спереди, со стороны поверхности 6. Обработка напроход возможна только при выполнении первого перехода - сверлении отверстий 7, 8, 9.

Операция 4

Все опорные точки на схеме базирования могут быть реализованы непосредственно в виде опор приспособлений. При обработке поверхности 5 возможен подвод любого инструмента по наикратчайшему пути с любого продольного направления и сверху.

При обработке поверхности 10 возможен подвод любого инструмента по наикратчайшему пути в продольных направлениях со стороны поверхностей 2, 4, 6 и сверху.

Возможна обработка поверхностей 5, 10 напроход.

Операция 5

Все опорные точки на схемах базирования могут быть реализованы непосредственно в виде опор приспособлений.

При обработке поверхности 12 возможен подвод любого инструмента по наикратчайшему пути с любого продольного направления и сверху. Обработка напроход невозможна.

Операция 6

Установочная база (точки 1, 2, 3) может быть реализована непосредственно с помощью опор приспособления. Двойная опорная база (точки 4, 5) реализуется при центрировании заготовки по поверхности отверстия 7 (на оправке). Скрытая опорная база 6 реализуется за счет сил трения при закреплении заготовки.

Возможен подвод любого инструмента по наикратчайшему пути с любого продольного направления и сверху. Возможна обработка напроход.

Выбор типов оборудования и инструмента. Определяется кинематическая группа оборудования и тип инструмента. Группа оборудования определяется методом обработки поверхностей и схемой установки заготовки. Тип инструмента определяется группой оборудования и формой обрабатываемых поверхностей.

Уточнение моделей и типоразмеров технологического оборудования. Решается задача выбора конкретных моделей и типоразмеров технологического оборудования по каждой операции. При этом определяющими факторами являются: тип производства, группа оборудования, структура операции, требуемая точность обработки, габаритные размеры заготовки.

Главным фактором является тип производства. Так в мелкосерийном и единичном производстве должно использоваться универсальное оборудование, в серийном производстве - специализированное, в массовом производстве - специальное оборудование.

Выбор моделей и типоразмеров технологического оборудования производится по справочнику [8].

Таблица 7.5

Выбор оборудования и инструмента

Номер операции	Группа оборудования	Номер переходов	Номер поверхности	Тип инструмента
1	Фрезерная	1	1	Фреза торцевая
		2	4	То же
		3	3	То же
		4	2	То же
		5	5	То же
		6	6	То же
2	Фрезерная	1	1, 10, 11	Фреза цилиндрическая (набор фрез)
		2	2	Фреза цилиндрическая
		3	3, 10, 11	Фреза цилиндрическая (набор фрез)
		4	4	Фреза цилиндрическая
		5	5	То же
3	Токарная	1	7, 8, 9	Сверло
		2	7, 8	Сверло
		3	7, 8	Резец расточный
		4	9	Зенкер
		5	7, 8	Резец расточный
		6	9	Развертка
4	Шлифовальная	1	5	Шлифовальный круг
		2	10	То же
		3	10	То же
5	Сверлильная	1	12	Сверло
		2	12	Метчик
6		1	9	Развертка плавающая

7.3.2. Маршрутный технологический процесс

Таблица 7.6

Выбор моделей оборудования

Номер операции	Условия выбора	Модель оборудования
1	а) фрезерная группа б) ось фрезы горизонтальная в) обработка одним инструментом с переустановкой заготовки г) точность обработки нормальная	Горизонтально-фрезерный универсальный консольный 6Р82Г
2	а) фрезерная группа б) ось фрезы горизонтальная в) обработка одной фрезой или набором фрез с переустановкой заготовки г) точность обработки нормальная	Горизонтально-фрезерный универсальный консольный 6Р82Г
3	а) токарная группа б) наличие большого количества переходов, обработка большим количеством типов инструмента последовательно в) точность обработки нормальная	Токарно-револьверный 1Г340
4	а) шлифовальная группа б) обработка плоских поверхностей одним типом инструмента, последовательно, с предельной подачей в) точность обработки нормальная	Плоскошлифовальный с прямоугольным столом 3Е711Б
5	а) сверлильная группа б) обработка отверстий $\varnothing 5$ мм с вертикальной осью в) точность обработки нормальная	Вертикально-сверлильный 2Н118
6	а) сверлильная группа б) обработка отверстий $\varnothing 10$ мм с вертикальной осью в) точность обработки высокая	Вертикальный отделочно-расточный 2Е78П

Выбор системы и типоразмеров станочных приспособлений. Система приспособления определяется типом производства и точностью обработки. Вид приспособления определяется моделью технологического оборудования, схемой установки заготовки, содержанием технологической операции и точностью обработки. Типоразмер приспособления определяется моделью технологического оборудования и габаритными размерами заготовки.

Таблица 7.7

Выбор станочных приспособлений

Номер операции	Модель оборудования	Условия выбора	Система, вид и типоразмер приспособления
1	6P82Г	а) точность обработки нормальная 1Т15 б) возможно наличие больших сил резания в) установка заготовки по схеме "координатный угол" г) обработка поверхностей детали с переустановкой, по одной, напроход, обрабатываемая поверхность расположена вертикально д) размеры стола станка 320×1250 мм е) габаритные размеры заготовки 65×65×80 мм	УБП Тиски станочные неповоротные с ручным приводом 7200-0209 по ГОСТ 14904-80
2	6P82	а) точность обработки нормальная 1Т12 б) возможно наличие больших сил резания в) установка заготовки по схеме "координатный угол" г) обработка поверхностей детали с переустановкой напроход д) обработка одновременно нескольких поверхностей, расположенных в одной плоскости, группой инструментов, обрабатываемые поверхности расположены горизонтально е) размеры стола станка 320×1250 мм ж) габаритные размеры заготовки 65×65×80 мм	УБП Тиски станочные неповоротные с ручным приводом 7200-0209 по ГОСТ 14904-80
3	1Г340	а) точность обработки нормальная 1Т9-1Т8 б) заготовка в процессе обработки вращается в) установка заготовки - по наружным плоским поверхностям, расположенным под углом 90° друг к другу; должна быть реализована ось вращения заготовки, совпадающая с осью симметрии	Патрон четырехкулачковый с независимым переключением кулачков 7108-0017 ГОСТ 3890-82

Номер операции	Модель оборудования	Условия выбора	Система, вид и типоразмер приспособления
4	3E711B	г) обработка всех поверхностей за одну установку, подвод инструмента - спереди вдоль оси вращения д) габаритные размеры заготовки 65×65×80 мм а) точность обработки нормальная 1 Т10 б) установка заготовки по наружным плоскостям поверхности по схеме "координатный угол" в) обработка поверхностей детали с переустановкой, по одной, напроход, обрабатываемая поверхность расположена горизонтально	УПБ Электромагнитная плита 7208-0034 В220 ГОСТ 17519-81
5	2Н118	г) размеры стола станка 630×200 мм д) габаритные размеры заготовки 65×65×80 мм а) точность обработки нормальная б) силы резания невелики в) установка заготовки по наружным плоским поверхностям по схеме "координатный угол" г) обработка большого количества отверстий с параллельными осями, расположенными вертикально; подвод инструмента - вертикально сверху д) размеры стола станка 320×360 мм е) габаритные размеры заготовки 65×65×80 мм	УПБ Кондуктор скальчатый консольный с конусным зажимом 7300-0264 ГОСТ 16888-71 Плита кондукторная 7030-1165 ГОСТ 16890-71 Патрон 8-В12 ГОСТ 8522-67
6	2E78П	а) точность обработки высокая 1Т6 б) силы резания невелики в) установка заготовки - по плоскости и центральному отверстию г) обработка одного отверстия с вертикальной осью напроход, подвод инструмента сверху д) размеры стола 500×1000 мм	НСП Приспособление специальное для одноместное для тонкого развертывания отверстия Ø10 мм

Продолжение табл. 7.7

Номер операции	Модель оборудования	Условия выбора	Система, вид и типоразмер приспособления
		е) габаритные размеры заготовки 65×65×80 мм	

Выбор типоразмера режущего инструмента зависит от типа инструмента, модели технологического оборудования, требуемой точности обработки и формы расположения и размеров обрабатываемых поверхностей.

Таблица 7.8

Выбор режущего инструмента

Номер операции	Модель станка	Номер перехода	Условия выбора	Типоразмер режущего инструмента
1	6P82Г	1	а) фреза торцевая б) точность обработки нормальная в) плоская поверхность шириной 65 мм то же	Фреза 2214-0154 T15K6 ГОСТ 9473-80
		2	то же	то же
		3	то же	то же
		4	то же	то же
		5	то же	то же
		6	то же	то же
2	6P82Г	1	а) набор из двух цилиндрических фрез б) точность обработки нормальная в) обработка двух плоских параллельных поверхностей общей шириной 75 мм с перепадом высот 3 мм	Фреза 2200-0141 ГОСТ 3752-71 Фреза левая цилиндрическая специальная 53 мм - 40 мм
		2	а) фреза цилиндрическая б) точность нормальная в) обработка плоской поверхности шириной 75 мм	Фреза 2200-0141 ГОСТ 3752-71
		3	то же, что и для перехода 1	то же, что и для перехода 1

Номер операции	Модель станка	Номер перехода	Условия выбора	Типоразмер режущего инструмента
3	1Г340	4	то же, что и для перехода 2	то же, что и для перехода 2
		5	то же, что и для перехода 4	
		1	а) сверло б) точность нормальная в) обработка отверстия $\varnothing 8$ мм глубиной 75 мм напроход	Сверло 2300-7194 ГОСТ 886-77
		2	а) сверло б) точность нормальная в) обработка отверстия $\varnothing 50$ мм глубиной 48 мм в упор	Сверло 2302-3097 ГОСТ 10303-77
		3	а) резец расточный б) точность нормальная в) расточка отверстия $\varnothing 50$ мм глубиной 48 мм и конической поверхности с углом при вершине 90°	Зенкер специальный $\varnothing 9,2$ мм Р6К5
		4	а) зенкер б) точность нормальная в) обработка отверстия $\varnothing 9,2$ мм глубиной 75 мм напроход	
4	3Е7118	5	то же, что и для перехода 3	то же, что и для перехода 3 Развертка 2363-3391 У8 ГОСТ 1672-80 Круг III 250×40×76 24А 40-П С2 7 К5 35 ^{м/с}
		6	а) развертка б) точность повышенная $\varnothing 10$ мм глубиной 15 мм напроход	
4	3Е7118	1	а) круг шлифовальный б) точность нормальная в) шероховатость поверхности после обработки $Ra = 1,6$ мкм г) обработка плоских поверхностей периферией круга	то же
		2	то же	

Номер операции	Модель станка	Номер перехода	Условия выбора	Типоразмер режущего инструмента
5	2Н118	1	а) сверло б) точность нормальная в) обработка отверстия \varnothing 5 мм глубиной до 15 мм по кондуктору	Сверло 2300-2238 ГОСТ 886-77
		2	а) метчик б) точность нормальная в) нарезание резьбы М5 в отверстиях	Метчик 2621-1123 ГОСТ 3266-81
6	2Е78П	1	а) развертка плавающая б) точность высокая в) обработка отверстия \varnothing 10 мм напроход	Развертка 2363-3391 Н6 ГОСТ 1672-80

Выбор вспомогательного инструмента. Вид инструмента предопределяется типом технологического оборудования и типом режущего инструмента. Типоразмер вспомогательного инструмента выбирается по соответствующим стандартам в зависимости от размеров и расположения базовых поверхностей режущего инструмента, размеров и расположения исполнительных поверхностей станка, к которым посредством вспомогательного инструмента присоединяется режущий инструмент.

Контрольный переход вводится в состав технологической операции в случае:

- если на данной операции обрабатываются поверхности, получающие окончательные размеры;
- если на данной операции вероятно появление значительного количества брака;
- если вслед за данной операцией следует:
 - а) операция с большой трудоемкостью обработки;
 - б) операция, к которой предъявляются повышенные требования по точности обработки, производительности и т.п.;
 - в) отделочная операция.

Операция 1

Ни одна из поверхностей не получает окончательного размера. Появление брака маловероятно. За данной операцией не следует отделочная операция и операции повышенной точности, высокой трудоемкости. Контрольный переход не назначается.

Выбор вспомогательного инструмента

Номер операции	Тип станка	Номер перехода	Тип режущего инструмента	Условия выбора	Вид и типоразмер вспомогательного инструмента
1	Горизонтально-фрезерный	1	Фреза торцевая	а) диаметр посадочных отверстий фрезы \varnothing 32 мм	Оправка 6220-0291 ГОСТ 13043-83
		2		то же	то же
		3		то же	то же
		4		то же	то же
		5		то же	то же
		6		то же	то же
2	Горизонтально-фрезерный	1	Набор фрез цилиндрических	а) диаметр посадочного отверстия фрезы \varnothing 22 мм б) конус в отверстии шпинделя станка 7:24	Оправка 6225-0131 ГОСТ 15067-75
		2	Фреза цилиндрическая	то же	то же
		3	Набор фрез цилиндрических	то же	то же
		4	Фреза цилиндрическая	то же	то же
		5	то же	то же	то же
3	Токарно-револьверный	1	Сверло	а) диаметр хвостовика \varnothing 8 мм	Оправка специальная
		2	Сверло	а) конус Морзе хвостовика №4	Оправка специальная
		3	Резец токарный расточный	а) сечение державки 16×16 мм	Державка специальная
		4	Зенкер	а) конус Морзе хвостовика №1	Оправка специальная

Номер операции	Тип станка	Номер перехода	Тип режущего инструмента	Условия выбора	Вид и типоразмер вспомогательного инструмента
4	Плоскошлифовальный	5	Резец токарный расточный	а) сечение державки 16×16 мм	Державка специальная
		6	Развертка	а) диаметр хвостовика \varnothing 10 мм	Оправка специальная
		1	Шлифовальный круг	а) диаметр отверстия круга \varnothing 76 мм соответствует диаметру посадочной поверхности шпинделя станка	Державка специальная
5	Вертикально-сверлильный	2	то же	то же	Оправка специальная
		1	Сверло	а) диаметр хвостовика \varnothing 5 мм б) конус Морзе отверстия шпинделя станка №2 в) укороченный конус сверлильного патрона В12	-
		2	Метчик	а) диаметр хвостовика метчика не более 6 мм б) конус Морзе отверстия шпинделя станка №2 в) укороченный конус сверлильного патрона В12	Оправка для сверлильного патрона 6039-0006 ГОСТ 2682-72
6	Вертикальный отделочно-расточный	3		в) укороченный конус вертикального патрона В12	то же
		1	Развертка	диаметр хвостовика \varnothing 10 мм	Оправка специальная

Операция 2

Окончательно получают расстояния между поверхностями 1 и 2, а также 3 и 4.

Содержание контрольного перехода:

- контроль расстояния $62_{-0,3}$ между поверхностями 1 и 2 и такого же расстояния между поверхностями 3 и 4;
- контроль расстояния $10_{-0,7}$ между поверхностями 5 и 11.

Операция 3

Окончательно получают размеры поверхностей 7 и 8. Поверхность 9 после данной операции подвергается отделочной обработке.

Содержание контрольного перехода:

- контроль $58^{+0,074}$ поверхности 7;
- контроль глубины $48 \pm 0,23$ поверхности 7;
- контроль угла 90^0 поверхности 8;
- контроль диаметра поверхности 9 под отделочную обработку.

Операция 4

Окончательно получается расстояние между поверхностями 5 и 6, а также между противоположными поверхностями 10.

Содержание контрольного перехода:

- контроль расстояния $75_{-0,12}$ между поверхностями 5 и 6;
- контроль расстояния $48 \pm 0,6$ между противоположными поверхностями

10.

Операция 5

Окончательно обрабатываются крепежные отверстия 12. Ввиду вспомогательного характера этих поверхностей достаточен визуальный контроль на наличие резьбы и на отсутствие в отверстиях 12 обломков режущего инструмента.

Операция 6

Окончательно обрабатывается поверхность 9.

Содержание контрольного перехода - контроль диаметра $10^{+0,009}$ поверхности 9.

Выбор моделей и типоразмеров мерительного инструмента и контрольных приспособлений.

Определение вида мерительного инструмента производится в зависимости от типа производства, характера контролируемых параметров, формы и расположения контролируемых поверхностей и измерительных баз, требуемой точности контроля.

Определяющим является тип производства. В мелкосерийном и единичном производстве целесообразно применение универсального отсчетного мерительного инструмента - штангенциркулей, микрометров и т.п. В серийном и массовом производстве применяются специальные мерительные инструменты - калибры, шаблоны, а также специальные контрольные приспособления.

Типоразмер мерительного инструмента определяется габаритами контролируемых поверхностей заготовки. Методика выбора мерительного инструмента описана в книге [10].

Таблица 7.10

Выбор мерительного инструмента

Номер операции	Контролируемые параметры	Вид и типоразмер измерительного инструмента
2	Расстояние $62_{-0,3}$	Микрометр гладкий МК-75-1 ГОСТ 6507-78
3	Расстояние $10_{-0,7}$	Штангенциркуль ШЦ-П-150- $0,05$ ГОСТ 166-80
	Диаметр $58^{+0,074}$	Нутромер НИ 100-1 ГОСТ 868-82
4	Глубина отверстия $48 \pm 0,23$ мм и угол 90^0 конической поверхности дна отверстия	Шаблон
	Диаметр $9,8^{+0,022}$	Нутромер 6-10 ГОСТ 9244-75
6	Расстояние $75_{-0,12}$	Микрометр гладкий МК-75-1 ГОСТ 6507-78
	Расстояние $56 \pm 0,6$	Штангенциркуль ШЦ-1-125- $0,1$ ГОСТ 166-80
	Диаметр отверстия $10^{+0,009}$	Нутромер 6-10 ГОСТ 3244-75

Выбор технологического оборудования, технологической оснастки, средств технологического оснащения процессов технического контроля, средств технологического оснащения процессов испытаний, средств механизации и автоматизации процессов перемещения тарно-штучных грузов, средств механизации и автоматизации ТП производится на основании стандартов ЕСТП: ГОСТ 14.304-80, ГОСТ 14.305-80, ГОСТ 14.307-80, ГОСТ 14.308-80, ГОСТ 14.309-80.

8. ОБРАБОТКА НА НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРОЦЕССОВ И ОПЕРАЦИЙ

Обработка на надежность проводится с целью обеспечения выпуска продукции установленного объема в течение заданной наработки (периода эксплуатации) технологических систем (ТС) с регламентированными показателями качества при соблюдении нормативов затрат материальных, трудовых и энергетических ресурсов.

Требования к надежности ТС устанавливаются в нормативно-технической документации (НТД) и (или) техническом задании (ТЗ) на проектирование ТС

Номенклатуру нормируемых показателей безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохранности ТС следует устанавливать по соответствующему стандарту системы показателей качества продукции (например, для

металлорежущего оборудования - по ГОСТ 4.93-83, для автоматических линий механической обработки - по ГОСТ 4.130-85 и т.д.), а при отсутствии последнего - по ГОСТ 27.003-83. Рекомендации по выбору номенклатуры и определению численных значений показателей надежности ТС приведены в прил. 1.

8.1. Отработка на надежность вновь проектируемых технологических систем процессов

Отработка на надежность вновь проектируемых ТС должна производиться на этапах разработки ТП, регламентированных в ГОСТ 14.301-83.

Состав работ по отработке на надежность устанавливается из числа работ, указанных в табл. 8.1. При этом отдельные виды работ могут не производиться.

Таблица 8.1

Состав работ по отработке на надежность вновь проектируемых технологических процессов

Номер этапа	Этапы разработки и внедрения ТП	Виды работ по отработке на надежность ТС	Основные документы, используемые при выполнении работ по отработке на надежность ТС
1	Анализ исходных данных для разработки технологического процесса	Подготовка данных о надежности ТС-аналогов	ГОСТ 14.408-83, ГОСТ 14.413-80, ГОСТ 14.301-83, ГОСТ 14.303-73, отраслевая НТД и стандарты предприятия, регламентирующие порядок сбора и обработки информации о надежности ТС, технические условия на СТО
2	Составление технологического маршрута. Разработка технологических операций	Размерный анализ ТП изготовления деталей. Анализ точности технологических операций. Анализ производительности ТС процессов	ГОСТ 16.307-74, ГОСТ 27.202-83; ГОСТ 16.320-80, ГОСТ 19.415-74, ГОСТ 19.416-74, методики размерного анализа ТП, анализа точности ТО, анализа производительности ТС
3	Нормирование технологического процесса	Оценка и контроль надежности ТС	ГОСТ 27.202-83, ГОСТ 27.203-83, ГОСТ 27.204-83, отраслевая НТД и стандарты предприятия, регламентирующие показатели надежности ТС и методы их оценки

Номер этапа	Этапы разработки и внедрения ТП	Виды работ по отработке на надежность ТС	Основные документы, используемые при выполнении работ по отработке на надежность ТС
4	Расчет экономической эффективности технологического процесса	Анализ ТС по комплексным показателям надежности и эффективности	Методика анализа ТС по комплексным показателям надежности и эффективности
5	Передача в производство разработанного ТП	Контроль выполнения требований к надежности ТС, разработанного ТП по результатам изготовления и испытания изделий (головной или контрольной серий)	ГОСТ 27.410-83, ГОСТ 14.003-74

При составлении технологического маршрута следует выбирать средства технологического оснащения из условия обеспечения требуемой производительности ТС и качества изготавливаемой продукции в течение всего срока ее выпуска с учетом принятой системы их технического обслуживания, ремонтов и замен и предусматривать необходимый объем структурного, функционального и временного резервирования ТС.

При разработке технологических операций (ТО) устанавливают требования к следующим характеристикам:

- качеству материалов, заготовок и полуфабрикатов;
- периодичности подналадок оборудования;
- стойкости инструмента;
- методам и средствам контроля;
- квалификации исполнителей;
- параметрам окружающей среды;
- величинам (нормам) затрачиваемых ресурсов, определяющим качество изготавливаемой продукции и др.

Указанные требования регламентируют в маршрутных и операционных картах, технологических чертежах.

Размерный анализ вновь проектируемых ТП проводится с целью:

- определения номинальных размеров составляющих звеньев технологических размерных цепей и корректировки ТП;

- расчета коэффициентов запаса точности для замыкающих звеньев. Методы расчета размерных цепей - по ГОСТ 16.320-80 и ГОСТ 19.415-74. Методика размерного анализа ТП приведена в прил. 2.

Анализ точности технологических операций проводится с целью выявления основных факторов, влияющих на точность операции, и установления требований к этим факторам. Методика анализа ТО для вновь проектируемых ТП дана в справочном прил. 3.

Анализ производительности ТС процессов производится с целью определения оптимального состава и объема резервирования ТС. Методика анализа производительности ТС процессов дана в справочном прил. 4.

Анализ ТС по комплексным показателям надежности и эффективности проводится с целью:

- оценки влияния ТС операций и ТС отдельных процессов на надежность ТС изготовления изделия в целом с учетом зависимости между отказами на последовательно выполняемых операциях;
- принятия решений о необходимости повышения надежности ТС и составляющих ТС операций.

Методика анализа ТС по комплексным показателям надежности и эффективности дана в справочном прил. 5.

В зависимости от результатов работ по отработке на надежность на этапах 3-5 табл. 8.1 следует переходить к выполнению очередного этапа или пересматривать решения, принятые на предыдущих этапах.

8.2. Отработка на надежность действующих технологических систем процессов

Состав работ по отработке на надежность действующих ТС устанавливается из табл. 8.2. При этом отдельные виды работ могут не производиться.

Для ТС, признанных работоспособными (в случае, когда значения всех нормируемых показателей надежности соответствуют установленным требованиям), работы по п. 2-4 табл. 8.2 не производятся.

Анализ надежности ТС по параметрам качества изготавливаемой продукции, производительности и затрачиваемых ресурсов содержит:

- размерный анализ ТП изготовления деталей;
- анализ точности ТО;
- определение периодичности подналадки оборудования;
- анализ результатов контроля технологической дисциплины;
- анализ производительности ТС;
- анализ ТС по комплексным показателям надежности и эффективности;
- анализ расхода ресурсов и др.

Состав работ по отработке на надежность действующих ТС

Виды работ по отработке на надежность ТС	Основные документы, используемые при выполнении работ
1. Оценка и контроль надежности ТС	ГОСТ 27.202-83, ГОСТ 27.203-83, ГОСТ 27.204-83, отраслевая НТД и стандарты предприятия, регламентирующие показатели надежности ТС и методы их оценки
2. Анализ надежности ТС по параметрам производительности и качества изготавливаемой продукции	ГОСТ 16.307-74, ГОСТ 27.202-83, ГОСТ 18.320-80, ГОСТ 19.415-74, ГОСТ 19.416-74, методики анализа точности ТО, производительности ТС, размерного анализа ТС, анализа ТС по комплексным показателям надежности и эффективности
3. Разработка мероприятий по повышению надежности и эффективности ТС	НТД и методические материалы по повышению надежности и эффективности ТС
4. Внедрение и контроль эффективности мероприятий	ГОСТ 27.202-83, ГОСТ 27.204-83, ГОСТ 27.410-83, отраслевая НТД и стандарты предприятий

К числу возможных организационно-технических мероприятий по повышению надежности и эффективности ТС относят:

- уточнение номенклатуры и объема ЗИП на средства технологического оснащения;
- определение оптимальных объемов межоперационных заделов и запасов предметов производства;
- выбор оптимальных способов резервирования средств технологического оснащения;
- составление алгоритмов управления ТС и перераспределения ресурсов на случай выхода из строя ее отдельных элементов;
- оптимизация стратегий технического обслуживания и ремонта средств технологического оснащения;
- уточнение требований к качеству материалов и заготовок;
- мероприятия по повышению технологической дисциплины;
- замена, модернизация или ремонт средств технологического оснащения;
- изменение периодичности подналадок технологического оборудования

и т.д.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куликов Д.Д., Падун Б.С., Яблочников Е.И. Автоматизация проектирования технологических процессов: Учеб. пособие. - Л.: ЛИТМО, 1984.
2. Шалаев П.А. Автоматизация подготовки производства на основе типовых решений. - М.: Экономика, 1978.
3. Машкин Л.Д., Клепцов А.А., Туманов И.А. Структурный метод проектирования технологических процессов механической обработки: Учеб. пособие. - Кемерово: КузПИ, 1986.
4. Трусов А.Н. Технология автоматизированного производства: Конспект лекций. - Кемерово: КузГТУ, 1997.
5. Цветков В.Д. Система автоматизации проектирования технологических процессов. - М.: Машиностроение, 1972.
6. Колесов И.М. Основы технологии и машиностроения: Учеб. для вузов. - М.: Машиностроение, Станкин; 1997.
7. Блюменштейн В.Ю., Герике Л.О. Проектирование и производство заготовок: Учеб. пособие: В 2 ч. - Кемерово: КузГТУ, 1994.
8. Справочник технолога-машиностроителя / Под ред. А.Г.Косиловой и др.: В 2 т. - М.: Машиностроение, 1985.
9. Балахшин Б.С. Основы технологии машиностроения. - М.: Машиностроение, 1969.
10. Точность и производственный контроль в машиностроении: Справ. / Под ред. А.К.Кутая. - Л.: Машиностроение, 1983.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ НОМЕНКЛАТУРЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЧИСЛЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

1. При отработке на надежность разрабатываемых и действующих ТС, а также при формировании производственной программы и оперативном управлении производством наряду с показателями безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости, выбираемыми по ГОСТ 27.003-83, используют также представленные в табл. 1 показатели, отражающие специфику ТС.

2. Для определения численных значений показателей надежности ТС, указанных в табл. 1, должны быть заданы:

критерии отказов и предельных состояний;
интервал времени, за который определяется искомый показатель;
метод оценки или задания норм показателя надежности.

2.1. Критерии отказов и предельных состояний следует устанавливать в соответствии с видами неработоспособного состояния по табл. 2.

2.2. В зависимости от этапа разработки или эксплуатации и вида ТС показатели их надежности могут определяться за:

цикл функционирования ТС (интервал календарного времени от начала до окончания периодически повторяющегося процесса функционирования ТС);

период изготовления одной производственной партии (определение производственной партии - по ГОСТ 14.004-83);

период выполнения установленного задания (объема работ, серии изделий и т. п.);

определенный календарный промежуток времени;

срок службы ТС.

2.3. Методы оценки показателей надежности ТС выбирают в соответствии с ГОСТ 27.202-83 - ГОСТ 27.204-83.

2.3.1. Нормы показателей надежности ТС должны быть не ниже норм, установленных директивными документами, увязаны с нормами показателей надежности ТС более высокого уровня, в которую входит данная ТС, нормами показателей надежности средств технологического оснащения. Они также должны быть технико-экономически обоснованными или оптимальными с учетом занимаемой производственной площади, трудоемкости обслуживания ТС, производительности, качества изготавливаемой продукции и расхода ресурсов и взаимовязаны с периодичностью операций технического обслуживания и ремонта.

2.3.2. При регламентации показателей надежности ТС допускается задавать нормы дифференцированно по:

наработке (ресурсу, сроку службы), в течение которой значения параметров или показатели качества изготавливаемой продукции соответствуют установленным требованиям;

наработке (ресурсу, сроку службы), в течение которой значения параметров производительности (ритм выпуска, номинальная или цикловая производительность и т. п.) соответствуют установленным требованиям;

ресурсу (сроку службы), в течение которого значения параметров материальных или стоимостных затрат на изготовление продукции соответствуют установленным требованиям.

2.3.3. Нормы показателей надежности устанавливаются применительно к режимам и условиям эксплуатации ТС. Допускается выбирать несколько номинальных режимов и условий эксплуатации и устанавливать требования к надежности дифференцированно по каждому режиму и условиям эксплуатации.

Таблица 1

Наименование показателя	Обозначение	Определение	Условия применения
Назначенная наработка до подналадки Коэффициент точности Коэффициент запаса точности	T_H K_T $K_{з.Т}$	По ГОСТ 27.004-85 По ГОСТ 27.202-83 По ГОСТ 27.202-83	Для ТС операций, выполняемых на автоматическом (полуавтоматическом) оборудовании
Вероятность выполнения задания по j -му параметру изготавливаемой продукции (m параметрам)	$P_{kj} (P_{k1...m})$	По ГОСТ 27.202-83	При выборе технологических маршрутов и режимов обработки в массовом и крупносерийном производстве в случае, если дефекты, возникающие при изготовлении изделий (деталей, узлов), могут привести к значительному материальному ущербу
Вероятность выполнения задания по объему выпуска продукции i -го наименования (n наименований) Коэффициент выполнения задания по объему выпуска	$P_{zi} (P_{z1...n})$ $K_{в.зи}$	По ГОСТ 27.204-83 По ГОСТ 27.204-83	При оперативном управлении массовым и крупносерийным производством

Наименование показателя	Обозначение	Определение	Условия применения
продукции i -го наименования			
Коэффициент выхода годной продукции	$K_{в,г}$	По ГОСТ 27.004-85	При оценке надежности ТС по параметрам изготавливаемой продукции в массовом и серийном производстве
Коэффициент сохранения производительности	$K_{с,п}$	По ГОСТ 27.004-85	Для ТС процессов с целью контроля средней производительности вновь проектируемых ТС и при формировании и корректировке производственных программ для действующих ТС
Коэффициент расхода j -го вида материальных затрат	$K_{р,рj}$	По ГОСТ 27.004-85	Для ТС процессов и подразделений при оперативном управлении производством и анализе эффективности эксплуатации ТС
Коэффициент потерь	$K_{п}$	Отношение потерь материальных ресурсов из-за отказов ТС в стоимостном выражении в расчете на единицу продукции к себестоимости изготовления продукции на данной ТС за рассматриваемый интервал времени	Для ТС процессов и подразделений при оперативном управлении производством и анализе эффективности эксплуатации ТС
Коэффициент использования	$K_{и}$	По ГОСТ 27.004-85	Для ТС операций при анализе эффективности эксплуатации ТС для

Наименование показателя	Обозначение	Определение	Условия применения
			ориентировочной оценки надежности действующих систем по данным, регистрируемым в процессе управления производством

Таблица 2

Вид неработоспособного состояния ТС	Критерии отказов и предельных состояний
Неработоспособное состояние по параметрам продукции	Выход одного из показателей качества изготавливаемой продукции за установленные пределы; выход параметров или режимов технологического процесса (операции) за установленные границы
Неработоспособное состояние по производительности	Снижение производительности (номинальной или цикловой) ниже установленного уровня; невыполнение производственного задания по объему изготавливаемой продукции; прекращение функционирования ТС, обусловленное отказом средств технологического оснащения; превышение нормативных величин длительности простоя при восстановлении работоспособного (исправного) состояния, техническом обслуживании, смене инструмента, подналадке, переходе на изготовление новых объектов и т.д.
Неработоспособное состояние по затратам	Увеличение трудоемкости технического обслуживания и ремонта ТС сверх нормативного (технико-экономически обоснованного) значения; превышение установленных нормативов по трудоемкости изготовления продукции из-за неудовлетворительного состояния ТС, включая затраты, связанные с появлением и устранением брака; превышение установленных норм расхода материалов, инструмента, энергетических и других ресурсов

МЕТОДИКА РАЗМЕРНОГО АНАЛИЗА ТП

1. При проведении размерного анализа ТП в качестве исходной информации используют следующие характеристики:

ϕ_i - поле рассеяния i -го составляющего звена размерной цепи;

T_i - допуск на i -е составляющее звено;

T_{Δ} - допуск на замыкающее звено;

$A_{\Delta \max}^P, A_{\Delta \min}^P$ - соответственно, верхнее и нижнее предельные значения замыкающего звена.

2. Размерный анализ вновь проектируемого ТП проводят, как указано в п. 2.1-2.3.

2.1. Выбирают метод расчета размерных цепей: вероятностный метод или метод максимума - минимума.

Выбор метода расчета размерных цепей при размерном анализе ТП зависит от целей расчета, характера решаемых задач, наличия информации о законах рассеяния погрешностей, требуемой точности получаемых результатов и т.п.

Вероятностный метод расчета размерных цепей является предпочтительным, т.к. позволяет более объективно оценить уровень надежности ТС и решать задачи оптимизации ТП.

Метод максимума - минимума используют при отсутствии данных о законах рассеяния погрешностей звеньев, а также в случае больших запасов точности замыкающих звеньев.

2.2. Проводят размерный анализ для разработки операций.

Задачей размерного анализа, выполняемого на данном этапе, является определение размеров исходной заготовки и размеров, выполняемых на переходах предварительной обработки, обеспечивающих выполнение требований по точности для параметров, заданных в конструкторской документации.

Анализ проводят, как указано в п. 2.2.1-2.2.14.

2.2.1. Анализируют факторы, влияющие на погрешность каждого выполняемого на операции размера и задают допуск размера, верхнее и нижнее отклонения.

2.2.2. Для всех промежуточных припусков регламентируют предельные размеры.

2.2.3. Выявляются параметры деталей (размеры, заданные в конструкторской документации, и припуски, регламентированные при разработке операции), получаемые как замыкающие звенья технологических цепей, составляют схемы размерных цепей и записывают уравнения цепей в соответствии с ГОСТ 16320-80.

В уравнение включают составляющие звенья с известными номинальными размерами и предельными отклонениями, а также неизвестные (определяемые звенья), у которых предельные отклонения заданы, а номинальный размер под-

лежит определению путем расчета размерных цепей. Определяемыми звеньями являются размеры, выдерживаемые при выполнении переходов предварительной обработки, а также технологические размеры, выдерживаемые при выполнении переходов окончательной обработки, но не заданные в конструкторской документации.

2.2.4. Из составленных размерных цепей выбирают цепь с одним определяемым размером и определяют поле рассеяния ω_{Δ} замыкающего звена этой цепи по ГОСТ 19415-74 при вероятностном методе или по ГОСТ 16320-80 при методе максимума-минимума. При расчетах ω_{Δ} принимают поле рассеяния погрешностей составляющих звеньев ω_1 равным полю допуска T_1 , назначенному по п. 2.2.1.

2.2.5. Определяют запас точности замыкающего звена по формуле

$$V = T_{\Delta} - \omega_{\Delta}, \quad (1)$$

где T_{Δ} - допуск замыкающего размера.

Если окажется, что $V < 0$, то производят корректировку ТП.

2.2.6. Определяют средний размер замыкающего звена $A_{\Delta \text{ср}}^{\text{и}}$, который используют как исходный для расчета цепи.

Расчетную формулу для определения $A_{\Delta \text{ср}}^{\text{и}}$ выбирают в зависимости от того, какое расположение поля рассеяния замыкающего звена относительно его поля допуска является предпочтительным.

Для того, чтобы поле допуска и поле рассеяния совпадали по нижним границам, расчет ведут по формуле

$$A_{\Delta \text{ср}}^{\text{и}} = A_{\Delta \text{min}}^{\text{р}} + \frac{\omega_{\Delta}}{2}, \quad (2)$$

где $A_{\Delta \text{min}}^{\text{р}}$ - нижнее предельное значение замыкающего звена.

Для того, чтобы поле допуска и поле рассеяния совпадали по верхним границам, используют формулу

$$A_{\Delta \text{ср}}^{\text{и}} = A_{\Delta \text{max}}^{\text{р}} - \frac{\omega_{\Delta}}{2}, \quad (3)$$

где $A_{\Delta \text{max}}^{\text{р}}$ - верхнее предельное значение замыкающего звена.

Для того, чтобы обеспечить совпадение середины поля допуска с серединой поля рассеяния, используют формулу

$$A_{\Delta \text{ср}}^{\text{и}} = \frac{1}{2} (A_{\Delta \text{min}}^{\text{р}} + A_{\Delta \text{max}}^{\text{р}}). \quad (4)$$

2.2.7. Определяют средние размеры известных составляющих звеньев по формуле

$$A_{i\text{ср}} = A_i + \frac{1}{2}(\Delta_{\text{в}i} + \Delta_{\text{н}i}), \quad (5)$$

где A_i - номинальный размер i -го звена;
 $\Delta_{\text{в}i}, \Delta_{\text{н}i}$ - его верхнее и нижнее предельные отклонения.

2.2.8. Находят средний размер определяемого звена по формуле

$$A_{\text{опрср}} = \left(A_{\Delta\text{ср}}^{\text{н}} - \sum_{i=1}^{m-2} \xi_i \cdot A_{i\text{ср}} \right) \cdot \frac{1}{\xi_{\text{опр}}}, \quad (6)$$

где $\xi_{\text{опр}}, \xi_i$ - передаточные отношения, соответственно, определяемого и i -го звена по ГОСТ 16320-80;

m - количество звеньев размерной цепи.

2.2.9. Определяют номинальный размер определяемого звена по формуле

$$A_{\text{опр}} = A_{\text{опрср}} - \frac{1}{2}(\Delta_{\text{вопр}} + \Delta_{\text{нопр}}), \quad (7)$$

где $\Delta_{\text{вопр}}, \Delta_{\text{нопр}}$ - верхнее и нижнее предельные отклонения определяемого звена.

2.2.10. Округляют (в случае необходимости) полученное значение номинального размера $A_{\text{опр}}$ и получают округленное значение $A_{\text{окр}}$. При округлении руководствуются следующими правилами.

Если при расчете цепи исходный размер $A_{\Delta\text{ср}}^{\text{н}}$ замыкающего звена определен по формуле (2), то округление номинальных размеров увеличивающих звеньев необходимо производить в сторону увеличения, а уменьшающих - в сторону уменьшения. Допустимое изменение размера при округлении не более V - запаса точности замыкающего звена, определенного по п. 2.2.5.

Если при расчете цепи размер $A_{\Delta\text{ср}}^{\text{н}}$ определен по формуле (3), то округление номинальных размеров увеличивающих звеньев необходимо производить в сторону уменьшения, а уменьшающих - в сторону увеличения. Допустимое изменение размера при округлении не более V .

Если при расчете цепи размер $A_{\Delta\text{ср}}^{\text{н}}$ определен по формуле (4), то округление номинального размера возможно в любую сторону. Допустимое изменение размера не более $V/2$.

2.2.11. Определяют величину внесенной при округлении коррекции- размера по формуле

$$K_{\text{окр}} = A_{\text{окр}} - A_{\text{отр}} \quad (8)$$

2.2.12. Проверяют условие

$$K_{\text{окр}} \leq V \quad (9)$$

или

$$K_{\text{окр}} \leq \frac{V}{2} \quad (10)$$

в зависимости от принятого правила округления по п. 2.2.10. Если условие (9) или (10) не выполняется, отказываются от округления или производят корректировку ТП.

2.2.13. Округленный номинальный размер с принятыми при разработке операции предельными отклонениями заносят в технологические документы и используют как известный размер при расчете других размерных цепей.

2.2.14. Повторяют п. 2.2.4 - 2.2.13 для всех размерных цепей, составленных по п. 2.2.3.

2.3. Проводят размерный анализ разработанного ТП.

Задачей размерного анализа разработанного ТП является определение регламентируемых значений коэффициентом запаса точности по нижней и верхней границе замыкающих звеньев (параметров, заданных в КД) $K_{\text{V}}^{\text{н}}$ и $K_{\text{V}}^{\text{в}}$.

Анализ проводят, как указано в п. 2.3.1 - 2.3.7.

2.3.1. Определяют координату середины поля рассеяния замыкающего звена $\Delta\omega_{\Delta}$ в соответствии с ГОСТ 19415-74 (при вероятностном методе) или с ГОСТ 16320-80 (при методе максимума-минимума).

2.3.2. Определяют исполнительный номинальный размер замыкающего звена $A'_{\text{дном}} = A_{\Delta}$ в соответствии с ГОСТ 16320-80, используя уравнение размерной цепи.

2.3.3. Определяют исполнительные средний $A'_{\Delta\text{ср}}$, наименьший $A'_{\Delta\text{min}}$ и наибольший $A'_{\Delta\text{max}}$ размеры замыкающего звена по формулам

$$A'_{\Delta\text{ср}} = A'_{\text{дном}} + \Delta_{\text{ш}\Delta}; \quad (11)$$

$$A'_{\Delta\text{min}} = A'_{\Delta\text{ср}} - \frac{\sigma_{\Delta}}{2}; \quad (12)$$

$$A'_{\Delta\text{max}} = A'_{\Delta\text{ср}} + \frac{\sigma_{\Delta}}{2}. \quad (13)$$

2.3.4. Определяют коэффициенты запаса точности K_V^H по нижней и K_V^B по верхней границе поля допуска по формулам

$$K_V^H = \frac{A'_{\Delta \min} - A_{\Delta \min}^P}{T_{\Delta}}, \quad (14)$$

$$K_V^B = \frac{A'_{\Delta \max} - A_{\Delta \max}^P}{T_{\Delta}}, \quad (15)$$

где T_{Δ} — допуск замыкающего звена,

$$T_{\Delta} = A_{\Delta \max}^P - A_{\Delta \min}^P$$

2.3.5. В случае, если задано нормативное значение коэффициента точности $K_{T\Delta}^P$, определяют коэффициент точности для замыкающего звена:

$$K_{T\Delta} = 1 - K_V^H - K_V^B. \quad (16)$$

Если $K_{T\Delta}^P < K_{T\Delta}$, то производят корректировку ТП. Если $K_{T\Delta}^P \geq K_{T\Delta}$, то выполняют п. 2.3.6.

2.3.6. Регламентируют полученные значения K_V^H и K_V^B в карте информации о надежности ТП.

2.3.7. Повторяют п. 2.3.1 – 2.3.6 для всех замыкающих звеньев размерных цепей, составленных по п. 2.2.3.

2.4. **Пример.** Определить номинальный размер A_1 составляющего звена технологической размерной цепи по чертежу (рис. 1) и рассчитать коэффициенты запаса по нижней и верхней границе замыкающего звена K_V^H и K_V^B .

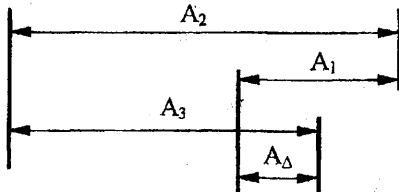


Рис. 1. Технологическая размерная цепь

Исходные данные:

A_{Δ} - замыкающее звено размерной цепи (цементированный слой после механической обработки);

$$A_{\Delta \text{min}}^F = 0,7 \text{ мм}; A_{\Delta \text{max}}^F = 1,3 \text{ мм};$$

A_2 и A_3 - линейные размеры до и после механической обработки цементированной поверхности;

$$A_2 = 85,32_{-0,22}; A_3 = 85_{-0,087};$$

A_1 - цементированный слой до механической обработки;

$$\Delta_{\text{вн}} = +0,1; \Delta_{\text{вн}} = -0,1;$$

законы рассеяния погрешностей размеров неизвестны;

нормативные значения коэффициентов точности не заданы.

2.4.1. Расчет номинального размера звена A_i производим в соответствии с п. 2.2.3 - 2.2.12.

Записываем уравнение размерной цепи, приведенной на рис. 1, в соответствии с ГОСТ 16320-80

$$A_{\Delta} = A_1 - A_2 + A_3.$$

Так как данных о законах рассеяния погрешностей нет, то в соответствии с п. 2.1 принимаем для расчета цепи метод максимума-минимума и определяем ω_{Δ} в соответствии с п. 2.2.4 по формуле

$$\omega_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} |\xi_i| \omega_i = 0,2 + 0,22 + 0,887 = 0,507 \text{ мм.}$$

Определяем запас точности замыкающего звена по п. 2.2.5

$$V = 0,6 - 0,507 = 0,093 \text{ мм.}$$

Так как $V > 0$, то корректировка ТП не требуется.

Определяем средний размер замыкающего звена для расчета цепи в соответствии с п. 2.2.6 из условия совпадения середины поля допуска с серединой поля рассеяния

$$A_{\Delta \text{ср}}^{\text{н}} = \frac{1}{2}(0,7 + 1,3) = 1 \text{ мм.}$$

Определяем средние размеры известных составляющих звеньев по п. 2.2.7.

$$A_{2 \text{ср}} = 85,32 + \frac{0 - 0,22}{2} = 85,21 \text{ мм};$$

$$A_{3 \text{ср}} = 85 + \frac{0 - 0,087}{2} = 84,9565 \text{ мм.}$$

Определяем средний размер составляющего звена $A_{1 \text{ср}} = A_{\text{отпр}}$ в соответствии с п. 2.2.8:

$$A_{\text{отпр} \text{ср}} = 1 + 85,21 - 84,9565 = 1,2535 \text{ мм.}$$

Определяем искомый номинальный размер $A_1 = A_{\text{отпр}}$ по п. 2.2.9:

$$A_{\text{отпр}} = 1,2535 - \frac{+0,1 - 0,1}{2} = 1,2535 \text{ мм.}$$

Округляем полученное значение по п. 2.2.10 и принимаем

$$A_{\text{окр}} = 1,3 \text{ мм.}$$

Определяем величину $K_{\text{окр}}$ по п. 2.2.11:

$$K_{\text{окр}} = 1,3 - 1,2535 = 0,0465 \text{ мм.}$$

Проверяем условие $K_{\text{окр}} < V/2$ по п. 2.2.12:

$$V/2 = \frac{0,093}{2} = 0,0465 \text{ мм, то есть } K_{\text{окр}} = V/2.$$

Так как условие выполняется, то корректировка ТП не требуется.

2.4.2. Расчет коэффициентов K_{V}^{H} и K_{V}^{B} производим в соответствии с п. 2.3.1-2.3.4.

Определяем координату середины поля рассеяния $\Delta_{\omega\Delta}$ в соответствии с ГОСТ 16320-80 по формуле

$$\Delta_{\omega\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i \Delta_{\omega i} = 0 + 0,11 - 0,044 = 0,066 \text{ мм.}$$

Определяем исполнительный номинальный размер замыкающего звена по п. 2.3.2

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i A_i = 1,3 - 85,32 + 85 = 0,98 \text{ мм.}$$

Определяем исполнительные средний, наименьший и наибольший размеры замыкающего звена по п. 2.3.3

$$A'_{\Delta\text{ср}} = 0,98 + 0,056 = 1,046,$$

$$A'_{\Delta\text{min}} = 1,046 - 0,507 / 2 = 0,792,$$

$$A'_{\Delta\text{max}} = 1,046 + 0,507 / 2 = 1,299.$$

Определяем коэффициенты K_{V}^{H} и K_{V}^{B} по п. 2.3.4

$$K_{\text{V}}^{\text{H}} = \frac{0,792 - 0,7}{0,6} = 0,153,$$

$$K_{\text{V}}^{\text{B}} = \frac{1,3 - 1,299}{0,6} = 0,002.$$

Установленные значения коэффициентов K_{V}^{H} и K_{V}^{B} следует записать в карту информации о надежности ТП и использовать как нормативные при отработке на надежность действующего ТП.

3. Размерный анализ действующего ТП проводят, как указано в п. 3.1 - 3.6.

3.1. Выбирают метод расчета размерных цепей: или использовавшийся ранее при проектировании ТП, или, в общем случае, по п. 2.1.

3.2. Составляют номенклатуру параметров операций, для которых проводится размерный анализ.

При составлении номенклатуры следует учитывать результаты анализа ТП по критериям надежности и эффективности.

3.3. По каждому рассматриваемому параметру составляют схему технологической размерной цепи.

3.4. Для составляющих звеньев цепи оценивают по ГОСТ 19416-74 фактические величины полей рассеяния $\hat{\omega}_i$.

3.4.1. В случае использования вероятностного метода расчета определяют дополнительно значения коэффициентов $\hat{\lambda}_i$ и $\hat{\alpha}_i$.

3.5. Определяют фактические значения коэффициентов запаса \hat{K}_V^H и \hat{K}_V^B по ГОСТ 19415-74, полагая $\omega_i = \hat{\omega}_i$, $\lambda_i = \hat{\lambda}_i$, $\alpha_i = \hat{\alpha}_i$.

3.6. Проверяют условие

$$\begin{cases} \hat{K}_V^H \geq K_V^H \\ \hat{K}_V^B \geq K_V^B \end{cases} \quad (17)$$

3.6.1. Если условие (17) выполняется, то точность ТП по рассматриваемому параметру следует считать удовлетворительной. В противном случае разрабатывают мероприятия по повышению точности.

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ТОЧНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

1. Анализ точности ТО проводят для операций, на которых формируются параметры, определяющие эксплуатационные свойства продукции.

2. Анализ точности ТО может включать:

определение точностных характеристик (параметров точности) ТС;

анализ факторов, определяющих точностные характеристики ТС;

оценку точности ТС;

расчет допусков на настройку автоматического оборудования;

выбор метода регулирования ТП и статистического метода приемочного контроля;

определение контрольных границ для параметров ТС

2.1. Определение точностных характеристик производят:

в соответствии с ГОСТ 27.202-83 (определение полей рассеяния, центров рассеяния и средних квадратических отклонений контролируемых параметров);

в соответствии с ГОСТ 19415-74 и ГОСТ 19416-74 (определение коэффициентов относительной асимметрии и относительного рассеяния контролируемых параметров).

2.2. Анализ факторов, определяющих точностные характеристики ТС и степени их влияния, производят методами корреляционного и регрессионного анализа и методами теории планирования эксперимента.

2.3. Оценку точности ТО следует проводить в соответствии с ГОСТ 27.202-83.

2.4. Методы расчета допусков на настройку - по ГОСТ 16.308-75.

2.5. Выбор метода регулирования ТП и статистического метода приемочного контроля - по ГОСТ 23853-79.

2.6. Определение контрольных границ параметров ТС.

2.6.1. При определении контрольных границ параметра ТС в составе исходных данных используют:

ω_i - составляющую погрешности контролируемого параметра изделия, обусловленную действием i -го основного фактора и соответствующую размаху его варьирования (размах варьирования фактора - по ГОСТ 24026-80);

T - допуск на контролируемый параметр изделия;

K_T - регламентированное значение коэффициента точности для контролируемого параметра изделия по ГОСТ 27.202-83.

2.6.2. Расчет контрольных границ параметров проектируемой ТС проводят, как указано в п. 2.6.2.1 - 2.6.2.5.

2.6.2.1. Определяют верхнее и нижнее предельные значения параметра ТС X_v и X_n , обеспечивающие заданные свойства (параметры) изделия.

2.6.2.2. Анализируют основные факторы, определяющие точность обработки изделия.

К числу основных факторов относят:

параметры элементов технологического комплекса (технологический комплекс - по ГОСТ 27.004-85);

физико-механические и химические свойства предметов производства; параметры и свойства рабочей среды (состав смазочно-охлаждающей жидкости, запыленность воздуха и т. д.) и др.

2.6.2.3. Определяют расчетное значение суммарной погрешности по рассматриваемому параметру ТС с использованием метода элементарных погрешностей по ГОСТ 27.202-83.

2.6.2.4. В случае, если задано нормативное значение коэффициента точности K_T по контролируемому параметру, определяют его расчетное значение $K_{T,ф}$ по ГОСТ 27.202-83 и проверяют условие

$$K_{T,ф} \leq K_T. \quad (1)$$

Если условие (1) выполняется, ТС считают удовлетворяющей требованиям точности. В противном случае производят корректировку ТП с целью уменьшения влияния составляющих погрешностей.

2.6.2.5. Рассчитывают верхнюю и нижнюю контрольные границы:

$$X_B^K = X_B - \frac{\delta \Sigma}{2K_T}, \quad (2)$$

$$X_H^K = X_H + \frac{\delta \Sigma}{2K_T} \quad (3)$$

и записывают их в технологической документации (технологических инструкциях, операционных картах, картах информации о надежности ТС и т. д.).

2.6.3. **Пример.** Провести для вновь проектируемой ТС анализ контрольных границ температуры нагрева зубчатого колеса при науглероживании в шахтной печи из условия обеспечения твердости поверхностного слоя HRC 54...62.

2.6.3.1. Исходные данные. В соответствии с нормативами указанная твердость поверхностного слоя обеспечивается при температуре нагрева детали от 1010 до 1050 °С.

В состав основных факторов, определяющих заданную температуру нагрева, входят:

собственная погрешность термопары $\omega_1 = 7,72^\circ\text{C}$;

собственная погрешность измерительного прибора (потенциометра) $\omega_2 = 2^\circ\text{C}$;

погрешность термопары за счет изменения температуры окружающего воздуха $\omega_3 = 3^\circ\text{C}$;

погрешность считывания показаний потенциометра $\omega_4 = 1^\circ\text{C}$;
 перепад температур в рабочем пространстве печи $\omega_5 = 20^\circ\text{C}$;
 погрешности распределены по нормальному закону.

Дальнейший анализ проводим в соответствии с п. 2.6.2.3-2.6.2.5.

2.6.3.2. Определяем суммарную погрешность δ_Σ .

Выражение для расчета δ_Σ в соответствии с ГОСТ 27.202-83 имеет вид

$$\delta_\Sigma = K\sqrt{\lambda_1\omega_1^2 + \lambda_2\omega_2^2 + \lambda_3\omega_3^2 + \lambda_4\omega_4^2 + \lambda_5\omega_5^2}, \quad (4)$$

где $\lambda_1 \dots \lambda_5$ - коэффициенты относительного рассеяния по ГОСТ 19415-74;

K - коэффициент риска, выбираемый в зависимости от принятого риска P , связанного со значением функции Лапласа $\Phi(K)$ формулой

$$P = 100 [1 - 2\Phi(K)] \quad (5)$$

Определяем значения коэффициентов $\lambda_1 \dots \lambda_5$ для нормально распределенных погрешностей $\omega_1 \dots \omega_5$ в соответствии с ГОСТ 19415-74:

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_5 = 0,111. \quad (6)$$

Принимаем в соответствии с ГОСТ 27.202-83 риск $P = 0,1\%$ и определяем значение коэффициента K в соответствии с выражением (5):

$$K = 3,29. \quad (7)$$

Определяем с учетом (6) и (7) суммарную погрешность δ_Σ

$$\delta_\Sigma = 3,29\sqrt{0,111 \cdot (7,72^2 + 2^2 + 3^2 + 1^2 + 20^2)} = 23,85^\circ\text{C}. \quad (8)$$

2.6.3.3. Принимаем $K_T = 1$ (так как нормативное значение не задано) и рассчитываем контрольные границы по выражениям (2) и (3)

$$X_B^K = 1050 - \frac{23,85}{2 \cdot 1} \approx 1038,1^\circ\text{C},$$

$$X_H^K = 1010 + \frac{23,85}{2 \cdot 1} \approx 1021,9^\circ\text{C}.$$

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

1. Общие положения

1.1. Анализ производительности ТС проводится с целью обеспечения требуемой производительности путем выбора основных и резервных единиц технологического оборудования и организации межоперационных накопителей.

Методика анализа производительности содержит методику оптимизации структуры ТС и методику расчета коэффициента сохранения производительности.

1.2. При проведении анализа производительности ТС с поточной организацией производства используют следующие исходные данные:

m - количество операций, составляющих ТС;

K_{ci} - коэффициент готовности единицы оборудования, выполняющего i -ю операцию ($i = 1, 2, \dots, m$);

$t_{штi}$ - штучное время на i -й операции;

C_{oi} - стоимость единицы оборудования, выполняющего i -ю операцию;

t_b - норма времени восстановления работоспособного состояния оборудования данной ТС;

V_{max} - максимальный объем накопителя или максимальное количество предметов производства, которое может накапливаться на выходе ТС i -й операции в качестве межоперационного задела;

N_1 - количество предметов производства, которое может быть размещено на 1 м^2 накопителя;

C_1 - стоимость 1 м^2 производственной площади.

Примечания:

1. Операции должны быть пронумерованы в последовательности их выполнения.

2. Для вновь проектируемых ТС величину t_b допускается определять по выражению

$$t_b = \max \{ t_{bi} \},$$

$$i = 1, \bar{m}$$

где t_{bi} - среднее время восстановления оборудования, выполняющего i -ю операцию.

2. Методика оптимизации структуры ТС

Оптимизацию структуры ТС, обеспечивающей требуемую производительность $Q_{тр}$, осуществляют, как указано в п. 2.1 - 2.7.

2.1. Определяют начальные (минимальные) значения количества оборудования, выполняющего i -ю операцию из условия обеспечения ею требуемой производительности $Q_{тр}$:

$$n_i = \left[\frac{Q_{\text{гр}} t_{\text{шт}i}}{K_{\text{г}i}} \right] + 1, \quad (1)$$

где $[x]$ - символ целой части от величины x (наибольшее целое число, не превосходящее x).

2.2. Определяют номинальную производительность ТС (при отсутствии отказов):

$$Q = \min \left\{ \frac{n_i}{t_{\text{шт}i}} \right\}. \quad (2)$$

2.3. Определяют среднюю производительность ТС с минимальной структурой (без резервирования оборудования и накопителей)

$$Q_{\text{min}} = Q_n K_r^*, \quad (3)$$

где

$$K_r^* = \prod_{i=1}^m K_{r_i}, \quad (4)$$

и проверяют условие

$$Q_{\text{min}} > Q_{\text{тр}}. \quad (5)$$

2.4. В случае, если условие (5) не выполняется, то в структуре ТС предусматривают дополнительные элементы: межоперационные накопители и (или) резервное технологическое оборудование.

Выбор оптимальной избыточной структуры ТС производится путем интеграционной многошаговой процедуры. При этом на каждом шаге рассматривают три варианта повышения средней производительности ТС:

введение межоперационных накопителей по п. 2.4.1;

резервирование оборудования на операции, лимитирующей производительность ТС ("узкое место") по п. 2.4.2;

введение дополнительного оборудования по критерию локальной эффективности (на уровне операций) по п. 2.4.3.

2.4.1. Организация межоперационных накопителей.

Оптимальную структуру межоперационных накопителей (количество накопителей, их объемы и место расположения) определяют по п. 2.4.1.1 - 2.4.1.3.

2.4.1.1. Выбирают вариант структуры межоперационных накопителей.

На первом шаге оптимизации структуры ТС выбирают 1-й вариант реализации накопителей по табл. 1.

Оптимальные варианты реализации накопителей

Номер варианта реализации накопителя	Количество накопителей в структуре ТС N	Код накопителя d
1	1	1.
2	1	2.
3	3	1.2.1.
4	3	1.3.1.
5	3	2.3.2.
6	7	1.2.1.3.1.2.1.

Примечание. Код накопителей имеет N разрядов. Каждый j-й разряд кода соответствует порядковому номеру накопителя (по ходу технологического процесса), а стоящая в нем цифра d_j связана с оптимальным объемом j-го накопителя $V_{отпj}$ выражением

$$V_{отпj} = d_j 60 Q_n t_b. \quad (6)$$

Если на предыдущем шаге оптимизации был реализован 1-й вариант структуры накопителей, то в соответствии с табл. 1 выбирают (i+1)-й вариант.

2.4.1.2. Определяют номера операций, после которых организуют накопители. При $N = 1$ ТС принимают за один исходный участок с жесткой связью и делят его на два участка, между которыми организуют накопитель. При $N > 1$ каждый полученный в предыдущих вариантах участок делят в свою очередь еще на два участка и т.д. Номер и n_c операции, после которой ставят накопитель, определяют из условия равных потерь производительности участков по соотношению

$$\prod_{i=n_a}^{n_c} K_{пi} \approx \prod_{i=n_c+1}^{n_b} K_{пi}, \quad (7)$$

где n_a и n_b - номера первой и последней операции исходного участка.

Или из выражения

$$K_{n_c}^* = \max_{i=n_a, n_b-1} K_j^0, \quad (8)$$

где

$$K_j^0 = \min \left\{ \prod_{j=n_a}^j K_{пi}, \prod_{i=j+1}^{n_b} K_{пi} \right\} \text{ для } j = \overline{n_a, n_b - 1}.$$

При $N = 1$ полагают - $n_a = 1$ и $n_b = m$.

2.4.1.3. Ранжируют номера операций, после которых организуются накопители, в порядке возрастания, обозначают их символами S_j ($j = \overline{1, N}$) и определяют объем каждого j -го накопителя по выражению

$$V_j = \begin{cases} V_{\text{опт}j}, & \text{если } V_{\text{опт}j} \leq V_{\text{max}S_j}; \\ V_{\text{max}S_j}, & \text{если } V_{\text{опт}j} > V_{\text{max}S_j}. \end{cases} \quad (9)$$

2.4.1.4. Определяют среднюю производительность ТС по формуле

$$Q_{\text{ср}} = Q_n K_{\text{с.п}}, \quad (10)$$

где $K_{\text{с.п}}$ - коэффициент сохранения производительности, вычисляемый в соответствии с п. 3 данного приложения.

2.4.2. Резервирование оборудования на операции, лимитирующей производительность ТС ("узкое место").

2.4.2.1. Дополнительная единица оборудования вводится на k -й операции. Номер k этой операции выбирают из условия

$$\frac{n_k K_{rk}}{t_{\text{шт}rk}} = \min_{i=1, m} \left\{ \frac{n_i K_{ri}}{t_{\text{шт}ri}} \right\}. \quad (11)$$

В этом случае среднюю производительность ТС определяют по формуле

$$Q_{\text{ср}} = \min \left\{ \frac{n_k + 1}{t_{\text{шт}rk}}, \min_{\substack{i=1, m \\ i \neq k}} \frac{n_i}{t_{\text{шт}ri}} \right\} \prod_{r=1}^{k-1} K_{rt} \prod_{i=k+1}^m K_{ri}. \quad (12)$$

2.4.3. Резервирование оборудования по критерию локальной эффективности.

2.4.3.1. Дополнительная единица оборудования вводится на l -й операции, номер которой определяют из условия

$$\frac{1 - K_{rl}}{C_{ol}} = \max_{i=1, m} \frac{1 - K_{ri}}{C_{oi}}. \quad (13)$$

В этом случае среднюю производительность ТС определяют по формуле

$$Q_{\text{ср}} = Q_{\text{н}} \prod_{i=1}^{l-1} K_{\text{п}i} \prod_{i=l+1}^m K_{\text{п}i}. \quad (14)$$

Примечание. Если в предыдущих вариантах оптимизации были реализованы накопители, то при выполнении п. 2.4.2 и 2.4.3 среднюю производительность определяют в соответствии с п. 2.4.1.4 по формуле (10), полагая при этом, что $K_{\text{п}i} = 1$ ($i = k, l$).

2.5. Определяют эффективность каждого из рассматриваемых в п. 2.4.1-2.4.3 вариантов:

$$\varepsilon = \frac{\Delta Q_{\text{ср}}}{C}, \quad (15)$$

где $\Delta Q_{\text{ср}} = Q_{\text{ср}} - Q_{\text{мин}}$ - приращение средней производительности ТС;

$$C = \begin{cases} \frac{C_1}{N_1} \Delta V - \text{если организуют накопители;} \\ C_{\text{ол}} - \text{если резервируют оборудование на } i\text{-й операции,} \end{cases} \quad (16)$$

где $\Delta V = V'' - V'$;

V'' , V' - суммы объемов накопителей, реализованных на данном и предыдущем шагах оптимизации соответственно.

2.6. Реализуют вариант, который обеспечивает максимальную эффективность:

$$\varepsilon \rightarrow \max \quad (17)$$

и проверяют условие обеспечения требуемой производительности

$$Q_{\text{ср}} \geq Q_{\text{тр}}. \quad (18)$$

2.7. В случае, если условие (18) не выполняется, совершают следующий шаг оптимизации структуры ТС, то есть вновь повторяют п. 2.2 - 2.6 настоящей методики. При этом в случае, если на предыдущем шаге на i -й операции ($i = k, l$) было введено дополнительное оборудование, то перед выполнением п. 2.2 полагают $K_{\text{п}i} = 1$ и $n_i = n_i + 1$.

3. Методика расчета коэффициента сохранения производительности ТС

3.1. Для расчета коэффициента сохранения производительности ТС наряду с исходными данными, указанными в п. 1.2, используют следующие данные:

N - количество накопителей, которые делят ТС на $N + 1$ участок с жесткой связью;

S_i - номер операции, после которой установлен накопитель ($i = \overline{1, N}$);

V_i - объемы накопителя ($i = \overline{1, N}$);

ε - требуемая точность расчета.

3.2. При проведении расчетов используют следующие обозначения:

→

K_i - коэффициент сохранения производительности i -го участка с учетом вынужденных простоев (наложенных потерь) из-за отказов только предыдущих участков;

←

K_i - коэффициент сохранения производительности i -го участка с учетом вынужденных простоев (наложенных потерь) из-за отказов только следующих участков;

$P_{V_i}^1$ - отношение времени работы i -го участка (заполнение i -го накопителя) во время простоя ($i + 1$)-го участка к продолжительности этого простоя;

$P_{V_i}^0$ - отношение времени работы i -го участка (за счет $(i - 1)$ -го накопителя) во время простоя ($i - 1$)-го участка к продолжительности этого простоя.

3.3. Определяют вспомогательные величины по п. 3.3.1 - 3.3.2.

3.3.1. Рассчитывают коэффициенты готовности каждого i -го участка:

$$K_i = \prod_{j=S_{i-1}+1}^{S_i} K_{ij} \quad \text{для } i = \overline{1, N+1}, \quad (19)$$

при этом полагают $S_0 = 0$, $S_{N+1} = m$.

3.3.2. Рассчитывают относительный объем каждого i -го накопителя

$$r_i = V_i / 60 \cdot Q_i \cdot t_b \quad \text{для } i = \overline{1, N}. \quad (20)$$

3.4. Определяют коэффициент сохранения производительности в зависимости от значения величины N по п. 3.4.1 или п. 3.4.2.

3.4.1. При $N = 1$ коэффициент сохранения производительности определяют по формуле

$$K_{с.п.} = K_2 (K_1 + (1 - K_1) \cdot P_{V_1}^0), \quad (21)$$

где

$$P_V^0 = \begin{cases} \frac{q - q^{r+1}}{1 - q^{r+1}}, & \text{если } q \neq 1, \\ \frac{r_1}{1 + r_1}, & \text{если } q = 1; \end{cases} \quad (22)$$

$$q = \frac{k_1(1 - k_2)}{(1 - k_1)k_2}. \quad (23)$$

3.4.2. При $N > 1$ коэффициент сохранения производительности ТС определяют путем последовательных приближений по рекуррентным формулам, указанным в п. 3.4.2.1 - 3.4.2.5.

3.4.2.1. Определяют начальные приближения ($j=1$) величин \vec{K}_i по формуле

$$\vec{K}_{i,1} = \frac{\min\{K_k\}}{2} + \frac{N+1}{\prod_{k=1}^{N+1} K_k}, \quad \text{для } i = \overline{1, N+1}. \quad (24)$$

3.4.2.2. Определяют приближенные значения $\vec{K}_{i,j}$ j -й итерации (на первом шаге полагают $j=1$) последовательно от $i=N$ до $i=2$, применяя формулы (25) - (27):

$$q_{i,j} = \frac{\vec{K}_{i,j}(1 - \vec{K}_{i+1,j})}{(1 - \vec{K}_{i,j})\vec{K}_{i+1,j}}, \quad (25)$$

где

$$\vec{K}_{N+1,j} = K_{N+1}.$$

$$P_{Vi,j}^1 = \begin{cases} \frac{1 - q_{i,j}^{r_i}}{1 - q_{i,j}^{r_i+1}}, & \text{если } q_{i,j} \neq 1, \\ \frac{r_i}{1 + r_i}, & \text{если } q_{i,j} = 1; \end{cases} \quad (26)$$

$$\vec{K}_{i,j} = K_i(\vec{K}_{i+1,j} + (1 - \vec{K}_{i+1,j}) \cdot P_{Vi,j}^1). \quad (27)$$

3.4.2.3. Рассчитывают приближенные значения величин $\bar{K}_{i,j+1}$ следующей $(j+1)$ -й итерации, используя полученные в предыдущей итерации значения $\bar{K}_{i,j}$ и последовательно от $i=2$ до $i=N+1$, применяя формулы (28) – (30):

$$q_{i,j+1} = \frac{\bar{K}_{i-1,j}(1 - \bar{K}_{i,j})}{(1 - \bar{K}_{i-1,j+1}) \cdot \bar{K}_{i,j}}, \quad (28)$$

где

$$\bar{K}_{1,j+1} = K_1,$$

$$\tau_{Vi-1,j+1} = \begin{cases} \frac{q_{i-1,j+1} - q_{i-1,j+1}^{r_{i-1}+1}}{1 - q_{i-1,j+1}^{r_{i-1}+1}}, & \text{если } q_{i-1,j+1} \neq 1; \\ \frac{r_{i-1}}{r_{i-1} + 1}, & \text{если } q_{i-1,j+1} = 1; \end{cases} \quad (29)$$

$$\bar{K}_{i,j+1} = K_i (\bar{K}_{i-1,j+1} + (1 - \bar{K}_{i-1,j+1}) P_{Vi-1,j+1}^0). \quad (30)$$

3.4.2.4. Проверяют условие

$$\sum_{i=2}^{N+1} |\bar{K}_{i,j+1} - \bar{K}_{i,j}| \leq \varepsilon. \quad (31)$$

В случае, если условие (31) не выполняется, то производят следующий шаг приближений в соответствии с п. 3.4.2.2 – 3.4.2.4.

3.4.2.5. В случае, если условие (31) выполняется, то полагают

$$K_{с.п} = \bar{K}_{N+1,j+1}. \quad (32)$$

4. **Пример.** Определить оптимальный состав оборудования и объемы межоперационных заделов, обеспечивающих требуемую производительность ТС.

$$Q_{\text{тр}} = 3,6 \text{ шт./мин.}$$

4.1. Исходные данные:

норма времени восстановления работоспособного состояния оборудования 1 ч;

стоимость 1 м² производственной площади $C_1 = 800$ р.;
 количество предметов производства (деталей), которое может быть размещено на 1 м² накопителя, $N = 200$ шт.

Остальные исходные данные представлены в табл. 2.

Таблица 2

Номер операции i	Штучное время $t_{шт.i}$, мин	Коэффициент готовности $K_{гi}$	Максимальный объем накопления $V_{max i}$, шт.	Стоимость единицы оборудования C_{oi} , тыс. р.
1	0,594	0,991	2000	82,426
2	0,199	0,989	2000	3,064
3	0,500	0,991	2000	78,330
4	0,220	0,984	2000	1,875
5	0,199	0,989	2000	3,064
6	0,257	0,983	2000	10,000
7	0,162	0,983	2000	1,042
8	0,120	0,989	2000	13,061
9	0,154	0,989	2000	1,860

4.2. Решение

4.2.1. Составляем вариант структуры ТС по п. 2.1 методики и выбираем начальные значения количества оборудования по условию (1). Результаты сведены в табл. 3.

Таблица 3

Номер операции i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Количество единиц оборудования n_i	3	1	2	1	1	1	1	1	1

4.2.2. Определяем номинальную производительность ТС по формуле (2)

$$Q_H = \min \left\{ \frac{n_i}{t_{штi}} \right\} = 3,89 \text{ шт./мин.}$$

4.2.3. Определяем среднюю производительность ТС с минимальной структурой по формулам (3) и (4)

$$Q_{min} = Q_{гi} K_{гi}^* = Q_H \prod_{i=1}^m K_{гi} = 3,89 \cdot 0,893 = 3,48 \text{ шт./мин.}$$

4.2.4. Проверяем условие (5)

$$Q_{min} = 3,48 < Q_{тр} = 3,6 \text{ шт./мин.}$$

Условие не выполняется и поэтому выбираем оптимальный способ повышения производительности ТС.

4.2.5. Вводим накопитель в соответствии с первым вариантом табл. (N₁ = 1, d₁ = 1).

4.2.6. Определяем по выражению (7) номер операции, после которой целесообразно создать межоперационный задел. Такой операцией является 5-я, так как

$$\prod_{i=1}^5 K_{pi} - 0,945,$$

$$\prod_{i=6}^9 K_{pi} - 0,945.$$

4.2.7. Определяем объем накопителя, который необходимо поставить после 5-й операции, по выражениям (6) и (9).

$$V_1 = V_{\text{отг1}} = 60 \cdot Q_{\text{н}} t_{\text{в}} d_1 = 60 \cdot 3,89 \cdot 4,4 \cdot 1 = 1027 \text{ шт.}$$

4.2.8. Производим расчет коэффициента сохранения производительности в соответствии с п. 3.3 для ТС одним накопителем (N = 1), объемом V₁ = 1027 шт., установленным после 5-й (S₁ = 5) операции.

4.2.8.1. Определяем коэффициенты готовности участков, на которые накопитель делит ТС, по формуле (19):

$$K_1 = \prod_{i=1}^5 K_{pi} - 0,945,$$

$$K_2 = \prod_{i=6}^9 K_{pi} - 0,945.$$

4.2.8.2. Определяем относительный объем накопителя по формуле (20).

$$r_1 = \frac{V_1}{60 \cdot Q_{\text{н}} t_{\text{в}}} = \frac{1027}{1027} = 1.$$

4.2.8.3. Так как N = 1, то расчет коэффициента сохранения производительности производим в соответствии с п. 3.4.1.

4.2.8.3.1. Определяем значение величины q по формуле (23)

$$q = \frac{K_1(1 - K_2)}{(1 - K_1)K_2} = 1.$$

4.2.8.3.2. Определяем значение величины P^o_{V₁} по формуле (22), так как q = 1, то

$$P_{V_1}^o = \frac{r_1}{r_1 + 1} = \frac{1}{2} = 0,5.$$

4.2.8.3.3. Определяем коэффициент сохранения производительности по формуле (21)

$$K_{\text{с.п}} = 0,945[0,945 + (1 - 0,945) \cdot 0,5] = 0,919.$$

4.2.9. Определяем среднюю производительность ТС с учетом введения накопителя после 5-й операции по формуле (10):

$$Q_{cp} = Q_1 K_{c,II} = 3,89 \cdot 0,919 = 3,57 \text{ шт./мин.}$$

4.2.10. Рассматриваем вариант резервирования оборудования на k -й операции, лимитирующей производительность ТС, в соответствии с условием (11):

$$\frac{n_k K_{rk}}{t_{штк}} = \min_{i=1,m} \left\{ \frac{n_i K_i}{t_{шти}} \right\}.$$

Этому условию удовлетворяет 6-я операция.

4.2.10.1. Определяем среднюю производительность ТС после резервирования оборудования на 6-й операции по формуле (12):

$$Q_{cp} = 3,92 \cdot 0,908 = 3,56 \text{ шт./мин.}$$

4.2.11. Рассматриваем вариант резервирования оборудования на 1-й операции, для которой выполняется условие (13):

$$\frac{1 - K_{re}}{C_{oe}} = \max_{i=1,m} \left\{ \frac{1 - K_{ri}}{C_{oi}} \right\}.$$

Этому условию удовлетворяет 7-я операция.

4.2.11.1. Определяем среднюю производительность ТС после резервирования оборудования на 7-й операции по формуле (14):

$$Q_{cp} = 3,89 \cdot 0,908 = 3,53 \text{ шт./мин.}$$

4.2.12. Определяем эффективность рассматриваемых вариантов по п. 2.5. Результаты расчетов сведены в табл. 4.

Таблица 4

Расчетная величина		Номер варианта		
наименование	обозначение	1	2	3
Затраты	$C, \text{ р.}$	4108	10000	1042
Приращение производительности	$\Delta Q_{cp}, \text{ шт./мин}$	0,09	0,08	0,05
Эффективность	$\mathcal{E}, \text{ шт./мин / р.}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$0,8 \cdot 10^{-5}$	$4,8 \cdot 10^{-5}$

4.2.13. Реализуем как наиболее эффективный вариант резервирования оборудования на 7-й операции, который, однако, еще не обеспечивает требуемой производительности. Поэтому в соответствии с п. 2.7.1 полагаем $K_{r7} = 1$ и $n_7 = 2$, после чего вновь производим анализ по п. 2.2 – 2.6 методики.

4.2.14. В результате повторного выполнения п. 2.2 – 2.6 следует, что повышение производительности ТС может быть обеспечено путем: создания накопителя объемом 1027 шт. после 4-й операции; резервирования оборудования на 6-й операции; резервирования оборудования на 4-й операции.

4.2.15. Определяем эффективность рассматриваемых вариантов.

Результаты расчетов сведены в табл. 5.

Таблица 5

Расчетная величина		Номер варианта		
наименование	обозначение	1	2	3
Затраты	$C, \text{ р.}$	4108	10000	1875
Приращение производительности	$\Delta Q_{\text{ср}}, \text{ шт./мин}$	0,142	0,09	0,06
Эффективность	$\mathcal{E}, \text{ шт./мин / р.}$	$3,45 \cdot 10^{-5}$	$0,9 \cdot 10^{-15}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$

4.2.16. Реализуем наиболее эффективный вариант – создание накопителя после 4-й операции, который обеспечивает $Q_{\text{ср}} = 3,62 > Q_{\text{тр}} = 3,6$.

Таким образом оптимальная структура ТС должна содержать резервное оборудование на 7-й операции и накопитель на 1027 деталей после 4-й операции.

МЕТОДИКА АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ ТС ПО КОМПЛЕКСНЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ НАДЕЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ

1. Порядок проведения анализа вновь проектируемых ТС

1.1. Выбирают показатель, характеризующий надежность ТС процесса изготовления изделия в целом, по табл. 1.

Таблица 1

Наименование показателя	Обозначение	Определение	Условия применения
Коэффициент потерь	K_p	По табл.1 приложения 1	В общем случае
Вероятность выполнения задания ТС по параметрам изготавливаемой продукции	$P_{1...n}$	По ГОСТ 27.202-83	В случае преобладания потерь из-за отказов по параметрам изготавливаемой продукции
Вероятность выполнения задания по объему выпуска продукции	P_3	По ГОСТ 27.204-83	В случае преобладания потерь из-за отказов по производительности ТС

1.2. Определяют численное значение показателя расчетным методом, как показано в п. 4.

Для ТС, у которых значение показателя соответствует установленным требованиям, работы по п. 1.4 и 1.5 не производятся.

1.3. Проводят симплификацию (исключение отдельных ТС процессов и операций, не оказывающих значимого влияния на надежность ТС процесса изготовления изделия) структурной схемы ТС процесса, как указано в п. 5.

1.4. Анализируют влияние значимых элементов структурной схемы на надежность ТС процесса изготовления изделия в целом и принимают решение о разработке мероприятий по повышению их надежности.

2. Порядок проведения анализа действующих ТС

2.1. Выбирают показатель, характеризующий надежность ТС процесса изготовления изделия в целом, по табл. 1.

2.2. Оценивают значение выбранного показателя для ТС процесса изготовления изделия в целом регистрационными методами, как указано в п. 4.

Для ТС, у которых значение показателя, рассчитанное по п. 2.2, соответствует установленным требованиям, работы по п. 2.3 – 2.5 не производятся.

2.3. Составляют структурную схему ТС процесса изготовления изделия на уровне ТС процессов изготовления сборочных единиц и деталей, как указано в п. 3.

2.4. Проводят симплификацию структурной схемы, как указано в п. 5.

2.5. Анализируют влияние значимых элементов структурной схемы на надежность ТС процесса изготовления изделия в целом и принимают решение о разработке мероприятий по повышению их надежности.

2.5.1. При разработке мероприятий, в случае необходимости, детализируют структурную схему до уровня ТС операций, как указано в п. 3, проводят ее анализ и оценку значимости элементов (операций) по п. 5.

3. Составление структурной схемы ТС процесса

3.1. Структурная схема ТС процесса (рис. 1) должна содержать основные элементы ТС процесса изготовления изделия (составляющие ТС процессов изготовления деталей и сборочных единиц или ТС операций), расположенные в последовательности выполнения ТП с учетом взаимных связей.

3.2. Для составления структурной схемы ТС в качестве исходных материалов используют:

чертежи изделия и входящих в него сборочных единиц и деталей;

маршрутно-материальные ведомости;

технологическую документацию на детали и сборочные единицы по ГОСТ 3.1102 – 74.

3.3. С целью снижения трудоемкости анализа допускается производить упрощение структурной схемы ТС путем ее агрегатирования (объединения ТС отдельных операций или процессов).

3.3.1. Агрегатирование структурной схемы ТС включает:

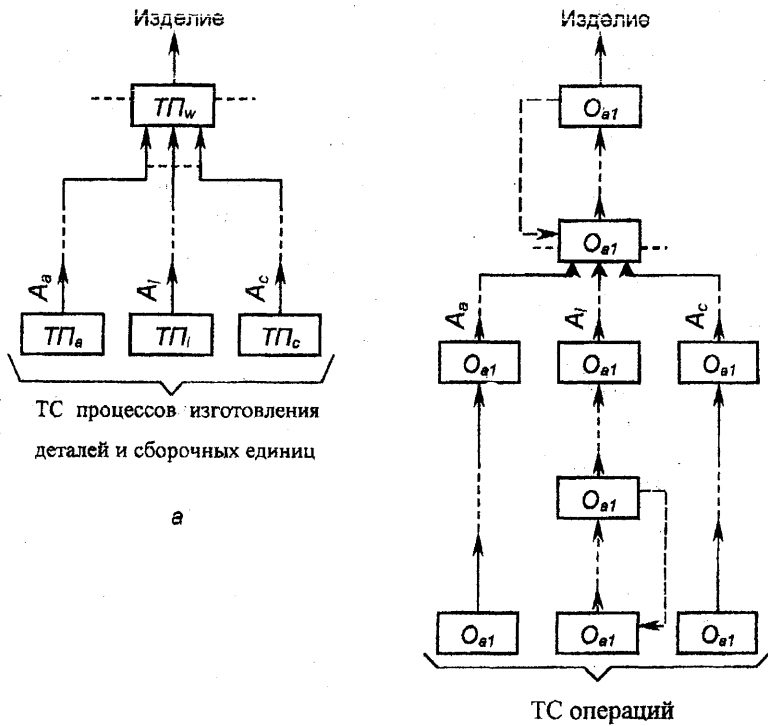
объединение ТС последовательно выполняемых операций, повышение надежности которых невозможно или нецелесообразно с помощью располагаемых методов и средств в один элемент схемы;

представление ТС операций (процессов), относящихся к изготовлению однотипных унифицированных деталей или сборочных единиц (например, зубчатых колес), одним элементом на схеме.

3.4. **Пример.** Составить структурную схему ТС процесса изготовления редуктора на уровне операций.

3.4.1. Исходные данные.

Номенклатура отдельных ТС процессов изготовления деталей и сборочных единиц редуктора и основных составляющих их ТС операций приведена в табл. 2.



-----> - возврат на предшествующие операции

Рис. 1. Структурная схема ТС процесса изготовления изделия:
 а – на уровне ТС процессов изготовления деталей и сборочных единиц;
 б – на уровне ТС операций; A_l – l -я деталь; $ТП_l$ – ТС процесса обработки l -й детали; $ТП_\omega$ – ТС процесса сборки ω -й сборочной единицы (изделия);
 O_{al} – ТС u -й операции обработки l -й детали ($l=1 \dots t$)

Таблица 2

ТС процессов изготовления деталей и сборочных единиц		ТС составляющих операций	
наименование	обозначение	наименование	обозначение
Изготовление корпуса	ТП ₁	Литейная	$O_{1,1}^*$
		Обрубка литья	$O_{1,2}^*$
		Продольно-фрезерная	$O_{1,3}^*$
Изготовление картера	ТП ₂	Литейная	$O_{2,1}^*$
		Обрубка литья	$O_{2,2}^*$
		Продольно-фрезерная	$O_{2,3}^*$

ТС процессов изготовления деталей и сборочных единиц		ТС составляющих операций	
наименование	обозначение	наименование	обозначение
Изготовление крышки	ТП ₃	Литейная	O _{3.1} *
		Обрубка литья	O _{3.2} *
		Продольно-фрезерная	O _{3.3} *
Обработка ведущего вала-шестерни	ТП ₄	Термообработка	O _{4.1} *
		Гидрокопировальная	O _{4.2} *
		Зубофрезерная	O _{4.3} *
Обработка промежуточного вала-шестерни	ТП ₅	Термообработка	O _{5.1} *
		Гидрокопировальная	O _{5.2} *
		Зубофрезерная	O _{5.3} *
Обработка зубчатого колеса промежуточного вала-шестерни	ТП ₆	Токарно-винторезная	O _{6.1} *
		Зубодолбежная	O _{6.2} *
		Слесарная	O _{6.3} *
Обработка зубчатого колеса ведомого вала	ТП ₇	Токарно-винторезная	O _{7.1} *
		Зубодолбежная	O _{7.2} *
		Слесарная	O _{1.3} *
Обработка ведомого вала	ТП ₈	Токарно-винторезная	O _{8.1} *
		Кругло-шлифовальная	O _{8.2} *
Сборка и обработка блок-картера	ТП ₉	Сборочная	O _{9.1} *
		Горизонтально-расточная	O _{9.2} *
Изготовление корпуса в сборе	ТП ₁₀	Сборочная	O _{10.1}
		Горизонтально-сверлильная	O _{10.2}
Сборка комплекта ведущего вала	ТП ₁₁	Сборочная	O _{11.1}
Сборка комплекта промежуточного вала	ТП ₁₂	Сборочная	O _{12.1}
Сборка комплекта ведомого вала	ТП ₁₃	Сборочная	O _{13.1}
Общая сборка редуктора	ТП ₁₄	Сборочная	O _{14.1}
		Обкатка	O _{14.2}

Примечание: * Обозначены ТС операций, выполняемых по типовой технологии.

При фрезеровании сопрягаемых плоскостей корпуса, крышки и картера, а также при обкатке редуктора имеют место возвраты продукции на предшест-

вующие операции для устранения выявленных скрытых дефектов (литейных раковин, течи масла и повышенного уровня шума).

3.4.2. Решение.

3.4.2.1. Анализируем ТП изготовления деталей и сборочных единиц.

На общую сборку редуктора (ТП₁₄) поступают корпус в сборе и комплекты ведущего, промежуточного и ведомого валов, собранные, соответственно, в рамках технологических систем ТП₁₀, ТП₁₁, ТП₁₂ и ТП₁₃.

Корпус в сборе состоит из блок-картера, собранного и обработанного в ТП₉, и крышки, изготовленной в ТП₃. При этом блок-картер собирается из корпуса и картера, изготовленных, соответственно, в ТП₁ и ТП₂.

Комплект ведущего вала-шестерни собирается из собственно вала-шестерни, обработанного в ТП₅, и покупных изделий (колец, подшипников и др.), ТС процессов изготовления которых не входят в структурную схему ТС процесса изготовления редуктора.

Комплекты промежуточного и ведомого валов собираются из шестерен, обработанных, соответственно, в ТП₅ и ТП₆ (для комплекта промежуточного вала) и ТП₈ и ТП₇ (для комплекта ведомого вала) и покупных изделий.

3.4.2.2. Составляем структурную схему ТС процесса изготовления редуктора на уровне ТС процессов изготовления деталей и сборочных единиц (рис. 2, а).

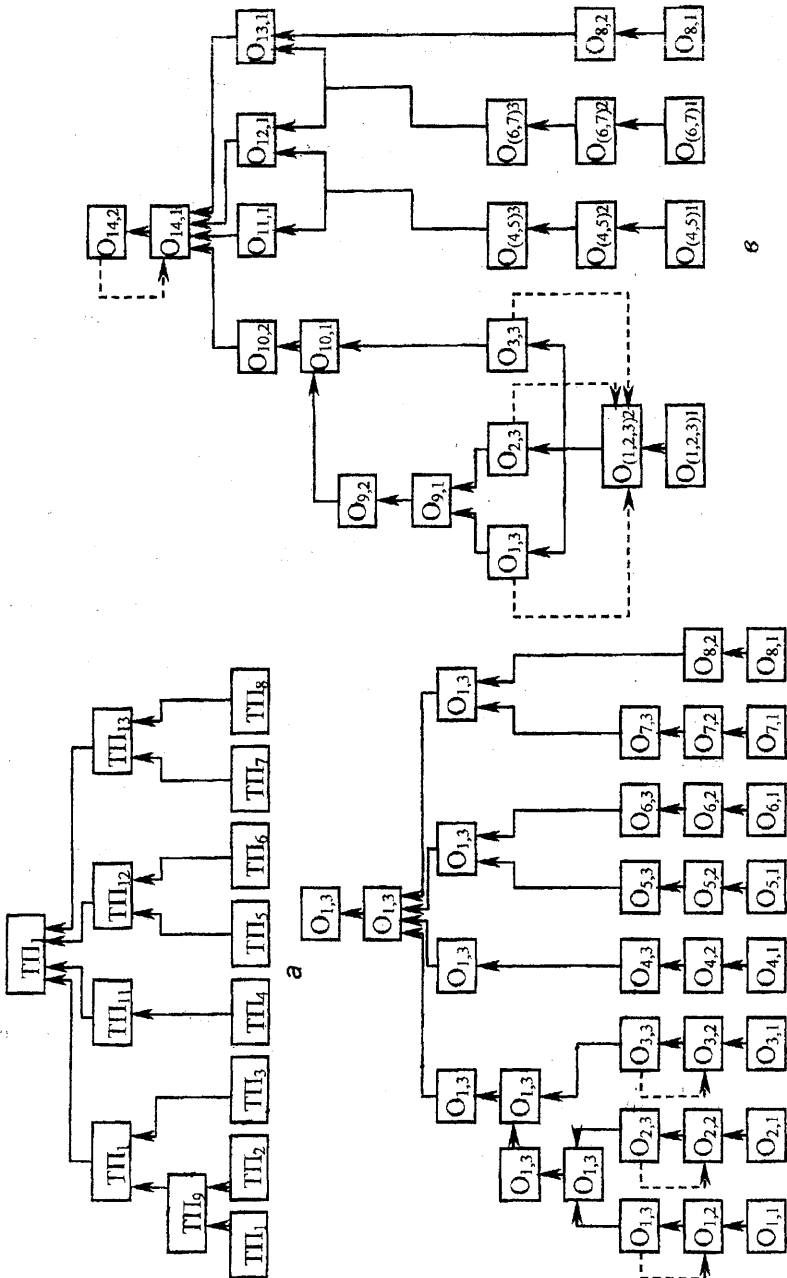
3.4.2.3. Детализируем структурную схему до уровня ТС операций (рис. 2, б).

3.4.2.4. Каждую из ТС операций, выполняемых по типовой технологии: литейная (О_{1.1}; О_{2.1}; О_{3.1}), обрубка литья (О_{1.2}; О_{2.2}; О_{3.2}), термообработка (О_{4.1}; О_{5.1}), гидрокопировальная (О_{4.2}; О_{5.2}), зубофрезерная (О_{6.3}; О_{5.3}), токарно-винторезная (О_{6.1}; О_{7.1}), зубодолбежная (О_{6.2}; О_{7.2}) и слесарная (О_{6.3}; О_{7.3}) – представляем одним элементом и производим агрегатирование структурной схемы ТС (рис. 2, в).

Обозначения элементов схемы соответствуют обозначениям на рис. 1, б. Так, например, О₇₍₁₎ – ТС первой операции в составе ТС седьмого (по табл. 2) составляющего ТП. Первый индекс в скобках (например, О_{(4.5)2}) означает, что ТС данной операции используется в составе ТС нескольких типовых ТП (в ТС 4-го и 5-го ТП по табл. 2).

4. Оценка численных значений показателей надежности ТС

Формулы для определения численных значений показателей регистрации онными и расчетными методами приведены в табл. 3.



6

Рис. 2. Структурная схема ТС процесса изготовления редуктора:
 а - на уровне ТС процессов изготовления деталей и сборочных единиц, б - на уровне ТС операций
 (до агрегатирования); в - на уровне ТС операций (после агрегатирования)

Таблица 3

Обозначение показателя	Выражение для оценки показателя	
	регистрационным методом	расчетным методом
$K_{п}$	$\frac{\Pi_{3,п}(t) + \Pi_{м}(t) + \Pi_{к.и}(t) + \Pi_{в.р}(t)}{C_{тп}}$	$\frac{\sum_{j=1}^T B_{1j}}{C_{тп}}$
$P_{1...n}$	По ГОСТ 27.202-83	$P'_{1...n} \sum_{j=1}^T B_{2j}$
P_3	$\frac{n_2}{n_1}$	$1 - \sum_{j=1}^T B_{3j}$

Примечания:

1. Наименования условных обозначений – по табл. 6.
2. Выражения для расчета величин B_{1j} , B_{2j} , B_{3j} , характеризующих влияние отказов ТС составляющих j -х операций (процессов) на надежность ТС процесса изготовления изделия в целом; даны в табл. 4.
3. Промежутки времени n_1 следует выбирать из числа принятых в системе оперативного планирования предприятия (смена, сутки, декада и т.д.) в зависимости от требуемой точности оценки по ГОСТ 11.010-81.

Таблица 4

Обозначение показателя	Выражение для расчета величин B_{1j} , B_{2j} , B_{3j}
$K_{п}$	$B_{1j} = C_{pj}(t) \frac{t_{выпj}}{T_{oj}} + C_j [P_3(V_{oj-1}; t_{oj-1}) - P_3(V_{oj}; t_{oj}) +$ $+ (1 - \alpha_j) K_{бpj}(t)] + C_{yj} [P_{1...nj}(t) - K_{бpj}(t)] + \sum_{i=j+1}^T (C_i - C_j) K_{vi,j}(t)$
$P_{1...n}$	$B_{2i} = \sum_{k=1}^n \sum_{\gamma=1}^{L_{\mu}} D_{\mu,\gamma}^k,$ <p>где $D_{\mu,\gamma}^k = (1 - P)_{\mu,\gamma} \sum_{i=1}^{A_{\mu,\gamma}} K_{п.д}(y_{vi}, E_k) \prod_{s=1}^{B_i} K_{п.д}(y_s, \gamma_{s+1})$,</p> <p>где $(1 - P)_{\mu,\gamma} = \beta_{\mu,\gamma} (1 - P_o)_{\mu,\gamma}$</p>

Обозначение показателя	Выражение для расчета величин B_{1j} , B_{2j} , B_{3j}
P_3	$B_{3j} = P_3(V_{oj-1}, t_{oj-1}) - P(V_{oj}, t_{oj})$

Примечания:

1. Наименования условных обозначений – по табл. 6.
2. Оценку коэффициентов передачи дефектов $K_{п.д}(Y_{vi}, E_k)$ и $K_{п.д}(Y_s, Y_{s+1})$ производят по ГОСТ 21.202-83.
3. Оценку вероятностей выполнения задания $P_3(V_{oj-1}, t_{oj-1})$ и $P_3(V_{oj}, t_{oj})$ производят по ГОСТ 27.204-83.

5. Симплификация структурной схемы ТС процесса

5.1. Симплификацию структурной схемы проводят путем разделения элементов на значимые и незначимые по критериям их влияния на надежность ТС процесса изготовления изделия в целом и исключения незначимых элементов, как указано в п. 5.2 и 5.3.

5.2. Определяют численные значения величин B_{1j} , B_{2j} или B_{3j} для $j = 1 \dots T$.

5.2.1. Для действующих ТС процессов значения $B_{1j} - B_{3j}$ определяют по выражениям в табл. 4 (в соответствии с выбранным для анализа показателем).

5.2.2. Для вновь проектируемых ТС процессов используют значения B_j , определяемые по п. 1.3.

5.2.3. При анализе надежности ТС по вероятности выполнения задания по параметрам изготавливаемой продукции $P_{1..n}$ дальнейшие работы проводят, как указано в п. 5.4 – 5.8.

5.3. Задаются требуемой точностью оценки ϵ и исключают незначимые элементы структурной схемы ТП по одному из условий, выбираемому по табл. 5.

5.4. При анализе надежности ТС по вероятности выполнения задания по параметрам изготавливаемой продукции $P_{1..n}$ составляют схему формирования k -го эксплуатационного параметра по структурной схеме ТС на основании физических представлений о функционировании изделия с использованием методов функциональной взаимозаменяемости, методов теории технологической наследственности, методов размерного анализа по ГОСТ 16320-80.

5.4.1. При составлении схемы формирования эксплуатационного параметра могут использоваться обозначения, принятые на рис. 3:

E_k - k -й эксплуатационный параметр;

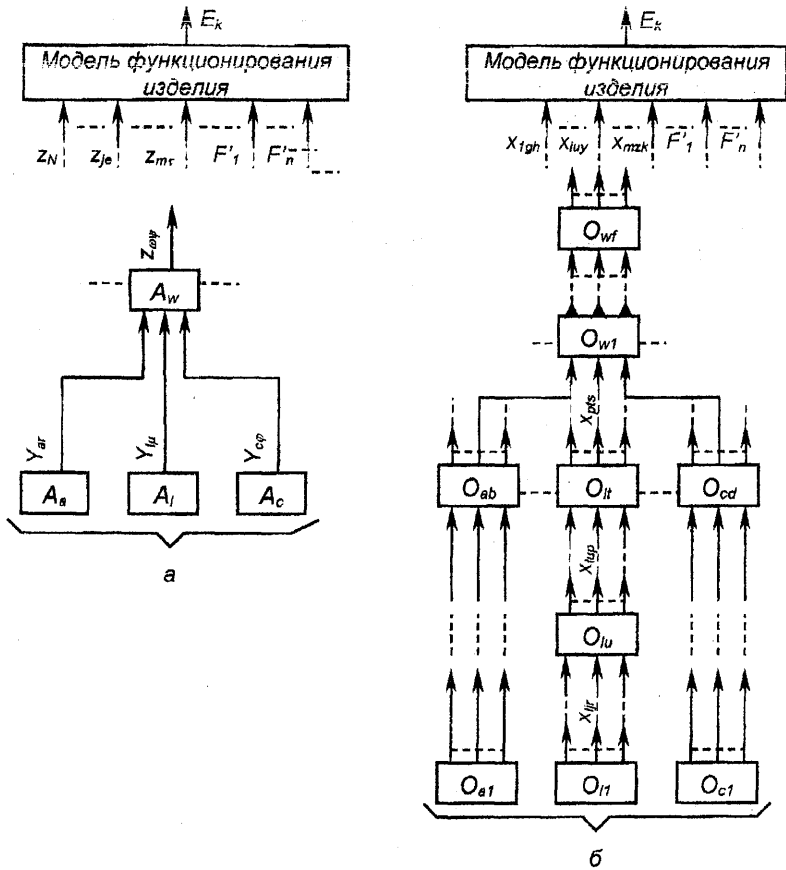


Рис. 3. Схема формирования k -го эксплуатационного параметра:
 а - на уровне деталей и сборочных единиц; б - на уровне операций:
 $F'_1 \dots F'_n$ - функциональные параметры, не зависящие от выполнения ТП;
 A_l - l -я деталь; $\gamma_{l\mu}$ - μ -й параметр l -й детали; $z_{\omega\phi}$ - ϕ -й параметр ω -й сборочной единицы; O_{lu} - u -я операция обработки l -й детали ($l = 1 \dots t$); X_{lpr} - r -й параметр u -й операции обработки i -й детали

5.4.2. В случае анализа надежности действующей ТС на уровне операций схему составляют путем детализации по значимым элементам схемы формирования рассматриваемого эксплуатационного параметра на уровне сборочных единиц и деталей.

5.5. Рассчитывают величины $D_{\mu, \gamma}^k$ по параметрам элементов, входящих в составленную схему, в соответствии с табл. 4.

5.6. Задаются требуемой точностью оценки ε (для проектируемых ТС) и исключают незначимые параметры элементов схемы формирования k -го эксплуатационного параметра изделия по одному из условий в табл. 5 в зависимости от области его применения.

Таблица 5

Номер условия	Условие значимости j -го элемента (параметра) схемы	Область применения
1	$\sum_{j=E-E_n+1}^E \frac{F_j}{F_{\Sigma 1}} \leq \varepsilon < \sum_{j=E-E_n}^E \frac{F_j}{F_{\Sigma 1}},$ <p>где E_n - количество элементов (параметров), для которых не выполняется данное условие</p> $\left\{ \begin{array}{l} E = N \\ F_j = B_j - \text{для структурной схемы ТС процесса;} \\ F_{\Sigma 1} = \sum_{r=1}^N B_r \\ E = \sum_{\mu=1}^N L_{\mu} \\ F_1 = D_1 - \text{для схемы формирования эксплуатационного параметра изделия;} \\ F_{\Sigma} = \sum_{\mu=1}^N \sum_{\gamma=1}^{L_{\mu}} D_{\mu,\gamma}, \end{array} \right.$ <p>где N - количество элементов схемы</p>	При анализе проектируемых ТС
2	$\frac{F_j}{F_{\Sigma 2}} \geq \frac{\varepsilon}{R}$ <p>где $\left\{ \begin{array}{l} R = m \\ F_{\Sigma 2} = \sum_{r=1}^m B_r - \text{для структурной схемы ТС процесса;} \end{array} \right.$</p>	При анализе действующих ТС на уровне ТС процессов изготовления сборочных единиц и деталей

Номер условия	Условие значимости j-го элемента (параметра) схемы	Область применения
	$R = \sum_{\mu=1}^m L_{\mu}$ $F_{\Sigma 2} = \sum_{\mu=1}^m \sum_{\gamma=1}^{L_{\mu}} D_{\mu,\gamma}$ <p>— для схемы формирования эксплуатационного параметра изделия,</p> <p>где m - количество элементов схемы</p>	
3	$\frac{F_j}{F_{\Sigma 1}} \geq \frac{\varepsilon}{E} \left(1 - \frac{R_n}{R} \right),$ <p>где R_n - количество элементов (параметров), для которых не выполняется условие</p>	При анализе действующих ТС на уровне операций

Примечание. Наименования условных обозначений – по табл. 6.

Таблица 6

Условные обозначения	Наименование условных обозначений
$C_{pj}(t)$	Стоимость ремонта средств технологического оснащения, используемых на j-й операции (ТП)
C_j	Расчетная себестоимость изделия на j-й операции (ТП)
C_{ji}	Средняя стоимость устранения дефекта на j-й операции (ТП)
$C_{ин}$	Расчетная себестоимость изготовления изделия по рассматриваемому ТП
T_{oj}	Среднее время восстановления работоспособного состояния j-й операции (ТП)
t_{oj}	Заданное время выполнения задания на j-й операции (ТП)
$V_{oi}(t)$	Объем задания по выпуску продукции на j-й операции (ТП)
$V_{НЧП}(t)$	Объем НЧП, заданный для календарного промежутка времени t
$\Pi_{з.п}(t)$	Потери, связанные с перерасходом заработной платы на выполнение рассматриваемого ТП
$\Pi_{м}(t)$	Потери, связанные с перерасходом материалов, используемых для выполнения рассматриваемого ТП

Условные обозначения	Наименование условных обозначений
$P_{к,и}(t)$	Потери, связанные с перерасходом покупных комплектующих изделий, используемых при производстве продукции по рассматриваемому ТП
$P_{в,р}(t)$	Потери, связанные с внеплановым ремонтом средств технологического оснащения, используемых для выполнения рассматриваемого ТП
n	Количество параметров качества продукции (эксплуатационных параметров), изготавливаемой по рассматриваемому ТП
V_{1j}, V_{2j}, V_{3j}	Соответственно, составляющие показателей $K_{п}, P_{1...n}, P_3$, характеризующие влияние отказов ТС операций (процессов) на надежность ТС процесса изготовления изделия в целом
$D_{\mu, \gamma}^k$	Составляющая показателя $P_{1...n}$, характеризующая влияние отказов по γ -му параметру μ -го элемента схемы формирования R-го эксплуатационного параметра изделия
D_j	Значение составляющей показателя $P_{1...n}$, характеризующей влияние отказов по j -му параметру
$P_{\mu, \gamma}$	Вероятность выполнения требований по γ -му параметру для μ -го элемента схемы
$P_{оц, \gamma}$	Вероятность выполнения требований по γ -му параметру для μ -го элемента схемы без учета контрольной операции
$A_{\mu, \gamma}$	Количество путей передачи дефекта по γ -му параметру на k -й эксплуатационный параметр изделия
i	Индекс пути передачи дефекта
b_i	Количество элементов в i -м пути передачи дефекта
$K_{п,д}(\gamma_{bi}, E_k)$	Коэффициент передачи дефекта от последнего элемента i -го пути на k -й эксплуатационный параметр
$K_{п,д}(\gamma_s, \gamma_{s+1})$	Коэффициент передачи дефекта от s -го на $(s + 1)$ элемент в i -м пути передачи дефекта
$\beta_{\mu, \gamma}$	Вероятность приемки продукции, дефектной по γ -му параметру (риск потребителя)
α_j	Вероятность забракования годной продукции на j -й операции (ТП) (риск поставщика)
$P_3(V_o, t_{oj})$	Вероятность выполнения задания по выпуску продукции объемом V_o за время t_o на j -й операции (ТП)
$K_{бп}(t)$	Коэффициент брака на j -й операции (ТП)
$K_{в}(t)$	Коэффициент возвратов с i -й на j -ю операцию (ТП)
L_{μ}	Количество параметров для μ -го элемента схемы

Условные обозначения	Наименование условных обозначений
n_1, n_2	Соответственно, общее число промежутков времени заданной продолжительности, на которых регистрировался объем выпуска продукции, и число этих промежутков, в которые задание выполнялось
T	Количество элементов схемы
$P_{1...n}$	Вероятность выполнения требований по эксплуатационным параметрам изделия при безотказном функционировании ТС процессов изготовления деталей и сборочных единиц по параметрам качества продукции

5.7. Повторяют п. 5.4 – 5.6 для каждого из оставшихся $(n - 1)$ эксплуатационных параметров и определяют величину B_{2j} в соответствии с табл. 4 для всех элементов структурной схемы ТС (по значимым параметрам элементов схем формирования эксплуатационных параметров).

5.8. Определяют значимые элементы структурной схемы ТС по условию

$$B_{2j} \neq 0. \quad (1)$$

6. Пример. Провести анализ надежности действующей ТС процесса изготовления тягового электродвигателя постоянного тока.

При изготовлении электродвигателя преобладают потери, обусловленные несоответствием параметра "номинальная частота вращения якоря" установленным требованиям на контрольных испытаниях.

Коэффициент возвратов электродвигателей после контрольных испытаний по указанному эксплуатационному параметру $K_v = 0,121$.

Схема формирования эксплуатационного параметра на уровне деталей и сборочных единиц приведена на рис. 4, а. Значения коэффициентов передачи дефектов указаны в скобках на линиях связи схемы.

6.1. Исходные данные для расчета надежности ТП приведены в табл. 7.

Требуемая точность оценки $\varepsilon = 0,1$.

6.2. Решение.

6.2.1. На основании исходных данных выбираем по табл. 1 показатель "вероятность выполнения задания ТС по параметрам изготавливаемой продукции $P_{1...n}$ ". В данном случае этот показатель представляет собой вероятность выполнения требований НГД по номинальной частоте вращения якоря.

$$P_1 = 1 - K_v = 1 - 0,121 = 0,879$$

6.2.2. Рассчитываем величины $D_{\mu, \gamma}^k$ по параметрам элементов.

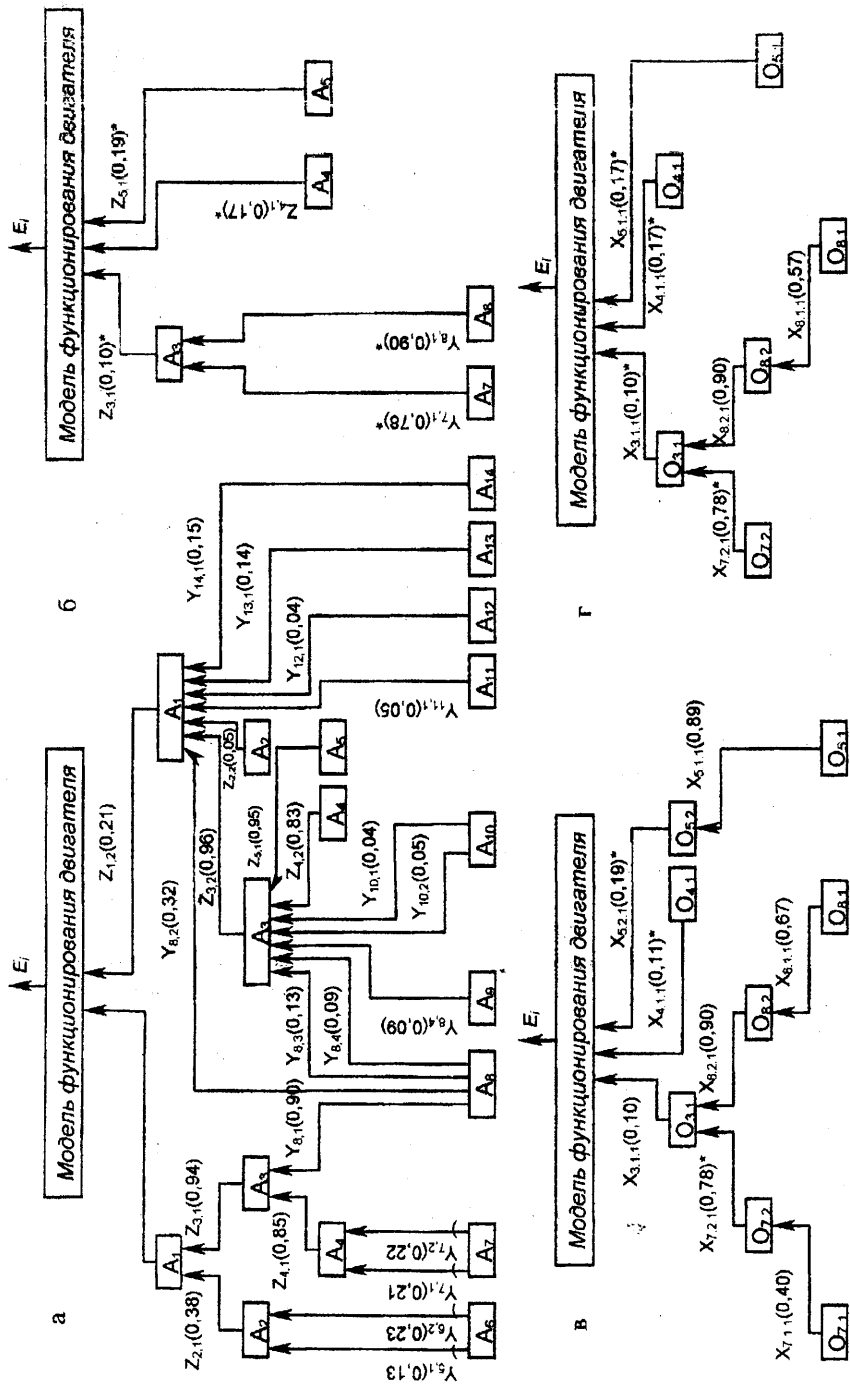


Рис. 4. Схема формирования эксплуатационного параметра двигателя:

а - на уровне сборочных единиц и деталей (до симплификации); б - на уровне сборочных единиц и деталей (после симплификации); в - на уровне операций (до симплификации); г - на уровне операций (после симплификации)

Таблица 7

Обозначение сборочной единицы (детали)	Наименование сборочной единицы (детали)	Обозначение параметра	Содержание параметра	Вероятность невыполнения требований $1-P_{\mu, \gamma}$	Составляющая показателя надежности $D_{\mu, \gamma}^k 10^4$	Значимость параметра	Значимость сборочной единицы (детали)
A ₁	Электро-двигатель	Z _{1,1}	Зазор между якорем и главными полюсами	0,003	3,30	-	-
		Z _{1,2}	Совмещение якоря относительно главных полюсов	0,001	2,10	-	
A ₂	Якорь	Z _{2,1}	Диаметр якоря	0,007	2,93	-	-
		Z _{2,2}	Длина пакета железа	0,007	0,88	-	
A ₃	Индуктор	Z _{3,1}	Диаметр индуктора по полюсам	0,136	140,62	+	+
		Z _{3,2}	Расстояние между торцами станины и полюса	0,001	2,02	-	
A ₄	Полюс главный	Z _{4,1}	Высота полюса	0,003	2,64	-	+
		Z _{4,2}	Расстояние от оси резьбового отверстия до торца полюса	0,113	189,08	+	
A ₅	Пакет железа полюса	Z _{5,1}	Длина пакета	0,101	193,44	+	+
A ₆	Лист якорный	Y _{6,1}	Смещение отверстия от номинального положения	0,016	0,87	-	-
		Y _{6,2}	Диаметр листа	0,014	1,35	-	

Продолжение табл. 7

Обозначение сборочной единицы (детали)	Наименование сборочной единицы (детали)	Обозначение параметра	Содержание параметра	Вероятность невыполнения требований $1-P_{ц,γ}$	Составляющая показателя надежности $D_{ц,γ}^k \cdot 10^4$	Значимость параметра	Значимость сборочной единицы (детали)
A ₇	Лист полюсный	Y _{7,1}	Высота листа	0,015	2,77	-	+
		Y _{7,2}	Смещение окна от номинального положения	0,124	100,26	+	
A ₈	Станина	Y _{8,1}	Диаметр отверстия под полюса	0,145	134,94	+	+
		Y _{8,2}	Расстояние от оси отверстия под болт до торца	0,004	2,69	-	
		Y _{8,3}	Диаметр отверстия под болт	0,007	1,81	-	
		Y _{8,4}	Расстояние между отверстиями под болты	0,008	1,45	-	
A ₉	Болт	Y _{9,1}	Перепад среднего диаметра резьбы и диаметра ножки	0,008	1,61	-	-
A ₁₀	Стержень	Y _{10,1}	Диаметр резьбового отверстия	0,015	1,51	-	-
		Y _{10,2}	Расстояние между резьбовыми отверстиями	0,006	0,48	-	
A ₁₁	Обмоткодержатель	Y _{11,1}	Высота тумбы	0,007	0,74	-	-
A ₁₂	Вал	Y _{12,1}	Расстояние от торца бурга до подшипникового торца	0,016	1,34	-	-

Обозначение сборочной единицы (детали)	Наименование сборочной единицы (детали)	Обозначение параметра	Содержание параметра	Вероятность невыполнения требований $1-P_{\mu,\gamma}$	Составляющая показателя надежности $D_{\mu,\gamma}^k \cdot 10^4$	Значимость параметра	Значимость сборочной единицы (детали)
A ₁₃	Щит	Y _{13,1}	Высота от торца фланца до торца тумбы	0,006	1,76	-	-
A ₁₄	Крышка	Y _{14,1}	Высота замка	0,007	2,21	-	-

6.2.3. Выбираем по табл. 5 условие 2 для оценки значимости параметров элементов схемы (для случая анализа действующей ТС на уровне ТС изготовленной сборочных единиц и деталей)

$$\frac{F_1}{F_{\Sigma 2}} \geq \frac{\varepsilon}{R},$$

$$\text{где } F_j = D_j; F_{\Sigma 2} = \sum_{\mu=1}^m \sum_{\gamma=1}^{L_{\mu}} D_{\mu,\gamma}^k; R = \sum_{\mu=1}^m L_{\mu}$$

Результаты проверки указанного условия сведены в табл. 7

6.2.3.1. Исключаем 19 параметров (отмеченных в табл. 7 знаком "-"), для которых данное условие не выполняется.

6.2.4. Проводим симплификацию схемы формирования эксплуатационного параметра на уровне сборочных единиц и деталей (см. рис. 4, б), исключая из дальнейшего рассмотрения 9 элементов (отмеченных в табл. 7 знаком "-"), все параметры которых незначимы.

На схемах формирования эксплуатационного параметра после первой симплификации (рис. 4, б – 4, г) символом* отмечены величины обобщенных $K_{п.д}$, являющихся произведением коэффициентов передачи дефектов от рассматриваемого параметра до ближайшего значимого элемента по исключенному участку пути передачи дефекта. Например,

$$K_{п.д}^*(Y_{7,2}, A_7; Z_{3,1}, A_3) = K_{п.д}(Y_{7,2}, A_7; Z_{4,1}, A_4) \times K_{п.д}(Y_{4,1}, A_4; Z_{3,1}, A_3) = 0,92 \cdot 0,85 \approx 0,78.$$

6.2.5. Детализируем схему до уровня операций (рис. 4, в) и рассчитываем величины $D_{\mu,\gamma}^k$ по параметрам элементов детализированной схемы по соответствующему выражению табл. 4.

Исходные данные и результаты расчетов приведены в табл. 8.

Таблица 8

Обозначение операции	Наименование операции	Обозначение параметра	Содержание параметра	Вероятность невыполнения требований $1-P_{\mu, \gamma}$	Составляющая показателя надежности $D_{\mu, \gamma}^k \cdot 10^4$	Значимость операции
O _{3,1}	Сборочная	X _{3,1,1}	Диаметр индуктора по полюсам	0,136	140,62	+
O _{4,1}	Сборочная	X _{4,1,1}	Расстояние от оси резьбового отверстия до торца полюса	0,113	189,08	+
O _{5,1}	Сборочная	X _{5,1,1}	Длина неопрессованного пакета	0,102	172,48	+
O _{5,2}	Прессовая	X _{5,2,1}	Длина пакета железа полюса	0,009	17,10	-
O _{7,1}	Штамповочная (вырубка окна)	X _{7,1,1}	Высота окна листа	0,058	10,10	-
O _{7,2}	Штамповочная (вырубка контура)	X _{7,2,1}	Смещение окна от номинального положения	0,099	77,22	+
O _{8,1,1}	Токарно-карусельная	X _{8,1,1}	Диаметр отверстия под полюса после черного растачивания	0,083	50,05	+
O _{8,2}	Токарно-карусельная	X _{8,2,1}	Диаметр отверстия под полюса в станне	0,089	80,10	+

6.2.6. Выбираем по табл. 5 условие 3 для оценки значимости параметров элементов схемы (для случая анализа действующих ТС на уровне операций)

$$\frac{F_1}{F_{\Sigma 1}} \geq \frac{\varepsilon}{E} \left(1 - \frac{R_H}{R} \right),$$

$$\text{где } F_j = D_j; F_{\Sigma 1} = \sum_{\mu=1}^N \sum_{\gamma=1}^{L_{\mu}} D_{\mu,\gamma}^k; E = \sum_{\mu=1}^N L_{\mu}; R = \sum_{\mu=1}^m L_{\mu}.$$

Результаты проверки указанного условия сведены в табл. 8.

6.2.6.1. Исключаем параметры, для которых данное условие не выполняется: $X_{5,2,2}$ и $X_{7,1,1}$.

6.2.7. Проводим симплификацию схемы формирования эксплуатационного параметра на уровне операций (рис. 4, г), исключая из дальнейшего рассмотрения две операции (отмеченные в табл. 8 знаком "-"), параметры которых незначимы.

6.2.8. Определяем значимые ТС операции по условию (1).

По данному условию значимыми являются ТС операций, для которых величины $D_{\mu,\gamma}^k$ отличаются от нуля, то есть ТС операций, оставшихся в схеме формирования эксплуатационного параметра после последней симплификации:

- $O_{3,1}$ – сборка индуктора;
- $O_{4,1}$ – запрессовка стержня в полюс;
- $O_{5,1}$ – сборка пакета железа полюса;
- $O_{7,2}$ – штамповка контура полюсного листа;
- $O_{8,1}$ – черновое растачивание станины;
- $O_{8,2}$ – чистовое растачивание станины.

6.2.9. Анализируем влияние значимых ТС операций на надежность ТО процесса изготовления изделия в целом.

В соответствии с результатами оценки значимости элементов структурной схемы необходимо разработать мероприятия по повышению надежности ТС операций, указанных в п. 6.2.8. При этом, в первую очередь, целесообразно по-

вышать надежность ТС операций, для которых величина $\sum_{\gamma=1}^{L_{\mu}} D_{\mu,\gamma}^k$ (определяю-

щая степень влияния ТС процесса изготовления изделия в целом) имеет наибольшее значение ТС (операции $O_{4,1}$; $O_{5,1}$; $O_{3,1}$ в табл. 8).

Анализ величин $D_{\mu,\gamma}^k$ по табл. 8 показывает, что в случае бездефектного изготовления продукции на операциях $O_{4,1}$; $O_{5,1}$; $O_{3,1}$ вероятность выполнения требований по номинальной частоте вращения якоря может быть повышена до 0,950.

Министерство образования Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
"Кузбасский государственный технический университет"

В.А. Полетаев

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Учебное пособие

"Допущено Учебно-методическим объединением вузов по образованию в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ) в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров "Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств" и специальностям: "Технология машиностроения", "Металлообрабатывающие станки и комплексы", "Инструментальные системы машиностроительных производств" (направление подготовки дипломированных специалистов – "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств"); "Автоматизация технологических процессов и производств (в машиностроении)" (направление подготовки дипломированных специалистов – "Автоматизированные технологии и производства")"

Кемерово 2004

УДК 621.9.06-52:658.527:681.306

Рецензенты: кафедра автоматизации производственных процессов и АСУ Кемеровского технологического института пищевой промышленности; проректор по учебной работе Российского государственного торгово-экономического университета, Кемеровский филиал (институт), канд. техн. наук С.А. Муравьев.

Полетаев В.А. Проектирование технологических процессов машиностроительного производства: Учеб. пособие. – 2-е изд./ ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2004. – 177 с.

ISBN 5-89070-400-1

В учебном пособии изложены особенности проектирования технологических процессов в условиях автоматизированного производства. Рассмотрены виды технологических процессов, методы проектирования процессов, исходные данные для проектирования. Приведены вопросы отработки конструкции изделия на технологичность и выбора заготовки и метод ее изготовления. Подробно рассмотрены методы структурного проектирования технологических процессов и отработки на надежность технологических систем.

Учебное пособие предназначено для студентов направления подготовки 552900 "Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств".

Печатается по решению редакционно-издательского совета ГУ КузГТУ.

УДК 621.9.06-52:658.527:681.306

© ГУ КузГТУ, 2004

ISBN 5-89070-400-1

© Полетаев В.А., 2004

Вадим Алексеевич Полетаев

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Учебное пособие

Редактор З.М.Савина

Подписано в печать 01.07.04 г.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе.

Уч.-изд. л. 10,00. Тираж 89 экз. Заказ

ГУ КузГТУ

650026, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Типография ГУ КузГТУ

650099, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ВИДЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....	5
2. МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТП.....	6
3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТП.....	10
3.1. Служебное назначение изделия и технические требования.....	10
3.2. Соответствие технических требований и норм точности служебному назначению машины.....	12
4. ОБРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЯ НА ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ.....	13
4.1. Общие положения.....	13
4.2. Задачи при отработке конструкции изделия на технологичность.....	14
4.3. Классификация и состав показателей технологичности конструкции изделия.....	17
4.4. Определение основных показателей технологичности конструкции изделия.....	21
4.5. Определение дополнительных показателей технологичности конструкции изделия.....	23
4.6. Определение комплексных показателей технологичности конструкции изделия.....	32
4.7. Определение базовых показателей технологичности конструкции изделия.....	34
4.8. Определение уровня технологичности конструкции изделия.....	37
5. ВЫБОР ЗАГОТОВКИ И МЕТОДОВ ЕЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ.....	43
5.1. Методика выбора.....	43
5.2. Технико-экономическое обоснование метода получения заготовки.....	45
5.3. Виды заготовок.....	52
6. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТП.....	63
7. СТРУКТУРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА [3].....	66
7.1. Общие положения.....	66
7.2. Структуризация процесса проектирования.....	67
7.3. Методика структурного проектирования технологических процессов механической обработки.....	76
8. ОБРАБОТКА НА НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРОЦЕССОВ И ОПЕРАЦИЙ.....	98
8.1. Отработка на надежность вновь проектируемых технологических систем процессов.....	99
8.2. Отработка на надежность действующих технологических систем процессов.....	101
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	103
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....	104
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	108

ПРИЛОЖЕНИЕ 3.....	116
ПРИЛОЖЕНИЕ 4.....	119
ПРИЛОЖЕНИЕ 5.....	131