

Министерство образования Российской Федерации  
Южно-Уральский государственный университет  
Кафедра «Автоматизация механосборочного производства»

621(07)  
Т266

**М.М. Тверской, Л.Л. Зайончик, Ю.Н. Свиридов**

# **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Учебное пособие к курсовому проекту

Челябинск  
Издательство ЮУрГУ  
2003

УДК 621.002.2(075.8)

Тверской М.М., Зайончик Л.Л., Свиридов Ю.Н. Технологические процессы машиностроительного производства: Учебное пособие к курсовому проекту. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2003. – 130 с.

Изложены основные сведения и приведены справочные данные, необходимые для выполнения курсовых проектов, связанных с разработкой индивидуальных технологических процессов изготовления деталей машин различного назначения. Предназначено для студентов специальности 210200 – «Автоматизация технологических процессов и производств (машиностроение)». Может использоваться студентами специальностей 121100 – «Гидравлические машины, гидропривод и гидропневмоавтоматика», 130100 – «Самолето- и вертолетостроение», 130200 – «Авиационные двигатели и двигательные установки», 130400 – «Ракетные двигатели», 130600 – «Ракетостроение», 131300 – «Стартовые и технические комплексы ракет и космических аппаратов», 170900 – «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование».

Ил. 18, табл. 76, список лит. – 16 назв.

Одобрено учебно-методической комиссией  
механико-технологического факультета.

Рецензенты: Р.Х. Юсупов, В.Н. Андрианов.

© Издательство ЮУрГУ, 2003.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>1. Организация курсового проектирования и содержание курсового проекта</b> . . . . .	4
<b>2. Функциональное назначение и техническая характеристика детали</b>	
2.1. Назначение и характеристика изделия . . . . .	5
2.2. Функциональное назначение детали и ее отдельных поверхностей . . . . .	7
2.3. Условия функционирования детали в изделии. . . . .	9
2.4. Анализ технологичности детали . . . . .	10
2.5. Обоснование требований к точности размеров, формы, взаимного расположения и шероховатости поверхностей детали. . . . .	12
<b>3. Проектирование технологического процесса изготовления детали</b>	
3.1. Преобразование чертежа детали и построение схем конструкторских размерных связей . . . . .	15
3.2. Анализ действующего технологического процесса. . . . .	21
3.3. Выбор способа получения заготовки и разработка ее формы. . . . .	21
3.4. Выбор методов обработки и последовательности технологических переходов для обработки отдельных поверхностей . . . . .	23
3.5. Разработка маршрутной технологии . . . . .	23
3.6. Разработка операционной технологии. . . . .	24
<b>4. Размерный анализ проектируемого технологического процесса</b>	
4.1. Построение схем конструкторско-технологических размерных связей . . . . .	27
4.2. Запись маршрутов и уравнений размерных цепей. . . . .	30
4.3. Определение порядка решения уравнений. . . . .	31
4.4. Проверка наличия запасов по допуску замыкающего звена. . . . .	32
4.5. Определение операционных размеров . . . . .	33
4.6. Анализ результатов и заключение о качестве технологического процесса. . . . .	36
<b>5. Разработка управляющей программы для станка с ЧПУ</b>	
5.1. Основные сведения о станке и устройстве ЧПУ . . . . .	37
5.2. Проектирование операции, выполняемой на станке с ЧПУ . . . . .	37
5.3. Расчет параметров режима резания. . . . .	39
5.4. Разработка текста управляющей программы . . . . .	43
<b>6. Методика расчета размерных цепей</b>	
6.1. Понятие о размерной цепи . . . . .	45
6.2. Числовые характеристики регламентированных размеров. . . . .	49
6.3. Числовые характеристики точности действительных размеров. . . . .	51
6.4. Задачи расчета размерных цепей. . . . .	54
6.5. Методы расчета размерных цепей. . . . .	56
6.6. Способы расчета размерных цепей . . . . .	59
6.7. Понятие о запасах и дефицитах . . . . .	61
6.8. Округление расчетных номинальных размеров определяемых звеньев . . . . .	63
6.9. Алгоритмы расчета размерных цепей. . . . .	65
<b>Библиографический список</b> . . . . .	69
<b>Приложения</b> . . . . .	70

## **1. ОРГАНИЗАЦИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА**

В соответствии с учебным планом специальности 210200 – «Автоматизация технологических процессов и производств (машиностроение)» при изучении дисциплины «Технологические процессы и производства» предусмотрен курсовой проект, выполняемый по материалам производственной практики, которую студенты проходят на машиностроительных предприятиях.

В течение первых 3–7 дней практики руководитель практики от университета формулирует индивидуальное задание для каждого студента, связанное с изучением технологического процесса изготовления конкретной детали средней сложности в условиях действующего производства. Форма детали может быть любой: диск, вал, корпус. Технологический процесс должен содержать 6–8 разнообразных операций механической обработки, каждая из которых содержит 2–4 технологических перехода. Студент во время практики собирает материалы, включающие конструкторскую и технологическую документацию, выполняет размерный анализ действующего технологического процесса, выявляет его недостатки, а при выполнении курсового проекта принимает его в качестве базового, предлагая более совершенный вариант.

В курсовом проекте студент выполняет анализ функционального назначения изделия, детали и ее отдельных поверхностей, выполняет анализ технологичности детали, обосновывает требования к точности размеров, формы, взаимного расположения и шероховатости ее поверхностей, проектирует технологический процесс изготовления детали, выполняет размерный анализ проектируемого технологического процесса и разрабатывает управляющую программу для станка с ЧПУ. Содержание курсового проекта приведено в приложении 3.

В учебных планах специальностей 130100 – «Самолето- и вертолетостроение», 130200 – «Авиационные двигатели и двигательные установки», 130400 – «Ракетные двигатели», 130600 – «Ракетостроение», 131300 – «Стартовые и технические комплексы ракет и космических аппаратов», 170900 – «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» также предусмотрено изучение технологического процесса изготовления детали во время производственной практики. В курсовом проекте студент выполняет анализ функционального назначения изделия и детали, выполняет анализ технологичности детали, обосновывает требования к точности размеров, формы, взаимного расположения и шероховатости ее поверхностей, проектирует технологический процесс изготовления детали, выполняет размерный анализ проектируемого технологического процесса, разрабатывает управляющую программу для станка с ЧПУ и проектирует станочное или контрольное приспособление.

В учебном плане специальности 121100 – «Гидравлические машины, гидропривод и гидропневмоавтоматика», изучение технологического процесса изготовления детали во время производственной практики не предусмотрено. Для выполнения курсовой работы по дисциплине «Технология машиностроения» руководитель утверждает чертеж детали гидропневмопривода или гидропневмоаппарату-

ры. В курсовой работе студент выполняет анализ функционального назначения изделия и детали, выполняет анализ технологичности детали, обосновывает требования к точности размеров, формы, взаимного расположения и шероховатости ее поверхностей, проектирует технологический процесс изготовления детали и выполняет размерный анализ проектируемого технологического процесса.

Для консультаций и руководства работой студентов над курсовым проектом от кафедры назначается руководитель проекта, который выдает студенту задание на курсовой проект. Форма задания приведена в приложении 1. При выдаче задания руководитель проекта составляет расписание консультаций и график выполнения проекта.

Студент представляет выполненный курсовой проект руководителю в виде пояснительной записки и листов графической части. Записка должна содержать титульный лист (приложение 2), задание (см. приложение 1), аннотацию, содержание, введение, основную часть, заключение и список использованной литературы (см. приложение 3). Оформление записки должно соответствовать действующему стандарту вуза. Графическую часть рекомендуется выполнять с использованием средств компьютерной графики. Рабочий чертеж детали необходимо оформлять в соответствии с действующими стандартами ЕСКД и вуза.

## 2. ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ НАЗНАЧЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДЕТАЛИ

### 2.1. Назначение и характеристика изделия

При описании функционального назначения изделия используют сборочный чертеж изделия или отдельной его части (сборочной единицы). Контуры рассматриваемой детали на нем обводят линиями красного цвета. Чертеж помещают в приложение к пояснительной записке. В записке приводят назначение изделия (сборочной единицы) и основные технические характеристики (точность, мощность, производительность, габаритные размеры и т.п.).

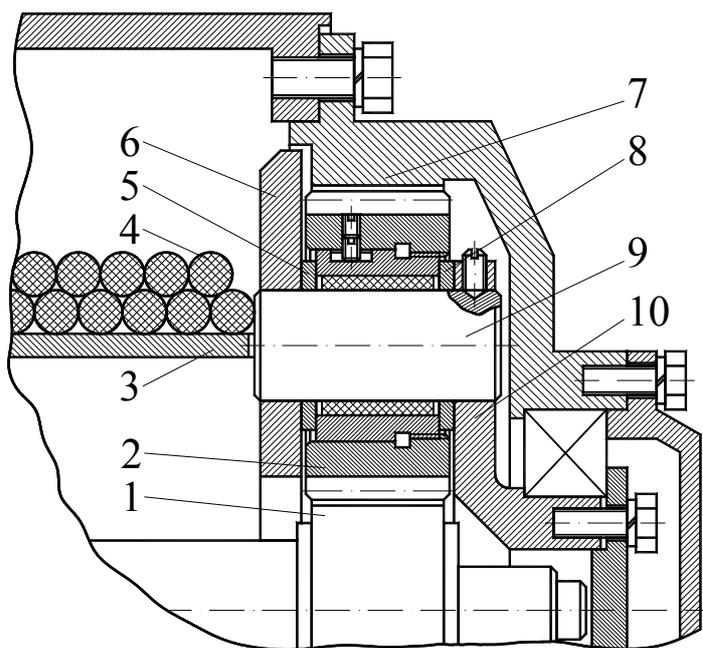


Рис. 2.1

риваемой детали на нем обводят линиями красного цвета. Чертеж помещают в приложение к пояснительной записке. В записке приводят назначение изделия (сборочной единицы) и основные технические характеристики (точность, мощность, производительность, габаритные размеры и т.п.).

В качестве примера рассмотрим изделие – лебедку. Лебедка (рис. 2.1) предназначена для механизации строительно-монтажных работ, выполняемых на открытом воздухе при различных погодных и климатических усло-

виях с колебанием температуры воздуха от  $-40$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ , и обеспечивает подъем груза массой 3 т на высоту 10 м. Основной сборочной единицей является барабан 3, предназначенный для намотки троса 4. Вращательное движение барабана осуществляется с использованием зубчатой планетарной передачи. Крутящий момент от ведущего вала с солнечным колесом 1 через шестерни-сателлиты 2 при неподвижном эпициклическом колесе 7 передается водилу 10, соединенному через оси 9 сателлитов с фланцем 6 барабана. Для уменьшения сил трения при работе в условиях ограниченной смазки сателлиты установлены на быстросменных подшипниках скольжения.

В качестве объекта для разработки технологического процесса задана деталь втулка промежуточная 3, входящая в состав сателлита (рис. 2.2). Сателлит включает также шестерню 1, втулку антифрикционную 4 и два винта стопорных 2. Сборку сателлита выполняют в следующей последовательности. Втулку антифрикционную 4, изготовленную из специального композиционного материала, клеивают в центральное отверстие втулки промежуточной 3 с использованием полимеризующейся клеевой смеси.

Затем втулку промежуточную свинчивают с шестерней 1 по резьбе  $M64 \times 2-6d$  с помощью специального ключа (рис. 2.3), имеющего на своем торце два штифта, вставляемых в соответствующие отверстия

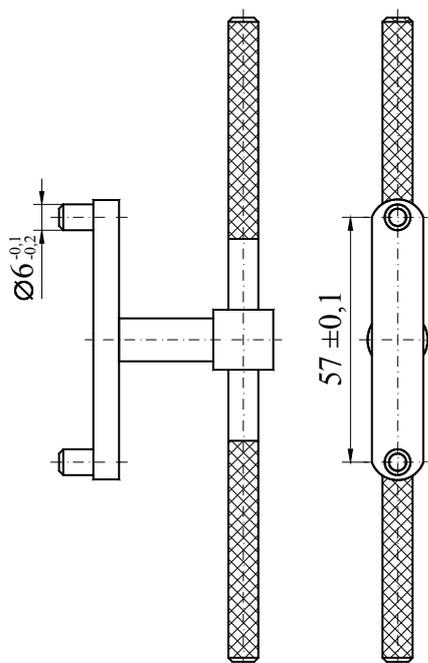


Рис. 2.3

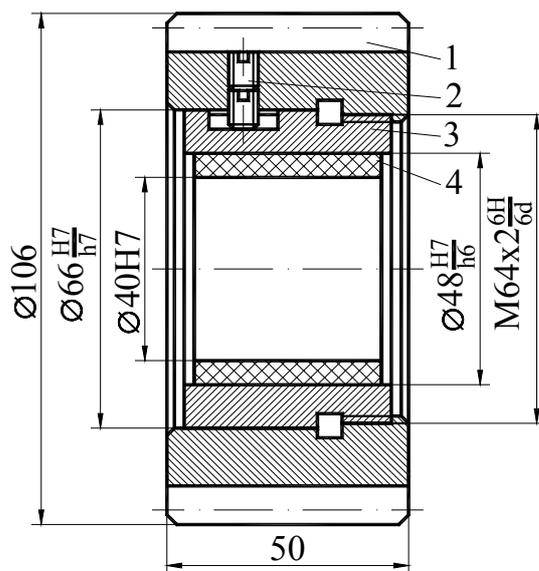


Рис. 2.2

$\varnothing 6H9$  втулки (рабочий чертеж втулки промежуточной показан на рис. 2.4). Свинчивание производят до получения симметричного выступания торцов шестерни относительно торцов втулки (см. рис. 2.2). После этого доворачивают втулку до совпадения оси резьбового отверстия в шестерне 1, предназначенного для винтов стопорных 2, с плоскостью симметрии паза втулки. Поворот осуществляют в том направлении, которое в наименьшей степени нарушает симметричное выступание торцов. Достигнутое положение деталей фиксируют одним из двух винтов стопорных 2 и законтривают его другим винтом.

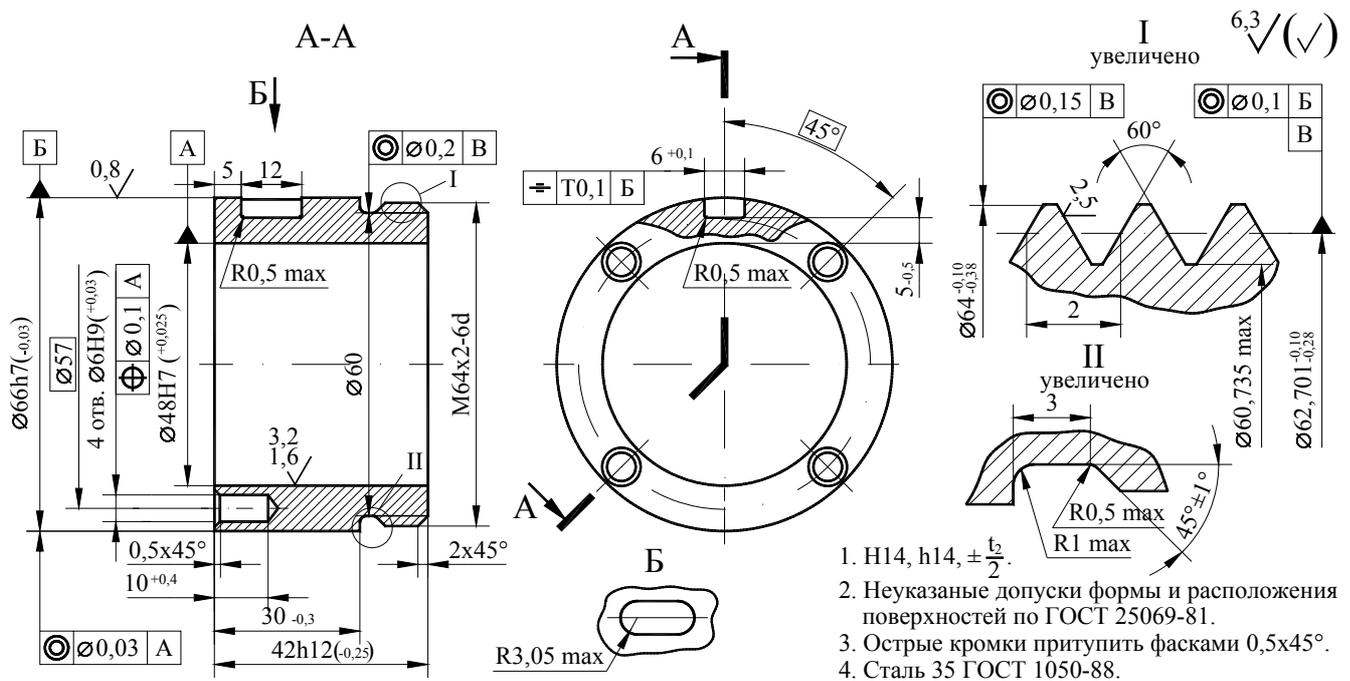


Рис. 2.4

## 2.2. Функциональное назначение детали и ее отдельных поверхностей

Функциональное назначение детали формулируют на основе анализа функций, выполняемых деталью в изделии. Например, валы и муфты передают крутящий момент, зубчатые колеса передают крутящий момент и обеспечивают требуемую кинематическую точность передачи, кулачки обеспечивают требуемый закон движения исполнительных устройств, корпусные детали служат для размещения и базирования сборочных единиц и других деталей.

При анализе функций, выполняемых деталью, необходимо определить функции ее поверхностей. Среди поверхностей детали целесообразно выделить важнейшие: исполнительные поверхности, конструкторские базы (основные и вспомогательные), свободные поверхности.

К исполнительным относят поверхности, при помощи которых деталь выполняет свои важнейшие функции. К этим поверхностям относят зубчатые поверхности шестерен, резьбовые поверхности крепежных деталей, фасонные поверхности кулачков и копиров, рабочие поверхности лопастей турбин и гребных винтов и др.

К основным конструкторским базам относят поверхности данной детали или сборочной единицы, определяющие положение этой детали или сборочной единицы в изделии. Термины и определения по базам и базированию в машиностроении в соответствии с ГОСТ 21495-76 приведены в приложении 4.

К вспомогательным конструкторским базам относят поверхности данной детали или сборочной единицы, определяющие положения присоединяемого к ним изделия (сборочной единицы или детали).

К свободным относят поверхности, не соприкасающиеся с поверхностями других деталей и не являющиеся исполнительными.

Наличие всех указанных видов поверхностей у одной детали не является обязательным.

Деталь – втулка промежуточная в сборочной единице (сателлит) предназначена для обеспечения точности базирования шестерни относительно наружной цилиндрической поверхности втулки антифрикционной, а, следовательно, и относительно цилиндрической поверхности оси 9 сателлита (см. рис. 2.1). При износе втулки антифрикционной в процессе эксплуатации лебедки рассматриваемая конструкция сборочной единицы позволяет осуществить замену втулки промежуточной в сборе с втулкой антифрикционной с наименьшими затратами времени. Поэтому важнейшие поверхности втулки промежуточной являются конструкторскими базами.

Внутренняя цилиндрическая поверхность  $\varnothing 48H7$  используется для базирования втулки промежуточной относительно наружной цилиндрической поверхности втулки антифрикционной. Эта поверхность является основной конструкторской базой. Торцовая поверхность втулки промежуточной со стороны резьбы контактирует с поверхностью регулировочного кольца 8, толщина которого подбирается при сборке из условия обеспечения гарантированного зазора. Следовательно, торцовую поверхность втулки промежуточной со стороны паза можно считать основной конструкторской базой, а торцовую поверхность со стороны резьбы – свободной поверхностью. В процессе работы планетарной передачи возникает неопределенность осевого положения втулки промежуточной в пределах величины фактического осевого зазора.

При сборке втулки промежуточной с шестерней поверхность  $\varnothing 66h7$  сопрягается с поверхностью отверстия  $\varnothing 66H7$  и обеспечивает требуемое расположение зубчатой поверхности шестерни при зацеплении с солнечным и эпициклическим зубчатыми колесами в радиальном направлении. Поверхность  $\varnothing 66h7$  является вспомогательной конструкторской базой. Для относительного осевого перемещения втулки промежуточной и шестерни при сборке и фиксации их взаимного осевого положения используется резьбовое соединение  $M64 \times 2 \frac{6H}{6d}$ . Резьба на втулке промежуточной является исполнительной поверхностью. Осевое перемещение производят до совпадения плоскостей симметрии торцов шестерни и торцов втулки промежуточной. Следовательно, указанная плоскость симметрии у втулки промежуточной является вспомогательной конструкторской базой. Плоскость симметрии боковых поверхностей паза под стопорные винты также является вспомогательной конструкторской базой.

Четыре отверстия  $\varnothing 6H9$  на торце втулки промежуточной служат для вращения втулки промежуточной с использованием специального ключа (см. рис. 2.3) при ее свинчивании с шестерней.

При наличии у детали резьб необходимо сделать подробное их описание. Обозначения метрических резьб приведены в справочной литературе [3, с.160, с.205]. Описание необходимо выполнять в следующей последовательности:

1) уточнить посадку резьбового соединения на сборочном чертеже, оценить точность соединения по степени точности (для метрических резьб: ГОСТ 16093-

81 – посадки с зазором, ГОСТ 24834-81 – переходные посадки, ГОСТ 4608-81 – посадки с натягом).

2) уточнить длину свинчивания (табл. 4.27 [3, с.175]); если длина отличается от нормальной, то значение длины должно быть отражено в обозначении в соответствии с ГОСТ 16093-81 (табл. 4.28 [3, с.177]).

Изобразить профиль продольного сечения резьбы. На профиле наружной и внутренней резьб указывают номинальный средний диаметр  $d_2$  или  $D_2$  (табл. 4.24 [3, с.170]) и предельные отклонения в соответствии с принятым полем допуска (табл. 4.29 [3, с.179]), номинальные диаметры  $d$ ,  $D$ ,  $d_1$ ,  $D_1$  и допуски на них, а также шаг  $P$  и угол профиля  $\alpha$  (см. рис. 2.4).

В соответствии с ГОСТ 16093-81 форма впадины резьбы гайки не регламентирована. Для обеспечения требуемого качества резьбового соединения необходимо обеспечить прямолинейный профиль боковых поверхностей не менее чем до значения номинального наружного диаметра  $D$ . Для резьбовых посадок с зазором допуск на диаметр гайки  $D$  не устанавливается. Его минимально-допустимое значение равно номинальному значению, увеличенному на величину основного отклонения среднего диаметра  $D_2$ .

Форма впадины резьбы болта может выполняться как закругленной, так и плоскосрезанной. Для повышения циклической прочности и упрощения технологии изготовления предпочтительной является закругленная форма. Для резьбовых посадок с зазором допуск на внутренний диаметр болта  $d_1$  не устанавливается. Его максимально допустимое значение равно номинальному значению, уменьшенному на величину основного отклонения среднего диаметра  $d_2$ .

Деталь – втулка промежуточная имеет резьбу М64×2-6d (см. рис. 2.4). Это резьба метрическая с углом профиля  $\alpha = 60^\circ$ , диаметром  $d = 64$  мм, с мелким шагом  $P = 2$  мм. Поле допуска 6d соответствует допуску по 6-й степени точности и основному отклонению  $d$ , равному  $-0,10$  мм. Допуск на наружный диаметр  $d$  равен  $0,28$  мм. Величина наружного диаметра с предельными отклонениями составляет  $\varnothing 64_{-0,38}^{-0,10}$ . Номинальный средний диаметр  $d_2$  равен  $62,701$ , допуск  $-0,18$  мм. Величина среднего диаметра с предельными отклонениями составляет  $\varnothing 62,701_{-0,28}^{-0,10}$ . Номинальный внутренний диаметр  $d_1$  равен  $60,835$  мм. Следовательно, его максимально допустимое значение составляет  $d_{1\max} = 60,835 - 0,10 = 60,735$  мм. Величина длины свинчивания нормальная, находится в пределах 32–95 мм.

### 2.3. Условия функционирования детали в изделии

Конструкция и технические требования, предъявляемые к детали, существенно зависят от условий ее функционирования. В пояснительной записке необходимо привести наиболее значимые факторы, определяющие работоспособность детали:

температурный режим, давление, динамические нагрузки, скорость относительно движения, условия смазки и т.п.

Рассматриваемая деталь втулка промежуточная работает под действием знакопеременных динамических нагрузок при относительно невысоких угловых скоростях. Температурный режим характеризуется широким диапазоном температур от  $-40$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ , так как лебедка, в которую входит планетарная передача (см. рис. 2.1), эксплуатируется круглый год на открытом воздухе.

#### 2.4. Анализ технологичности детали

В соответствии с ГОСТ 14.205-83 технологичность конструкции изделия рассматривается как совокупность свойств изделия, определяющих его приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, эксплуатации и ремонте. Следовательно, конструкция детали должна обеспечивать применение наиболее рациональных и экономичных методов изготовления и ремонта [9]. Конфигурация детали должна представлять собой сочетание простых геометрических форм, обеспечивающих надежное базирование заготовки в процессе обработки и дающих возможность применения высокопроизводительных методов изготовления.

Технологичность конструкции детали зависит от рационального выбора материала. Выбор материала определяют многочисленные факторы: эксплуатационные требования, способ получения заготовки, обрабатываемость материала на операциях механической обработки, требования экономичности (использование дешевого и недефицитного материала).

Эксплуатационные требования определяют такие свойства материала, как механическая прочность, износостойкость, коррозионная стойкость, усталостная прочность, необходимость термообработки.

На выбор материала влияет способ получения заготовки. Свойства материала определяют возможность применения литья, пластической деформации, сварки. Низкая жидкотекучесть и высокая склонность материала к усадке исключают применение литья в кокиль или литья под давлением. Сплавы, склонные к ликвации, ограничивают применение центробежного литья или литья под давлением. Для материалов, подлежащих обработке давлением, важной характеристикой является пластичность.

Обрабатываемость материала, и, в частности, обрабатываемость резанием определяется коэффициентом обрабатываемости данного материала быстрорежущим или твердосплавным резцом по отношению к эталонному материалу по формуле [10]

$$k_v = \frac{v_{60}}{v_{эм\ 60}},$$

где  $v_{60}$  – скорость резания при 60-минутной стойкости и определенных условиях резания рассматриваемого материала;  $v_{эм\ 60}$  – скорость резания при 60-минутной стойкости резцов из эталонного материала.

В приложении 5 приведены коэффициенты обрабатываемости резанием различных конструкционных материалов. За эталонную принята сталь 45, имеющая  $\sigma_s = 650$  МПа, 179 НВ. Эталонная скорость резания при полуставном точении этой стали твердосплавными резцами составляет 135 м/мин при 60-минутной стойкости, эталонная скорость резания при точении резцами из быстрорежущей стали P18 – 75 м/мин при 60-минутной стойкости.

Абсолютное значение скорости резания при 60-минутной стойкости любой стали, отличной от эталонной, равно  $v_{x60} = v_{эм} \cdot k_v$ . Например, для стали, обрабатываемой твердосплавным резцом и имеющей коэффициент обрабатываемости  $k_{vmc} = 0,8$ ,  $v_{x60} = 135 \cdot 0,8 = 108$  м/мин; для стали, обрабатываемой резцом из быстрорежущей стали и имеющей коэффициент обрабатываемости  $k_{vбр} = 0,1$ ,  $v_{x60} = 75 \cdot 0,1 = 7,5$  м/мин. Коэффициент обрабатываемости при точении можно применить для выбора скорости резания и при других видах обработки. В приложении 5 приведены укрупненные значения коэффициентов обрабатываемости без учета особенностей эксплуатации в условиях каждой подотрасли, без деления материалов на группы обрабатываемости.

При описании материала необходимо расшифровать его маркировку и указать процентный состав элементов. При наличии легирующих элементов или примесей необходимо привести их процентный состав и указать, как влияет каждый элемент на свойства материала.

Втулку промежуточную изготавливают из стали 35. Это конструкционная углеродистая качественная сталь, предназначенная для изготовления деталей невысокой прочности, испытывающих небольшие напряжения [11].

Химический состав стали 35 приведен в табл. 2.1. Углерод находится в стали, главным образом, в связанном состоянии в виде цементита [12]. С увеличением содержания углерода возрастает твердость, прочность и уменьшается пластичность. Кремний, растворяясь в феррите, повышает предел текучести и повышает предел хладноломкости. Марганец образует твердый раствор с железом и немного повышает твердость и прочность. Остальные элементы в указанной концентрации не оказывают существенного влияния на свойства стали. Среди этих элементов сера и фосфор являются вредными примесями, ухудшающими пластические свойства. Сера вызывает явление красноломкости, а фосфор – явление хладноломкости.

Технологические свойства стали 35: температураковки – 1200–750°C, свариваемость – ограниченная, склонность к отпускной хрупкости – не склонна, обра-

Таблица 2.1

Химический состав стали 35, % (ГОСТ 1050-88)

C	Si	Mn	Cr	S	P	Cu	Ni	As
			не более					
0,32–0,40	0,17–0,37	0,5–0,8	0,25	0,04	0,035	0,025	0,025	0,08

батовываемость резанием (в горячекатаном состоянии при НВ 187) характеризуется коэффициентами обрабатываемости  $k_{v \sigma_p} = 1,0$  и  $k_{v m_c} = 1,0$  (см. приложение 5).

Вид поставки – сортовой прокат, в том числе калиброванный прокат, кованные и штампованные заготовки, трубы горячекатаные, и холоднодеформируемые. Механические свойства зависят от состояния поставки. В качестве заготовки для втулки промежуточной целесообразно использовать трубу горячекатаную, имеющую  $\sigma_s$  – не менее 510 МПа, твердость по Бринеллю НВ – не более 187.

Таким образом, выбранный материал для изготовления втулки отвечает требованиям технологичности, то есть обеспечивает ее эксплуатационные свойства, позволяет использовать рациональную заготовку в виде горячекатаной трубы, обладает хорошей обрабатываемостью на операциях механической обработки, является недорогим и недефицитным материалом.

Форма втулки промежуточной простая, все поверхности доступны для механической обработки, отверстия в торце не глубокие, предусмотрена резьбовая канавка для выхода резьбового резца при нарезке резьбы М64×2-6d. Точность размеров, формы и расположения поверхностей, а также требования шероховатости могут быть обеспечены обычными методами обработки. Таким образом, конструкцию втулки промежуточной следует признать технологичной.

## **2.5. Обоснование требований к точности размеров, формы, взаимного расположения и шероховатости поверхностей детали**

Свойства детали характеризуются различными параметрами: геометрическими, прочностными, параметрами надежности, параметрами шероховатости поверхностей и т.п.

Под геометрическими параметрами в технологии машиностроения обычно понимают значения таких физических величин как длина, ширина, высота, диаметр элементов детали, расстояние между элементами. К геометрическим параметрам также относят допуски размеров, формы, расположения поверхностей и др.

При изготовлении зубчатого венца сателлита по 9-й степени точности (ГОСТ 1643-81) радиальное биение зубчатого венца относительно оси вращения не должно превышать 0,08 мм.

Фактическая величина радиального биения численно равна величине отклонения от соосности в диаметральном выражении оси зубчатого венца шестерни относительно оси отверстия  $\varnothing 40H7$  втулки антифрикционной (см. рис. 2.2). Эта величина зависит от величины отклонения от соосности  $\varnothing 0,04$  оси зубчатого венца относительно оси отверстия в шестерне  $\varnothing 66H7$ , от величины отклонения от соосности  $\varnothing 0,05$  оси поверхности  $\varnothing 66h7$  относительно оси отверстия  $\varnothing 48H7$  у втулки промежуточной, от величины отклонения от соосности  $\varnothing 0,03$  оси поверхности  $\varnothing 48h6$  относительно оси отверстия  $\varnothing 40H7$  у втулки антифрикционной, а также от величин диаметральных зазоров в цилиндрических сопряжениях  $\varnothing 66$  и  $\varnothing 48$ . Величина каждого зазора определяется разностью соответствующих диаметров:  $\varnothing 66H7(+0,03)$  и  $\varnothing 66h7(-0,03)$ ;  $\varnothing 48H7(+0,025)$  и  $\varnothing 48h6(-0,016)$  (рис. 2.5).

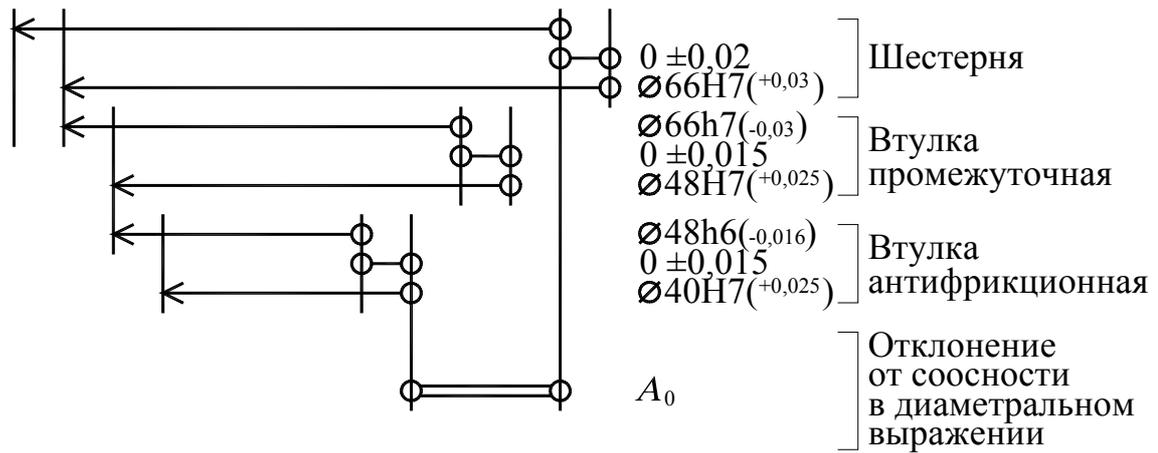


Рис. 2.5

При расчете величины поля рассеяния  $\omega_0$  замыкающего звена  $A_0$  – отклонения от соосности в диаметральном выражении – данной размерной цепи вероятностным методом при  $t = 3$  и  $\lambda^2 = 0,111$ , получаем

$$\omega_0 = \sqrt{0,04^2 + 0,03^2 + 0,03^2 + 0,03^2 + 0,025^2 + 0,016^2 + 0,03^2} \approx 0,078 \text{ мм.}$$

Полученное значение поля рассеяния  $\omega_0$  не превышает величины допустимого радиального биения:  $0,078 < 0,08$ .

Выбор резьбовой посадки  $M64 \times 2 \frac{6H}{6d}$  тесно связан с допуском соосности среднего диаметра резьбы относительно поверхности  $\varnothing 66h7$ . При свинчивании

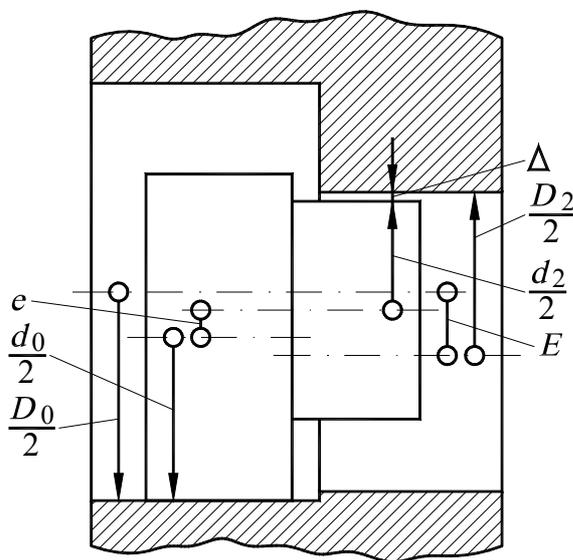


Рис. 2.6

втулки промежуточной с шестерней (см. рис. 2.2) должен быть обеспечен гарантированный зазор  $\Delta$  по среднему диаметру резьбы при наличии допустимых отклонений от соосности резьбовых поверхностей и центрирующих цилиндрических ( $\varnothing 66$ ) как у шестерни ( $E$ ), так и у втулки промежуточной ( $e$ ). На рис. 2.6 сопряжение по резьбовым поверхностям условно заменено на сопряжение по цилиндрическим поверхностям с диаметрами, равными средним диаметрам резьб у шестерни ( $D_2$ ) и втулки промежуточной ( $d_2$ ). Соответствующие диаметры центрирующих поверхностей обозначены:  $\varnothing 66H7 - D_0$ ;  $\varnothing 66h7 - d_0$ . Зазор  $\Delta$  является замыкающим звеном в следующей размерной цепи:

$$\Delta = \frac{D_2}{2} - E + \frac{D_0}{2} - \frac{d_0}{2} - e - \frac{d_2}{2}.$$

Среднее значение зазора равно сумме радиальных зазоров при  $E_{cp} = e_{cp} = 0$ :

$$\begin{aligned} \Delta^{cp} &= 0,5(D_0^{cp} - d_0^{cp}) + 0,5(D_2^{cp} - d_2^{cp}) = \\ &= 0,5 \cdot 0,03 + 0,5(0,118 + 0,19) = 0,015 + 0,154 = 0,169. \end{aligned}$$

При расчете величины поля рассеяния размерной цепи зазора вероятностным методом, принимая  $t = 3$ ;  $\lambda = \frac{1}{3}$ ;  $E = e = \pm 0,05$ , получаем

$$\omega_{\Delta} = \sqrt{0,015^2 + 0,015^2 + 0,18^2 + 0,236^2 + 0,1^2 + 0,1^2} \approx 0,3363.$$

Тогда наименьший размер зазора  $\Delta^{нм}$  составит

$$\Delta^{нм} = \Delta^{cp} - \frac{\omega_{\Delta}}{2} = 0,169 - \frac{0,3363}{2} = 0,00085 \text{ мм.}$$

Таким образом, резьбовая посадка  $M64 \times 2 \frac{6H}{6d}$  обеспечивает собираемость

при заданных значениях  $E$  и  $e$ .

В чертеже детали регламентировано отклонение от соосности наружного диаметра резьбы относительно среднего, составляющее  $\varnothing 0,15$ . Указанное отклонение приводит к уменьшению высоты профиля резьбы на  $0,075$  мм и к такому же увеличению высоты профиля в диаметрально противоположной точке. Разновысотность профиля  $0,15$  мм при его номинальной высоте  $\frac{64 - 60,735}{2} = 1,63$  мм составляет менее  $10\%$ , что вполне достаточно по условиям контактной прочности.

Рассмотрим корректность назначения позиционного допуска, определяющего допустимое отклонение осей четырех отверстий  $\varnothing 6H9$  относительно их номинального положения. Этот допуск должен обеспечивать вхождение штифтов специального ключа (см. рис. 2.3) в отверстия втулки при самом неблагоприятном сочетании их размеров. Межцентровое расстояние у ключа регламентировано размером

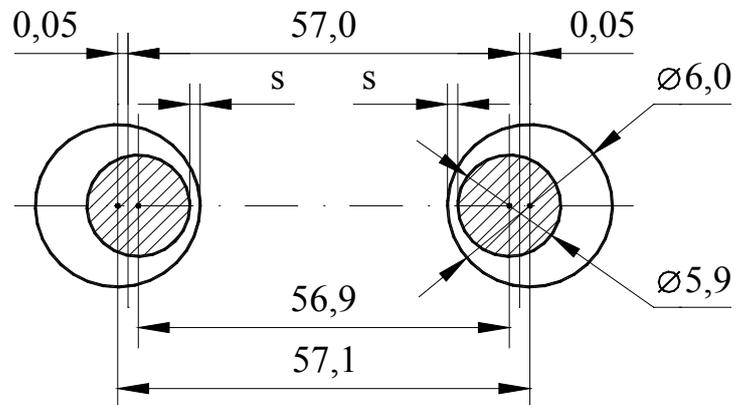


Рис. 2.7

$57 \pm 0,1$ , а диаметры его штифтов –  $\varnothing 6_{-0,2}^{-0,1}$ . Рассмотрим вариант сопряжения, при котором межцентровое расстояние у втулки максимально и равно  $57,1$  мм, а у ключа минимально и составляет  $56,9$  мм, диаметры отверстий –  $6,0$  мм, штифтов –  $5,9$  мм (рис. 2.7). Определим величину гарантированного зазора:

$$2s = (57,1 - 6,0) - (56,9 - 5,9) = 0,1;$$

$$s = 0,05.$$

Таким образом, при самом неблагоприятном сочетании размеров гарантируется сопряжение ключа и втулки с минимальным зазором  $s = 0,05$  мм в каждом отверстии.

Аналогичными по смыслу расчетами должны быть обоснованы все допустимые отклонения размеров, формы и взаимного расположения поверхностей детали.

Например, допуск симметричности паза шириной 6 мм относительно поверхности  $\varnothing 66h7$  должен обосновываться расчетом сборочной размерной цепи, замыкающим звеном которой является необходимый гарантированный зазор между боковыми поверхностями паза и наружной поверхностью нижнего стопорного винта 2 (см. рис. 2.2). Допуск соосности поверхности  $\varnothing 60_{-0,4}$  резьбовой канавки должен гарантировать свободный (без касания дна канавки) выход резьбового резца при нарезании резьбы  $M64 \times 2-6d$ , а также свободное свинчивание с шестерней.

Допуск соосности поверхности  $\varnothing 66h7$  относительно оси поверхности  $\varnothing 48H8$  в сочетании с позиционным допуском обеспечивает минимальную толщину стенки между поверхностью  $\varnothing 66h7$  и отверстием  $\varnothing 6H9$ , равную 1,4 мм.

Шероховатость поверхностей регламентируется в зависимости от их назначения, а также от качества точности [2, с.561]. Наименьшую шероховатость ( $Ra \leq 0,8$  мкм) должна иметь наиболее точная поверхность  $\varnothing 66h7$ , что обеспечивает легкость свинчивания. Эту же цель преследует регламентация шероховатости в пределах 2,5 мкм на винтовой поверхности резьбы. Шероховатость поверхности  $\varnothing 48H8$  для лучшего склеивания с втулкой антифрикционной не должна быть слишком малой, поэтому на этой поверхности указан диапазон значений 3,2–1,6 мкм. Шероховатость остальных поверхностей детали не должна превышать 6,3 мкм.

### **3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ**

#### **3.1. Преобразование чертежа детали и построение схем конструкторских размерных связей**

Преобразование чертежа детали выполняют с целью определения направлений кодирования информации и проверки корректности задания конструкторских размерных связей на рабочем чертеже детали. Пример оформления преобразованного чертежа приведен в приложении 6.

Направление кодирования обозначают прописными буквами латинского алфавита. Рекомендуется при кодировании информации у корпусных деталей выделять в основном три направления: L – направление длины, В – направление ширины, Н – направление высоты. При необходимости вводят дополнительные направления, для обозначения которых принимают буквы С, F, G и другие. При ко-

дировании размерной информации у деталей типа тел вращения выбирают в основном два направления кодирования: осевое L и радиальное R. Направление кодирования обозначают короткой стрелкой и соответствующей буквой. Направление стрелки указывает, как расположена линия относительно плоскостей проекции чертежа, на которую производится проецирование геометрических элементов с образованием координатных точек. В направлении, указанном стрелкой, производится нумерация координатных точек, получаемых на линии проекций. При обозначении направлений кодирования не рекомендуется использовать буквы X, Y, Z, U, V, W и др., которые используют для обозначения осей координат на станках с ЧПУ.

На рис. 3.1, а показан пример проецирования точек поверхностей втулки промежуточной на линию проецирования L и приведена нумерация координатных точек в направлении, указанном стрелкой. Однако практически при выполнении размерного анализа саму процедуру проецирования не выполняют, а производят нумерацию геометрических элементов в том же порядке, в котором при проецировании они образуют координатные точки. В результате этого необходимо присвоить номера всем выносным линиям, которые связаны с размерными линиями, нанесенными на чертежи детали в рассматриваемом направлении. Однако в некоторых случаях на рабочем чертеже детали размерная линия может быть нанесена

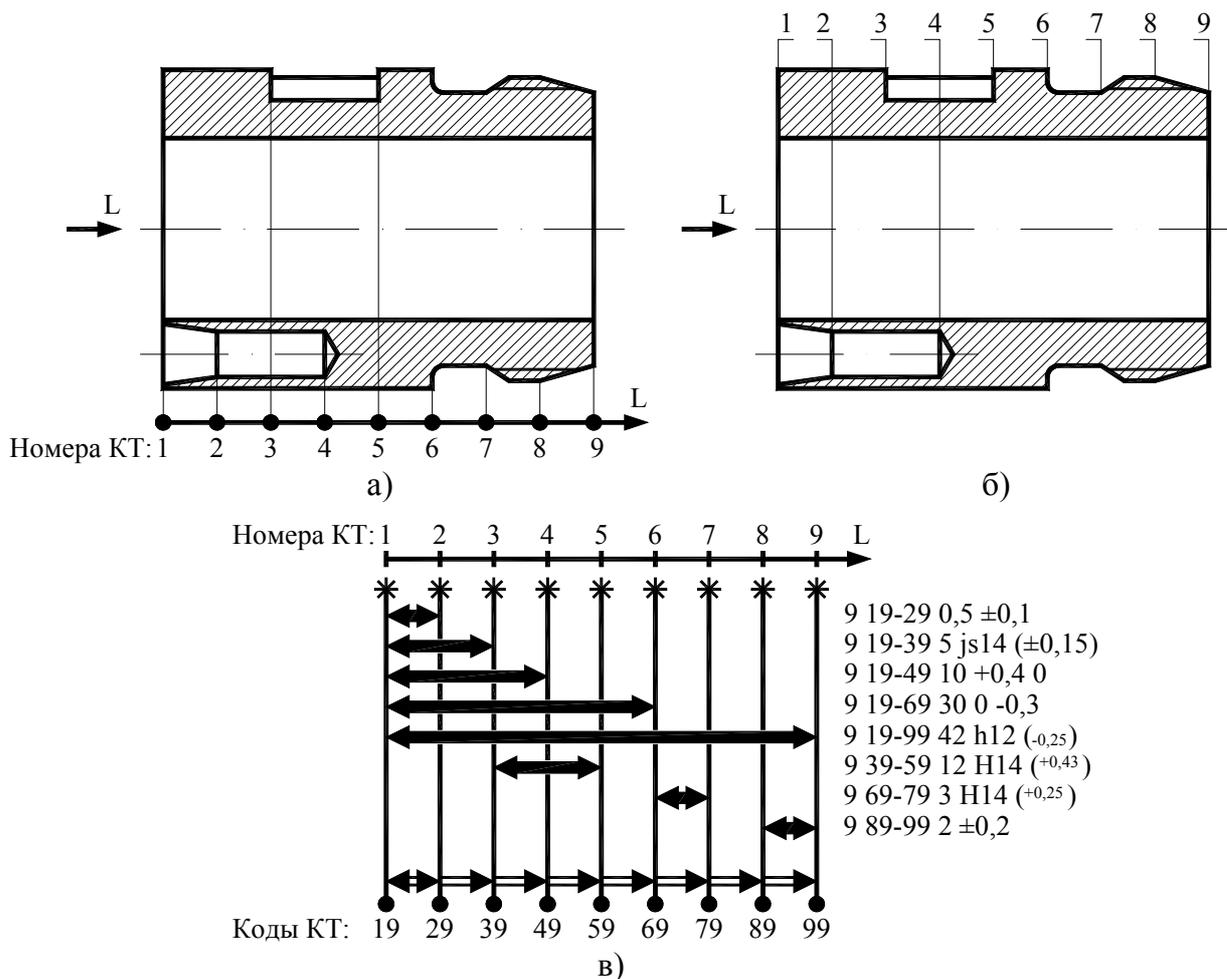


Рис. 3.1

между контурными линиями или между контурной и выносной линиями. На преобразованном чертеже в этом случае каждая контурная линия продолжается в виде выносной линии, и ей присваивают соответствующий номер.

Для рассматриваемой детали нумерацию плоских поверхностей в направлении кодирования L выполняют так, как показано на рис. 3.1, б. Указанные номера координатных точек могут быть использованы и как номера поверхностей.

При наличии нескольких направлений кодирования можно выполнять нумерацию независимо, начиная в каждом направлении с номера 1, или продолжать нумерацию следующего направления последовательными свободными номерами, оставляя небольшой резерв. В рассматриваемом примере в направлении L имеется 9 координатных точек. Нумерация в направлении R начинается с числа 11. Число 10 оставлено в резерве.

На преобразованном чертеже детали приводят схему конструкторских размерных связей. Пример выполнения схемы приведен на рис. 3.1, в. В верхней части схемы проведена линия L со стрелкой, указывающей направление кодирования и направление, в котором предполагают производить размерный анализ. Эту линию проводят горизонтально, а стрелку направляют вправо. Штрихи на линии и числа обозначают относительное расположение и номера координатных точек. Для удобства построения схемы шаг между точками принимают одинаковым, равным обычно 10 мм. Знак \* на вертикальных линиях означает, что все расположенные ниже размерные связи будут обозначаться с использованием кодов координатных точек. Координатные точки и их коды приведены в нижней части схемы конструкторских размерных связей. Коды  $K_i$  координатных точек на преобразованном чертеже детали получают в соответствии с формулой

$$K_i = 10n + 9,$$

где  $n$  – номер координатной точки.

Это означает, что для получения кода координатной точки необходимо к числу, соответствующему номеру этой точки приписать справа цифру 9. Так, координатным точкам с номерами 1, 2, 3 и т.д. присваивают коды 19, 29, 39 и т.д.

Вертикальные линии на схеме соответствуют выносным линиям чертежа детали, которые необходимы для нанесения линейных размеров в выбранном направлении L. Размерные линии рекомендуется наносить на схему в следующем порядке: вначале наносят размерную линию, которая соответствует размеру, связывающему первую слева координатную точку с ближайшей расположенной справа координатной точкой, затем наносят размерную линию, соответствующую размеру от первой точки до другой ближайшей точки, расположенной правее. Затем аналогично наносят размерные линии от второй координатной точки до каждой из следующих и т.д.

При построении схемы конструкторских размерных связей в направлении кодирования R нумерацию координатных точек выполняют от периферии к центру. На схему наносят размерные связи в виде радиусов цилиндрических поверхностей и соосностей. Связь между осями задают с помощью соосностей, а связь между образующей и осью – с помощью радиуса. Каждую поверхность вращения пред-

ставляют двумя координатными точками: образующей поверхности вращения и ее осью симметрии. Осям симметрии отдельные номера не присваивают, а их коды  $K_{oi}$  получают по формуле

$$K_{oi} = 8000 + K_i,$$

где  $K_i$  – код образующей поверхности вращения.

При изображении радиусов в левой части размерной линии (на образующей поверхности вращения) ставят стрелку, а на оси симметрии – кружок. При изображении соосностей кружок ставят на обоих концах размерных линий. Аналогично можно изображать поверхности типа пазов. В этом случае в левой части размерной линии (на боковой поверхности паза) ставят стрелку, а на плоскости симметрии паза – кружок. В рассматриваемом примере (см. приложение 6) боковая поверхность паза под стопорные винты имеет номер 19, а его плоскость симметрии – 819.

Схема размерных связей в направлении R позволяет корректно строить размерные цепи и выполнять расчеты размерных цепей только для осесимметричных деталей типа тел вращения. При этом необходимо рассматривать только половину детали в направлении от периферии к оси ее симметрии. Тогда расстояния между любыми координатными точками, не связанными конструкторскими размерными связями, можно рассчитать как замыкающие звенья. Если задача такого расчета не ставится, то геометрические элементы, расположенные на других направлениях, можно условно совместить на одном направлении. В рассматриваемом примере в направлении R условно совмещены дно паза – координатная точка 15, нецентральное отверстие и фаска – координатные точки 16, 17 и боковая поверхность паза – координатная точка 19.

При наличии нецентральных отверстий необходимо изображать координатные точки, соответствующие осям их симметрии, на линии R непосредственно после координатных точек, соответствующих образующим этих поверхностей. В рассматриваемом примере имеются отверстия  $\varnothing 6H9$ . Оси 816 и 817 следуют сразу после образующей отверстия 17. Образующая конической поверхности фаски 16 не используется, так как ее диаметр не указан на рабочем чертеже, а фаска задана углом  $45^\circ$  и высотой  $0,5 \pm 0,2$ . Подобные случаи возникают и у корпусных деталей.

После нанесения всех размерных линий наносят совмещенные в одну строку размерные линии в виде двойных линий со стрелками, обозначающие связь каждой координатной точки с принятой за базу координатной точкой. В качестве базовой рекомендуется выбирать координатную точку, соответствующую основной конструкторской базе, а если база неизвестна – то крайнюю левую координатную точку. Эти размерные связи используют для проверки корректности нанесения размеров. Каждая размерная связь, изображенная двойной линией, представляет собой замыкающее звено, которое должно иметь **единственную** замкнутую размерную цепь. Такая цепь может содержать одно или несколько составляющих звеньев – конструкторских размеров. Расчет числовых значений этих замыкающих звеньев не выполняют.

Справа от схемы приводят кодированные данные о размерных связях. Для каждой размерной связи указывают группу, коды границ слева направо и размерную информацию. Согласно принятой классификации (табл. 3.1), размеры, нанесенные на рабочем чертеже детали, относят к группе 9.

Коды границ размерной связи представляют собой коды связываемых этой связью координатных точек. Коды координатных точек указывают с учетом направления кодирования. Так как на схеме размерных связей линию направления кодирования изображают со стрелкой, направленной вправо, то первым записывают код координатной точки, расположенной левее, а затем – код координатной точки, расположенной правее.

При расчете размерных цепей в направлении R необходимо пересчитывать

Таблица 3.1

Классификация размерных связей (звеньев размерных цепей)

Группа	Описание
0	Замыкающее звено без регламентированных предельных размеров, используемое при решении проверочной задачи
1	Замыкающее звено с регламентированными предельными размерами, используемое при решении проверочной задачи
2	Замыкающее звено с регламентированными предельными размерами, если в качестве исходного размера при решении проектной задачи принят наименьший предельный размер
3	Замыкающее звено с регламентированными предельными размерами, если в качестве исходного размера при решении проектной задачи принят средний размер между двумя предельными размерами
4	Замыкающее звено с регламентированными предельными размерами, если в качестве исходного размера при решении проектной задачи принят наибольший предельный размер
5	Замыкающее звено с заданными предельными отклонениями, заменяющее несколько составляющих звеньев размерной цепи при решении проверочной или проектной задач
6	Составляющее звено с заданными предельными отклонениями и неизвестным номинальным размером, определяемым при решении проектной задачи (определяемое звено)
7	Составляющее звено – промежуточный размер с заданными предельными размерами, отсутствующий в конструкторской документации и используемый при решении проверочной и проектной задач
8	Составляющее звено – окончательный размер с заданными предельными размерами, совпадающими с предельными размерами, указанными в конструкторской документации
9	Составляющее звено с заданными предельными размерами при размерном анализе изделий; конструкторский размер с заданными предельными размерами при размерном анализе технологических процессов

номинальные размеры и предельные отклонения диаметров в соответствующие значения радиусов путем деления на 2. С целью повышения уровня автоматизации расчетов введена буква D, благодаря которой обеспечивается выполнение этих пересчетов автоматически.

Особенность записи данных о диаметрах заключается в том, что после группы размерной связи ставят букву D, которая показывает, что информация о размерной связи между образующей и осью соответствует диаметру, а не радиусу, то есть записывают номинальный размер и предельные отклонения диаметра. Если буква D не указана, то информация о размерной связи между образующей и осью соответствует радиусу.

Кроме буквы D, для уточнения информации допускается указывать и другие буквы: L – для размеров длины, R – для радиусов. Использование этих букв не является обязательным и не влияет на результаты расчета (в отличие от буквы D).

Буква L означает, что данная размерная связь представляет собой размер длины, который изображают на схеме в виде размерной линии с двухсторонними стрелками. В рассматриваемом примере в направлении R имеется размерная связь 159–189, характеризующая толщину стенки между дном паза и поверхностью отверстия  $\varnothing 48H7$ .

Буква R означает, что данная размерная связь представляет собой радиус окружности, дуги, цилиндра, конуса или сферы. С помощью размерных связей, обозначенных буквой R, в рассматриваемом примере задан радиус, на котором расположены четыре отверстия  $\varnothing 6H9$ . Он представляет собой радиус между осью отверстия 8179 и осью базовой поверхности 8189. Числовое значение этого радиуса получено из  $\varnothing 57$ , а предельные отклонения соответствуют величине позиционного допуска  $\varnothing 0,1$ . Таким образом, размерная информация об этом радиусе представлена в виде  $28,5 \pm 0,05$ .

При регламентации соосности ГОСТ 24642-81 предусматривает указание их допусков в диаметральном ( $\varnothing$ ) и в радиусном (R) выражениях. Предпочтительным является задание в диаметральном выражении. Допуск соосности означает, что номинально оси нормируемой и базовой поверхностей лежат на одной линии, и ось нормируемой поверхности может смещаться относительно оси базовой поверхности в пределах пространственного поля цилиндрической формы, диаметр которого численно равен величине допуска соосности в диаметральном выражении, а длина поля совпадает с длиной нормируемой поверхности. При расчетах размерных цепей принимают номинальный размер соосности, равный нулю, а предельные отклонения принимают симметричными в соответствии с указанным допуском [9]. Например, если указаны допуски соосности  $\varnothing 0,1$  или R0,05, то размерную информацию записывают в виде  $0 \pm 0,05$ .

В технической документации вместо соосности часто регламентируют радиальное биение, которое образуется за счет смещения оси нормируемой поверхности относительно оси базовой и за счет отклонения формы нормируемой поверхности. При размерном анализе можно принять, что величина радиального биения образуется только за счет смещения оси при идеальной форме нормируемой по-

верхности. В этом случае числовое значение радиального биения совпадает с числовым значением допуска соосности в диаметральном выражении.

При регламентации симметричности ГОСТ 24642-81 предусматривает указание их допусков в диаметральном (Т) и в радиусном (Т/2) выражениях. Предпочтительным является задание в диаметральном выражении. В рассматриваемом примере задан допуск симметричности боковых поверхностей паза  $6^{+0,1}$  относительно оси симметрии наружной цилиндрической поверхности  $\varnothing 66h7$ , равный Т0,1. Размерную информацию записывают в виде  $0 \pm 0,05$ .

Простановка размерных связей считается корректной, если выполнены два условия.

1. Количество размерных связей в выбранном направлении кодирования меньше, чем количество координатных точек в этом направлении на 1.

2. Каждая координатная точка в выбранном направлении кодирования «привязана» единственной размерной цепью к одной из координатных точек, принятой в качестве базы.

В рассматриваемом примере (см. приложение 6) количество координатных точек в направлении L равно 9, количество размерных связей – 8. В направлении R количество координатных точек равно 16, количество размерных связей – 15. Проверку привязки к базе выполняют с использованием нанесенных в нижней части схемы замыкающих звеньев. Анализ показывает, что в рассматриваемом примере все размерные цепи этих замыкающих звеньев замкнуты и каждое замыкающее звено имеет только одну размерную цепь.

### **3.2. Анализ действующего технологического процесса**

В курсовом проекте анализ действующего технологического процесса выполняют при наличии комплекта технологической документации, регламентирующего процесс изготовления детали. Этот комплект вместе с конструкторской документацией студенты получают во время производственной практики.

При анализе выявляют положительные и отрицательные стороны технологического процесса с точки зрения производительности, надежности, качества получаемой продукции, величины производственных затрат. Количественную оценку качества дают на основе размерного анализа действующего технологического процесса, который выполняют во время производственной практики. Этот технологический процесс принимают в качестве базового, намечают пути его совершенствования и предлагают технические решения, которые впоследствии используют при проектировании нового варианта технологического процесса.

### **3.3. Выбор способа получения заготовки и разработка ее формы**

При проектировании технологического процесса необходимо обосновать выбор способа получения заготовки, предложенного конструктором в рабочем чертеже детали или технологом в действующем технологическом процессе. Согласно

принятой классификации [13, 14] различают следующие методы получения заготовок: обработка давлением, литье, метод порошковой металлургии, метод с использованием сварки, комбинированный метод. Выбор метода получения заготовки определяется назначением детали, ее конструктивными формами, материалом, серийностью производства, техническим уровнем производства.

Каждый метод включает в себя несколько способов. Например, при обработке давлением различают прокатку, ковку, штамповку, волочение, прессование и др.; при литье различают литье в песчаные формы, в оболочковые формы, в глинистые формы, в кокиль, по выплавляемым моделям, под давлением, центробежное литье и др.

Способ получения заготовки уточняют путем выбора оборудования и технологической оснастки. Например, в зависимости от выбора прокатного стана и формы валков различают сортовой горячекатаный прокат, трубный прокат, периодический прокат и др. В зависимости от выбора ковочно-штамповочного оборудования различают ковку на прессах и молотах, штамповку на кривошипных горячештамповочных автоматах (КГША) и молотах, штамповку на горизонтально-ковочных машинах (ГКМ) и др.

В соответствии с выбранным способом получения заготовки проектируют ее форму [16]. При использовании автоматизированной системы размерного анализа вначале составляют упрощенный эскиз заготовки. Форма заготовки на этом эскизе максимально приближена к форме готовой детали. У заготовки могут отсутствовать некоторые геометрические элементы детали: мелкие отверстия, канавки, фаски и т.п. Эскиз помещают первым среди схем технологического процесса.

Соответствующие поверхности заготовки и детали связаны слоем припуска, величина которого зависит от количества технологических переходов механической обработки этой поверхности.

На эскиз наносят обозначения черновых баз, размерные линии в соответствии с принятой для каждого метода системой простановки размеров, назначают допуски и технические требования. Числовые значения предельных отклонений линейных размеров (включая диаметры и радиусы) и допусков расположения поверхностей выбирают по таблицам соответствующих ГОСТов. Номинальные значения линейных размеров заготовки рассчитывают при выполнении размерного анализа проектируемого технологического процесса, то есть после того, как намечены необходимые операции и переходы механической обработки. Затем согласно принятым правилам оформления чертежей заготовок на полученный эскиз наносят литейные или штамповочные уклоны, радиусы закруглений и дополнительно упрощают форму заготовки с целью повышения технологичности ее изготовления данным способом. После этого возможно внесение изменений в проектируемый технологический процесс и повторение расчетов размерных цепей.

### 3.4. Выбор методов обработки и последовательности технологических переходов для обработки отдельных поверхностей

Качество детали обеспечивается постепенным ужесточением точности и выполнением технических требований в процессе превращения заготовки в готовую деталь [15]. Точность размеров, формы и расположения поверхностей, а также качество поверхностного слоя отдельных поверхностей формируют в результате последовательного применения нескольких методов обработки. Поэтому составлению маршрута изготовления детали в целом обычно предшествует определение маршрутов обработки отдельных поверхностей. Маршрут обработки поверхности начинают составлять на основании технических требований чертежа детали, начиная с выбора метода окончательной обработки. При известном способе получения заготовки таким же образом определяют первоначальный метод обработки в маршруте. Выбрав первый и окончательный методы обработки поверхности, назначают промежуточные. Число этапов обработки (переходы – предварительный, промежуточный, окончательный) зависит не только от точности размеров детали, но и от точности размеров заготовки. У заготовок высокой точности бывает достаточно однократной обработки поверхностей.

В пояснительной записке к курсовому проекту рекомендуется привести перечень всех поверхностей детали с указанием выбранных методов их обработки, представив его в виде таблицы. Образец заполнения таблицы для нескольких поверхностей втулки промежуточной приведен в табл. 3.2.

### 3.5. Разработка маршрутной технологии

Разработка маршрута технологического процесса является наиболее ответственным этапом проектирования. Маршрут представляет собой последовательность технологических операций, скомпонованных с учетом маршрутов обработки отдельных поверхностей. Каждой операции присваивают номер в виде трехзначного целого числа, кратного 5. Если в качестве исходной заготовки используется штучная заготовка в виде отливки или штамповки, то заготовительной опе-

Таблица 3.2

Маршруты обработки отдельных поверхностей

Код поверхности	Наименование поверхности, размер	Параметр шероховатости	Маршрут обработки
19	Плоскость	<i>Ra</i> 6,3	Точение
119	Наружная цилиндрическая $\varnothing 66h7$	<i>Ra</i> 0,8	Обтачивание, шлифование
129, 139	Резьба М64×2-6d (наружный и средний диаметры)	<i>Ra</i> 6,3, <i>Ra</i> 2,5	Точение черновое, точение чистовое, резбонарезание
189	Внутренняя цилиндрическая $\varnothing 48H7$	<i>Ra</i> 3,2...1,6	Растачивание, развертывание

рации присваивают номер 000 и название «Заготовительная». Если в качестве исходной заготовки используется сортовой или трубный прокат, то первой операции присваивают номер 005 и название, соответствующее названию применяемого на данной операции оборудования. При формировании маршрута производят выбор оборудования и средств технологического оснащения, обеспечивают оптимальный для данных условий уровень концентрации технологических переходов, принимают технологические решения в соответствии с известными принципами проектирования технологических процессов [9]. Полученный маршрут записывают в стандартные бланки маршрутных карт или оформляют в виде таблицы. Образец заполнения таблицы приведен в табл. 3.3.

### 3.6. Разработка операционной технологии

При проектировании отдельной операции выбирают схему базирования и закрепления заготовки [9, 13, 15], выбирают схему простановки операционных размеров и технических требований, выбирают параметры шероховатости, формируют технологические переходы, выбирают режущий инструмент и разрабатывают траектории его движения, выбирают мерительный инструмент, выполняют расчеты режимов резания и техническое нормирование. В курсовом проекте согласно заданию (см. приложения 1, 3) оформляют схемы технологического процесса (см. приложение 7). Схемы располагают в порядке следования технологических операций и переходов на каждой операции. Для каждой операции возможно построение нескольких схем с целью исключения наложения переходов при обработке одной и той же поверхности.

На каждой схеме изображают обрабатываемую заготовку в том виде, который она приобретает после выполнения данной операции и в таком положении, в каком ее видит оператор станка, указывают обозначения установочных и зажимных элементов приспособлений, обозначают обработанные поверхности жирными линиями или линиями красного цвета, проставляют выполняемые на данной операции размеры, указывают допустимые отклонения формы и расположения поверхностей, указывают параметры шероховатости, изображают упрощенные эскизы режущих инструментов и траектории их движения, указывают направления кодирования и коды базовых и обработанных поверхностей. Для операций, выполняемых на станках с ЧПУ, изображают направления координатных осей в виде двой-

Таблица 3.3

Маршрут технологического процесса

Номер операции	Наименование операции	Модель оборудования
005	Ленточно-отрезная	S-12Т
010	Токарная с ЧПУ	16А20Ф3С32, УЧПУ 2Р22
015	Токарная с ЧПУ	16А20Ф3С32, УЧПУ 2Р22
020	Сверлильная	2С125
025	Фрезерная	6К11
030	Шлифовальная	3У10МС

ных линий со стрелками, соответствующих направлениям координатных осей станка (СКС), инструмента (СКИ), детали (СКД), условное обозначение начала СКД, а также условные обозначения момента включения и остановки шпинделя на траектории соответствующего инструмента.

Каждый инструмент в пределах одной операции обозначают буквенно-цифровым кодом Т1, Т2, и т.д. Начало траектории движения каждого инструмента привязано к формообразующему элементу этого инструмента. Каждую опорную точку траектории изображают в виде кружка с буквенно-цифровым кодом, содержащим код инструмента и порядковый номер точки, начиная с номера 0. Некоторые, наиболее важные опорные точки повторяют непосредственно на обработанной поверхности.

Коды базовых и обработанных поверхностей указывают в специальных рамках прямоугольной формы. Код базовой поверхностей записывают в рамке с вырезом и дополнительно указывают количество связываемых этой базой степеней свободы. Например, база 90 в направлении L на операции 005 является опорной базой и связывает 1 степень свободы. База 110 в направлении R на этой же операции является двойной направляющей базой и связывает 4 степени свободы.

Если обработка происходит со снятием слоя напуска, то код обработанной поверхности помещают в простую рамку. Например, на операции 020 появляется поверхность отверстия с кодом 171.

Если обработка происходит со снятием слоя припуска, то в рамке записывают коды обрабатываемой и обработанной поверхностей. Эти коды разделяют символом замыкающего звена:  $\neq$  – если припуск является замыкающим звеном при решении проверочных задач;  $=$  – если припуск является замыкающим звеном при решении проектных задач. Расположение кодов обработанной и обрабатываемой поверхностей в рамке должно соответствовать их реальному взаимному положению. Например, на операции 010 при подрезке торца инструментом Т1 обработанная поверхность 11 смещена в направлении кодирования L влево относительно обрабатываемой поверхности 10.

На поле схемы можно помещать кодированные данные о размерных связях по всем направлениям кодирования. Общие принципы записи этих данных приведены в разделе 3.1. Группу размерной связи назначают в соответствии с табл. 3.1. При записи кодов границ размерной связи следует обращать внимание на направление кодирования и записывать код в направлении, указанном стрелкой.

Замыкающие звенья-припуски при решении проверочных задач (обычно при размерном анализе действующего технологического процесса) относят к группе 1, а при решении проектных задач (обычно при размерном анализе проектируемого технологического процесса) – к группе 2. Замыкающие звенья-припуски не контролируют при выполнении переходов, а контролируют выполняемые при этом операционные размеры. Если припуск является выполняемым операционным размером [8], то в размерных цепях он будет составляющим звеном, и его относят к группе 7. Числовые значения припусков необходимо регламентировать.

Наименьший размер припуска называют минимально-необходимым припуском  $z_{\min}$  и назначают его из условия обеспечения качества обработанной поверх-

ности. Если необходимо удалить только микронеровности обрабатываемой поверхности, величина которых определяется параметрами шероховатости  $Ra$  или  $Rz$ , то минимально-необходимый припуск вычисляют по формулам

$$z_{\min} = 4Ra \text{ или } z_{\min} = Rz.$$

Если обрабатываемая поверхность имеет дефектный слой глубиной  $h$  [8, 9, 13, 15] и его необходимо удалить при выполнении данного перехода, то минимально-необходимый припуск вычисляют по формулам

$$z_{\min} = 4Ra + h \text{ или } z_{\min} = Rz + h.$$

При обработке поверхностей вращения величину  $z_{\min}$  «на сторону» или на радиус определяют по приведенным формулам.

Числовые значения параметров шероховатости и глубины дефектного слоя можно назначать по таблицам приложений 19, 24–31.

Наибольший размер припуска называют максимально-допустимым  $z_{\max}$  и назначают его из условия обеспечения прочности инструмента, прочности и мощности приводов подачи станка, допустимых деформаций упругой технологической системы и других ограничивающих факторов. При отсутствии необходимой информации можно при проектных расчетах для деталей массой до 25 кг принимать ориентировочные значения  $z_{\max}$ :

для черного точения – до 5,0 мм;

для получистового точения – до 2,5 мм;

для чистового точения – до 1,5 мм.

При обработке на шлифовальных станках увеличение  $z_{\max}$  приводит к снижению производительности процесса и к ухудшению качества обработанной поверхности, поэтому ориентировочные значения  $z_{\max}$  следующие:

для черного шлифования – до 1,0 мм;

для чистового шлифования – до 0,5 мм.

В курсовом проекте допускается не регламентировать  $z_{\max}$  и при выполнении размерного анализа назначать для припусков только величину  $z_{\min}$ . Однако при этом расчет запасов по верхним границам полей допусков на припуски выполняться не будет и заключение о качестве технологического процесса (раздел 4.6) будет не полным.

Если припуск является составляющим звеном, то для него задают величину  $z_{\min}$  и назначают допуск, как на операционный размер, задавая его в виде верхнего предельного отклонения.

На все операционные размеры необходимо назначить допуски [8]. Допуски и предельные отклонения на размеры заготовки, в зависимости от способа получения, назначают в соответствии с ГОСТами (приложения 20, 21). Номинальные значения и предельные отклонения на окончательные операционные размеры (группа 8) обычно принимают равными соответствующим конструкторским размерам. В обоснованных случаях возможно по технологическим соображениям ужесточать операционные допуски по сравнению с конструкторскими.

На стадии проектирования технологического процесса номинальные значения промежуточных операционных размеров являются неизвестными. Их определяют в результате выполнения размерного анализа. Для выполнения расчетов необходимо назначить предельные отклонения. Оптимальное (по технико-экономическим критериям) значение допуска для каждого размера, в зависимости от принятого способа обработки, находят по таблицам точности (приложения 22–31). Предельные отклонения рекомендуется назначать симметричными. В обоснованных случаях предельные отклонения можно назначать односторонними.

## **4. РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЕКТИРУЕМОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА**

### **4.1. Построение схем конструкторско-технологических размерных связей**

Размерный анализ [8] выполняют отдельно по каждому направлению кодирования. Для детали – втулка промежуточная принято два направления – L (продольное направление) и R (радиальное направление). По каждому направлению кодирования необходимо построить отдельную схему конструкторско-технологических размерных связей. На схему наносят все размерные связи, возникающие по ходу технологического процесса, начиная от заготовки и оканчивая готовой деталью. Слева от схемы указывают номера операций, а справа записывают кодированные данные по каждой размерной связи. Схемы позволяют записать маршруты и уравнения размерных цепей, а также наметить направления совершенствования технологического процесса. Пример оформления схем размерных связей приведен в приложении 8.

Построение схемы конструкторско-технологических размерных связей начинают так же, как построение схемы конструкторских размерных связей (раздел 3.1). В верхней части схемы проводят линию L со стрелкой, указывающей направление кодирования. На линию через равные промежутки наносят штрихи, соответствующие координатным точкам, а над линией записывают номера этих точек. В отдельных случаях в технологическом процессе могут возникать геометрические элементы, которые на последующих операциях исчезают. Для обозначения таких геометрических элементов используют технологические координатные точки, которым присваивают номера из диапазонов 70–79 или 700–799. Цифра 7 является признаком того, что координатная точка является технологической. Эти координатные точки наносят на линию вместе с конструкторскими координатными точками с учетом их взаимного расположения.

Под линией размещают схему размерных связей заготовки. Имеющиеся у заготовки координатные точки изображают в виде больших точек, над которыми указаны коды. Код каждой координатной точки заготовки оканчивается на 0. В рассматриваемом примере у заготовки в направлении L имеются две координатные точки 10 и 90, связанные размером 10–90.

Далее для построения схемы используют информацию с кодированных схем технологического процесса (см. приложение 7). В начале каждой очередной операции вертикальную линию, соответствующую технологической базе, помечают специальным символом. Если на очередном переходе механической обработки появляется новый геометрический элемент, то соответствующей ему координатной точке присваивают код, оканчивающийся на 1. При этом считают, что обработка происходит со снятием слоя напуска. В рассматриваемом примере на операции 015 появляются координатные точки с кодами 61, 71 и 81. Если на очередном технологическом переходе обрабатывается имеющаяся ранее поверхность, координатной точке которой ранее присвоен код, то считают, что обработка происходит со снятием слоя припуска. На вертикальной линии, соответствующей обрабатываемой поверхности, ставят символ  $\times$ , который показывает, что данная поверхность исчезла. Вместо нее появляется обработанная поверхность. Соответствующую ей координатную точку смещают относительно вертикальной линии влево или вправо, с учетом направления смещения обработанной поверхности относительно обрабатываемой. Связь между этими поверхностями обозначают одним из следующих символов:  $+$  – если припуск является составляющим звеном;  $\neq$  – если припуск является замыкающим звеном при решении проверочных задач;  $=$  – если припуск является замыкающим звеном при решении проектных задач. Координатную точку, соответствующую обработанной поверхности, привязывают размером к одной из имеющихся на схеме координатных точек – к технологической, настроечной или измерительной базе. Если на очередной операции обрабатывается несколько поверхностей, то рекомендуется начинать построение размерных связей с обработки той поверхности, которая связана размером с технологической базой. Вначале связи между координатными точками изображают в виде тонких размерных линий.

После нанесения на схему всех размерных связей технологического процесса на каждой вертикальной линии помещают символ  $*$ , вертикальные линии продляют вниз и тонкими линиями наносят конструкторские размерные связи. Схему размерных связей завершают изображениями координатных точек с указанием конструкторских кодов 19, 29, 39 и т.д.

Далее проверяют, какие конструкторские размеры выполнены непосредственно, а какие – косвенно, то есть являются замыкающими звеньями. Для этого очередной конструкторский размер условно переносят в технологическую часть схемы и, поднимаясь вверх по вертикальным линиям его границ, проверяют, проставлен ли такой размер после окончательной обработки той из его границ, которая обработана последней. Если размер проставлен, то размерные линии, соответствующие этому операционному размеру и проверяемому конструкторскому размеру, изображают жирными линиями и считают, что конструкторский размер выполнен непосредственно. Если размер не проставлен или проставлен до окончательной обработки границ, то размерную линию, соответствующую этому конструкторскому размеру, изображают двойной линией, а сам конструкторский размер считают замыкающим звеном.

После построения схемы часть операционных размеров и размеров заготовки изображены тонкими линиями, а часть – жирными. В основном, тонкие линии соответствуют размерным связям группы 6 с неизвестными номинальными значениями, а жирные линии – размерным связям группы 8 (см. табл. 3.1). Однако тонкие линии могут соответствовать и размерным связям группы 7.

Далее построенную схему размерных связей проверяют на корректность.

1. Количество размерных связей заготовки должно быть на 1 меньше, чем количество ее координатных точек.

2. Каждая вновь появляющаяся на операциях механической обработки координатная точка должна быть привязана единственной размерной связью к одной из имеющихся координатных точек.

3. При размерном анализе проектируемого технологического процесса количество размерных связей группы 6 должно быть равно суммарному количеству замыкающих звеньев-припусков и замыкающих звеньев-конструкторских размеров.

Построение схемы конструкторско-технологических размерных связей в направлении R осуществляется по тем же принципам, что и в направлении L. При обработке поверхностей вращения со снятием слоя напуска образуются две координатные точки, соответствующие образующей и ее оси симметрии. В рассматриваемом примере (см. приложение 8) на операции 015 образуются координатные точки, соответствующие образующим 141, 121, 131, и координатные точки 8141, 8121, 8131, соответствующие их осям. Рекомендуются вначале задавать соосности вновь появившейся оси относительно оси базовой поверхности, а затем – радиус или диаметр обработанной поверхности вращения. При обработке поверхностей вращения со снятием слоя припуска рекомендуется задавать припуск, затем – соосность, затем – радиус или диаметр обработанной поверхности вращения. В рассматриваемом примере на операции 015 со снятием слоя припуска обрабатывается поверхность 110. С нее снимается припуск 110–111, выдерживается соосность 8111–8182 и выполняется диаметр 111–8111. В некоторых случаях ось обработанной поверхности может быть задана соосностью относительно оси обрабатываемой поверхности. Это имеет место при обработке наружной поверхности прутка или трубы с базированием по той же поверхности, при обработке отверстий «плавающим» инструментом типа разверток или протяжек, при обработке методами хонингования и доводки. В рассматриваемом примере на операции 010 выполняется развертывание отверстия с выполнением размера  $\varnothing 48H7$ . Соосность оси 8182 обработанной поверхности 182 относительно оси 8181 обрабатываемой поверхности 181 изображают в виде знака +, который соответствует составляющему звену 8181–8182.

При записи кодированных данных о технологических размерных связях размеры соосностей, за исключением окончательно выполняемых, относят к группе 7, так как их номинальные размеры считают известными, равными нулю.

При проверке выполнения конструкторских размеров может оказаться, что часть соосностей являются замыкающими звеньями. Обычно размерные цепи этих замыкающих звеньев содержат только составляющие звенья-соосности с известными номинальными размерами, равными нулю. Для уравнений этих размер-

ных цепей решают проверочную задачу. На схеме конструкторско-технологических размерных связей замыкающие звенья-соосности изображают двойными переречеркнутыми размерными линиями и не учитывают их при проверке корректности.

## 4.2. Запись маршрутов и уравнений размерных цепей

При размерном анализе технологических процессов составляют уравнения для каждого замыкающего звена, используя разные формы записи: в виде маршрутов, в виде уравнений в числовых кодах, в виде уравнений в буквенных символах.

В соответствии с методическими указаниями [4] целесообразно каждую размерную цепь обозначить прописной буквой русского алфавита *A*, *B*, *B* и т.д. При наличии схем размерных связей технологического процесса буквенные обозначения в алфавитном порядке рекомендуется присваивать каждому замыкающему звену, начиная с первого при следовании сверху вниз по схеме.

В рассматриваемом примере на схеме продольных размеров (см. приложение 8) имеется 4 замыкающих звена, цепям которых присвоены следующие буквенные обозначения: припуску  $10 = 11 - A$ , припуску  $91 = 90 - B$ , конструкторскому размеру  $19 = 29 - B$ , конструкторскому размеру  $19 = 49 - Г$ .

Для каждой размерной цепи записывают маршруты в виде:

$$\text{цепь } A: 10 = 11 - > 90 < - 10 = ;$$

$$\text{цепь } B: 91 = 90 < - 11 + > 91 = ;$$

$$\text{цепь } B: 19 = 29 * 21 - > 91 < + 11 * 19 = ;$$

$$\text{цепь } Г: 19 = 49 * 41 - > 91 < + 11 * 19 = .$$

Маршрут представляет собой последовательность кодов координатных точек, связанных звеньями данной размерной цепи, начиная с кодов границ замыкающего звена. Направление движения по замыкающему звену принято слева направо, направление движения по составляющим звеньям указано стрелками. Коды границ замыкающего звена при решении проверочной задачи разделяют символом  $\neq$ , а при решении проектной задачи – символом  $=$ . Если замыкающим звеном является конструкторский размер, то для перехода от кодов границ конструкторских размеров к кодам границ технологических размеров используют символ  $*$ .

Коды границ составляющих звеньев разделяют стилизованными стрелками. Стрелки  $< +$ ,  $+ >$  соответствуют составляющим звеньям с известными номинальными размерами, а стрелки  $< -$ ,  $- >$  соответствуют составляющим звеньям с определяемыми номинальными размерами. Стрелки, направленные справа налево  $< +$ ,  $< -$  соответствуют увеличивающим составляющим звеньям, а стрелки, направленные слева направо  $+ >$ ,  $- >$  – уменьшающим составляющим звеньям.

Уравнения размерных цепей в числовых кодах можно записать непосредственно по схеме размерных связей или с использованием маршрутов. Эти уравнения для цепей *A*, *B*, *B*, *Г* будут иметь вид:

$$\text{цепь } A: [10 = 11] = -(11 - > 90) + (90 < - 10) = ;$$

$$\text{цепь } B: [91 = 90] = +(90 < - 11) - (11 + > 91) = ;$$

$$\text{цепь } B: [11 = 21] = -(21 - > 91) + (91 < +11) = ;$$

$$\text{цепь } \Gamma: [11 = 41] = -(41 - > 91) + (91 < +11) = .$$

Уравнения в числовых кодах используют при автоматизированных расчетах размерных цепей на ЭВМ.

При записи уравнений в буквенных символах каждое звено размерной цепи обозначают соответствующей буквой с индексом. Замыкающее звено имеет индекс 0, составляющие звенья – 1, 2, 3 и т.д. Соответствующие уравнения в буквенных символах будут иметь вид:

$$\text{цепь } A: A_0 = -A_1 + A_2 ;$$

$$\text{цепь } B: B_0 = +B_1 - B_2 ;$$

$$\text{цепь } B: B_0 = -B_1 + B_2 ;$$

$$\text{цепь } \Gamma: \Gamma_0 = -\Gamma_1 + \Gamma_2 .$$

Уравнения в буквенных символах удобно использовать при ручном расчете размерных цепей.

### 4.3. Определение порядка решения уравнений

При размерном анализе проектируемого технологического процесса количество уравнений, используемых для решения проектных задач, должно равняться количеству звеньев с неизвестными номинальными размерами. В большинстве случаев среди совокупности этих уравнений встречается одно или несколько уравнений, содержащих только по одному звену с неизвестным номинальным размером. Начинать решение рекомендуется с последнего из этих уравнений. Найденное значение номинального размера после округления (если округление предусмотрено) подставляют в другие уравнения, в которые входит данный размер. После этого вновь находят последнее по списку уравнение с одним неизвестным, решают его, находят неизвестное значение номинального размера определяемого звена, подставляют его в другие уравнения и повторяют этот процесс до тех пор, пока не будут решены все уравнения.

Для удобства определения порядка решения уравнений используют запись маршрутов, указывая арабскими цифрами, заключенными в скобки, установленный порядок решения уравнений, а прописными буквами обозначая цепь, при решении которой найден номинальный размер определяемого звена. Список маршрутов после определения порядка решения уравнений для рассматриваемого примера имеет вид:

$$\text{цепь } A: 10 = 11 + > 90 < -10 = ; \quad (4)$$

$$\text{цепь } B: 91 = 90 < -11 + > 91 = ; \quad (3)$$

$$\text{цепь } B: 19 = 29 * 21 - > 91 < +11 * 19 = ; \quad (2)$$

$$\text{цепь } \Gamma: 19 = 49 * 41 - > 91 < +11 * 19 = . \quad (1)$$

Из приведенного списка следует, что порядок решения цепей будет следующий:  $\Gamma$ ,  $B$ ,  $B$ ,  $A$ . При решении цепи  $\Gamma$  определяют номинальный размер звена 41–

91, которое не входит ни в одно из оставшихся уравнений. При решении цепи  $B$  определяют номинальный размер звена 21–91, которое также не входит ни в одно из оставшихся уравнений. При решении цепи  $B$  определяют номинальный размер звена 11–90, который подставляют в уравнение цепи  $A$ . Поэтому звено 11–90 в цепи  $A$  становится известным, что отмечают стрелкой  $+>$ , над которой указывают букву  $B$ , то есть символ цепи, при решении которой был найден номинальный размер этого звена. Последней решают цепь  $A$ , из которой определяют номинальный размер звена 10–90.

В некоторых случаях при определении порядка решения уравнений возникает ситуация, когда остается  $n$  уравнений, содержащих  $n$  определяемых звеньев, причем каждое уравнение содержит 2 и более определяемых звеньев, то есть образуется система линейных уравнений. Для решения системы могут быть использованы любые известные методы. Однако при этом возникают затруднения с округлением номинальных размеров. При выполнении курсового проекта целесообразно избегать появления систем путем изменения схем базирования и простановки размеров.

#### 4.4. Проверка наличия запасов по допуску замыкающего звена

При размерном анализе проектируемого технологического процесса необходимо, чтобы при двухсторонней регламентации размеров замыкающего звена поле рассеяния каждого замыкающего звена находилось в пределах его поля допуска. Для обеспечения этого требования при расчете номинальных размеров определяемых звеньев без округления достаточно выполнить условие:  $V_0 \geq 0$ , где  $V_0$  – запас по допуску замыкающего звена, определяемый по формуле  $V_0 = T_0 - \omega_0$  (см. раздел 6.7).

При расчете с округлением необходимо предусмотреть дополнительный запас на величину возможной коррекции, то есть при подготовке исходных данных необходимо выполнить условие  $V_0 \geq |K_{окр}^{max}|$ , где  $K_{окр}^{max}$  – максимальное возможное изменение расчетного номинального размера при округлении (см. раздел 6.8). Следовательно, при решении проектной задачи для каждой цепи необходимо обеспечить гарантированный запас  $W_0 = V_0 - |K_{окр}^{max}|$ , величина которого должна быть не меньше нуля ( $W_0 \geq 0$ ). Исходные данные, промежуточные и окончательные результаты вычисления гарантированного запаса  $W_0$  рекомендуется представлять в виде таблицы (табл. 4.1).

Данная таблица предназначена для расчета размерных цепей вручную методом максимума-минимума. При ее заполнении величину поля рассеяния  $\omega_0$  каждого замыкающего звена рассчитывали по формуле (6.5) (см. раздел 6.4). Если у какого-либо замыкающего звена гарантированный запас  $W_0$  окажется отрицательным, то необходимо выполнить расчет  $\omega_0$  вероятностным методом по формуле (6.8) (см. раздел 6.5). Если и при этом гарантированный запас  $W_0$  окажется отрица-

Таблица 4.1

Исходные данные и результаты вычислений гарантированного запаса  $W_0$ 

Замыкающее звено			$T_0$	$\omega_0$	$V_0$	Определяемое звено		$ K_{окр}^{max} $	$W_0$
сим-вол	груп па	коды границ				коды границ	предельные отклонения		
$A_0$	2	10–11	4,7	2,4	2,3	10–90	$\pm 1,0$	1,0	1,3
$B_0$	2	91–90	4,7	0,5	4,2	11–90	$\pm 0,2$	0,1	4,1
$B_0$	3	19–29	0,2	0,15	0,05	21–91	$\begin{matrix} 0 \\ -0,05 \end{matrix}$	0,005	0,045
$\Gamma_0$	3	19–49	0,4	0,15	0,25	41–91	$\begin{matrix} 0 \\ -0,05 \end{matrix}$	0,005	0,245

тельным, то необходимо внести изменения в технологический процесс: уменьшить допуски на составляющие звенья данной размерной цепи, увеличить допуск на замыкающее звено, изменить схемы базирования и простановки размеров с целью уменьшения количества составляющих звеньев данной размерной цепи, ввести дополнительные переходы или операции с целью преобразования данного замыкающего звена в непосредственно выполняемый размер.

#### 4.5. Определение операционных размеров

В курсовом проекте определение операционных размеров выполняют путем расчета технологических размерных цепей вручную и на ЭВМ. Расчеты вручную выполняют методом максимума-минимума без округления для одного направления кодирования, обычно – для направления L, используя для расчетов алгоритм, приведенный в табл. 6.5 раздела 6.9. Для записанных выше уравнений размерных цепей порядок расчета следующий.

Цепь  $\Gamma$ :

$$19 = 49 * 41 - > 91 < + 11 * 19 = ;$$

$$[11 = 41] = -(41 - > 91) + (91 < + 11) = ;$$

$$\Gamma_0 = -\Gamma_1 + \Gamma_2 ;$$

$$\Gamma_0 = 10^{+0,4}_0 \text{ – конструкторский размер;}$$

$$\Gamma_1 = \Gamma_{онр} = \dots_{-0,05}^0 ; \Gamma_2 = 42_{-0,1}^0 = 41,95 \pm 0,05 ;$$

$$1. \omega_0 = \sum_{i=1}^n \omega_i = 0,05 + 0,1 = 0,15 ;$$

$$2.2. \Gamma_{0u}^{cp} = \Gamma_{0p}^{cp} = 10,2 ;$$

$$3. \Gamma_{онр}^{cp} = \frac{1}{\xi_{онр}} \cdot \left( \Gamma_{0u}^{cp} - \sum_{i=1}^{n-1} \xi_i \Gamma_i^{cp} \right) = \frac{1}{(-1)} (10,2 - 41,95) = 31,75 ;$$

$$4. \Gamma_{онр}^{ном} = \Gamma_{онр}^{ср} - \frac{\Delta_{онр}^{\epsilon} + \Delta_{онр}^H}{2} = 31,75 - \frac{0 + (-0,05)}{2} = 31,775;$$

5. —;

6. —;

7. —;

$$8. \Gamma_{0\phi}^{ср} = \Gamma_{ou}^{ср} = 10,2;$$

$$9. \Gamma_{0\phi}^{HM} = \Gamma_{0\phi}^{ср} - \frac{\omega_0}{2} = 10,2 - \frac{0,15}{2} = 10,125;$$

$$10. \Gamma_{0\phi}^{H\delta} = \Gamma_{0\phi}^{ср} + \frac{\omega_0}{2} = 10,2 + \frac{0,15}{2} = 10,275;$$

$$11. T_0 = \Gamma_{0p}^{H\delta} - \Gamma_{0p}^{HM} = 10,4 - 10,0 = 0,4;$$

$$12. V_0 = T_0 - \omega_0 = 0,4 - 0,15 = 0,25;$$

$$13. V_0^H = \Gamma_{0\phi}^{HM} - \Gamma_{0p}^{HM} = 10,125 - 10,0 = 0,125;$$

$$14. V_0^{\epsilon} = \Gamma_{0p}^{H\delta} - \Gamma_{0\phi}^{H\delta} = 10,4 - 10,275 = 0,125;$$

$$15. d_0^H = \frac{D_0^H}{\omega_0} \cdot 100\% = 0\%;$$

$$16. d_0^{\epsilon} = \frac{D_0^{\epsilon}}{\omega_0} \cdot 100\% = 0\%.$$

При расчете цепи  $B$  получают  $B_{онр} = 41,475_{-0,05}^0$ ;  $B_0 = 0,425...0,575$ ;  $V_0 = 0,05$ ;  
 $V_0^H = 0,025$ ;  $V_0^{\epsilon} = 0,025$ ;  $d_0^H = 0\%$ ;  $d_0^{\epsilon} = 0\%$ .

Цепь  $B$ :

$$91 = 90 < -11 + > 91 = ;$$

$$B_0 = +B_1 - B_2;$$

$$B_0 = 0,3...5 \text{ — припуск};$$

$$B_1 = B_{онр} = \dots \pm 0,2; B_2 = 42_{-0,1}^0 = 41,95 \pm 0,05;$$

$$1. \omega_0 = \sum_{i=1}^n \omega_i = 0,4 + 0,1 = 0,5;$$

$$2.1. B_{0u}^{ср} = B_{0p}^{HM} + \frac{\omega_0}{2} = 0,3 + \frac{0,5}{2} = 0,55;$$

$$3. B_{онр}^{ср} = \frac{1}{\xi_{онр}} \cdot \left( B_{0u}^{ср} - \sum_{i=1}^{n-1} \xi_i B_i^{ср} \right) = \frac{1}{(+1)} (0,55 - (41,95)) = 42,5;$$

$$4. B_{онр}^{ном} = B_{онр}^{ср} - \frac{\Delta_{онр}^{\epsilon} + \Delta_{онр}^H}{2} = 42,5 - \frac{0,2 + (-0,2)}{2} = 42,5;$$

5. —;

6. —;

7. —;
8.  $B_{0\phi}^{cp} = B_{ou}^{cp} = 0,55$ ;
9.  $B_{0\phi}^{HM} = B_{0\phi}^{cp} - \frac{\omega_0}{2} = 0,55 - \frac{0,5}{2} = 0,3$ ;
10.  $B_{0\phi}^{H\bar{b}} = B_{0\phi}^{cp} + \frac{\omega_0}{2} = 0,55 + \frac{0,5}{2} = 0,8$ ;
11.  $T_0 = B_{0p}^{H\bar{b}} - B_{0p}^{HM} = 5 - 0,3 = 4,7$ ;
12.  $V_0 = T_0 - \omega_0 = 4,7 - 0,5 = 4,2$ ;
13.  $V_0^H = B_{0\phi}^{HM} - B_{0p}^{HM} = 0,3 - 0,3 = 0$ ;
14.  $V_0^{\bar{b}} = B_{0p}^{H\bar{b}} - B_{0\phi}^{H\bar{b}} = 5 - 0,8 = 4,2$ ;
15.  $d_0^H = \frac{D_0^H}{\omega_0} \cdot 100\% = 0\%$ ;
16.  $d_0^{\bar{b}} = \frac{D_0^{\bar{b}}}{\omega_0} \cdot 100\% = 0\%$ .

При расчете цепи  $A$  получают  $A_{опр} = 44,0 \pm 1$ ;  $A_0 = 0,3...2,7$ ;  $V_0 = 2,3$ ;  $V_0^H = 0$ ;  $V_0^{\bar{b}} = 2,3$ ;  $d_0^H = 0\%$ ;  $d_0^{\bar{b}} = 0\%$ .

На ЭВМ вначале выполняют расчет вероятностным методом без округления в том же направлении кодирования, в котором выполняли расчет методом максимума-минимума вручную. Результаты расчета номинальных размеров определяемых звеньев двумя методами сопоставляют с использованием табл. 4.2, а результаты расчета фактических размеров замыкающих звеньев – с использованием табл. 4.3. Результаты сопоставления показывают, что при использовании вероятностного метода наименьшие предельные размеры припусков остаются неизменными, а средние размеры припусков, поля рассеяния всех замыкающих звеньев и размеры заготовки получаются меньше, чем при использовании метода максимума-минимума. В курсовом проекте необходимо привести логическое обоснование результатов сопоставления по каждому размеру.

Таблица 4.2

Сопоставление результатов расчета номинальных размеров определяемых звеньев вручную методом максимума-минимума и на ЭВМ вероятностным методом

Группа	Коды границ	Метод максимума-минимума, $A_{опр м}^{ном окр}$	Вероятностный метод, $A_{опр в}^{ном окр}$	$\Delta_A = A_{опр м}^{ном окр} - A_{опр в}^{ном окр}$
6	10–90	44,000	43,912	0,088
6	11–90	42,500	42,480	0,020
6	21–91	41,475	41,475	0,000
6	41–91	31,775	31,775	0,000

Таблица 4.3

Сопоставление результатов расчета фактических размеров замыкающих звеньев вручную методом максимума-минимума и на ЭВМ вероятностным методом

Группа	Коды границ	Метод максимума-минимума			Вероятностный метод			$\Delta_A =$ $= A_{0\phi_m}^{cp} -$ $- A_{0\phi_v}^{cp}$	$\Delta_\omega =$ $= \omega_{0,m} -$ $- \omega_{0,v}$
		$A_{0\phi_m}^{нм}$	$A_{0\phi_m}^{cp}$	$\omega_{0,m}$	$A_{0\phi_v}^{нм}$	$A_{0\phi_v}^{cp}$	$\omega_{0,v}$		
2	10–11	0,300	1,500	2,40	0,300	1,431	2,262	0,069	0,138
2	91–90	0,300	0,550	0,50	0,300	0,529	0,458	0,021	0,042
3	11–21	0,425	0,500	0,15	0,437	0,500	0,126	0,000	0,024
3	11–41	10,125	10,200	0,15	10,137	10,200	0,126	0,000	0,024

Затем на ЭВМ по всем направлениям кодирования выполняют расчет размеров цепей вероятностным методом с округлением. Результаты вероятностного расчета принимают в качестве окончательных и используют их при оформлении технологической документации, а в курсовом проекте – при окончательном оформлении листа схем технологического процесса (выделяя рассчитанные значения операционных размеров красным цветом), а также для расчета параметров режима резания.

#### 4.6. Анализ результатов и заключение о качестве технологического процесса

Процесс выполнения размерного анализа может оказаться циклическим. При наличии дефицитов по границам поля допуска хотя бы одного замыкающего звена необходимо вносить изменения в технологический процесс (раздел 4.4), после чего повторять расчеты. Результаты можно считать окончательными, если при расчете вероятностным методом получены запасы по границам полей допусков всех замыкающих звеньев по всем направлениям кодирования. В этом случае в распечатке результатов расчета будет указано: «Технологический процесс обеспечивает выполнение всех размеров и отклонений расположения поверхностей, заданных конструктором».

Если в качестве исходной заготовки используется сортовой прокат или труба, то по результатам расчета выбирают заготовки с ближайшими стандартными размерами, обеспечивающими увеличение минимального припуска. В рассматриваемом примере по результатам расчета в направлении R получен расчетный диаметр трубы  $\varnothing 68$  мм и расчетная толщина стенки 13 мм. По ГОСТ 8732-78 выбирают трубу, имеющую наружный диаметр  $\varnothing 70$  мм и толщину стенки 14 мм. После уточнения номинальных размеров исходной заготовки рекомендуется выполнить размерный анализ на ЭВМ с целью определения фактических размеров замыкающих звеньев-припусков, принимая размеры исходной заготовки известными и относя их к группе 7. В рассматриваемом примере для припусков 181–180 и 110–111 будет решаться проверочная задача, поэтому рекомендуется изменить группу

этих звеньев со 2-й на 1-ю. Пример результатов расчета с принятыми по ГОСТ 8732-78 размерами исходной заготовки-трубы приведен в приложении 9.

## **5. РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ СТАНКА С ЧПУ**

### **5.1. Основные сведения о станке и устройстве ЧПУ**

При выполнении курсового проекта необходимо привести основные технические данные и характеристики о применяемом или рекомендуемом к применению станке с ЧПУ. Основные сведения включают наименование станка, обозначение модели, назначение станка, область применения, класс точности, предельные значения перемещений исполнительных органов, диапазоны и конкретные значения чисел оборотов шпинделя, диапазоны и конкретные значения рабочих подач, мощность привода главного движения и приводов подач, число позиций инструментальной головки, габаритные размеры и другие необходимые сведения.

Сведения об устройстве ЧПУ (УЧПУ) содержат обозначение устройства, количество управляемых координат, наибольшее количество одновременно управляемых координат, дискретность задания перемещений, максимально программируемое перемещение, вид системы отсчета (абсолютная, в приращениях, абсолютная и в приращениях), пределы программируемых подач, тип датчиков обратной связи, устройства ввода данных, габаритные размеры и др.

В курсовом проекте предусматривается разработка текста управляющей программы (УП) с написанием комментариев к каждому кадру. Для этого необходимо в тексте пояснительной записки привести полный перечень команд УЧПУ, включая технологические команды M, постоянные циклы L, подготовительные G-функции и прочие команды.

### **5.2. Проектирование операции, выполняемой на станке с ЧПУ**

При проектировании операции необходимо выбрать схему базирования, выбрать нулевую точку СКД, описать методику привязки СКД к СКС, выполнить расчет координат опорных точек и расчет параметров режима резания. Этот раздел разрабатывают на основе сведений, приведенных в литературе [9, 13–15].

Для разработки УП необходимо выбрать расположение опорных точек, наметить траектории движения режущих инструментов между этими точками и рассчитать координаты опорных точек. Расчет координат опорных точек можно выполнять с использованием методов размерного анализа. Для этого необходимо в масштабе построить схему, отражающую базирование заготовки на операции с ЧПУ, изобразить формы обрабатываемых и обработанных поверхностей, указать начало СКД, изобразить траектории движения режущих инструментов, на эскиз заготовки нанести все опорные точки и указать в виде размерных линий их координаты, указать операционные размеры и размеры исходной заготовки, необходимые для расчета координат опорных точек, а также построить схемы размерных

связей на операции с ЧПУ. Для сложных операций, содержащих большое количество технологических переходов, рекомендуется строить отдельную схему к расчету координат опорных точек для каждого инструмента. Примеры оформления схем и результаты расчета числовых значений координат опорных точек для операции 010 приведены в приложении 10, для операции 015 – в приложении 11. В приложении 10 на эскиз заготовки нанесены все опорные точки для инструмента Т1 – подрезного резца. Для остальных инструментов указаны только наиболее важные опорные точки.

На схеме опорные точки изображают в виде кружков с буквенно-цифровыми кодами (раздел 3.6). Некоторые опорные точки совпадают по расположению с обработанными поверхностями, а некоторые отстоят от обработанных поверхностей на величину недохода или перебега инструмента. Это расстояние условно можно назвать «зазором». В рассматриваемом примере минимальная величина таких зазоров принята равной 1 мм.

Для расчета координат опорных точек на ЭВМ необходимо заменить буквенно-цифровые коды цифровыми. При этом букву Т заменяют цифрой 1, номер инструмента оставляют без изменений, а порядковый номер опорной точки задают в виде двузначного целого числа. Например, буквенно-цифровой код Т2.01 заменен цифровым кодом 1201. На схеме цифровые коды опорных точек помещают в прямоугольные рамки. На одной линии могут располагаться несколько опорных точек от разных инструментов. Поэтому, для определенности, в прямоугольную рамку помещают код первой опорной точки по ходу выполнения программы.

Размеры, координирующие опорные точки, проставляют в зависимости от принятой системы отсчета (раздел 5.1): при использовании абсолютной системы размеры проставляют от нулевой точки детали (см. приложения 10, 11), а при использовании относительной системы («в приращениях») – от предыдущей точки к следующей. На токарных станках с ЧПУ продольную ось принято обозначать  $Z$ , а поперечную –  $X$ . Размеры, координирующие опорные точки вдоль оси  $X$ , при использовании абсолютной системы задают в виде диаметров, а при использовании относительной системы – в виде радиусов.

Схемы размерных связей на операции с ЧПУ строят после выполнения размерного анализа проектируемого технологического процесса, то есть после расчета номинальных размеров определяемых звеньев. Тогда все промежуточные операционные размеры и размеры исходной заготовки можно отнести к группе 7, а размеры группы 8 – окончательные операционные размеры оставить без изменения. В верхней части схемы располагают линию со стрелкой, совпадающей с направлением кодирования. На линию наносят штрихи, соответствующие координатным точкам, связи между которыми необходимы для расчета координат опорных точек. Над штрихами указывают номера координатных точек, под штрихами – соответствующие им коды. Все размерные связи технологического процесса изображают жирными линиями. После нанесения этих размерных связей наносят точки, соответствующие опорным точкам, и записывают их коды. Точки размещают так, чтобы они располагались «снаружи» относительно поверхностей заготовки, а не «в теле» заготовки. В некоторых случаях требуется разместить опор-

ную точку относительно координатной точки, соответствующей обрабатываемой поверхности. Для этого выполняют условный перенос этой координатной точки с помощью штриховой линии. На операции 010 такой перенос выполнен для точки 180 (см. приложение 10), а на операции 015 – для точки 90 (см. приложение 11). Затем в виде двойных размерных линий указывают размерные связи, характеризующие величины принятых зазоров. Затем на вертикальной линии, соответствующей началу СКД, изображают символ начала СКД и указывают направление соответствующей координатной оси СКД. На уровне символа начала СКД прерывают все вертикальные линии, соответствующие координатным точкам заготовки, а вниз продляют вертикальные линии, соответствующие опорным точкам. В нижней части схемы проставляют размерные линии, определяющие положение опорных точек в принятой системе отсчета. В рассматриваемом примере все опорные точки заданы в абсолютной системе (см. приложения 10, 11).

Справа от схемы записывают кодированные данные о размерных связях. Все размерные связи, изображенные двойными линиями, являются замыкающими звеньями. Если замыкающее звено соответствует зазору, то его относят к группе 2 и задают только одно числовое значение – минимальную величину зазора. В отдельных случаях минимальная величина зазора может отличаться от 1 мм. Например, на операции 010 для гарантированной обработки отверстия разверткой, имеющей длину заборного конуса 3,5 мм [13], необходимо обеспечить величину перебега торца развертки относительно базового торца заготовки, равную  $3,5 + 1 = 4,5$  мм. Если расположение опорной точки совпадает с расположением координатной точки обработанной поверхности, то расстояние между ними принимают равным нулю, замыкающее звено относят к группе 3 и задают только одно числовое значение 0 – средний размер. Размерные связи, определяющие положение опорных точек, относят к группе 6 и принимают их предельные отклонения равными нулю, пренебрегая погрешностью позиционирования. На схеме в направлении кодирования R начало СКД необходимо связать с осью вращения, однако в большинстве случаев в качестве оси вращения можно принять ось технологической базовой поверхности и координировать опорные точки с помощью диаметров.

Результаты расчета координат опорных точек на ЭВМ приведены в приложениях 10 и 11.

### **5.3. Расчет параметров режима резания**

Расчет параметров режима резания необходим для разработки текста УП. К параметрам режима резания относят [13] глубину резания  $t$ , подачу  $s$  и скорость резания  $v$ . В качестве величины глубины резания  $t$  принимают величину среднего припуска, получаемую в результате выполнения размерного анализа и расчета технологических размерных цепей вероятностным методом. Величину подачи  $s$  выбирают по таблицам, приведенным в справочной литературе [13]. При черновой обработке выбирают максимально-возможную величину подачи, исходя из жесткости и прочности технологической системы, мощности приводов станка,

прочности инструмента и других ограничивающих факторов. При чистовой обработке величину подачи выбирают в зависимости от требуемой степени точности и шероховатости обработанной поверхности. Величину скорости резания  $v$  рассчитывают по эмпирическим формулам, установленным для каждого вида обработки. Общий вид формулы

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x s^y} \cdot K_v,$$

где  $T$  – стойкость инструмента, то есть период его работы до затупления;  $C_v$  – коэффициент скорости резания;  $K_v$  – поправочный коэффициент скорости резания;  $m, x, y$  – показатели степеней. Значения каждого элемента данной формулы выбирают по таблицам [13] для конкретного вида обработки.

В качестве примера рассмотрим расчет параметров режима резания для трех переходов токарной операции 010, выполняемой на станке с ЧПУ (см. приложения 7, 10). Обрабатываемый материал – сталь 35 ГОСТ 1050-88,  $\sigma_s$  – не менее 510 МПа (раздел 2.4).

### Переход 1. Точение поперечное

Шероховатость обработанной поверхности  $Ra$  6,3 мкм ( $Rz$  25 мкм). Наибольший диаметр обработки  $D$  – наибольший наружный диаметр трубы 110–8110 по результатам размерного анализа составляет 70,7 мм (см. приложение 9).

Режущий инструмент – резец подрезной с твердосплавной пластиной Т15К6, радиус при вершине  $r = 1$  мм, главный угол в плане  $\varphi = 90^\circ$ , вспомогательный угол в плане  $\varphi_1 = 10^\circ$ . Размеры державки в зависимости от диаметра  $D$  обрабатываемой поверхности в пределах от 60 до 100 мм выбирают из интервала от  $16 \times 25$  до  $25 \times 40$  мм (табл. 11 [13, Т.2, с. 266]).

Средняя глубина резания по результатам размерного анализа – припуск 10–11 (см. приложение 9)  $t = 1,5$  мм.

Рабочую подачу  $s$  в зависимости от требуемой шероховатости следует выбирать для чистового точения. По табл. 14 [13, Т.2, с. 268] для  $r = 0,8$  мм  $s = 0,33$  мм/об – при  $Rz20$  мкм,  $s = 0,51$  мм/об – при  $Rz40$  мкм; для  $r = 1,2$  мм  $s = 0,42$  мм/об – при  $Rz20$  мкм,  $s = 0,63$  мм/об – при  $Rz40$  мкм.

Для  $r = 0,8$  мм и шероховатости  $Rz$  25 мкм получаем

$$s = 0,33 + (25 - 20) \cdot \frac{0,51 - 0,33}{40 - 20} = 0,375 \text{ мм/об.}$$

Для  $r = 1,2$  мм и шероховатости  $Rz$  25 мкм получаем

$$s = 0,42 + (25 - 20) \cdot \frac{0,63 - 0,42}{40 - 20} = 0,4725 \text{ мм/об.}$$

Тогда для  $r = 1$  мм окончательно получаем

$$s = 0,375 + (1 - 0,8) \cdot \frac{0,4725 - 0,375}{1,2 - 0,8} \approx 0,42 \text{ мм/об.}$$

Скорость резания  $v$  определяют по формуле

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} \cdot K_v. \quad (5.1)$$

По табл. 17 [13, Т.2, с. 269] для наружного точения резцом с твердосплавной пластинкой Т15К6 при величине подачи свыше 0,3 до 0,7 мм/об принимаем  $C_v = 350$ ;  $m = 0,2$ ;  $x = 0,15$ ;  $y = 0,35$ .

Стойкость  $T$  рекомендуется выбирать в пределах 30–60 мин [13, Т.2, с. 268]. Принимаем наибольшее рекомендованное значение  $T = 60$  мин.

Поправочный коэффициент скорости резания  $K_v$  вычисляют по формуле

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} \cdot K_{\varphi v} \cdot K_{\varphi_1 v} \cdot K_{rv},$$

в которую входят следующие поправочные коэффициенты:

$K_{mv}$  учитывает влияние физико-механических свойств обрабатываемого материала. По табл. 1 [13, Т.2, с. 261] при обработке стали  $K_{mv} = K_2 \left( \frac{750}{\sigma_s} \right)^{n_v}$ , где

$K_2 = 1$ ,  $n_v = 1$  для обработки стали, имеющей  $\sigma_s$  свыше 450 до 550 МПа, резцом с твердосплавной пластинкой (табл. 2 [13, Т.2, с. 262]). Тогда расчетное значение

$$K_{mv} \text{ составит } K_{mv} = 1 \cdot \left( \frac{750}{510} \right)^1 \approx 1,47;$$

$K_{nv}$  учитывает влияние состояния поверхности заготовки. По табл. 5 [13, Т.2, с. 263] при обработке поверхности, не имеющей корки (торец получен ранее на ленточно-отрезной операции 005),  $K_{nv} = 1$ ;

$K_{uv}$  учитывает влияние инструментального материала. По табл. 6 [13, Т.2, с. 263] при обработке стали конструкционной резцом с твердосплавной пластинкой Т15К6  $K_{uv} = 1$ ;

$K_{\varphi}$ ,  $K_{\varphi_1}$  и  $K_r$  учитывают влияние геометрических параметров резца. По табл. 18 [13, Т.2, с. 271] для данного резца  $K_{\varphi v} = 0,7$ ,  $K_{\varphi_1 v} = 1$ ,  $K_{rv} = 0,94$ .

Подставляя полученные значения в формулу (5.1), получаем

$$v = \frac{350}{60^{0,2} \cdot 1,5^{0,15} \cdot 0,42^{0,35}} \cdot 1,47 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 0,94 \approx 190,3 \text{ м/мин.}$$

Требуемое число оборотов шпинделя  $n$  определяют по формуле

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 190,3}{\pi \cdot 70,7} \approx 857 \text{ об/мин.}$$

## Переход 2. Растачивание

Шероховатость обработанной поверхности  $Ra 12,5$  мкм ( $Rz 50$  мкм). Наибольший диаметр обработки  $D 181$ – $8181$  по результатам размерного анализа составляет 47,75 мм (см. приложение 9).

Режущий инструмент – резец расточной с твердосплавной пластинкой Т15К6, радиус при вершине  $r = 1$  мм, главный угол в плане  $\varphi = 45^\circ$ , вспомогательный

угол в плане  $\varphi_1 = 20^\circ$ . Диаметр круглого сечения державки – 20 мм, вылет резца – 100 мм.

Средняя глубина резания по результатам размерного анализа – припуск 181–180 (см. приложение 9)  $t = 2,75$  мм.

Рабочую подачу  $s$  в зависимости от требуемой шероховатости следует выбирать для черного растачивания. По табл. 12 [13, Т.2, с. 267] для  $t = 2$  мм  $s = 0,5–0,3$  мм/об; для  $t = 3$  мм  $s = 0,15–0,25$  мм/об, причем верхние пределы подач рекомендуются для меньшей глубины резания при обработке менее прочных материалов, нижние – для большей глубины и более прочных материалов. Выбираем нижние пределы: для  $t = 2$  мм  $s = 0,5$  мм/об; для  $t = 3$  мм  $s = 0,15$  мм/об. Тогда для  $t = 2,75$  мм окончательно получаем

$$s = 0,15 + (3 - 2,75) \cdot \frac{0,5 - 0,15}{3 - 2} \approx 0,24 \text{ мм/об.}$$

Скорость резания  $v$  определяют по формуле

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x s^y} \cdot K_v \cdot K, \quad (5.2)$$

где  $K$  – коэффициент, учитывающий условия внутренней обработки по сравнению с наружной обработкой.

По табл. 17 [13, Т.2, с. 269] для наружного точения резцом с твердосплавной пластинкой Т15К6 при величине подачи до 0,3 мм/об принимаем  $C_v = 420$ ;  $m = 0,2$ ;  $x = 0,15$ ;  $y = 0,2$ ; согласно примечанию 1 табл. 17 [13, Т.2, с. 270] для внутренней обработки принимаем  $K = 0,9$ .

Принимаем стойкость  $T = 60$  мин [13, Т.2, с. 268].

Определяем поправочные коэффициенты для скорости резания:  $K_{mv} \approx 1,47$  (табл. 1 [13, Т.2, с. 261], табл. 2 [13, Т.2, с. 262]);  $K_{nv} = 0,9$  (табл. 5 [13, Т.2, с. 263]);  $K_{uv} = 1$  (табл. 6 [13, Т.2, с. 263]);  $K_{\varphi v} = 1$ ,  $K_{\varphi v} = 0,94$ ,  $K_{rv} = 0,94$  (табл. 18 [13, Т.2, с. 271]).

Подставляя полученные значения в формулу (5.2), получаем

$$v = \frac{420}{60^{0,2} \cdot 2,75^{0,15} \cdot 0,24^{0,2}} \cdot 1,47 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,94 \cdot 0,94 \cdot 0,9 \approx 224 \text{ м/мин;}$$

Требуемое число оборотов шпинделя  $n$  определяют по формуле

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 224}{\pi \cdot 47,75} \approx 1493 \text{ об/мин.}$$

### Переход 3. Развертывание

Шероховатость обработанной поверхности  $Ra$  3,2–1,6 мкм. Наибольший диаметр обработки  $D$  182–8182 по результатам размерного анализа составляет 48,025 мм (см. приложение 9).

Режущий инструмент – развертка из быстрорежущей стали Р6М5.

Средняя глубина резания по результатам размерного анализа – припуск 182–181 (см. приложение 9)  $t = 0,156$  мм.

Рабочую подачу  $s$  определяют по формуле  $s = s_{табл} \cdot K_{ос}$ , где  $s_{табл}$  и  $K_{ос}$  выбирают по табл. 27 [13, Т.2, с. 278]. Для диаметра развертки свыше 40 до 50 мм  $s_{табл} = 1,5$  мм/об; с учетом шероховатости обработанной поверхности и точности диаметра принимаем  $K_{ос} = 0,75$ . Тогда окончательно получаем

$$s = 1,5 \cdot 0,75 = 1,125 \text{ мм/об.}$$

При обработке отверстия разверткой требуется охлаждение.

Скорость резания  $v$  определяют по формуле [13, Т.2, с. 276]

$$v = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m t^x s^y} \cdot K_v. \quad (5.3)$$

По табл. 29 [13, Т.2, с. 279] для обработки конструкционной углеродистой стали разверткой из быстрорежущей стали Р6М5  $C_v = 10,5$ ;  $q = 0,3$ ;  $m = 0,4$ ;  $x = 0,2$ ;  $y = 0,65$ .

Принимаем стойкость  $T = 120$  мин (табл. 30 [13, Т.2, с. 279–280]).

Определяем поправочные коэффициенты для скорости резания:  $K_{mv} \approx 0,707$  (табл. 1 [13, Т.2, с. 261], табл. 2 [13, Т.2, с. 262]);  $K_{uv} = 1$  (табл. 6 [13, Т.2, с. 263];  $K_{lv} = 1$  (табл. 31 [13, Т.2, с. 280]).

Подставляя полученные значения в формулу (5.3), получаем

$$v = \frac{10,5 \cdot 48,025^{0,3}}{120^{0,4} \cdot 0,156^{0,2} \cdot 1,125^{0,65}} \cdot 0,707 \cdot 1 \cdot 1 \approx 4,7 \text{ м/мин;}$$

Требуемое число оборотов шпинделя  $n$  определяют по формуле

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 4,7}{\pi \cdot 48,025} \approx 31 \text{ об/мин.}$$

#### 5.4. Разработка текста управляющей программы

Текст УП разрабатывают на основе результатов расчета координат опорных точек с использованием системы команд УЧПУ. При необходимости, за основу можно принять текст УП, взятый из действующего технологического процесса.

УП состоит из отдельных кадров. Каждый кадр имеет номер, начинающийся с буквы N, за которой следует цифровой номер. Отдельный кадр может содержать одну или несколько команд, в зависимости от модели УЧПУ. Каждая команда состоит из буквенного адреса и следующего за ним цифрового кода. Буква адресует цифровую информацию конкретному устройству УЧПУ, а цифровая информация может представлять собой код технологической команды (M08), код подготовительной функции (G95), величину частоты вращения шпинделя (S3 857), величину рабочей подачи (F0.42), координату опорной точки (X72.7) и др. Знаки препинания внутри кадра между отдельными командами не требуются.

Пример текста УП для УЧПУ 2Р22 при обработке втулки промежуточной на операции 010 приведен в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Номер и содержание кадра	Комментарий
N1 T1S3 857	Повернуть инструментальную головку в позицию 1 (T1 – подрезной резец), включить вращение шпинделя против часовой стрелки с частотой $n=857$ об/мин
N2 Z0X72.7E	Ускоренно переместить инструмент T1 в точку T1.01 ( $Z=0$ мм, $X=72,7$ мм)
N3 G95F0.42X35.95	Установить единицы измерения рабочей подачи – мм/об, включить рабочую подачу $S=0,42$ мм/об, подрезать торец до точки T1.02 ( $Z=0$ мм, $X=35.95$ мм)
N4 Z1E	Ускоренно переместить инструмент T1 в точку T1.03 ( $Z=1$ мм, $X=35.95$ мм)
N5 Z200X200E	Ускоренно переместить инструмент T1 в точку T1.0 ( $Z=200$ мм, $X=200$ мм) для смены инструмента
N6 T2S3 1493	Повернуть инструментальную головку в позицию 2 (T2 – расточной резец), включить вращение шпинделя против часовой стрелки с частотой $n=1493$ об/мин
N7 Z1X47.7E	Ускоренно переместить инструмент T2 в точку T2.01 ( $Z=1$ мм, $X=47,7$ мм)
N8 G95F0.24Z-43.7	Установить единицы измерения рабочей подачи – мм/об, включить рабочую подачу $S=0,24$ мм/об, расточить отверстие до точки T2.02 ( $Z=-43.7$ мм, $X=47.7$ мм)
N9 X46.7E	Ускоренно переместить инструмент T2 в точку T2.03 ( $Z=-43.7$ мм, $X=46,7$ мм)
N10 Z1E	Ускоренно переместить инструмент T2 в точку T2.04 ( $Z=1$ мм, $X=46,7$ мм)
N11 Z200X200E	Ускоренно переместить инструмент T2 в точку T2.0 ( $Z=200$ мм, $X=200$ мм) для смены инструмента
N12 T3S1 31M08	Повернуть инструментальную головку в позицию 3 (T3 – развертка), включить вращение шпинделя против часовой стрелки с частотой $n=31$ об/мин, включить охлаждение
N13 Z1X0E	Ускоренно переместить инструмент T3 в точку T3.01 ( $Z=1$ мм, $X=0$ мм)
N14 G95F1.125Z-47.3	Установить единицы измерения рабочей подачи – мм/об, включить рабочую подачу $S=1,125$ мм/об, развернуть отверстие до точки T3.02 ( $Z=-47.3$ мм, $X=0$ мм)
N15 Z1E	Ускоренно переместить инструмент T3 в точку T3.01 ( $Z=1$ мм, $X=0$ мм)
N16 Z200X200E	Ускоренно переместить инструмент T3 в точку T3.0 ( $Z=200$ мм, $X=200$ мм)
N17 M05M09	Выключить вращение шпинделя, выключить охлаждение
N18 M02	Конец программы

## 6. МЕТОДИКА РАСЧЕТА РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

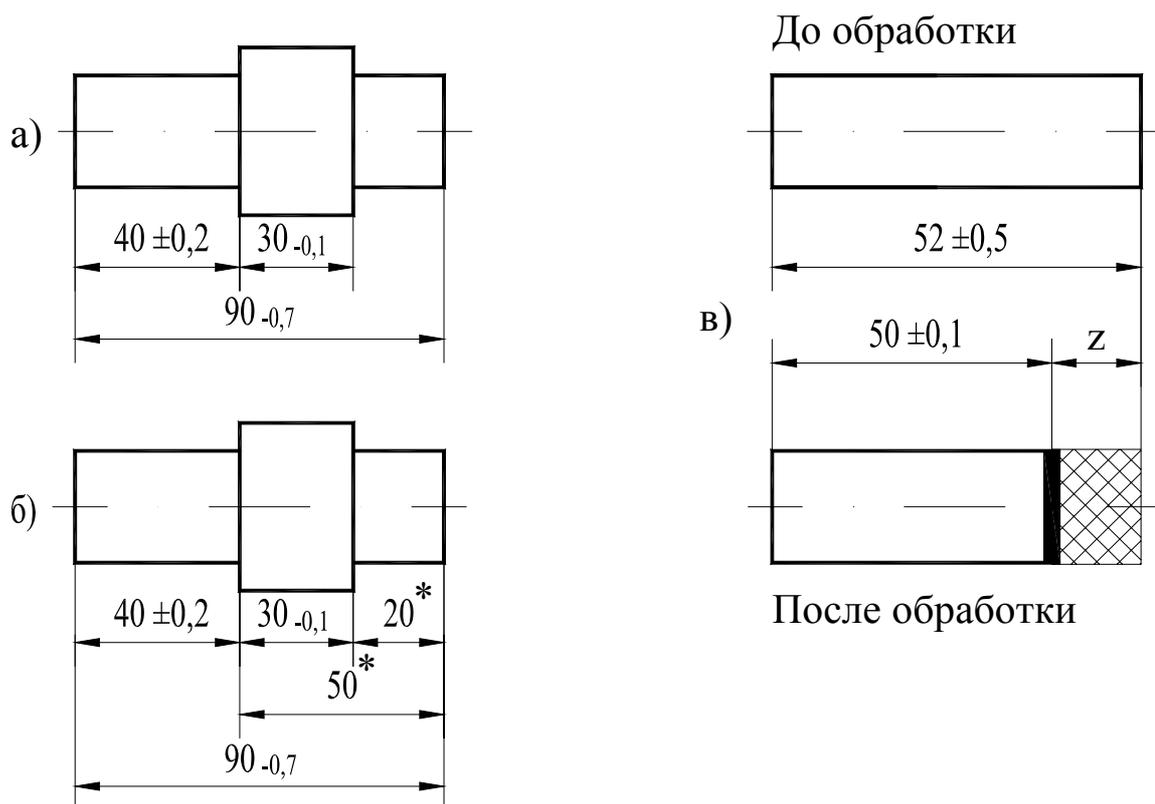
### 6.1. Понятие о размерной цепи

При конструировании механизмов, машин, приборов и других изделий, проектировании технологических процессов, выборе средств и методов измерений возникает необходимость в проведении размерного анализа, с помощью которого достигается рациональная простановка размеров, нормирование их точности. Под размером в данном случае понимают любые размерные связи между геометрическими элементами изделия, то есть линейные и угловые размеры, отклонения формы и расположения поверхностей, параметры шероховатости и волнистости поверхностей, параметры, характеризующие глубину слоев покрытия, насыщения, изменение состояния материала и т.п.

Размерный анализ проводят с использованием различных методик расчета размерных цепей. Одним из нормативных документов, регламентирующих основные понятия и определения, используемые при расчете размерных цепей, являются методические указания [4]. В соответствии с этими указаниями, размерной цепью называют совокупность размеров, непосредственно участвующих в решении поставленной задачи и образующих замкнутый контур. Однако при конструировании изделий и при проектировании технологических процессов изготовления деталей можно применять расширенное толкование понятия размерной цепи.

Размерной цепью можно назвать совокупность последовательно связанных размеров. Размерные цепи отражают размерные связи между геометрическими элементами деталей, сборочных единиц, изделий в сфере конструирования и эксплуатации, между элементами заготовок на разных стадиях технологических процессов в сфере технологического проектирования и изготовления и т.п. При таком подходе размерные цепи могут быть разомкнутыми и замкнутыми. Например, на чертежах деталей обычно указывают только те размеры, которые необходимы для изготовления. В этом случае связь между геометрическими элементами отражается в виде разомкнутой размерной цепи (рис. 6.1, а). Иногда на чертеже указывают дополнительные размеры, отмечаемые знаком \*. В этом случае в технических требованиях записывают: «\* Размеры для справок». При наличии таких размеров возникают замкнутые размерные цепи (рис. 6.1, б). При проектировании технологических процессов указывают размеры на разных стадиях обработки. Размеры до и после механической обработки образуют разомкнутые цепи. Если же указать между этими размерами снимаемый припуск  $z$  (рис. 6.1, в), то цепь становится замкнутой.

Размеры, входящие в размерную цепь, называют звеньями. Звенья разомкнутой размерной цепи, которые предписаны к изготовлению и контролю, называют составляющими. Звено, введение которого в разомкнутую размерную цепь превращает ее в замкнутую, называют замыкающим. В замкнутой размерной цепи может быть только одно замыкающее звено, а остальные звенья цепи являются составляющими. Расчет размерных цепей возможен только для замкнутых цепей



\* Размеры для справок

Рис. 6.1. Примеры размерных цепей: а) разомкнутых; б), в) замкнутых и связан с определением числовых характеристик одних звеньев цепи по известным характеристикам других.

В зависимости от расположения звеньев в пространстве размерные цепи подразделяют на линейные, плоские и пространственные. К линейным относят цепи, звенья которых определяют размерные связи между геометрическими элементами в одном координатном направлении.

Рассмотрим вначале теоретические и методические положения, связанные с расчетом простых линейных цепей.

Простой линейной цепью будем называть цепь, удовлетворяющую следующим требованиям:

- 1) звенья цепи – линейные размеры, лежащие на одной прямой или на параллельных прямых линиях;
- 2) количество составляющих звеньев цепи – не менее двух;
- 3) составляющие звенья цепи независимы между собой;
- 4) величина каждого составляющего звена может принимать только положительные значения, включая 0.

В простой линейной размерной цепи числовые характеристики замыкающего звена связаны с характеристиками составляющих звеньев наиболее простыми зависимостями.

Для расчета каждую размерную цепь удобно представить в виде схемы. На схеме простой линейной цепи звенья изображают отрезками прямых параллель-

ных линий с двухсторонними стрелками. Составляющие звенья на схеме цепи изображают одинарной линией, а замыкающее звено – двойной. При выполнении схемы важно отразить характер связи между геометрическими элементами и не обязательно соблюдение масштаба. Каждую размерную цепь обозначают прописными буквами русского алфавита  $A, B, B$  и т.д. Звенья цепи обозначают той же буквой с индексами: 0 – для замыкающего звена, 1, 2, 3 и т.д. – для составляющих звеньев. Нумерация составляющих звеньев может быть произвольной, например, по порядку следования звеньев, начиная от замыкающего звена в принятом направлении обхода (рис. 6.2).

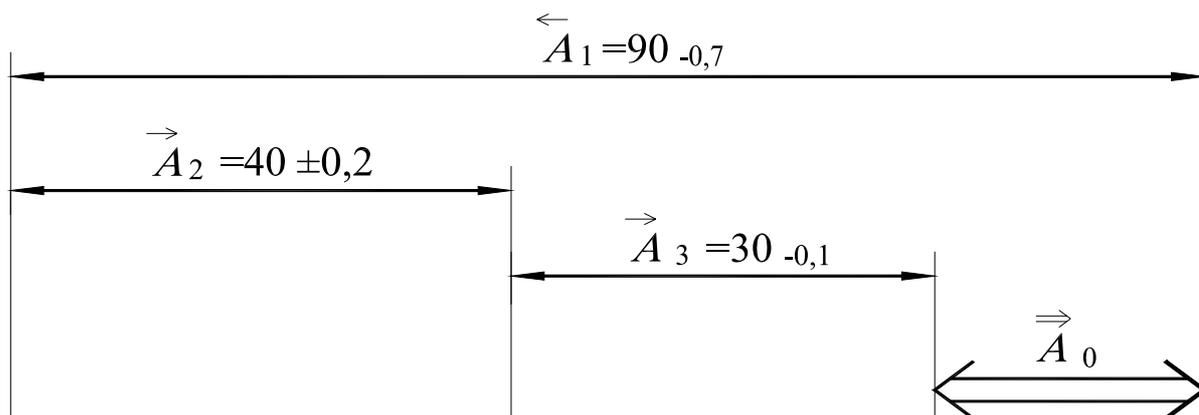


Рис. 6.2. Схема размерной цепи  $A$ :  $\vec{A}_1$  – увеличивающее звено;  $\vec{A}_2, \vec{A}_3$  – уменьшающие звенья;  $A_0$  – замыкающее звено

Составляющие звенья простой линейной размерной цепи по характеру влияния на величину замыкающего звена можно разделить на увеличивающие и уменьшающие. Увеличивающими называют составляющие звенья, при увеличении которых замыкающее звено увеличивается. Уменьшающими называют составляющие звенья, при увеличении которых замыкающее звено уменьшается.

Для разделения составляющих звеньев на увеличивающие и уменьшающие используют правило обхода, согласно которому при движении по звеньям замкнутой размерной цепи сопоставляют направления движения по составляющим звеньям с направлением движения по замыкающему звену. Составляющее звено, направление движения по которому совпадает с направлением движения по замыкающему, является уменьшающим. Если движение по составляющему звену происходит в противоположном направлении по отношению к замыкающему звену, то это означает, что данное составляющее звено является увеличивающим. Движение обычно начинают с замыкающего звена. Направление движения по замыкающему звену может быть любым.

Для определенности выберем направление слева направо (см. рис. 6.2). Тогда:

- 1) составляющее звено, движение по которому выполняется слева направо, относят к уменьшающим;
- 2) составляющее звено, движение по которому выполняется справа налево, относят к увеличивающим.

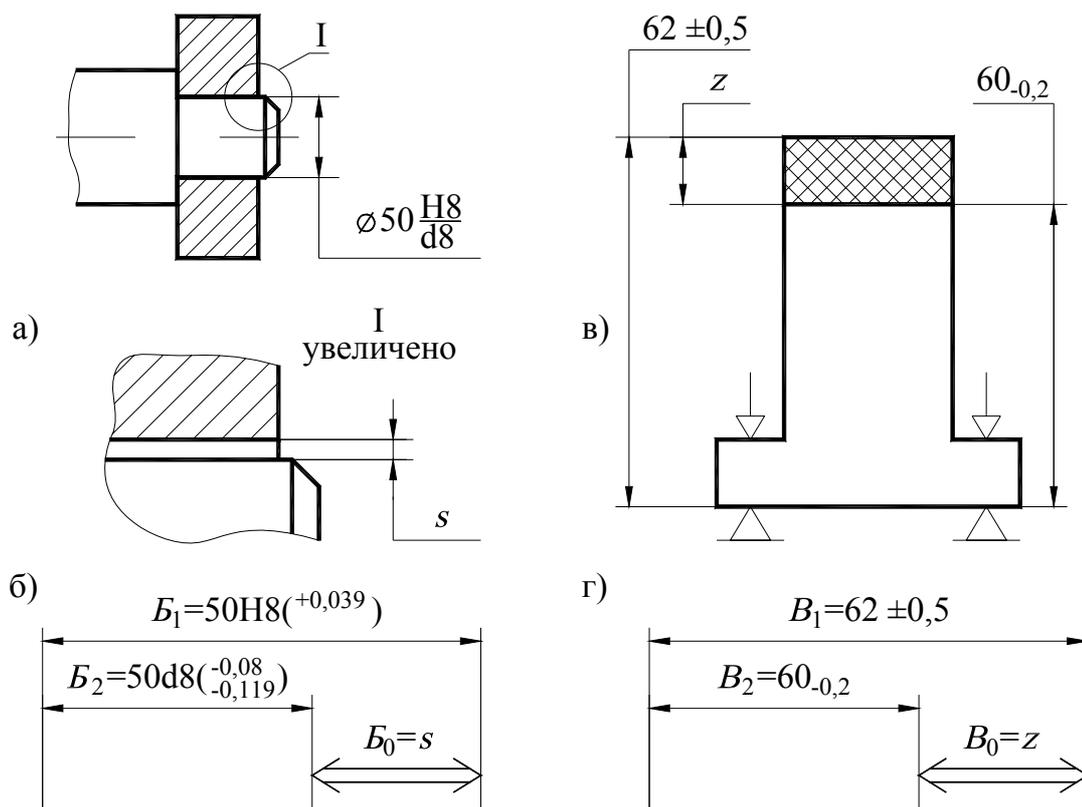


Рис. 6.3. Примеры простых размерных цепей:

- а) эскиз сопряжения вала со втулкой;      в) схема обработки при фрезеровании;  
 б) схема размерной цепи сопряжения;      г) схема размерной цепи припуска

Согласно данному правилу в размерной цепи, показанной на рис. 6.2, звено  $A_1$  является увеличивающим, а звенья  $A_2$  и  $A_3$  – уменьшающими.

Примерами простых размерных цепей являются: цепь зазора  $s$  в сопряжении вала с втулкой и цепь припуска  $z$ , снимаемого при фрезеровании плоскости (рис. 6.3).

При расчетах размерных цепей используют символическую запись цепи в виде уравнения. Обычно в левой части уравнения располагают символ замыкающего звена, то есть  $A_0$ ,  $B_0$ ,  $V_0$  и т.д. В правой части уравнения записывают алгебраическую сумму символов составляющих звеньев, причем символы увеличивающих звеньев записывают со знаком «+», а символы уменьшающих звеньев – со знаком «-». В соответствии с этим уравнение рассмотренной цепи  $A$  будет иметь вид  $A_0 = A_1 - A_2 - A_3$ . Это уравнение называют основным уравнением цепи, так как оно отражает связь основных характеристик звеньев: номинальных размеров, средних размеров и математических ожиданий размеров. Основные уравнения цепей, схемы которых изображены на рис. 6.3, имеют вид:  $B_0 = B_1 - B_2$ ;  $V_0 = V_1 - V_2$ . Для схемы, изображенной на рис. 6.4, уравнение цепи будет  $\Gamma_0 = -\Gamma_1 - \Gamma_2 + \Gamma_3 - \Gamma_4 + \Gamma_5$ .

В общем виде основное уравнение размерной цепи можно записать в одной из следующих форм:

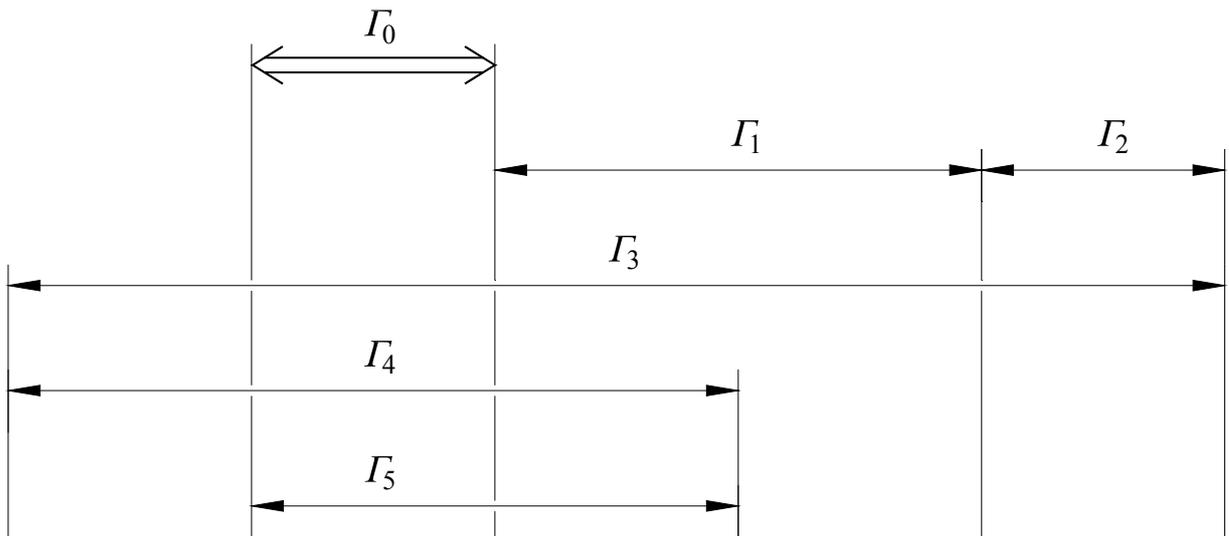


Рис. 6.4. Схема размерной цепи  $\Gamma$

$$A_0 = \sum A_{ув} - \sum A_{ум};$$

$$A_0 = \xi_1 A_1 + \xi_2 A_2 + \dots + \xi_n A_n;$$

$$A_0 = \sum_{i=1}^n \xi_i A_i,$$

где  $\sum A_{ув}$  и  $\sum A_{ум}$  – сумма характеристик увеличивающих и уменьшающих звеньев;  $\xi_i$  – коэффициент передачи (передаточное отношение), отражающий влияние составляющего звена на замыкающее и в простой линейной цепи равный «+1» – для увеличивающих звеньев, «-1» – для уменьшающих;  $i$  – порядковый номер звена в цепи;  $n$  – количество составляющих звеньев цепи.

Для уточнения характеристики размера символы записывают с индексом. Например, уравнения номиналов, средних размеров и математических ожиданий записывают так:

$$A_0^{НОМ} = \sum_{i=1}^n \xi_i A_i^{НОМ}; \quad (6.1)$$

$$A_0^{СР} = \sum_{i=1}^n \xi_i A_i^{СР}; \quad (6.2)$$

$$A_0^{МО} = \sum_{i=1}^n \xi_i A_i^{МО}. \quad (6.3)$$

## 6.2. Числовые характеристики регламентированных размеров

В конструкторской и технологической документации обычно указывают допускаемые значения размеров, используя две основные формы записи числовых характеристик (рис. 6.5):

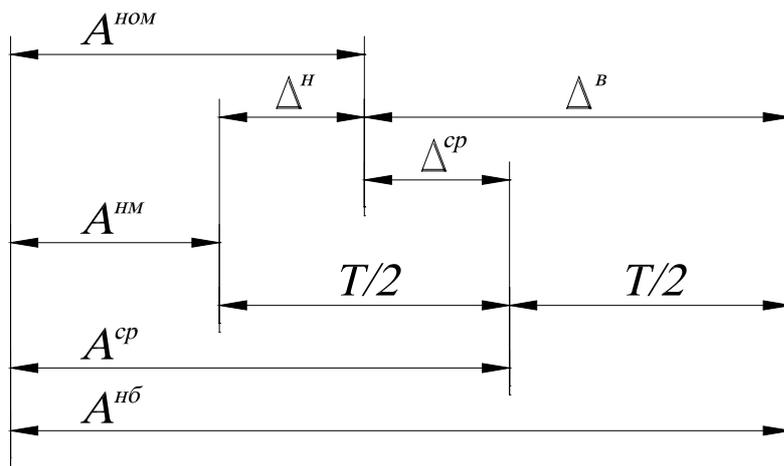


Рис. 6.5. Взаимосвязь числовых характеристик размеров

в форме номинального размера  $A^{НОМ}$  и двух предельных отклонений – верхнего  $\Delta^В$  и нижнего  $\Delta^Н$  ( $30 \pm 0,2$ ;  $50_{-0,2}^{-0,1}$ );

в форме двух предельных размеров – наименьшего  $A^{НМ}$  и наибольшего  $A^{НБ}$  ( $29,8...30,2$ ;  $49,8...49,9$ ).

Обе формы записи обеспечивают двухстороннюю регламентацию размеров. Иногда в технологической

документации используют одностороннюю регламентацию размера. В этом случае нормируют числовое значение одного из предельных размеров ( $29,8 \text{ min}$ ;  $49,9 \text{ max}$ ).

При использовании этой формы второй предельный размер задается косвенно и определяется конструкцией детали или возможностями технологии. Например, при указании длины резьбы в глухом отверстии (рис. 6.6) задают наименьший предельный размер  $40 \text{ min}$ , предполагая, что наибольший предельный размер определяется глубиной отверстия. При расчетах размерных цепей, как правило, размеры с односторонней регламентацией приходится дополнять вторым предельным размером и записывать в форме двух предельных размеров.

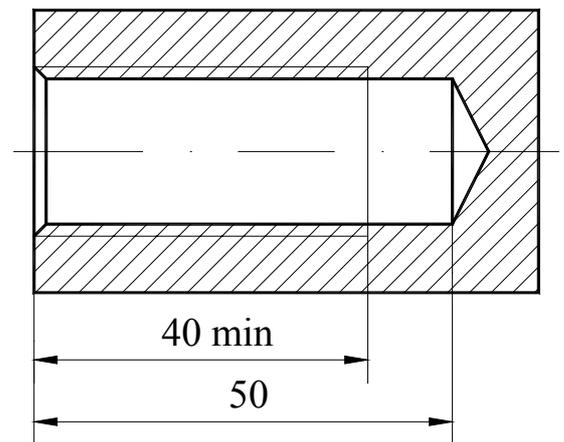


Рис. 6.6. Пример односторонней регламентации размеров

При расчетах размерных цепей по методике, рекомендованной в технической литературе [3], используют следующие числовые характеристики: номинальный размер  $A^{НОМ}$ , координату середины поля допуска  $\Delta^{СР}$  и половину поля допуска  $\frac{T}{2}$ . Размер, заданный этими характеристиками, можно представить в форме  $A^{НОМ} + \Delta^{СР} \pm \frac{T}{2}$ . Координату середины поля допуска или среднее отклонение вычисляют по формуле

$$\Delta^{СР} = \frac{\Delta^В + \Delta^Н}{2}.$$

Размеры  $30 \pm 0,2$ ;  $50_{-0,2}^{-0,1}$  в этой форме можно записать так:  $30 + 0 \pm 0,2$ ;  $50 - 0,15 \pm 0,05$ .

Наиболее удобной формой записи числовых характеристик размеров при неавтоматизированном расчете размерных цепей является запись в виде номинального размера и двух симметричных предельных отклонений. В этом случае номинальный размер совпадает со средним между двумя предельными размерами, поэтому такую запись будем называть формой среднего размера. От любой из рассмотренных форм записи размера с двухсторонней регламентацией можно перейти к форме среднего размера. При этом средний размер вычисляют по одной из следующих формул:

$$A^{cp} = A^{ном} + \frac{\Delta^6 + \Delta^H}{2};$$

$$A^{cp} = \frac{A^{HМ} + A^{HБ}}{2};$$

$$A^{cp} = A^{ном} + \Delta^{cp}.$$

Размеры  $30 \pm 0,2$ ;  $50_{-0,2}^{-0,1}$  в этой форме будут записаны так:  $30 \pm 0,2$ ;  $49,85 \pm 0,05$ . Если размер задан в форме номинального размера с двумя симметричными предельными отклонениями, то при расчетах отпадает необходимость преобразования. В предлагаемой ниже методике расчета размерных цепей предпочтение отдано представлению размера в форме среднего размера и двух симметричных предельных отклонений.

### 6.3. Числовые характеристики точности действительных размеров

Действительными называют размеры деталей, установленные в результате измерений с допустимой погрешностью. Обычно допустимую погрешность принимают по ГОСТ 8051-81. Для количественной оценки точности размеров используют различные числовые характеристики. Так о точности размера у отдельно взятой детали судят по величине отклонения  $\Delta A$  действительного размера  $A_d$  от заданного  $A_z$ :

$$\Delta A = A_d - A_z.$$

В качестве заданного принимают средний размер, один из предельных размеров или номинальный размер.

Для оценки точности размеров в партии деталей, обработанных в течение некоторого времени на станке, принимают: математическое ожидание  $A^{MO}$ , среднее квадратическое отклонение  $\sigma$ , величину поля рассеяния  $\omega$  и др.

Математическое ожидание  $A^{MO}$  характеризует положение центра рассеяния размеров. Так как при измерении производят округление получаемых размеров с учетом цены деления используемых средств измерения, то получаемые действительные размеры можно считать дискретными случайными величинами. Оценку математического ожидания в этом случае можно определить как среднюю арифметическую величину  $A^{ca}$  размеров в партии из  $n$  деталей

$$A^{ca} = A^{mo} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n}.$$

Среднее квадратическое отклонение  $\sigma$  определяют по имеющимся результатам измерения размеров в партии деталей. Если число размеров в партии деталей более 50, то для определения  $\sigma$  используют формулу

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - A^{ca})^2}{n}},$$

где  $A^{ca}$  – средний арифметический размер в партии деталей;  $A_i$  – текущий размер каждой детали;  $n$  – количество деталей в партии.

Если число размеров в партии деталей менее 50, то рекомендуется формула

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - A^{ca})^2}{n-1}},$$

В теории вероятностей и математической статистике доказано, что оценка, полученная по этой формуле, дает возможность получить несмещенную оценку дисперсии, определяемой как  $D = \sigma^2$ .

Математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение при заданном симметричном законе распределения размеров полностью характеризуют действительный размер как случайную величину. Наиболее распространенными законами распределения размеров являются нормальный закон, закон равнобедренного треугольника и закон прямоугольника.

Для расчета размерных цепей в качестве числовой характеристики размера используют поле рассеяния  $\omega$ . Под величиной поля рассеяния понимают такой интервал изменения размеров в партии деталей, за пределами которого оказывается пренебрежимо малая часть деталей. При нормальном законе распределения величину поля рассеяния принимают равной  $6\sigma$ , что соответствует вероятности выхода размеров деталей за границы поля рассеяния, равной 0,27%. Для закона равнобедренного треугольника и прямоугольника поле рассеяния составляет соответственно  $4,9\sigma$  и  $3,46\sigma$  при вероятности выхода размеров за границы поля рассеяния, равной 0%.

Для оценки характера рассеяния размеров используют коэффициент рассеяния, который определяют по формуле  $\lambda = \frac{2\sigma}{\omega}$ . При расчете размерных цепей ве-

роятностным методом используют значения коэффициента  $\lambda^2$ . Для указанных выше законов значения этих коэффициентов принимают по табл. 6.1. При асимметричных законах распределения (рис. 6.7) для характеристики используют коэффициент асимметрии  $\alpha$ , определяемый по формуле

Значения коэффициентов  $\lambda$  и  $\lambda^2$ 

Закон распределения	$\lambda$		$\lambda^2$	
	точные	приближенные	точные	приближенные
Нормальный	$\frac{1}{3}$	0,333	$\frac{1}{9}$	0,111
Треугольника	$\frac{1}{\sqrt{6}}$	0,408	$\frac{1}{6}$	0,167
Прямоугольника	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	0,577	$\frac{1}{3}$	0,333

$$\alpha = \frac{2(A^{mo} - A^{cp})}{\omega},$$

где  $A^{cp}$  – средний размер между двумя фактическими предельными  $A^{nm}$  и  $A^{nb}$ , равный

$$A^{cp} = \frac{A^{nm} + A^{nb}}{2}.$$

При асимметричном законе распределения математическое ожидание определяют по формуле

$$A^{mo} = A^{cp} + \alpha \frac{\omega}{2}. \quad (6.4)$$

Таким образом, при расчете размерных цепей в качестве важнейших числовых характеристик должны быть использованы математическое ожидание  $A^{mo}$ , поле рассеяния  $\omega$ , коэффициент рассеяния  $\lambda$  и коэффициент асимметрии  $\alpha$ . Для симметричных законов распределения коэффициент равен нулю, а математическое ожидание равно среднему размеру  $A^{cp}$ . В этом случае действительный размер можно представить в форме среднего размера с симметричными отклонениями, равными половине поля рассеяния. Эта форма представления размера совпадает с формой среднего размера с симметричными предельными отклонениями, если поле допуска совпадает с полем рассеяния, а закон распределения симметричный.

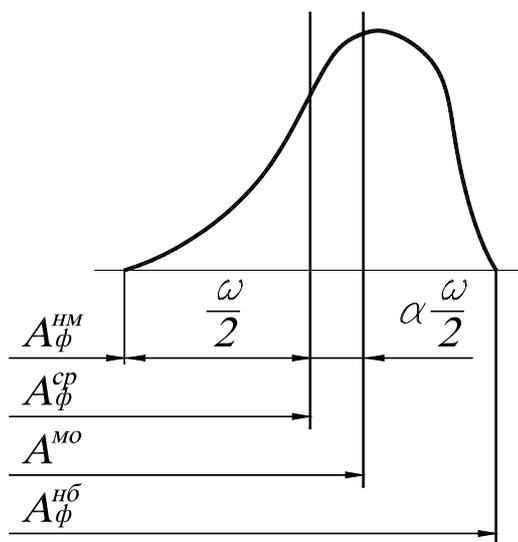


Рис. 6.7. Пример асимметричного закона распределения с коэффициентом  $\alpha > 0$

## 6.4. Задачи расчета размерных цепей

В связи со спецификой задач, решаемых при проектировании изделий, технологических процессов и контроле качества продукции, размерные цепи делят на конструкторские, технологические и измерительные. В конструкторских цепях звеньями являются размеры, заданные на рабочих и сборочных чертежах, в технологических цепях – размеры заготовок, операционные размеры, припуски, размерные параметры технологической системы. Измерительные цепи формируются из размеров, используемых при косвенных измерениях размеров деталей и сборочных единиц. В ряде случаев цепь может содержать различные виды размеров: конструкторские, технологические и размеры, полученные в результате измерений.

Условно задачи, решаемые при расчетах размерных цепей можно разделить на проверочные и проектные. Проверочные задачи расчета конструкторской и технологической цепи идентичны и заключаются в определении характеристик замыкающего звена по известным характеристикам составляющих звеньев. Примером простейшей проверочной задачи является определение номинального размера замыкающего звена по известным номинальным размерам составляющих звеньев. Так, для цепи  $A$  (см. рис. 6.2) номинальный размер замыкающего звена  $A_0$  определяют из уравнения (6.1):

$$A_0 = A_1 - A_2 - A_3 = 90 - 40 - 30 = 20.$$

К проверочным относят также задачи определения среднего размера замыкающего звена. Для определения среднего размера замыкающего звена предварительно рассчитывают средние размеры составляющих звеньев, а затем вычисляют средний размер замыкающего звена из уравнения (6.2):

$$A_1^{cp} = 90 + \frac{0 + (-0,7)}{2} = 90 - 0,35 = 89,65;$$

$$A_2^{cp} = 40 + \frac{0,2 + (-0,2)}{2} = 40 + 0 = 40;$$

$$A_3^{cp} = 30 + \frac{0 + (-0,1)}{2} = 30 - 0,05 = 29,95;$$

$$A_0^{cp} = A_1^{cp} - A_2^{cp} - A_3^{cp} = 89,65 - 40 - 29,95 = 19,7.$$

Одной из характеристик замыкающего звена является величина поля рассеяния, которая зависит от рассеяния составляющих звеньев. При расчете методом максимума-минимума эта зависимость имеет вид:

$$\omega_0 = \omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_n = \sum_{i=1}^n \omega_i. \quad (6.5)$$

Это уравнение используют при решении проверочных задач для определения поля рассеяния замыкающего звена по известным полям рассеяния составляющих звеньев. Величину поля рассеяния замыкающего звена определяют экспериментально или принимают равной величине поля допуска. Для рассматриваемого

примера рассчитывают допуски составляющих звеньев, а затем вычисляют поле рассеяния замыкающего звена:

$$\omega_1 = T_1 = 0 - (-0,7) = 0,7;$$

$$\omega_2 = T_2 = 0,2 - (-0,2) = 0,4;$$

$$\omega_3 = T_3 = 0 - (-0,1) = 0,1;$$

$$\omega_0 = \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 0,7 + 0,4 + 0,1 = 1,2.$$

Алгоритм решения проверочной задачи приведены в разделе 6.9.

Проектные задачи расчета размерных цепей заключаются в определении характеристик одного или нескольких составляющих звеньев по известным характеристикам замыкающего звена. В этом случае замыкающее звено называют исходным, а его характеристики (допуск, номинальный, средний, наименьший, наибольший размеры) называют исходными характеристиками.

Наиболее типичной проектной задачей расчета конструкторской цепи является определение допусков составляющих звеньев по заданному допуску замыкающего звена. Эту задачу решают способами равных допусков, равной точности, экономически целесообразной точности и другими способами, приведенными в литературе [3].

Наряду с задачей определения допусков часто возникает задача назначения номинальных размеров составляющих звеньев. Обычно, исходя из конструктивных соображений, назначают номинальные размеры и предельные отклонения на все составляющие звенья цепи, кроме одного. Это звено и его неизвестные характеристики называют определяемыми или увязочными. Номинальный размер увязочного звена рассчитывают с использованием уравнения (6.1).

Пусть в цепи  $A$  (рис. 6.8) требуется рассчитать номинальный размер звена  $A_3$ .

Из уравнения  $A_0^{ном} = A_1^{ном} - A_2^{ном} - A_3^{ном}$  находим:

$$A_3^{ном} = A_1^{ном} - A_2^{ном} - A_0^{ном} = 90 - 40 - 20 = 30.$$

Подобным же образом с использованием уравнения (6.5) решается задача определения допуска увязочного звена:

$$T_3 = \omega_3 = \omega_0 - \omega_1 - \omega_2 = 1,2 - 0,7 - 0,4 = 0,1.$$

Для расчета предельных отклонений увязочного звена предварительно вычис-

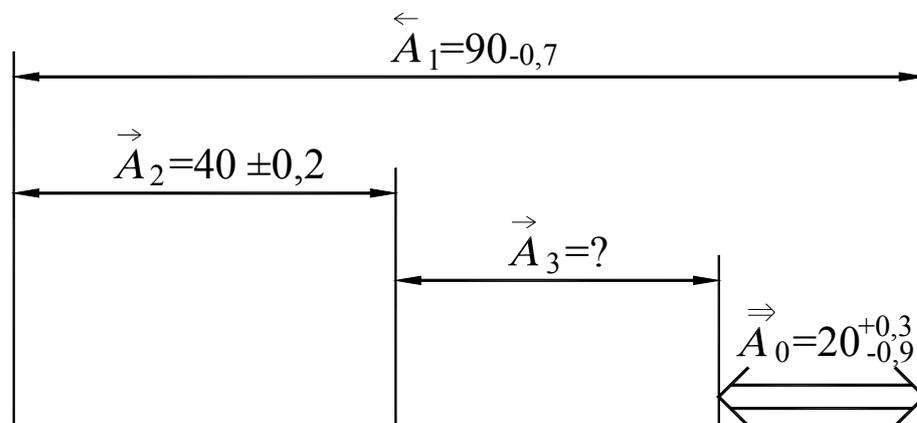


Рис. 6.8. Схема размерной цепи  $A$  с увязочным звеном

ляют его средний размер:

$$A_3^{cp} = A_1^{cp} - A_2^{cp} - A_0^{cp} = 89,65 - 40 - 19,7 = 29,95.$$

Затем по формулам  $\Delta^g = A^{cp} + \frac{T}{2} - A^{ном}$ ;

$$\Delta^h = A^{cp} - \frac{T}{2} - A^{ном}$$

вычисляют предельные отклонения:

$$\Delta_3^g = 29,95 + 0,05 - 30 = 0;$$

$$\Delta_3^h = 29,95 - 0,05 - 30 = -0,1.$$

Рассчитанные характеристики увязочного звена позволяют представить его в виде  $A_3 = 30_{-0,1}^0$ .

Часто при расчете конструкторских и технологических размерных цепей возникает задача определения только номинального размера увязочного звена. Этот случай возможен, если допуски и предельные отклонения на все составляющие звенья цепи, включая увязочное, назначены заранее, исходя из экономических или других соображений. Тогда для данной цепи решают проектную задачу: вначале определяют номинальный размер увязочного звена, а затем рассчитывают фактические предельные размеры замыкающего звена и сравнивают их с регламентированными предельными размерами. Для получения возможности смещения фактического поля рассеяния замыкающего звена к нижней или верхней границе поля допуска или для размещения его на середине поля допуска (рис. 6.9) выполняют расчет номинального размера увязочного звена при разных исходных размерах замыкающего звена. При расчете от исходного наименьшего размера поле рассеяния замыкающего звена смещается к нижней границе поля допуска, при расчете от исходного среднего – размещается посередине, при расчете от исходного наибольшего – смещается к верхней границе поля допуска. Алгоритм решения проектной задачи приведен в разделе 6.9.

## 6.5. Методы расчета размерных цепей

Для расчета размерных цепей применяют два метода – метод максимума-минимума и вероятностный.

При расчете предельных размеров замыкающего звена методом максимума-минимума предполагают, что в цепи возможно наихудшее сочетание предельных размеров составляющих звеньев: увеличивающие звенья имеют наибольшие размеры, уменьшающие – наименьшие и наоборот. Поле рассеяния замыкающего звена, рассчитанное этим методом, называют практически предельным и считают, что оно включает все 100% случаев реализации цепи в производстве (все фактические значения замыкающего звена будут лежать в расчетных пределах). В примерах, рассмотренных в разделе 6.4, размерные цепи рассчитаны методом максимума-минимума.

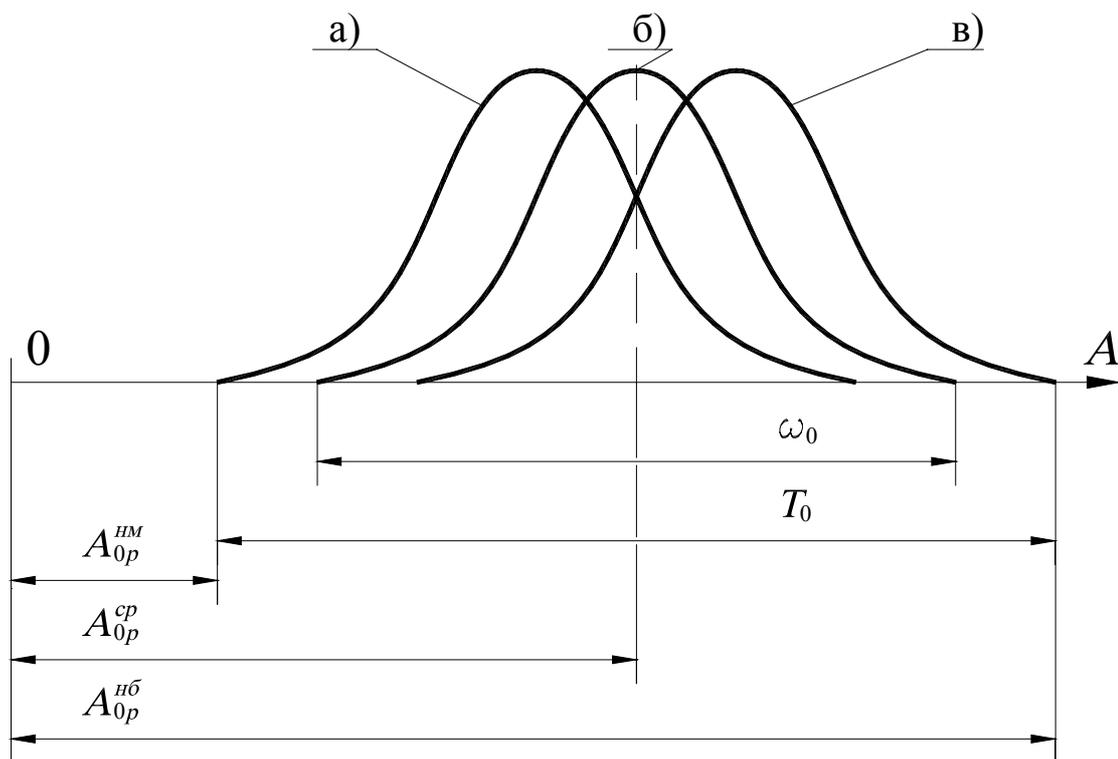


Рис. 6.9. Схема расположения поля рассеяния замыкающего звена относительно границ поля допуска при расчете номинального размера увязочного звена при использовании в качестве исходного размера замыкающего звена:

- а) наименьшего  $A_{0p}^{HM}$ , б) среднего  $A_{0p}^{CP}$ , в) наибольшего  $A_{0p}^{HM}$   
регламентированного размера

При использовании вероятностного метода определяют условное поле рассеяния замыкающего звена, содержащее менее 100% возможных случаев. При реализации в производстве появляется некоторая вероятность того, что фактические значения замыкающего звена окажутся вне расчетных пределов.

При расчете цепей вероятностным методом основное уравнение, используемое для расчета номинального и среднего размеров, остается неизменным. Поэтому номинальный и средний размеры замыкающего звена, рассчитанные двумя методами, совпадают.

Разница в расчетах проявляется в определении поля рассеяния замыкающего звена. Уравнение поля рассеяния при расчете методом максимума-минимума приведено выше, формула (6.5). При расчетах вероятностным методом величина поля рассеяния замыкающего звена при решении проверочных задач получается меньше, чем при расчетах методом максимума-минимума. Имеется несколько разновидностей вероятностного расчета, которые отличаются расчетными формулами:

$$\omega_0 = \sqrt{\sum_{i=1}^n \omega_i^2}; \quad (6.6)$$

$$\omega_0 = t \sqrt{\sum_{i=1}^n \lambda_i^2 \omega_i^2}; \quad (6.7)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\lambda_0} \sqrt{\sum_{i=1}^n \lambda_i^2 \omega_i^2}. \quad (6.8)$$

Формулу (6.6) используют при любом количестве составляющих звеньев, имеющих нормальный закон распределения. Полученное поле рассеяния содержит 99,73% возможных случаев реализации цепи, то есть процент риска  $P$  составляет 0,27%.

Формулу (6.7) используют при значениях процента риска, отличающихся от 0,27%. Величину процента риска учитывают с помощью коэффициента риска  $t$ , который назначают в соответствии с табл. 6.2.

Таблица 6.2

Значения коэффициента  $t$  для нормального закона рассеяния размеров замыкающего звена при различных значениях процента риска  $P$

$P, \%$	0,1	0,27	0,5	1	2	3	5	10	32
$t$	3,29	3	2,81	2,57	2,32	2,17	1,96	1,65	1

Формулу (6.7) используют в тех случаях, когда закон распределения замыкающего звена – нормальный или близкий к нему, что возможно в следующих случаях:

- 1) законы распределения всех составляющих звеньев нормальные;
- 2) законы распределения составляющих звеньев отличаются от нормального, но являются симметричными. При этом количество составляющих звеньев не менее 4–6 и среди них нет звена с доминирующим полем рассеяния.

При расчете малозвенных цепей, содержащих менее 4–6 составляющих звеньев, используют формулу (6.8). Эта эмпирическая формула выведена П.Ф. Дунаевым [6, 7] из условия, что полученное поле рассеяния содержит 99,73% возможных случаев реализации цепи. В этой формуле коэффициент рассеяния  $\lambda_0$  характеризует закон распределения замыкающего звена. Величину этого коэффициента вычисляют по формуле:

$$\lambda_0 = 0,333 + 0,183 \frac{\omega'''_0 - \omega''_0}{\omega'_0}, \quad (6.9)$$

где  $\omega'''_0$  – поле рассеяния замыкающего звена, вычисленное по формуле (6.7) при  $t = 3$ ,  $\omega''_0$  – по формуле (6.6),  $\omega'_0$  – по формуле (6.5).

По величине коэффициента  $\lambda_0$ , рассчитанного по формуле (6.9), можно сделать заключение о законе распределения замыкающего звена. Так, например, при  $\lambda_0 = 0,408$  в соответствии с табл. 6.1 принимаем, что распределение замыкающего звена подчиняется закону треугольника.

При расчете многозвенных цепей результаты, полученные по формулам (6.7) и (6.8), практически совпадают. Поэтому при расчетах цепей вероятностным методом на ЭВМ целесообразно использовать формулу (6.8) при любом числе звеньев.

Расчеты размерных цепей вероятностным методом дают меньшие значения полей рассеяния замыкающих звеньев, чем расчеты методом максимума-минимума. Причиной этого является наличие определенного процента риска, т.е.

вероятности выхода значений замыкающего звена за расчетные пределы при реализации цепи. С увеличением принимаемого процента риска  $P$  условное поле рассеяния замыкающего звена  $\omega_0$  для той же цепи уменьшается.

## 6.6. Способы расчета размерных цепей

В зависимости от формы записи числовых характеристик и закона распределения размеров составляющих звеньев выбирают различные способы расчета размерных цепей. При расчете цепей методом максимума-минимума применяют четыре основных способа: способ предельных отклонений, способ предельных размеров, способ средних отклонений и способ средних размеров. При этом предполагают, что поле рассеяния каждого составляющего звена совпадает с его полем допуска.

Способ предельных отклонений применяют в тех случаях, когда числовые характеристики записаны в форме номинальных размеров и предельных отклонений. Для расчета цепей используют основное уравнение в форме номинального размера и два уравнения верхнего и нижнего предельных отклонений:

$$\begin{aligned} A_0^{НОМ} &= \sum A_{ув}^{НОМ} - \sum A_{ум}^{НОМ} ; \\ \Delta_0^6 &= \sum \Delta_{ув}^6 - \sum \Delta_{ум}^H ; \\ \Delta_0^H &= \sum \Delta_{ув}^H - \sum \Delta_{ум}^6 . \end{aligned}$$

Способ предельных размеров применяют в тех случаях, когда числовые характеристики записаны в форме предельных размеров. Для расчета используют два уравнения предельных размеров:

$$\begin{aligned} A_0^{Нб} &= \sum A_{ув}^{Нб} - \sum A_{ум}^{Нм} ; \\ A_0^{Нм} &= \sum A_{ув}^{Нм} - \sum A_{ум}^{Нб} . \end{aligned}$$

Способ средних отклонений предусматривает преобразование числовых характеристик в форму, включающую номинальный размер, среднее отклонение и половину поля допуска. Для расчета цепей используют три уравнения:

$$\begin{aligned} A_0^{НОМ} &= \sum_{i=1}^n \xi_i A_i^{НОМ} ; \\ \Delta_0^{cp} &= \sum_{i=1}^n \xi_i \Delta_i^{cp} ; \\ \omega_0 = T_0 &= \sum_{i=1}^n T_i . \end{aligned}$$

Способ средних размеров применяют в тех случаях, когда числовые характеристики записаны в форме номинального размера и симметричных предельных отклонений. Если числовые характеристики записаны в других формах, то перед расчетом этим способом требуется преобразование в данную форму. Для расчета цепей используют два уравнения:

$$A_0^{CP} = \sum_{i=1}^n \xi_i A_i^{CP};$$

$$\omega_0 = T_0 = \sum_{i=1}^n T_i.$$

При расчете размерных цепей вероятностным методом применяют три основных способа расчета: способ средних отклонений, способ средних размеров и способ математических ожиданий. Применяя способы средних отклонений и средних размеров, основные уравнения размерных цепей оставляют без изменений, а для расчета поля рассеяния замыкающего звена используют одно из уравнений (6.6), (6.7), (6.8).

Способ математических ожиданий применяют в тех случаях, когда известны такие числовые характеристики размера составляющего звена, как математическое ожидание  $A_i^{MO}$ , поле рассеяния  $\omega_i$ , коэффициент рассеяния  $\lambda_i$  и коэффициент асимметрии  $\alpha_i$ . Для вычисления соответствующих характеристик  $A_0^{MO}$ ,  $\omega_0$ ,  $\lambda_0$  и  $\alpha_0$  используют следующие уравнения:

$$A_0^{MO} = \sum_{i=1}^n \xi_i A_i^{MO};$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\lambda_0} \sqrt{\sum_{i=1}^n \lambda_i^2 \omega_i^2},$$

где  $\lambda_0 = 0,333 + 0,183 \frac{\omega'''_0 - \omega''_0}{\omega'_0}$ ;

$$\alpha_0 = \frac{0,59 \sum_{i=1}^n \xi_i \alpha_i \omega_i}{\omega_0'}. \quad (6.10)$$

В качестве примера рассмотрим проверочный расчет размерной цепи  $A$  (см. рис. 6.2) вероятностным методом способом математических ожиданий, считая, что составляющие звенья цепи имеют следующие числовые характеристики:

$$\begin{array}{lllll} A_1^{НОМ} = 90; & \Delta_1^e = 0; & \Delta_1^H = -0,7; & \lambda_1^2 = 0,333; & \alpha_1 = 0; \\ A_2^{НОМ} = 40; & \Delta_2^e = +0,2; & \Delta_2^H = -0,2; & \lambda_2^2 = 0,221; & \alpha_2 = 0,33; \\ A_3^{НОМ} = 30; & \Delta_3^e = 0; & \Delta_3^H = -0,1; & \lambda_3^2 = 0,139; & \alpha_3 = 0,18. \end{array}$$

Предварительно по формуле (6.4) вычислим математические ожидания составляющих звеньев, используя рассчитанные в разделе 6.4 величины средних размеров  $A_1^{CP} = 89,65$ ;  $A_2^{CP} = 40$ ;  $A_3^{CP} = 29,95$  и полей рассеяния  $\omega_1 = 0,7$ ;  $\omega_2 = 0,4$  и  $\omega_3 = 0,1$

$$A_1^{MO} = 89,65 + 0 \cdot \frac{0,7}{2} = 89,65;$$

$$A_2^{Mo} = 40 + 0,33 \cdot \frac{0,4}{2} = 40,066;$$

$$A_3^{Mo} = 29,95 + 0,18 \cdot \frac{0,1}{2} = 29,959.$$

По формуле (6.3) вычислим математическое ожидание замыкающего звена

$$A_0^{Mo} = 89,65 - 40,066 - 29,959 = 19,625.$$

По формуле (6.10) вычислим коэффициент асимметрии замыкающего звена

$$\alpha_0 = \frac{0,59(0 \cdot 0,7 - 0,33 \cdot 0,4 - 0,18 \cdot 0,1)}{1,2} = 0,074.$$

По формуле (6.9) вычислим коэффициент рассеяния замыкающего звена

$$\lambda_0 = 0,333 + 0,183 \frac{3\sqrt{0,333 \cdot 0,7^2 + 0,221 \cdot 0,4^2 + 0,139 \cdot 0,1^2} - \sqrt{0,7^2 + 0,4^2 + 0,1^2}}{1,2} = 0,414.$$

По формуле (6.8) вычислим поле рассеяния замыкающего звена

$$\omega_0 = \frac{1}{0,414} \sqrt{0,333 \cdot 0,7^2 + 0,221 \cdot 0,4^2 + 0,139 \cdot 0,1^2} = 1,081.$$

Способ математических ожиданий дает наиболее достоверные результаты и рекомендуется при расчете размерных цепей на ЭВМ. В частных случаях, при симметричных законах распределения, он совпадает со способом средних размеров.

## 6.7. Понятие о запасах и дефицитах

Для надежного обеспечения точности замыкающих размеров конструкторских и технологических цепей необходимо выполнить условие:  $\omega_0 \leq T_0$ , где  $\omega_0$  – поле рассеяния замыкающего звена,  $T_0$  – поле допуска этого звена. Величину  $V_0$ , определяемую по формуле  $V_0 = T_0 - \omega_0$ , называют запасом по допуску. Наличие запаса по допуску ( $V_0 > 0$ ) является необходимым, но не достаточным условием обеспечения точности размера, так как выход фактических значений размеров за границы поля допуска возможен за счет смещения середины поля рассеяния относительно середины поля допуска.

Для оценки расположения границ поля рассеяния относительно границ поля допуска используют такие показатели, как запасы по нижней и верхней границам поля допуска замыкающего звена, определяемые по формулам:

$$V_0^H = A_{0\phi}^{HМ} - A_{0p}^{HМ}; \quad (6.11)$$

$$V_0^G = A_{0p}^{Hб} - A_{0\phi}^{Hб}, \quad (6.12)$$

где  $A_{0\phi}^{HМ}$ ,  $A_{0\phi}^{Hб}$  – фактические наименьший и наибольший размеры замыкающего звена, полученные в результате расчета размерной цепи;  $A_{0p}^{HМ}$ ,  $A_{0p}^{Hб}$  – регламенти-

рованные наименьший и наибольший размеры этого звена, указанные в конструкторской или технологической документации.

Показатели  $V_0$ ,  $V_0^H$ , и  $V_0^6$  могут иметь отрицательные значения. Такие показатели называют дефицитом допуска  $D_0$  и дефицитами допуска по нижней  $D_0^H$  и верхней  $D_0^6$  границам поля допуска, а их числовые значения принимают без учета знака «минус». Для вычисления дефицитов используют формулы:

$$D_0^H = A_{0p}^{HM} - A_{0\phi}^{HM}; \quad (6.13)$$

$$D_0^6 = A_{0\phi}^{H6} - A_{0p}^{H6}. \quad (6.14)$$

Пусть, например, звено  $A_0$  имеет регламентированные предельные размеры  $A_{0p}^{HM}=19,5$ ;  $A_{0p}^{H6}=21,0$ ; рассчитанные фактические предельные размеры –  $A_{0\phi}^{HM}=19,1$ ;  $A_{0\phi}^{H6}=20,3$ . Определим запасы  $V_0$ ,  $V_0^H$ , и  $V_0^6$ :

$$V_0 = T_0 - \omega_0 = A_{0p}^{H6} - A_{0p}^{HM} - (A_{0\phi}^{H6} - A_{0\phi}^{HM}) = 21,0 - 19,5 - (20,3 - 19,1) = 1,5 - 1,2 = 0,3;$$

$$V_0^H = 19,1 - 19,5 = -0,4$$

или  $D_0^H = 0,4$ ;

$$V_0^6 = 21 - 20,3 = 0,7.$$

Результаты расчета отражены на схеме (рис. 6.10).

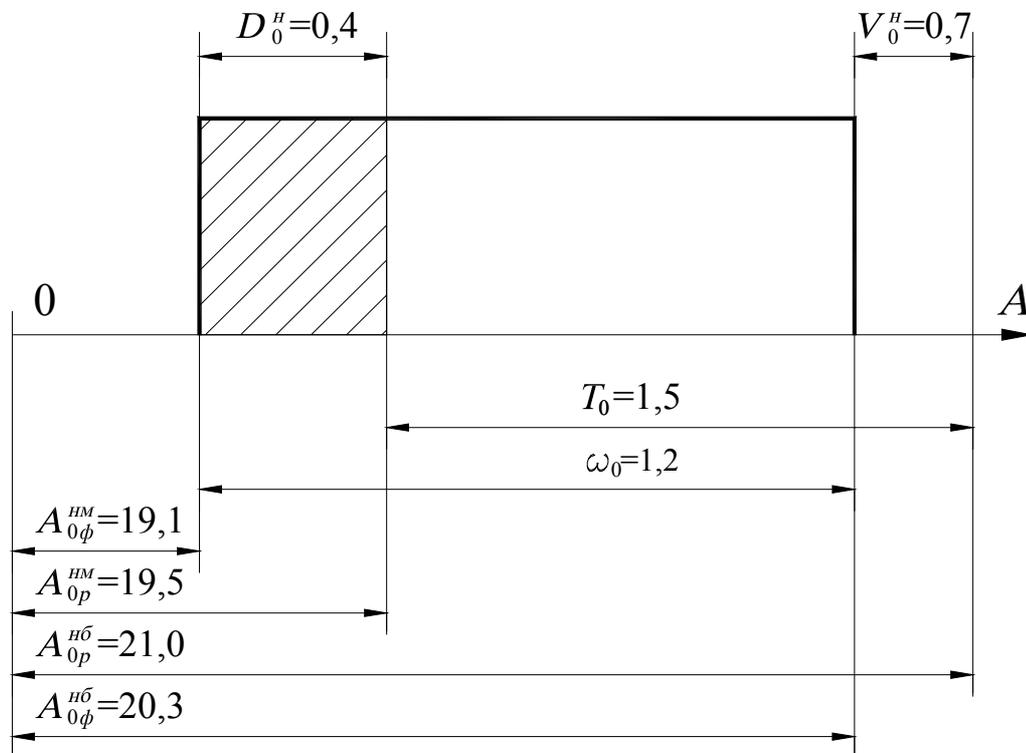


Рис. 6.10. Схема расположения запасов (дефицитов) и определение процента брака при рассеянии размеров по закону прямоугольника

Получаемые по формулам (6.13) и (6.14) значения дефицитов имеют размерность [мм]. На практике удобно переходить к относительным показателям дефицита, выраженным в процентах от поля рассеяния:

$$d_0^H = \frac{A_{0p}^{HM} - A_{0\phi}^{HM}}{\omega_0} \cdot 100\%; \quad (6.15)$$

$$d_0^S = \frac{A_{0\phi}^{H\bar{b}} - A_{0p}^{H\bar{b}}}{\omega_0} \cdot 100\%. \quad (6.16)$$

В рассмотренном примере относительный показатель дефицита по нижнему пределу, вычисленный по формуле (6.15), составит

$$d_0^H = \frac{19,5 - 19,1}{1,2} \cdot 100\% = 33,333\%.$$

При расчете размерных цепей вероятностным методом относительные показатели дефицитов могут быть использованы для ориентировочной оценки качества изделий и технологических процессов. Для более точной оценки необходимо определять вероятность брака.

## 6.8. Округление расчетных номинальных размеров определяемых звеньев

При решении проектных задач расчетные номинальные размеры определяемых (увязочных) звеньев целесообразно округлять, согласуя число десятичных знаков после запятой с точностью данного размера. Округление номинального размера определяемого звена приводит к смещению среднего и предельных размеров замыкающего звена и может, несмотря на наличие запаса по допуску, привести к появлению дефицита по одной из границ поля допуска.

Величину изменения (или коррекции) номинального размера определяемого звена при его округлении вычисляют по формуле

$$K_{окр} = A_{опр}^{ном\ окр} - A_{опр}^{ном},$$

где  $A_{опр}^{ном}$  – номинальный размер определяемого звена до округления;  $A_{опр}^{ном\ окр}$  – тот же размер после округления.

В результате округления произойдет смещение поля рассеяния замыкающего звена относительно его поля допуска на величину коррекции  $K_{окр}$ . Если при решении проектной задачи запас по допуску  $V_0 = 0$ , то округление расчетного номинального размера вызовет появление дефицита  $V_0^H$  или  $V_0^S$ . Для того, чтобы избежать появления дефицита, необходимо до начала расчета выполнить условие  $V_0 > |K_{окр}^{max}|$ , где  $K_{окр}^{max}$  – максимальное возможное изменение расчетного номинального размера при округлении. Следовательно, гарантированный запас по допуску замыкающего звена  $W_0$  при решении проектной задачи, определяемый по формуле  $W_0 = V_0 - |K_{окр}^{max}|$ , должен удовлетворять условию  $W_0 \geq 0$ . Величина

$K_{окр}^{max}$  зависит от требуемой точности округления. Округление можно производить с точностью до 1 мм, до 0,1 мм, до 0,01 мм, до 0,001 мм. В этом случае величина  $K_{окр}^{max}$  равна соответственно 1 мм, 0,1 мм, 0,01 мм, 0,001 мм. При выполнении размерного анализа на ЭВМ требуемую точность округления задают с помощью специальных кодов округления, приведенных в табл. 6.3.

Таблица 6.3

Значения  $|K_{окр}^{max}|$ , мм

Код округления	Точность округления	Группа замыкающего звена	
		2, 4	3
990	До целых	1	0,5
100	До десятых	0,1	0,05
200	До десятых кратно 2	0,2	0,1
500	До десятых кратно 5	0,5	0,25
110	До сотых	0,01	0,005
120	До сотых кратно 2	0,02	0,01
150	До сотых кратно 5	0,05	0,025
111	До тысячных	0,001	0,0005
112	До тысячных кратно 2	0,002	0,001
115	До тысячных кратно 5	0,005	0,0025
991	До знака предельного отклонения на размер	—	—
992	До знака предельного отклонения на размер кратно 2	—	—
995	До знака предельного отклонения на размер кратно 5	—	—

При использовании кодов округления 991, 992, 995 точность округления зависит от младшего разряда, который имеется в записи предельных отклонений. Например, точность округления размера  $A_{опр} \begin{matrix} +0,15 \\ -0,20 \end{matrix}$  при коде округления 991 будет до сотых долей мм, а величина  $K_{окр}^{max}$  для замыкающих звеньев групп 2, 4 будет составлять 0,01 мм, для группы 3 – 0,005 мм.

При наличии гарантированного запаса  $W_0 \geq 0$  округление следует производить, соблюдая следующие правила:

1) если в качестве исходного размера замыкающего звена принят его наименьший размер, то округление номинальных размеров увеличивающих звеньев следует производить в сторону увеличения, а уменьшающих – в сторону уменьшения;

2) если в качестве исходного размера замыкающего звена принят его средний размер, то округление номинальных размеров следует производить в сторону, дающую меньшее абсолютное значение  $K_{окр}$ . Если последняя цифра округляемо-

го номинального размера – 5, то абсолютное значение  $K_{окр}$  будет одинаковым при округлении в любую сторону. В этом случае для определенности округление номинальных размеров увеличивающих звеньев следует производить в сторону уменьшения, а уменьшающих – в сторону увеличения.

3) если в качестве исходного размера замыкающего звена принят его наибольший размер, то округление номинальных размеров увеличивающих звеньев следует производить в сторону уменьшения, а уменьшающих – в сторону увеличения.

При односторонней регламентации предельных размеров замыкающего звена не требуется вычисления запасов  $V_0$  и  $W_0$ , а округление номинальных размеров определяемых звеньев выполняется по тем же правилам.

## 6.9. Алгоритмы расчета размерных цепей

Ниже приведены алгоритмы решения проверочной и проектной задач расчета размерных цепей, рекомендуемые при размерном анализе технологических процессов в курсовом проекте. В алгоритмах используется метод максимума-минимума и способ средних размеров.

### Проверочная задача:

1) дана цепь размеров, состоящая из замыкающего звена  $A_0$  и  $n$  составляющих звеньев  $A_1, A_2, \dots, A_n$ ;

2) каждое из  $n$  составляющих звеньев является известным и имеет числовые характеристики в форме номинального размера  $A_i^{ном}$  и двух предельных отклонений  $\Delta_i^s$  и  $\Delta_i^h$ ;

3) замыкающее звено  $A_0$  не имеет никаких регламентированных числовых характеристик или имеет их в любой форме;

4) решение проверочной задачи состоит в определении фактических предельных размеров  $A_{0ф}^{нм}$  и  $A_{0ф}^{нб}$  замыкающего звена, а при наличии регламентированных предельных размеров  $A_{0р}^{нм}$  и  $A_{0р}^{нб}$  – и в вычислении запасов  $V_0^h$  и  $V_0^s$  и относительных показателей дефицитов  $d_0^h$  и  $d_0^s$ . Алгоритм решения проверочной задачи приведен в табл. 6.4.

### Проектная задача:

1) дана цепь размеров, состоящая из замыкающего звена  $A_0$  и  $n$  составляющих звеньев  $A_1, A_2, \dots, A_n$ ;

2) все составляющие звенья, кроме одного, являются известными и имеют числовые характеристики в форме номинального размера  $A_i^{ном}$  и двух предельных отклонений  $\Delta_i^s$  и  $\Delta_i^h$ ;

3) одно из составляющих звеньев является определяемым, у него заданы только предельные отклонения  $\Delta_{опр}^s$  и  $\Delta_{опр}^h$ ;

Таблица 6.4

## Алгоритм решения проверочной задачи расчета размерной цепи

Определяемая величина	Расчетная формула	Примечания
1. Средний фактический размер замыкающего звена	$A_{0\phi}^{cp} = \sum_{i=1}^n \xi_i A_i^{cp}$	
2. Половина поля рассеяния замыкающего звена	$\omega_0 = \sum_{i=1}^n \omega_i$	
3. Наименьший фактический размер замыкающего звена	$A_{0\phi}^{nm} = A_{0\phi}^{cp} - \frac{\omega_0}{2}$	
4. Наибольший фактический размер замыкающего звена	$A_{0\phi}^{nb} = A_{0\phi}^{cp} + \frac{\omega_0}{2}$	
5. Допуск замыкающего звена	$T_0 = A_{0p}^{nb} - A_{0p}^{nm}$	
6. Запас по допуску замыкающего звена	$V_0 = T_0 - \omega_0$	Примечание 1
7. Запас по нижней границе поля допуска замыкающего звена	$V_0^h = A_{0\phi}^{nm} - A_{0p}^{nm}$	Примечание 2
8. Запас по верхней границе поля допуска замыкающего звена	$V_0^e = A_{0p}^{nb} - A_{0\phi}^{nb}$	Примечание 3
9. Относительный показатель дефицита по нижней границе поля допуска замыкающего звена	$d_0^h = \frac{D_0^h}{\omega_0} \cdot 100\%$	Примечание 4
10. Относительный показатель дефицита по верхней границе поля допуска замыкающего звена	$d_0^e = \frac{D_0^e}{\omega_0} \cdot 100\%$	Примечание 5
<p>Примечания:</p> <p>1. Если при выполнении п.6 алгоритма получают <math>V_0 &lt; 0</math>, то принимают значение дефицита по допуску замыкающего звена <math>D_0 = -V_0</math>.</p> <p>2. Если при выполнении п.7 алгоритма получают <math>V_0^h &lt; 0</math>, то принимают значение дефицита по нижней границе поля допуска замыкающего звена <math>D_0^h = -V_0^h</math>.</p> <p>3. Если при выполнении п.8 алгоритма получают <math>V_0^e &lt; 0</math>, то принимают значение дефицита по верхней границе поля допуска замыкающего звена <math>D_0^e = -V_0^e</math>.</p> <p>4. Если <math>V_0^h \geq 0</math>, то при выполнении п.9 алгоритма принимают <math>d_0^h = 0\%</math>. Если <math>D_0^h &gt; \omega_0</math>, то принимают <math>d_0^h = 100\%</math>.</p> <p>5. Если <math>V_0^e \geq 0</math>, то при выполнении п.10 алгоритма принимают <math>d_0^e = 0\%</math>. Если <math>D_0^e &gt; \omega_0</math>, то принимают <math>d_0^e = 100\%</math>.</p>		

4) замыкающее звено  $A_0$  имеет регламентированные числовые характеристики в любой форме, одна из характеристик – наименьший  $A_{0p}^{HM}$ , средний  $A_{0p}^{CP}$  или наибольший  $A_{0p}^{H6}$  размер – является исходной для расчета;

5) решение проектной задачи состоит в расчете и округлении номинального размера определяемого звена, а также в определении фактических предельных размеров  $A_{0ф}^{HM}$  и  $A_{0ф}^{H6}$  замыкающего звена и в вычислении запасов  $V_0^H$  и  $V_0^6$  и относительных показателей дефицитов  $d_0^H$  и  $d_0^6$ . Алгоритм решения проектной задачи приведен в табл. 6.5.

Таблица 6.5

Алгоритм решения проектной задачи расчета размерной цепи

Определяемая величина	Расчетная формула	Примечания
1. Поле рассеяния замыкающего звена	$\omega_0 = \sum_{i=1}^n \omega_i$	
2. Средний исходный размер замыкающего звена при условии совпадения: 2.1. Нижних границ полей рассеяния и допуска ( $A_{0ф}^{HM} = A_{0p}^{HM}$ , т.е. в качестве исходного принят $A_{0p}^{HM}$ ) 2.2. Середин полей рассеяния и допуска ( $A_{0ф}^{CP} = A_{0p}^{CP}$ , т.е. в качестве исходного принят $A_{0p}^{CP}$ ) 2.3. Верхних границ полей рассеяния и допуска ( $A_{0ф}^{H6} = A_{0p}^{H6}$ , т.е. в качестве исходного принят $A_{0p}^{H6}$ )	$A_{0u}^{CP} = A_{0p}^{HM} + \frac{\omega_0}{2}$ $A_{0u}^{CP} = A_{0p}^{CP}$ $A_{0u}^{CP} = A_{0p}^{H6} - \frac{\omega_0}{2}$	
3. Средний расчетный размер определяемого звена	$A_{опр}^{CP} = \frac{1}{\xi_{опр}} \cdot \left( A_{0u}^{CP} - \sum_{i=1}^{n-1} \xi_i A_i^{CP} \right)$	
4. Номинальный расчетный размер определяемого звена	$A_{опр}^{ном} = A_{опр}^{CP} - \frac{\Delta_{опр}^6 + \Delta_{опр}^H}{2}$	
5. Номинальный округленный размер определяемого звена	$A_{опр}^{ном\ окр}$	Примечание 1
6. Величина коррекции при округлении	$K_{окр} = A_{опр}^{ном\ окр} - A_{опр}^{ном}$	
7. Средний размер определяемого звена с учетом величины коррекции при округлении	$A_{опр}^{CP\ окр} = A_{опр}^{CP} + K_{окр}$	

8. Средний фактический размер замыкающего звена с учетом величины коррекции при округлении	$A_{0\phi}^{cp} = A_{0и}^{cp} + \xi_{опр} K_{окр}$	
9. Наименьший фактический размер замыкающего звена	$A_{0\phi}^{нм} = A_{0\phi}^{cp} - \frac{\omega_0}{2}$	
10. Наибольший фактический размер замыкающего звена	$A_{0\phi}^{нб} = A_{0\phi}^{cp} + \frac{\omega_0}{2}$	
11. Допуск замыкающего звена	$T_0 = A_{0p}^{нб} - A_{0p}^{нм}$	
12. Запас по допуску замыкающего звена	$V_0 = T_0 - \omega_0$	Примечание 2
13. Запас по нижней границе поля допуска замыкающего звена	$V_0^h = A_{0\phi}^{нм} - A_{0p}^{нм}$	Примечание 3
14. Запас по верхней границе поля допуска замыкающего звена	$V_0^s = A_{0p}^{нб} - A_{0\phi}^{нб}$	Примечание 4
15. Относительный показатель дефицита по нижней границе поля допуска замыкающего звена	$d_0^h = \frac{D_0^h}{\omega_0} \cdot 100\%$	Примечание 5
16. Относительный показатель дефицита по верхней границе поля допуска замыкающего звена	$d_0^s = \frac{D_0^s}{\omega_0} \cdot 100\%$	Примечание 6
<p>Примечания:</p> <p>1. Округление выполняют по правилам, приведенным в разделе 6.8. При расчете без округления п.п.5–7 алгоритма не выполняют, а при выполнении п.8 алгоритма принимают <math>A_{0\phi}^{cp} = A_{0и}^{cp}</math>.</p> <p>2. Если при выполнении п.12 алгоритма получают <math>V_0 &lt; 0</math>, то принимают значение дефицита по допуску замыкающего звена <math>D_0 = -V_0</math>.</p> <p>3. Если при выполнении п.13 алгоритма получают <math>V_0^h &lt; 0</math>, то принимают значение дефицита по нижней границе поля допуска замыкающего звена <math>D_0^h = -V_0^h</math>.</p> <p>4. Если при выполнении п.14 алгоритма получают <math>V_0^s &lt; 0</math>, то принимают значение дефицита по верхней границе поля допуска замыкающего звена <math>D_0^s = -V_0^s</math>.</p> <p>5. Если <math>V_0^h \geq 0</math>, то при выполнении п.15 алгоритма принимают <math>d_0^h = 0\%</math>. Если <math>D_0^h &gt; \omega_0</math>, то принимают <math>d_0^h = 100\%</math>.</p> <p>6. Если <math>V_0^s \geq 0</math>, то при выполнении п.16 алгоритма принимают <math>d_0^s = 0\%</math>. Если <math>D_0^s &gt; \omega_0</math>, то принимают <math>d_0^s = 100\%</math>.</p>		

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гжиров Р.И. Краткий справочник конструктора: Справочник. – Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1984. – 464 с.
2. Палей М.А. и др. Допуски и посадки: Справочник:/ М.А.Палей, А.Б.Романов, В.А.Брагинский. – Л.: Политехника, 1991. – Ч.1. – 576 с.
3. Палей М.А. и др. Допуски и посадки: Справочник:/ М.А.Палей, А.Б.Романов, В.А.Брагинский. – Л.: Политехника, 1991. – Ч.2. – 607 с.
4. Методические указания. Цепи размерные. Основные понятия. Методы расчета линейных и угловых размерных цепей. РД 50-635-87. – М.: Издательство стандартов, 1987. – 46 с.
5. Шамин В.Ю. Теория и практика решения конструкторских и технологических размерных цепей: Учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 1999. – 429 с.
6. Дунаев П.Ф. Размерные цепи. – М.: Машиностроение, 1963. – 308 с.
7. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Расчет допусков размеров. – М.: Машиностроение, 1981. – 189 с.
8. Размерный анализ технологических процессов/ В.В.Матвеев, М.М.Тверской, Ф.И.Бойков и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 264 с.
9. Тверской М.М. Технология и автоматизация механосборочного производства. Ч.1. Основы технологии механосборочного производства. Конспект лекций. – Челябинск: ЮУрГУ, 1999. – 132 с.
10. Справочник инструментальщика/ И.А.Ординарцев, Г.В.Филиппов, А.Н.Шевченко и др.; Под общ. ред. И.А.Ординарцева. – Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1987. – 846 с.
11. Марочник сталей и сплавов/ В.Г.Сорокин, А.В.Волосникова, С.А.Вяткин и др.; Под общ. ред. В.Г.Сорокина. – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
12. Технология конструкционных материалов: Учебник для машиностроительных специальностей вузов/ А.М.Дальский, И.А.Арутюнова, Т.М.Барсукова и др.; Под общ. ред. А.М.Дальского. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 448 с.
13. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т./ Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – Т.1. – 656 с., Т.2 – 496 с.
14. Технология машиностроения: Т.1. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов/ В.М.Бурцев, А.С.Васильев, А.М.Дальский и др.; Под ред. А.М.Дальского. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1999. – 564 с.
15. Технология машиностроения: Т.2. Производство машин: Учебник для вузов/ В.М.Бурцев, А.С.Васильев, О.М.Деев и др.; Под ред. Г.Н.Мельникова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1999. – 640 с.
16. Руденко П.А., Харламов Ю.А., Плескач В.М. Проектирование и производство заготовок в машиностроении. – Киев: Выща школа, 1991. – 361 с.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Форма задания на курсовой проект

Министерство образования Российской Федерации  
Южно-Уральский государственный университет  
Кафедра «Автоматизация механосборочного производства»

### ЗАДАНИЕ

на курсовой проект по дисциплине

« \_\_\_\_\_ »

Тема: « \_\_\_\_\_ »

Студент: \_\_\_\_\_  
Группа: \_\_\_\_\_  
Руководитель проекта: \_\_\_\_\_

Основные разделы пояснительной записки (30–40 листов формата А4):

1. Функциональное назначение и техническая характеристика детали
2. Проектирование технологического процесса изготовления детали
3. Размерный анализ проектируемого технологического процесса
4. Программное управление станками (только для специальности 210200)

Дополнительные разделы (по усмотрению руководителя):

1. ...
2. ...
3. ...

Содержание и объем графической части, листов формата А1:

1. Рабочий чертеж детали – 0,5
2. Преобразованные чертежи детали – 0,5
3. Эскиз заготовки и схемы технологического процесса – 1
4. Схемы размерных связей – 1

Дата выдачи задания: « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ г.

Дата защиты проекта: « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ г.

Руководитель проекта \_\_\_\_\_

Титульный лист пояснительной записки к курсовому проекту

Министерство образования Российской Федерации  
Южно-Уральский государственный университет  
Кафедра «Автоматизация механосборочного производства»

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к курсовому проекту по дисциплине

«\_\_\_\_\_»

Тема: «\_\_\_\_\_»

\_\_\_\_\_ .00 ПЗ

Руководитель

«\_\_» \_\_\_\_\_ г.

Автор проекта

студент группы \_\_\_\_\_

«\_\_» \_\_\_\_\_ г.

Проект защищен с оценкой

«\_\_» \_\_\_\_\_ г.

Челябинск

## Содержание курсового проекта

**1. Содержание пояснительной записки**

Объем – 30–40 листов формата А4 при компьютерном наборе текста

**Введение****1. Функциональное назначение и техническая характеристика детали**

1.1. Назначение и характеристика изделия

1.2. Функциональное назначение детали и ее отдельных поверхностей

1.3. Условия функционирования детали в изделии

1.4. Анализ технологичности детали

1.5. Обоснование требований к точности размеров, формы, взаимного расположения и шероховатости поверхностей детали

**2. Проектирование технологического процесса изготовления детали**

2.1. Преобразование чертежа детали и построение схем конструкторских размерных связей

2.2. Анализ действующего технологического процесса

2.3. Выбор способа получения заготовки и разработка ее формы

2.4. Выбор методов обработки и последовательности технологических переходов для обработки отдельных поверхностей

2.5. Разработка маршрутной технологии

2.6. Разработка операционной технологии

**3. Размерный анализ проектируемого технологического процесса**

3.1. Построение схем конструкторско-технологических размерных связей

3.2. Запись маршрутов и уравнений размерных цепей

3.3. Определение порядка решения уравнений

3.4. Проверка наличия запасов по допуску замыкающего звена

3.5. Определение операционных размеров вручную методом максимума-минимума

3.6. Определение операционных размеров на ЭВМ вероятностным методом

3.7. Сопоставление результатов расчета методом максимума-минимума и вероятностным методом по одному направлению кодирования

3.9. Анализ результатов и заключение о качестве технологического процесса

**4. Разработка управляющей программы для станка с ЧПУ**

4.1. Паспортные данные станка

4.2. Сведения о системе ЧПУ

4.3. Система команд

4.4. Выбор схемы базирования заготовки

4.5. Выбор нулевой точки детали. Описание методики привязки СКД к СКС

4.6. Расчет координат опорных точек траектории

4.7. Расчет параметров режима резания

4.8. Разработка текста управляющей программы

## **Заключение**

### **Использованная литература**

## **2. Содержание графической части**

Объем – 3 листа формата А1

1. Рабочий чертеж детали	– 0,25–0,5
2. Преобразованные чертежи детали	– 0,5–1
3. Эскиз заготовки и схемы технологического процесса	– 1–1,5
4. Схемы размерных связей	– 0,5–1,5

Приложение 4

### **Базы и базирование (ГОСТ 21495-76)**

Базирование необходимо для всех стадий создания изделия: конструирования, изготовления, измерения, а также при рассмотрении изделия в сборе. Терминология в области базирования установлена ГОСТом 21495–76.

Базирование – придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат.

База – поверхность (или выполняющее ту же функцию сочетание поверхностей), ось точка, принадлежащая заготовке (изделию) и используемая для базирования. Базы подразделяют на проектные и действительные.

Проектная база – база, выбранная при проектировании изделия, технологического процесса изготовления или ремонта этого изделия.

Действительная база – база, фактически используемая в конструкции при изготовлении, эксплуатации или ремонте.

В основу классификации баз положены следующие признаки: назначение, число связываемых степеней свободы, характер проявления.

По назначению базы подразделяют на конструкторские, технологические и измерительные.

Конструкторская база – база, используемая для определения положения детали или сборочной единицы в изделии.

Группу конструкторских баз составляют основные и вспомогательные базы. Такое подразделение обусловлено различной ролью основных и вспомогательных баз при конструировании (выборе конструктивных форм поверхностей деталей, задании их относительного положения, нанесении размеров, разработке норм точности и т.д.), разработке и осуществлении технологических процессов.

Основная база – конструкторская база данной детали или сборочной единицы, используемая для определения их положения в изделии.

Вспомогательная база – конструкторская база данной детали или сборочной единицы, используемая для определения положения присоединяемого к ним изделия (сборочной единицы или детали).

Технологическая база – база, используемая для определения положения заготовки или изделия при изготовлении или ремонте.

Измерительная база – база, используемая для определения относительного положения заготовки или изделия и средств измерения.

По числу связываемых степеней свободы у базируемой заготовки, детали или сборочной единицы базы подразделяют на установочные, направляющие, опорные, двойные направляющие и двойные опорные.

Установочная база – база, используемая для наложения на заготовку (изделие) связей, лишаящих ее трех степеней свободы: перемещения вдоль одной координатной оси и поворотов вокруг двух других осей.

Направляющая база – база, используемая для наложения на заготовку (изделие) связей, лишаящих ее двух степеней свободы: перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси.

Опорная база – база, используемая для наложения на заготовку (изделие) связей, лишаящих ее одной степени свободы: перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси.

Двойная направляющая база – база, используемая для наложения на заготовку (изделие) связей, лишаящих ее четырех степеней свободы: перемещений вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг этих осей.

Двойная опорная база – база, используемая для наложения на заготовку (изделие) связей, лишаящих ее двух степеней свободы: перемещений вдоль двух координатных осей.

По характеру проявления базы подразделяют на скрытые и явные.

Скрытая база – база в виде воображаемой плоскости, оси или точки.

Явная база – база в виде реальной поверхности, разметочной риски или точки пересечения рисок.

При образовании терминов баз по нескольким классификационным признакам последние должны располагаться в следующей последовательности: по назначению, по числу связываемых степеней свободы, по характеру проявления, например: «Основная установочная явная база», «Технологическая направляющая скрытая база», «Измерительная опорная явная база» и т.д.

Термины-синонимы, применявшиеся ранее (например, «сборочная база» вместо «конструкторская база»), стандартом запрещены.

Коэффициенты обрабатываемости резанием различных групп  
конструкционных материалов

Марка стали	Состояние материала	Механические свойства		Коэффициент обрабатываемости $k_v$	
		НВ	$\sigma_B$ , МПа	быстрорежущая сталь	твердый сплав
Ст.0	Горячекатаный	103–107	32	1,75	2,10
Ст.2	Горячекатаный	137	320–420	1,70	1,50
Ст.3	Горячекатаный	124	380–470	1,65	1,70
Ст.5	Горячекатаный	156–159	500–620	1,20	1,15
Ст.08	Горячекатаный	≤ 131	324	1,60	2,10
Ст.10КП	Горячекатаный	≤ 107	334	1,60	2,10
15	Горячекатаный	≤ 143	—	1,60	1,50
20	Горячекатаный	≤ 130	—	1,60	2,00
30	Горячекатаный	≤ 187	—	1,10	1,20
35	Горячекатаный	<187	—	1,00	1,00
40	Горячекатаный	≤ 166	—	1,00	1,40
45	Горячекатаный	170–179	650	1,00	1,00
50	Горячекатаный	170–229	650	0,70	0,80
60	Нормализованный	≤ 241	690	0,60	0,70
70	Нормализованный	≤ 241	730	0,60	0,70
20X	Горячекатаный	131	470	1,30	1,70
35X	Горячекатаный	163	620	0,95	1,20
40X, 45X	Нормализованный	<207	—	0,70	0,80
50X	Нормализованный	<217	—	0,65	0,80
A12	Горячекатаный	167–217	—	—	1,60
20Л	Литье	≤ 126	420	1,30	1,50
30Л	Литье	≤ 187	480	0,80	0,90
35Л	Литье	<217	500	0,75	0,80
45Л	Литье	<201	550	0,60	0,80
55Л	Литье	<207	600	0,50	0,70
ГЛЗ	Литье	<229	—	—	0,20
30XФ	Нормализованный	149–197	—	0,95	1,00
ШХ15	Отжиг	<207	750	0,50	0,90
20Г	Нормализованный	143–187	—	0,90	1,00
30Г	Нормализованный	149–197	—	0,80	0,80
40Г	Нормализованный	174–207	—	0,70	0,80
50Г	Закалка, отпуск	<229	—	0,55	0,80
65Г	Закалка, отпуск	>240	—	0,50	0,60
45Г2	Нормализованный	229	700	0,55	0,80
18ХГТ	Нормализованный	156–159	540	0,90	1,00
30ХГТ	Нормализованный	163–207	—	0,60	0,75
30ХМ; 30ХМА	Закалка, отпуск	229–269	950	0,50	0,70
35ХМ	Закалка, отпуск	245	810	0,50	0,80
40ХФА	Закалка, отпуск	<241	—	0,60	0,70

Окончание табл. 1

Марка стали	Состояние материала	Механические свойства		Коэффициент обрабатываемости $k_v$	
		НВ	$\sigma_B$ , МПа	Быстрорежущая сталь	Твердый сплав
40ХН	Закалка, отпуск	<255	—	0,8	1,00
12ХН3А	Горячекатаный	207	—	0,7	0,80
12ХН4А	Горячекатаный	207	—	0,7	0,80
30ХГС	Закалка, отпуск	<229	720	0,50	0,70
30ХГСА	Закалка, отпуск	<229	720	0,50	0,70
35ХГСА	Закалка, отпуск	<229	720	0,50	0,70
38ХГН	Закалка, отпуск	187–236	650	0,90	1,00
38ХМЮА	Закалка, отпуск	240–270	800	0,50	0,70
12Х13 (1Х13)	Закалка, отпуск	241	—	0,90	0,90
20Х13 (2Х13)	Закалка, отпуск	229–268	500	0,60	0,80
40Х13 (4Х13)	Отжиг	—	560	—	0,70
14Х17Н2 (1Х17Н2)	Закалка	330	—	0,30	0,40
12Х18Н10Т (Х18Н10Т)	Закалка	179	>550	0,30	0,50
Х15Н910	Отжиг	—	<1100	0,40	0,45
12Х21Н5Т	Закалка	—	>700	0,40	0,45
ХН77Т10	Закалка, старение	<321	750	0,10	0,20
ХН67ВМТ10	Закалка, отпуск	217	—	0,10	0,10
37Х12Н8Г8МФ5	Закалка, отпуск	269	850	0,20	0,40
ВТ5; ВТ5-1; ОТ4; ОТ4-1	Отжиг	—	700–900	0,40	0,80
ВТ1; ВТ1-1; ВТ1-2	Отжиг	—	<1200	0,45	0,45
ВТ6; ВТ6С	Отжиг	—	<1000	0,45	0,60
ВТ14; ВТ15	Отжиг	—	<1000	0,40	0,35
АЛ2; АЛ4; АМ3	Состояние поставки	—	150–400	—	10–12
М1; М2; М3	Состояние поставки	—	290–300	—	4–6

Пример оформления преобразованного чертежа детали

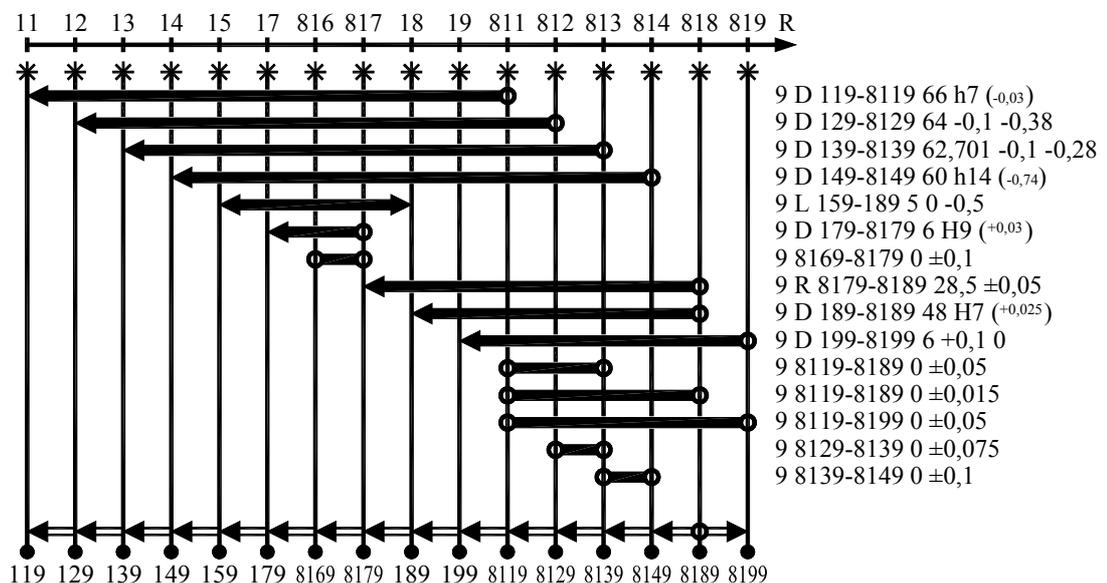
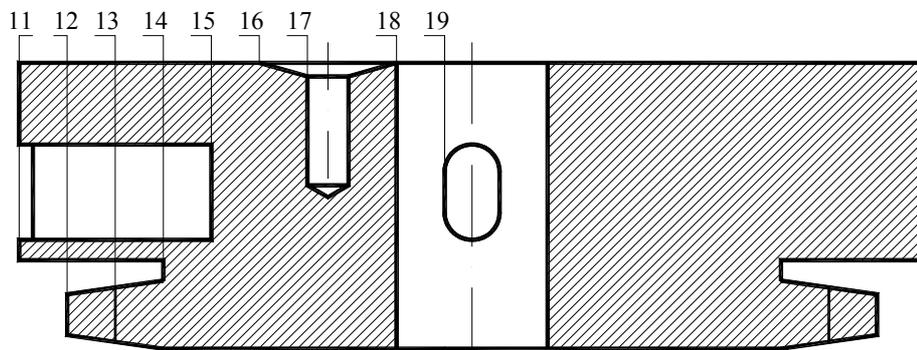
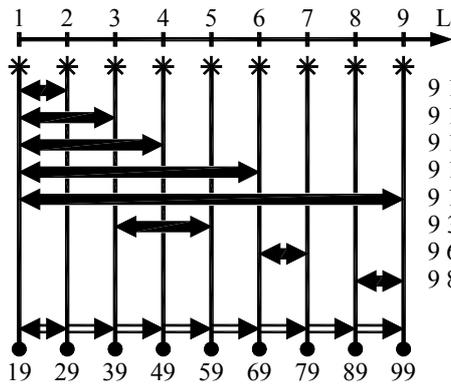
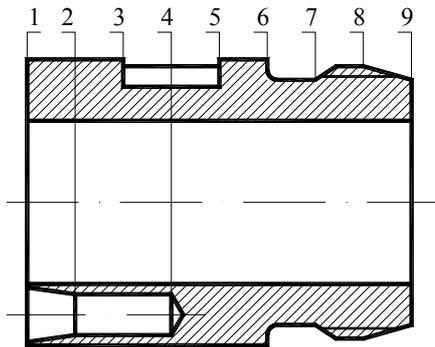
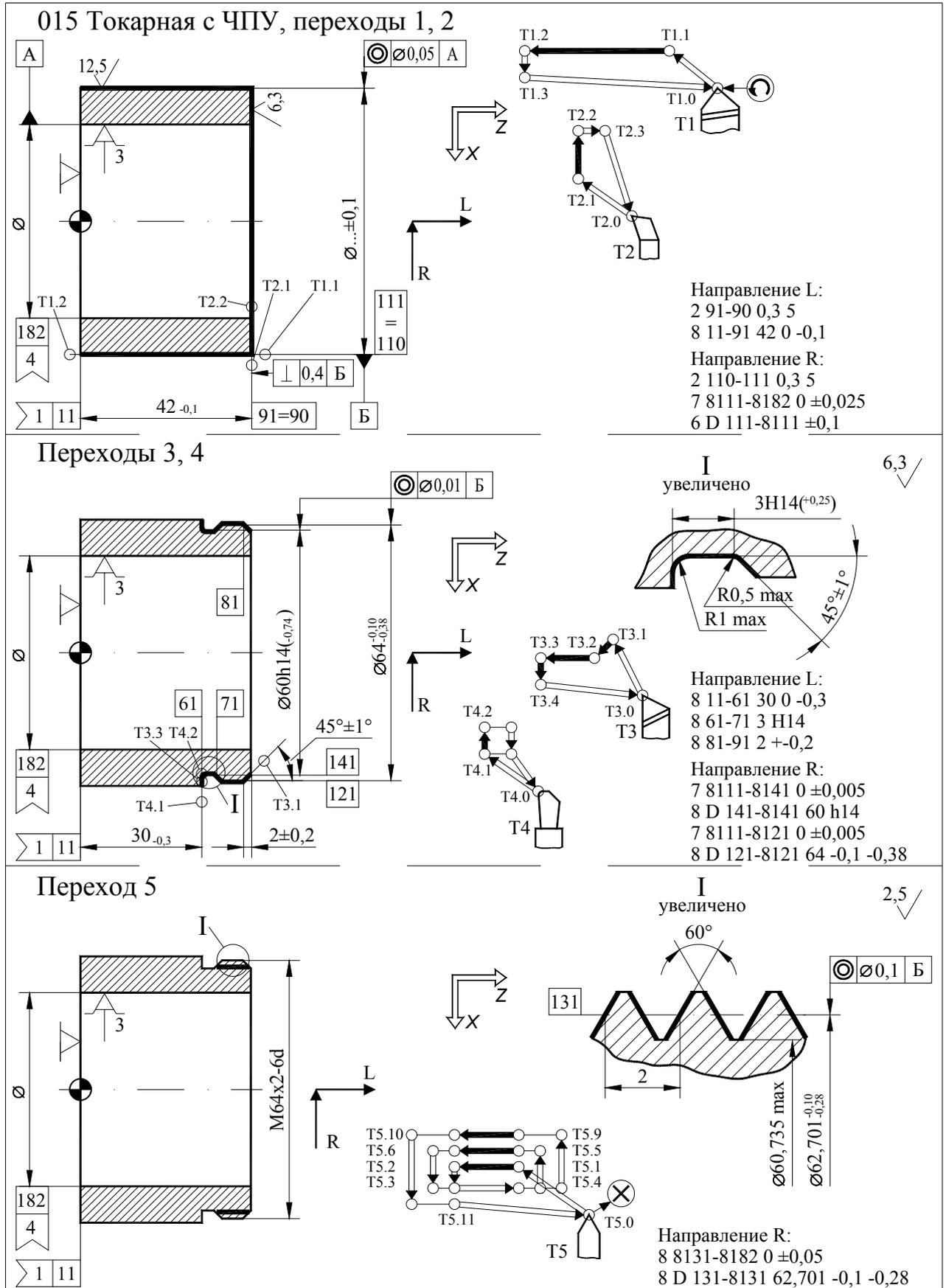
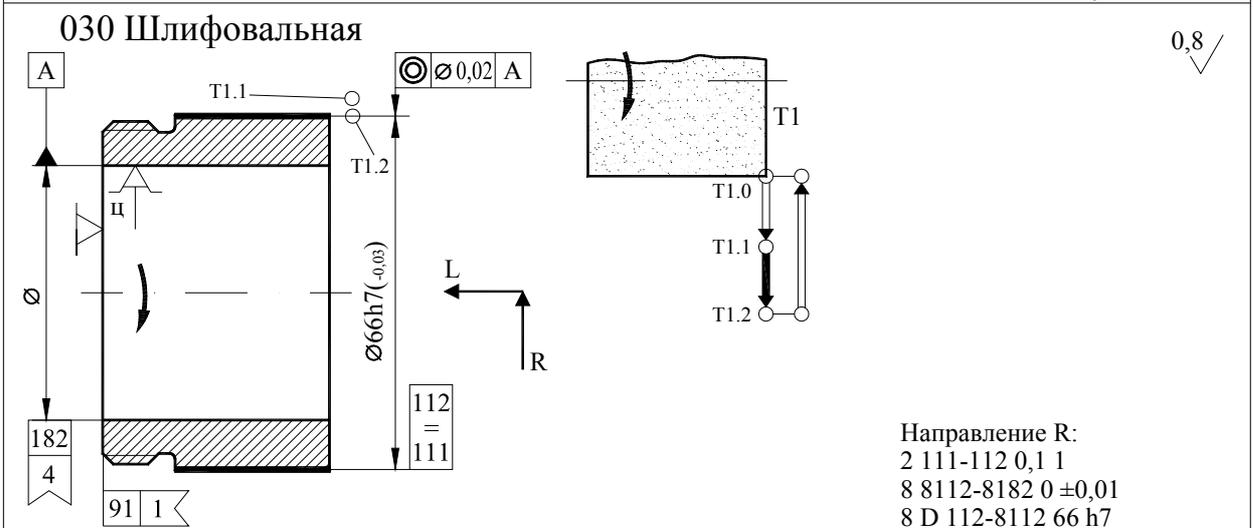
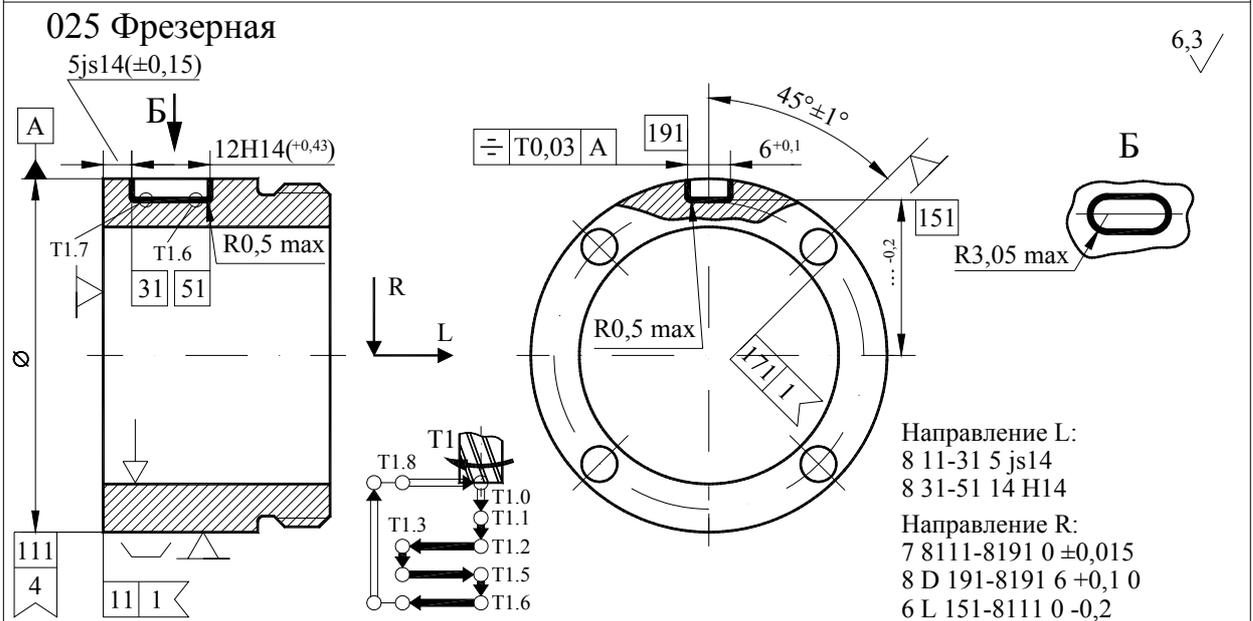
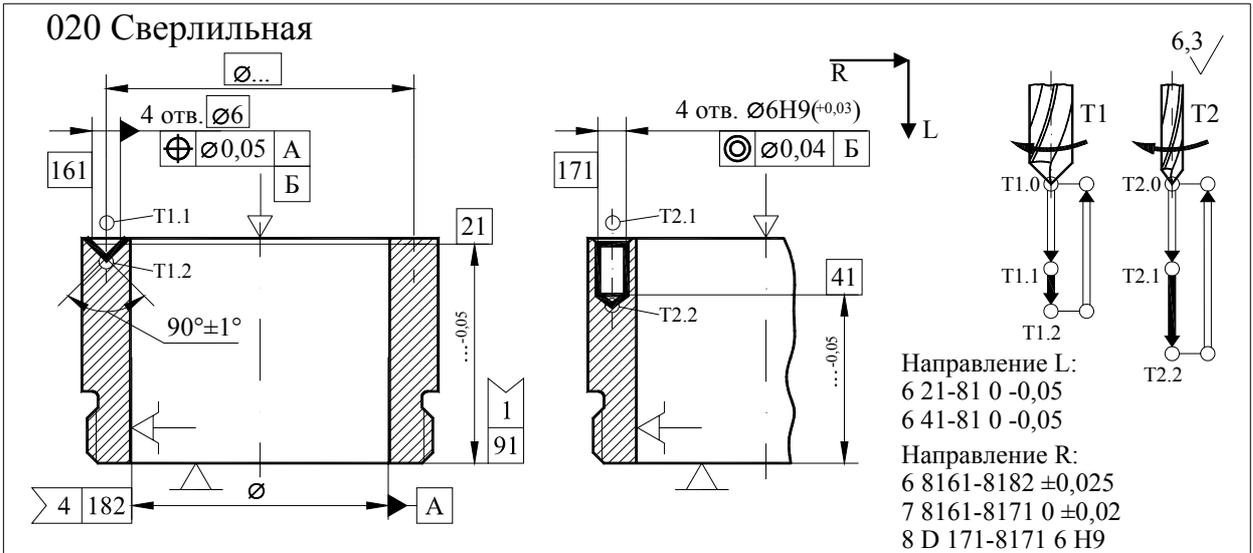


Таблица 1

Кодированные схемы проектируемого технологического процесса

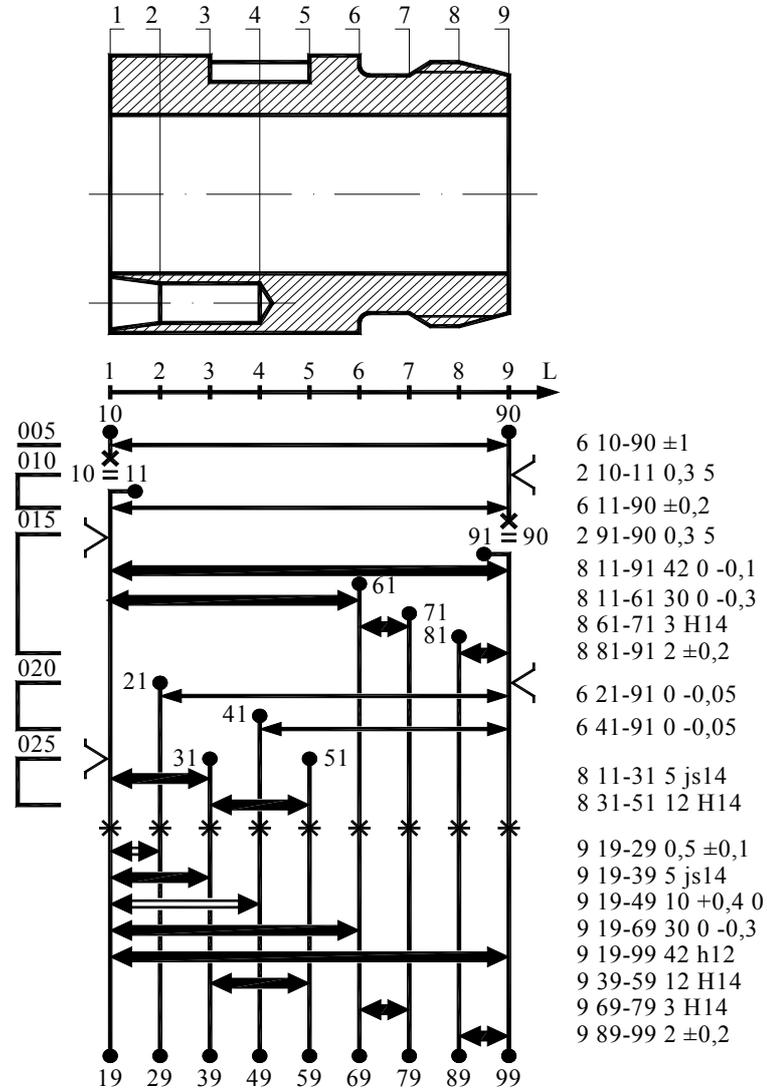
<p><b>005 Ленточно-отрезная</b></p>	<p>Труба 70x14x2000 кр. ГОСТ 8732-78 сталь А 35 ГОСТ 8731-87</p> <p>* Размеры для справок</p> <p>Направление L: 6 10-90 ±1</p> <p>Направление R: 6 D 110-8110 +0,7 -0,8 6 L 110-180 +1,75 -2,0</p>
<p><b>010 Токарная с ЧПУ, переходы 1, 2</b></p>	<p>Направление L: 2 10-11 0,3 5 6 11-90 ±0,2</p> <p>Направление R: 2 181-180 0,3 5 7 8110-8181 0 ±0,15 6 D 181-8181 ±0,05</p>
<p><b>Переход 3</b></p>	<p>Направление R: 2 182-181 0,1 2,5 7 8181-8182 0 ±0,025 8 D 182-8182 48H7</p>



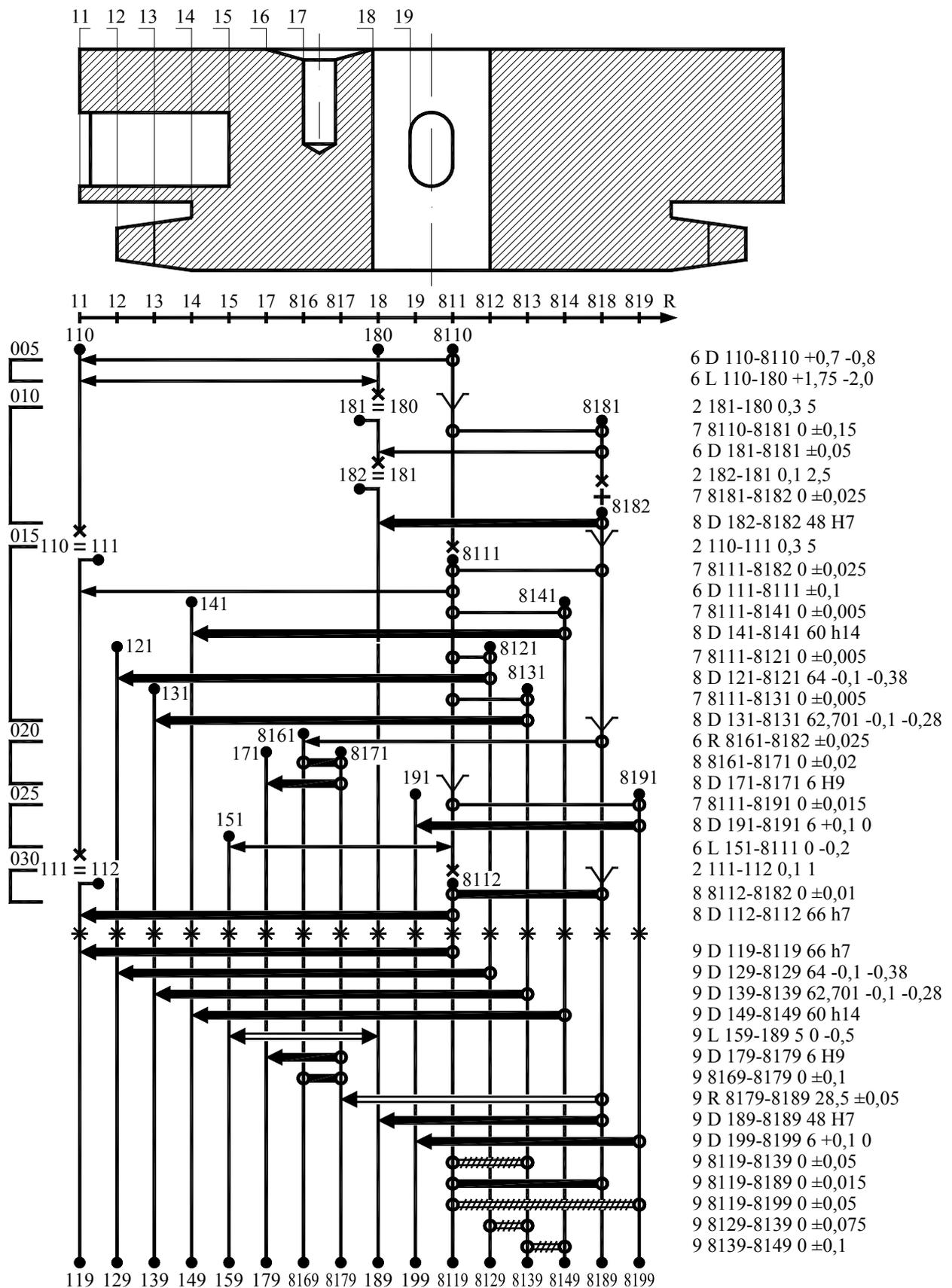


Пример оформления схем размерных связей

Схема продольных размеров (направление L)



## Схема диаметральных размеров (направление R)



Пример результатов расчета вероятностным методом без округления в направлении L

Общие сведения

Номер (название) изделия: Втулка промежуточная, направление L  
 Фамилия И.О., организация: Зайончик Л.Л., кафедра АМСП

Общие условия расчета

Расчет всех размерных цепей выполняется вероятностным методом;  
 код округления . . . . . 111;  
 вид анализируемого объекта: технологический процесс.

Список размерных цепей:

Цепь конструкторской размерной связи 19-49:  
 $3 = [0011=0041] = -(0041->0091) + (0091<+0011) =$   
 Цепь конструкторской размерной связи 19-29:  
 $3 = [0011=0021] = -(0021->0091) + (0091<+0011) =$   
 $2 = [0091=0090] = +(0090<-0011) - (0011>+0091) =$   
 $2 = [0010=0011] = -(0011>+0090) + (0090<-0010) =$

Результаты расчета

Но- мер раз- мер- ной свя- зи	Г р и п п а	Т и п п а	К о д ы и п р а в ы х г р а н и ц	Размерная информация					З а п а с ы (дефициты) по предельным размерам		% брака по пре- дельным разме- рам	
				номи- наль- ный размер	поле до- пус- ка	наи- мень- ший р-р или вер- хнее от- клон.	наи- боль- ший р-р или ни- жнее от- клон.	матема- тиче- ское ожида- ние	по пре- дельным размерам	ниж- ний		верх- ний
О п е р а ц и я 005: Ленточно-отрезная												
10 6			10- 90	43,912		1,000	-1,000	43,912				
О п е р а ц и я 010: Токарная с ЧПУ												
10 2			10- 11			0,300	2,562	1,431	0,000	2,438	0,00%	
20 6			11- 90	42,480		0,200	-0,200	42,480				
О п е р а ц и я 015: Токарная с ЧПУ												
10 2			91- 90			0,300	0,758	0,529	0,000	4,242	0,00%	
20 8			11- 91	42,000		0,000	-0,100	41,950				
30 8			11- 61	30,000		0,000	-0,300	29,850				
40 8			61- 71	3,000 H14		0,250	0,000	3,125				
50 8			81- 91	2,000		0,200	-0,200	2,000				
О п е р а ц и я 020: Сверлильная												
10 6			21- 91	41,480		0,000	-0,050	41,455				
20 6			41- 91	31,780		0,000	-0,050	31,755				
О п е р а ц и я 025: Фрезерная												
10 8			11- 31	5,000 js14		0,150	-0,150	5,000				
20 8			31- 51	12,000 H14		0,430	0,000	12,215				
З а м ы к а ю щ и е з в е н ь я - конструкторские размерные связи:												
10 3			11- 21			0,437	0,563	0,500	0,037	0,037	0,00%	
30 3			11- 41			10,137	10,263	10,200	0,137	0,137	0,00%	
К о н с т р у к т о р с к и е р а з м е р н ы е с в я з и:												
10 9			19- 29	0,500		0,100	-0,100	0,500				

20 9	19-	39	5,000	js14	0,150	-0,150	5,000
30 9	19-	49	10,000		0,400	0,000	10,200
40 9	19-	69	30,000		0,000	-0,300	29,850
50 9	19-	99	42,000	h12	0,000	-0,250	41,875
60 9	39-	59	12,000	H14	0,430	0,000	12,215
70 9	69-	79	3,000	H14	0,250	0,000	3,125
80 9	89-	99	2,000		0,200	-0,200	2,000

Технологический процесс обеспечивает выполнение всех размеров и отклонений расположения поверхностей, заданных конструктором.

### Пример результатов расчета вероятностным методом с округлением в направлении L

Общие сведения

Номер (название) изделия: Втулка промежуточная, направление L  
 Фамилия И.О., организация: Зайончик Л.Л., кафедра АМСП

#### Общие условия расчета

Расчет всех размерных цепей выполняется вероятностным методом;  
 коэффициент относительного рассеяния. . . . . 0,167;  
 код округления . . . . . 991;  
 вид анализируемого объекта: технологический процесс.

#### Список размерных цепей:

Цепь конструкторской размерной связи 19-49:  
 $3 = [0011=0041] - (0041 -> 0091) + (0091 <+ 0011) =$   
 Цепь конструкторской размерной связи 19-29:  
 $3 = [0011=0021] - (0021 -> 0091) + (0091 <+ 0011) =$   
 $2 = [0091=0090] + (0090 <- 0011) - (0011 >+ 0091) =$   
 $2 = [0010=0011] - (0011 >+ 0090) + (0090 <- 0010) =$

#### Результаты расчета

Но- мер раз- мер- ной свя- зи	Г р и п п а	Т у п л с	К о д ы л е в ы х и п р а в ы х г р а н и ц	Размерная информация					З а п а с ы (дефициты) по предельным размерам		% брака по пре- дельным разме- рам
				номи- наль- ный размер	поле до- пус- ка	наи- мень- ший р-р или вер- хнее отклон.	наи- боль- ший р-р или ни- жнее отклон.	матема- тичес- кое ожида- ние	ниж- ний	верх- ний	
О п е р а ц и я 005: Ленточно-отрезная											
10 6			10- 90	44,000		1,000	-1,000	44,000			
О п е р а ц и я 010: Токарная с ЧПУ											
10 2			10- 11			0,369	3,631	1,500	0,069	2,369 0,00%	
20 6			11- 90	42,500		0,200	-0,200	42,500			
О п е р а ц и я 015: Токарная с ЧПУ											
10 2			91- 90			0,321	0,779	0,550	0,021	4,221 0,00%	
20 8			11- 91	42,000		0,000	-0,100	41,950			
30 8			11- 61	30,000		0,000	-0,300	29,850			
40 8			61- 71	3,000 H14		0,250	0,000	3,125			
50 8			81- 91	2,000		0,200	-0,200	2,000			
О п е р а ц и я 020: Сверлильная											
10 6			21- 91	41,480		0,000	-0,050	41,455			
20 6			41- 91	31,780		0,000	-0,050	31,755			

О п е р а ц и я 025: Фрезерная									
10 8	11-	31	5,000	js14	0,150	-0,150	5,000		
20 8	31-	51	12,000	H14	0,430	0,000	12,215		
З а м ы к а ю щ и е з в е н ь я - конструкторские размерные связи:									
10 3	11-	21			0,432	0,558	0,495	0,032	0,042 0,00%
30 3	11-	41			10,132	10,258	10,195	0,132	0,142 0,00%
К о н с т р у к т о р с к и е р а з м е р н ы е с в я з и:									
10 9	19-	29	0,500		0,100	-0,100	0,500		
20 9	19-	39	5,000	js14	0,150	-0,150	5,000		
30 9	19-	49	10,000		0,400	0,000	10,200		
40 9	19-	69	30,000		0,000	-0,300	29,850		
50 9	19-	99	42,000	h12	0,000	-0,250	41,875		
60 9	39-	59	12,000	H14	0,430	0,000	12,215		
70 9	69-	79	3,000	H14	0,250	0,000	3,125		
80 9	89-	99	2,000		0,200	-0,200	2,000		

Технологический процесс обеспечивает выполнение всех размеров и отклонений расположения поверхностей, заданных конструктором.

### Пример результатов расчета вероятностным методом с округлением в направлении R Общие сведения

Номер (название) изделия: Втулка промежуточная, направление R  
Фамилия И.О., организация: Зайончик Л.Л., кафедра АМСП

#### Общие условия расчета

Расчет всех размерных цепей выполняется вероятностным методом;  
коэффициент относительного рассеяния. . . . . 0,167;  
код округления. . . . . 991;  
вид анализируемого объекта: технологический процесс.

#### Список размерных цепей:

Цепь конструкторской размерной связи 8139-8149:  
3# [8131#8141]=+(8141<+8111)-(8111+>8131)#  
Цепь конструкторской размерной связи 8129-8139:  
3# [8121#8131]=+(8131<+8111)-(8111+>8121)#  
Цепь конструкторской размерной связи 8119-8199:  
3# [8112#8191]=+(8191<+8111)-(8111+>8182)+(8182<+8112)#  
Цепь конструкторской размерной связи 8119-8139:  
3# [8112#8131]=+(8131<+8111)-(8111+>8182)+(8182<+8112)#  
Цепь конструкторской размерной связи 8179-8189:  
3= R [8171=8182]=+(8182<-8161)-(8161+>8171)=  
Цепь конструкторской размерной связи 159- 189:  
3= L [0151=0182]=-(0182+>8182)+(8182<+8111)+(8111<-0151)=  
2= [0111=0112]=-(0112+>8112)-(8112+>8182)+(8182<+8111)+(8111<-0111)=  
2= [0110=0111]=-(0111+>8111)-(8111+>8182)+(8182<+8181)+(8181<+8110)  
+(8110<-0110)=  
2= [0182=0181]=-(0181->8181)-(8181+>8182)+(8182<+0182)=  
2= [0181=0180]=+(0180<-0110)-(0110+>8110)-(8110+>8181)+(8181<+0181)=

Результаты расчета

Но- мер раз- мер- ной свя- зи	Г р и п п а	Т и п п а	К о д ы левых и правых границ	Размерная информация					З а п а с ы (дефициты) по предельным размерам		% брака по пре- дельным разме- рам
				номи- нальный размер	поле до- пус- ка	наи- меньший р-р или верхнее отклон.	наи- больший р-р или нижнее отклон.	матема- тичес- кое ожида- ние	ниж- ний	верх- ний	
О п е р а ц и я 005:											
10 6 D			110-8110	68,000		0,700	-0,800	67,950			
20 6 L			110- 180	13,000		1,750	-2,000	12,875			
О п е р а ц и я 010: Токарная с ЧПУ											
10 2			181- 180			0,608	4,892	2,750	0,308	0,108	0,00%
20 7			8110-8181	0,000		0,150	-0,150	0,000			
30 6 D			181-8181	47,700		0,050	-0,050	47,700			
40 2			182- 181			0,115	0,197	0,156	0,015	2,303	0,00%
50 7			8181-8182	0,000		0,025	-0,025	0,000			
60 8 D			182-8182	48,000	h7	0,025	0,000	48,013			
О п е р а ц и я 015: Токарная с ЧПУ											
10 2			110- 111			0,312	1,238	0,775	0,012	3,762	0,00%
20 7			8111-8182	0,000		0,025	-0,025	0,000			
30 6 D			111-8111	66,400		0,100	-0,100	66,400			
40 7			8111-8141	0,000		0,005	-0,005	0,000			
50 8 D			141-8141	60,000	h14	0,000	-0,740	59,630			
60 7			8111-8121	0,000		0,005	-0,005	0,000			
70 8 D			121-8121	64,000		-0,100	-0,380	63,760			
80 7			8111-8131	0,000		0,005	-0,005	0,000			
90 8 D			131-8131	62,701		-0,100	-0,280	62,511			
О п е р а ц и я 020: Сверлильная											
10 6 R			8161-8182	28,500		0,025	-0,025	28,500			
20 8			8161-8171	0,000		0,020	-0,020	0,000			
30 8 D			171-8171	6,000	h9	0,030	0,000	6,015			
О п е р а ц и я 025: Фрезерная											
10 7			8111-8191	0,000		0,015	-0,015	0,000			
20 8 D			191-8191	6,000		0,100	0,000	6,050			
30 6 L			151-8111	28,900		0,000	-0,200	28,800			
О п е р а ц и я 030: Шлифовальная											
10 2			111- 112			0,142	0,273	0,207	0,042	0,727	0,00%
20 8			8112-8182	0,000		0,010	-0,010	0,000			
30 8 D			112-8112	66,000	h7	0,000	-0,030	65,985			
З а м ы к а ю щ и е з в е н ь я - конструкторские размерные связи:											
50 3 L			151- 182			4,678	4,909	4,794	0,178	0,091	0,00%
80 3 R			8171-8182			28,464	28,536	28,500	0,014	0,014	0,00%
110 3			8112-8131			-0,031	0,031	0,000	0,019	0,019	0,00%
130 3			8112-8191			-0,035	0,035	0,000	0,015	0,015	0,00%
140 3			8121-8131			-0,008	0,008	0,000	0,067	0,067	0,00%
150 3			8131-8141			-0,008	0,008	0,000	0,092	0,092	0,00%
К о н с т р у к т о р с к и е р а з м е р н ы е с в я з и:											
10 9 D			119-8119	66,000	h7	0,000	-0,030	65,985			
20 9 D			129-8129	64,000		-0,100	-0,380	63,760			
30 9 D			139-8139	62,701		-0,100	-0,280	62,511			
40 9 D			149-8149	60,000	h14	0,000	-0,740	59,630			
50 9 L			159- 189	5,000		0,000	-0,500	4,750			

60	9	D	179-8179	6,000	H9	0,030	0,000	6,015
70	9		8169-8179	0,000		0,020	-0,020	0,000
80	9	R	8179-8189	28,500		0,050	-0,050	28,500
90	9	D	189-8189	48,000	H7	0,025	0,000	48,013
100	9	D	199-8199	6,000		0,100	0,000	6,050
110	9		8119-8139	0,000		0,050	-0,050	0,000
120	9		8119-8189	0,000		0,015	-0,015	0,000
130	9		8119-8199	0,000		0,050	-0,050	0,000
140	9		8129-8139	0,000		0,075	-0,075	0,000
150	9		8139-8149	0,000		0,100	-0,100	0,000

Технологический процесс обеспечивает выполнение всех размеров и отклонений расположения поверхностей, заданных конструктором.

**Пример результатов расчета вероятностным методом с округлением в направлении R  
с принятыми по ГОСТ 8732-78 размерами исходной заготовки-трубы**  
Общие сведения

Номер (название) изделия: Втулка промежуточная, направление R  
Фамилия И.О., организация: Зайончик Л.Л., кафедра АМСП

Общие условия расчета

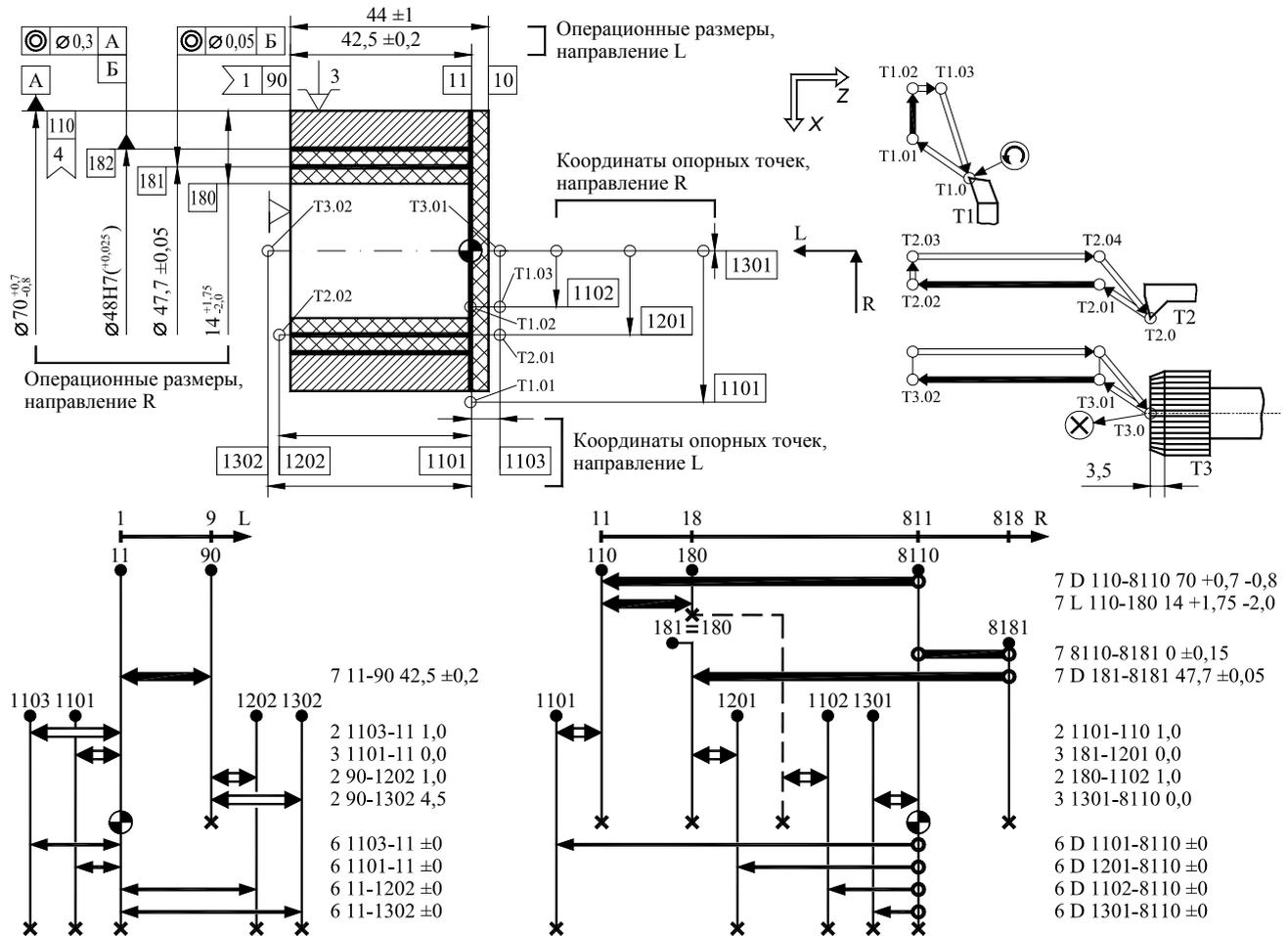
Расчет всех размерных цепей выполняется вероятностным методом;  
коэффициент относительного рассеяния. . . . . 0,167;  
код округления . . . . . 991;  
вид анализируемого объекта: технологический процесс.

Результаты расчета

Но- мер раз- мер- ной свя- зи	Г р и п п а	Т и п п а	К о д ы и левых и правых границ	Размерная информация					З а п а с ы (дефициты) по предельным размерам		% брака по пре- дельным разме- рам	
				номи- нальный размер	поле до- пус- ка	наи- меньший р-р или верхнее отклон.	наи- больший р-р или нижнее отклон.	матема- тичес- кое ожида- ние	ниж- ний	верх- ний		
О п е р а ц и я 005: Ленточно-отрезная												
	10	7	D	110-8110	70,000		0,700	-0,800	69,950			
	20	7	L	110- 180	14,000		1,750	-2,000	13,875			
О п е р а ц и я 010: Токарная с ЧПУ												
	10	1		181- 180			0,608	4,892	2,750	0,308	0,108	0,00%
	20	7		8110-8181	0,000		0,150	-0,150	0,000			
	30	6	D	181-8181	47,700		0,050	-0,050	47,700			
	40	2		182- 181			0,115	0,197	0,156	0,015	2,303	0,00%
	50	7		8181-8182	0,000		0,025	-0,025	0,000			
	60	8	D	182-8182	48,000	H7	0,025	0,000	48,013			
О п е р а ц и я 015: Токарная с ЧПУ												
	10	1		110- 111			1,312	2,238	1,775	1,012	2,762	0,00%
	20	7		8111-8182	0,000		0,025	-0,025	0,000			
	30	6	D	111-8111	66,400		0,100	-0,100	66,400			
	40	7		8111-8141	0,000		0,005	-0,005	0,000			
	50	8	D	141-8141	60,000	h14	0,000	-0,740	59,630			
	60	7		8111-8121	0,000		0,005	-0,005	0,000			
	70	8	D	121-8121	64,000		-0,100	-0,380	63,760			
	80	7		8111-8131	0,000		0,005	-0,005	0,000			



Пример оформления схемы расчета координат опорных точек траекторий движения режущих инструментов на операции 010



Пример результатов расчета координат опорных точек траекторий движения режущих инструментов на операции 010 в направлении L

Список размерных цепей:

- 2= [0090=1302] += (1302 < -0011) - (0011 > +0090) =
- 2= [0090=1202] += (1202 < -0011) - (0011 > +0090) =
- 3= [1101=0011] += (0011 < -1101) =
- 2= [1103=0011] += (0011 < -1103) =

Результаты расчета

Но- мер раз- мер- ной свя- зи	Г р и п п а	Т и п п р а	К о д ы л е в ы х и п р а в ы х г р а н ц	Размерная информация					З а п а с ы (дефициты) по предельным размерам		% брака по пре- дельным разме- рам
				номи- наль- ный размер	поле до- пус- ка	наи- мень- ший р-р или верх- нее отклон.	наи- боль- ший р-р или ниж- нее отклон.	матема- тиче- ское ожида- ние	ниж- ний	верх- ний	
О п е р а ц и я 010: Токарная с ЧПУ											
10	7		11- 90	42,500		0,200	-0,200	42,500			
20	2		1103- 11			1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,00%
30	3		1101- 11			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00%
40	2		90-1202			1,000	1,400	1,200	0,000	0,000	0,00%

50	2	90-1302		4,500	4,900	4,700	0,000	0,000	0,00%
60	6	1103-	11	1,000	0,000	0,000	1,000		
70	6	1101-	11	0,000	0,000	0,000	0,000		
80	6	11-1202		43,700	0,000	0,000	43,700		
90	6	11-1302		47,200	0,000	0,000	47,200		

**Пример результатов расчета координат опорных точек траекторий движения режущих инструментов на операции 010 в направлении R**

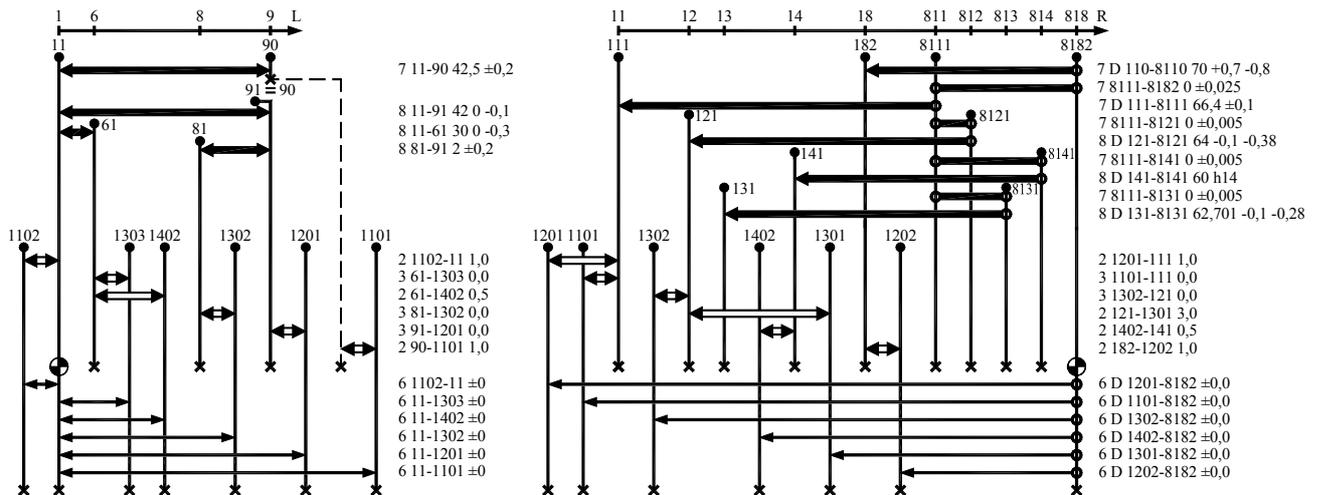
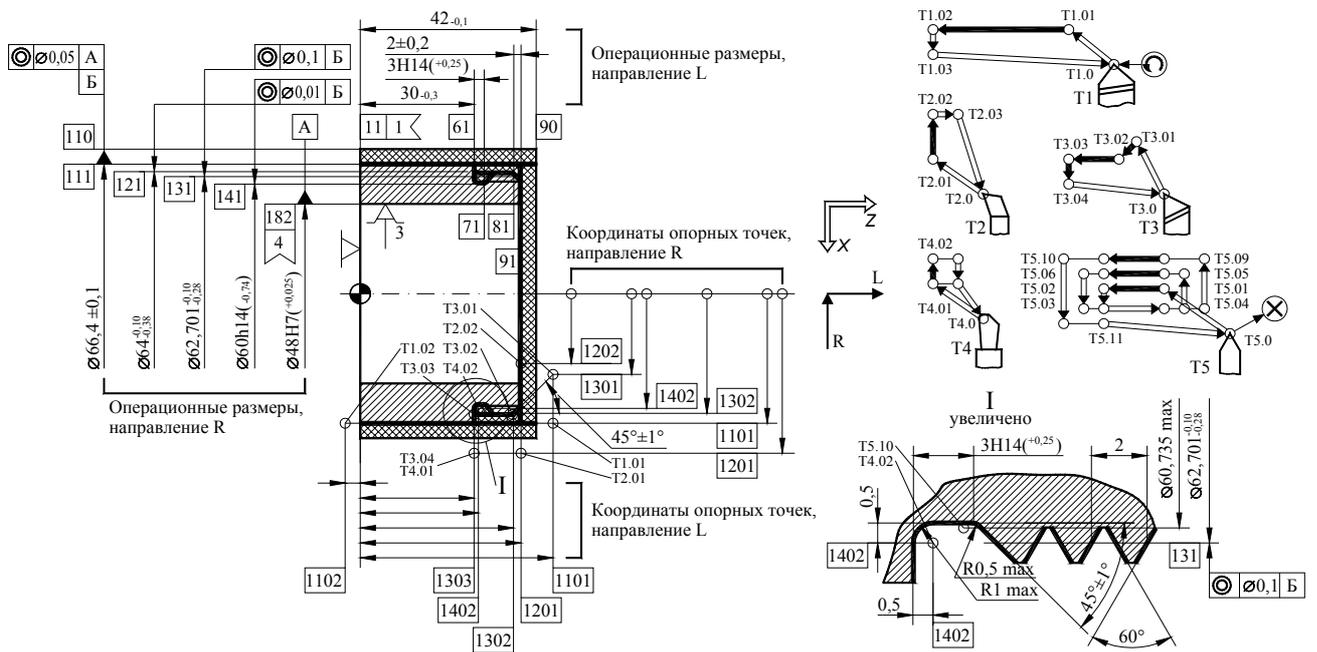
С п и с о к   р а з м е р н ы х   ц е п е й :

- 3= [1301=8110]=+(8110<-1301)=  
2= [0180=1102]=-(1102->8110)+(8110<+0110)-(0110+>0180)=  
3= [0181=1201]=-(1201->8110)-(8110+>8181)+(8181<+0181)=  
2= [1101=0110]=-(0110+>8110)+(8110<-1101)=

Р е з у л ь т а т ы   р а с ч е т а

Но- мер раз- мер- ной свя- зи	Г р у п п а	Т и п	К о д ы л е в ы х и п р а в ы х г р а н и ц	Размерная информация					З а п а с ы (дефициты) по предельным размерам		% брака по пре- дельным разме- рам
				номи- нальный размер	поле до- пус- ка	наи- меньший р-р или верхнее отклон.	наи- большой р-р или нижнее отклон.	матема- тичес- кое ожида- ние	ниж- ний	верх- ний	
10	7	D	110-8110	70,000		0,700	-0,800	69,950			
20	7	L	110- 180	14,000		1,750	-2,000	13,875			
О п е р а ц и я   010: Токарная с ЧПУ											
10	7		8110-8181	0,000		0,150	-0,150	0,000			
20	7	D	181-8181	47,700		0,050	-0,050	47,700			
30	2		1101- 110			1,000	1,750	1,375	0,000	0,000	0,00%
40	3		181-1201			-0,168	0,168	0,000	0,000	0,000	0,00%
50	2		180-1102			1,004	5,246	3,125	0,004	0,000	0,00%
60	3		1301-8110			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00%
70	6	D	1101-8110	72,700		0,000	0,000	72,700			
80	6	D	1201-8110	47,700		0,000	0,000	47,700			
90	6	D	1102-8110	35,950		0,000	0,000	35,950			
100	6	D	1301-8110	0,000		0,000	0,000	0,000			

Пример оформления схемы расчета координат опорных точек траекторий движения режущих инструментов на операции 015



Пример результатов расчета координат опорных точек траекторий движения режущих инструментов на операции 015 в направлении L

Список размерных цепей:

- 2= [0090=1101]++(1101<-0011) - (0011>+0090) =
- 3= [0091=1201]++(1201<-0011) - (0011>+0091) =
- 3= [0081=1302]++(1302<-0011) - (0011>+0091) + (0091<+0081) =
- 2= [0061=1402]++(1402<-0011) - (0011>+0061) =
- 3= [0061=1303]++(1303<-0011) - (0011>+0061) =
- 2= [1102=0011]++(0011<-1102) =

Результаты расчета

Но- мер раз- мер-	Г р и п	Т у п	К о д ы л е в ы х и п р а в ы х	Размерная информация					З а п а с ы (дефициты) по предельным размерам	% брака по пре- дельным
				номи- нальный	поле до-	наи- меньший	наи- больший	матема- тичес-		

ной свя- зи	п а	границ	размер	пус- ка	р-р или верхнее отклон.	р-р или нижнее отклон.	кое ожида- ние	разме- рам		
								ниж- ний	верх- ний	
10	7	11-	90	42,500		0,200	-0,200	42,500		
О п е р а ц и я 015:										
10	8	11-	91	42,000		0,000	-0,100	41,950		
20	8	11-	61	30,000		0,000	-0,300	29,850		
30	8	81-	91	2,000		0,200	-0,200	2,000		
40	2	1102-	11			1,000	1,000	1,000	0,000	0,000
50	3	61-	1303			-0,150	0,150	0,000	0,000	0,000
60	2	61-	1402			0,500	0,800	0,650	0,000	0,000
70	3	81-	1302			-0,229	0,229	0,000	0,000	0,000
80	3	91-	1201			-0,050	0,050	0,000	0,000	0,000
90	2	90-	1101			1,000	1,400	1,200	0,000	0,000
100	6	1102-	11	1,000		0,000	0,000	1,000		
110	6	11-	1303	29,850		0,000	0,000	29,850		
120	6	11-	1402	30,500		0,000	0,000	30,500		
130	6	11-	1302	39,950		0,000	0,000	39,950		
140	6	11-	1201	41,950		0,000	0,000	41,950		
150	6	11-	1101	43,700		0,000	0,000	43,700		

**Пример результатов расчета координат опорных точек траекторий движения режущих инструментов на операции 015 в направлении R**

С п и с о к р а з м е р н ы х ц е п е й:

- 2= [0182=1202]=-(1202->8182)+(8182<+0182)=  
2= [1402=0141]=-(0141+>8141)+(8141<+8111)-(8111+>8182)+(8182<-1402)=  
2= [0121=1301]=-(1301->8182)+(8182<+8111)-(8111+>8121)+(8121<+0121)=  
3= [1302=0121]=-(0121+>8121)+(8121<+8111)-(8111+>8182)+(8182<-1302)=  
3= [1101=0111]=-(0111+>8111)-(8111+>8182)+(8182<-1101)=  
2= [1201=0111]=-(0111+>8111)-(8111+>8182)+(8182<-1201)=

Р е з у л ь т а т ы р а с ч е т а

Но- мер раз- мер- ной свя- зи	Г р и п	Т у п	К о д ы левых и правых границ	Размерная информация					З а п а с ы (дефициты) по предельным размерам		% брака по пре- дельным разме- рам	
				номи- нальный размер	поле до- пус- ка	наи- меньший р-р или верхнее отклон.	наи- больший р-р или нижнее отклон.	матема- тичес- кое ожида- ние	по предельным размерам	ниж- ний		верх- ний
10	8	D	182-8182	48,000	H7	0,025	0,000	48,013				
О п е р а ц и я 015: Токарная с ЧПУ												
10	7		8111-8182	0,000		0,025	-0,025	0,000				
20	7	D	111-8111	66,400		0,100	-0,100	66,400				
30	7		8111-8121	0,000		0,005	-0,005	0,000				
40	8	D	121-8121	64,000		-0,100	-0,380	63,760				
50	7		8111-8141	0,000		0,005	-0,005	0,000				
60	8	D	141-8141	60,000	h14	0,000	-0,740	59,630				
70	7		8111-8131	0,000		0,005	-0,005	0,000				
80	8	D	131-8131	62,701		-0,100	-0,280	62,511				
90	2		1201- 111			1,002	1,128	1,065	0,002	0,000		
100	3		1101- 111			-0,063	0,063	0,000	0,000	0,000		
110	3		1302- 121			-0,084	0,084	0,000	0,000	0,000		
120	2		121-1301			3,001	3,169	3,085	0,001	0,000		
130	2		1402- 141			0,503	0,917	0,710	0,003	0,000		
140	2		182-1202			1,000	1,013	1,006	0,000	0,000		

150	6 D	1201-8182	68,530	0,000	0,000	68,530
160	6 D	1101-8182	66,400	0,000	0,000	66,400
170	6 D	1302-8182	63,760	0,000	0,000	63,760
180	6 D	1402-8182	61,050	0,000	0,000	61,050
190	6 D	1301-8182	57,590	0,000	0,000	57,590
200	6 D	1202-8182	46,000	0,000	0,000	46,000

## Приложение 12

### Допуски размеров до 10000 мм для квалитетов с 5 по 17 ЕСДП

Квалитет	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
номинал, мм	допуски, мкм				допуски, мм								
До 3	4	6	10	14	0,025	0,040	0,06	0,10	0,14	0,25	0,40	0,60	1,0
Св. 3 до 6	5	8	12	18	0,030	0,048	0,07	0,12	0,18	0,30	0,48	0,75	1,2
Св. 6 до 10	6	9	15	22	0,036	0,058	0,09	0,15	0,22	0,36	0,58	0,90	1,5
Св. 10 до 18	8	11	18	27	0,043	0,070	0,11	0,18	0,27	0,43	0,70	1,10	1,8
Св. 18 до 30	9	13	21	33	0,052	0,084	0,13	0,21	0,33	0,52	0,84	1,30	2,1
Св. 30 до 50	11	16	25	39	0,062	0,100	0,16	0,25	0,39	0,62	1,00	1,60	2,5
Св. 50 до 80	13	19	30	46	0,074	0,120	0,19	0,30	0,46	0,74	1,20	1,90	3,0
Св. 80 до 120	15	22	35	54	0,087	0,140	0,22	0,35	0,54	0,87	1,40	2,20	3,5
Св. 120 до 180	18	25	40	63	0,100	0,160	0,25	0,40	0,63	1,00	1,60	2,50	4,0
Св. 180 до 250	20	29	46	72	0,115	0,185	0,29	0,46	0,72	1,15	1,85	2,90	4,6
Св. 250 до 315	23	32	52	81	0,130	0,210	0,32	0,52	0,80	1,30	2,1	3,2	5,2
Св. 315 до 400	25	36	57	89	0,140	0,230	0,36	0,57	0,90	1,40	2,3	3,6	5,7
Св. 400 до 500	27	40	63	97	0,155	0,250	0,40	0,63	0,97	1,55	2,5	4,0	6,3
Св. 500 до 630	30	44	70	110	0,175	0,280	0,44	0,70	1,10	1,75	2,8	4,4	7,0
Св. 630 до 800	35	50	80	125	0,200	0,320	0,50	0,80	1,25	2,00	3,2	5,0	8,0
Св. 800 до 1000	40	56	90	140	0,230	0,360	0,56	0,90	1,40	2,30	3,6	5,6	9,0
Св. 1000 до 1250	46	66	105	165	0,260	0,420	0,66	1,05	1,65	3,60	4,2	6,6	10,5
Св. 1250 до 1600	54	78	125	195	0,310	0,500	0,78	1,25	1,95	3,10	5,0	7,8	12,5
Св. 1600 до 2000	65	92	150	230	0,370	0,600	0,92	1,50	3,30	3,70	6,0	9,2	15,0
Св. 2000 до 2500	77	110	175	280	0,440	0,700	1,10	1,75	2,80	4,40	7,0	11,0	17,5
Св. 2500 до 3150	93	135	210	330	0,540	0,860	1,35	2,10	3,30	5,40	8,6	13,5	21,0
Св. 3150 до 4000	115	165	260	410	0,660	1,050	1,65	3,60	4,1	6,6	10,5	16,5	26,0
Св. 4000 до 5000	140	200	320	500	0,800	1,300	2,00	3,20	5,0	8,0	13,0	20,0	32,0
Св. 5000 до 6300	170	250	400	620	0,980	1,550	2,50	4,00	6,2	9,8	15,5	25,0	40,0
Св. 6300 до 8000	215	310	490	760	1,200	1,950	3,10	4,00	7,6	12,0	19,5	31,0	49,0
Св. 8000 до 10000	270	380	600	940	1,500	2,400	3,80	6,00	9,4	15,0	24,0	38,0	60,0

## Приложение 13

### Значения допусков линейных размеров с неуказанными предельными отклонениями, мм (ГОСТ 25670-83)

Класс точности	Обозначение допуска	Интервалы размеров, мм					
		до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 30	св. 30 до 120	св. 120 до 315	св. 315 до 1000
Точный	$t_1$	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6
Средний	$t_2$	0,2	0,2	0,4	0,6	1,0	1,6
Грубый	$t_3$	0,3	0,4	1,0	1,6	2,4	4,0
Очень грубый	$t_4$	0,3	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0

## Приложение 14

### Рекомендуемая замена классов точности ОСТ качествами ЕСПД

Класс	отв.	09	1	2	2A	–	3A	4	5	5	7	8	9	10
	вал	1	2	2A	3	3	3A	4	5	5	7	8	9	10
Квалитет		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

## Приложение 15

### Числовые значения неуказанных допусков соосности (в диаметральной выражении), пересечения осей, радиального биения и симметричности, мм (ГОСТ 25069-81)

Интервалы номинальных размеров	Допуск соосности, пересечения осей, радиального биения				Допуск симметричности			
	По квалитетам							
	12 и точнее	13 и 14	15 и 16	17	12 и точнее	13 и 14	15 и 16	17
	По классам точности							
	точный	средний	грубый	очень грубый	точный	средний	грубый	очень грубый
До 3	0,05	0,12	0,20	0,3	0,20	0,3	0,5	0,8
Св. 3 до 10	0,06	0,16	0,25	0,4	0,25	0,4	0,6	1,0
Св. 10 до 18	0,08	0,20	0,30	0,5	0,30	0,5	0,8	1,2
Св. 18 до 30	0,10	0,25	0,40	0,6	0,40	0,6	1,0	1,6
Св. 30 до 50	0,12	0,30	0,50	0,8	0,50	0,8	1,2	2,0
Св. 50 до 120	0,16	0,40	0,60	1,0	0,60	1,0	1,6	2,5
Св. 120 до 250	0,20	0,50	0,80	1,2	0,80	1,2	2,0	3,0
Св. 250 до 400	0,25	0,60	1,00	1,6	1,00	1,6	2,5	4,0
Св. 400 до 630	0,30	0,80	1,20	2,0	1,20	2,0	3,0	5,0
Св. 630 до 1000	0,40	1,00	1,60	2,5	1,60	2,5	4,0	6,0
Св. 1000 до 1600	0,50	1,20	2,00	3,0	2,00	3,0	5,0	8,0
Св. 1600 до 2500	0,60	1,60	2,50	4,0	2,50	4,0	6,0	10,0

## Приложение 16

### Числовые значения неуказанных предельных отклонений радиусов закругления и фасок, мм (ГОСТ 25670-83)

Неуказанные предельные отклонения линейных размеров		Интервалы номинальных размеров, мм						
По квалитету	По классу точности	от 0,3 до 1	св. 1 до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 30	св. 30 до 120	св. 120 до 315	св. 315 до 1000
От 12 до 16	точный, средний, грубый	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±1	±2	±4
17	очень грубый	—	±0,3	±0,5	±1	±2	±4	±8

## Приложение 17

Числовые значения неуказанных предельных отклонений углов в угловых единицах  
(ГОСТ 25670-83)

Неуказанные предельные отклонения линейных размеров		Интервалы длин меньшей стороны угла, мм				
По качеству	По классу точности	до 10	св. 10 до 40	св. 40 до 160	св. 160 до 630	св. 630 до 2500
От 12 до 16	точный, средний, грубый	$\pm 1^\circ$	$\pm 30'$	$\pm 20'$	$\pm 10'$	$\pm 5'$
17	очень грубый	$\pm 2^\circ$	$\pm 1^\circ$	$\pm 40'$	$\pm 20'$	$\pm 10'$

## Приложение 18

Числовые значения параметров шероховатости поверхностей (ГОСТ 2789-73)

Класс	$R_a$ , мкм	$R_z$ , мкм	Класс	Разряд	$R_a$ , мкм	$R_z$ , мкм	Класс	Разряд	$R_a$ , мкм	$R_z$ , мкм
1	80	320	5		3,2*	12,5*	10	б	0,125	0,5
1	63	250	6	а	2,5	10,0	10	в	0,1*	0,4*
1	50*	200	6	б	2,0	8,0	11	а	0,08	0,32
2	40	160	6	в	1,6*	6,3*	11	б	0,063	0,25
2	32	125	7	а	1,25	5,0	11	в	0,05*	0,20*
2	25*	100*	7	б	1,0	4,0	12	а	0,04	0,16
3	20	80	7	в	0,8*	3,2*	12	б	0,032	0,125
3	16	63	8	а	0,63	2,2	12	в	0,025*	0,1*
3	12,5*	50*	8	б	0,5	2,0	13	а	0,02	0,08
4	10,0	40	8	в	0,4*	1,6*	13	б	0,016	0,063
4	8,0	32	9	а	0,32	1,25	13	в	0,012*	0,05*
4	6,3*	25*	9	б	0,25	1,0	14	а	0,01	0,04
5	5,0	20	9	в	0,2*	0,8*	14	б	0,008	0,032
5	4,0	16	10	а	0,16	0,63	14	в	0,006*	0,025*

Примечания: \* предпочтительные значения параметров шероховатости.

## Приложение 19

Параметр шероховатости  $R_z$  и глубина дефектного слоя  $h$  поверхностей, полученных на заготовительных операциях, мкм

Операция	$R_z$	$h$	Операция	$R_z$	$h$
Л и т ь е:			К о в к а	90 - 350	400 - 600
центробежное	40 - 100	100 - 200	Штамповка:		
по выплавляе-			обычной точ.	90 - 250	200 - 400
мым моделям	10 - 40	80 - 150	повышен.точ.	80 - 200	150 - 300
В ф о р м ы:			П р о к а т:		
оболочковые	20 - 80	150 - 250	горячекатаный		
металлическ.	90 - 200	100 - 300	-обычной точ.	80 - 150	100 - 150
-под давлен.	10 - 40	80 - 150	-повышен.точ.	50 - 100	80 - 150
песчаногли-			холоднотянут.	40 - 80	50 - 100
нистые при			Рубка на прес-	90 - 300	100 - 150
формовке			сах и ножницах	90 - 300	100 - 150
-ручной	90 - 500	200 - 600	Резка механи-		
-машинной	80 - 300	150 - 400	ческими пилами	80 - 160	100 - 150

Заготовки, получаемые ковкой и штамповкой

Таблица 1

Определение исходного индекса

Исходный индекс = G + M + C + T

Ориентировочная масса поковки, кг	G	Группа стали	M	Степень сложности поковки	C	Класс точности поковки	T
До 0,5	1	M1	0	C1	0	T1	0
Св. 0,5 до 1,0	2	M2	1	C2	1	T2	2
Св. 1,0 до 1,8	3	M3	2	C3	2	T3	4
Св. 1,8 до 3,2	4			C4	3	T4	6
Св. 3,2 до 5,6	5					T5	8
Св. 5,6 до 10	6						
Св. 10 до 20	7						
Св. 20 до 50	8						
Св. 50 до 125	9						
Св. 125 до 250	10						

Таблица 2

Определение ориентировочной массы поковки, кг

Ориентировочная масса поковки = Mд·Кр, где Mд – масса детали, кг

Группа	Характеристика детали	Типовые представители	Кр
1	Удлиненной формы:		
1.1	с прямой осью	Валы, оси, цапфы, шатуны	1,3...1,6
1.2	с изогнутой осью	Рычаги, сошки рулевого управления	1,1...1,4
2	Круглые, многогранные:		
2.1	круглые	Шестерни, ступицы, фланцы	1,5...1,8
2.2	квадратные, прямоугольные, многогранные	Фланцы, ступицы, гайки	1,3...1,7
2.3	с отрезками	Крестовины, вилки	1,4...1,6
3	Комбинированные, имеющие элементы групп 1 и 2	Кулаки поворотные, коленчатые валы	1,3...1,8
4	С большим объемом необрабатываемых поверхностей	Балки передних осей, рычаги переключения передач, крюки	1,1...1,3
5	С внутренними элементами, не оформленными в поковке	Полые валы, фланцы, блоки шестерен	1,8...2,2

Таблица 3

Определение группы стали

Группа стали	Характеристика стали
M1	Массовая доля углерода до 0,35% включительно и суммарная массовая доля легирующих элементов до 2,0% включительно
M2	Массовая доля углерода свыше 0,35 до 0,65% включительно или суммарная массовая доля легирующих элементов свыше 2,0% до 5,0% включительно
M3	Массовая доля углерода свыше 0,65% или суммарная массовая доля легирующих элементов свыше 5,0%

Таблица 4

Определение степени сложности поковки

Степень сложности поковки	Отношение Gп/Gф	ИЛИ	Число переходов при изготовлении на ГКМ
C1	св. 0,63		до 2-х
C2	св. 0,32 до 0,63	3	
C3	св. 0,16 до 0,63	4	
C4	до 0,16	св. 4-х или на 2-х ГКМ	

Примечания: 1. Gп – масса поковки, Gф – масса простой фигуры, в которую вписывается поковка.  
2. Степень сложности C4 устанавливают для поковок с тонкими элементами.

Таблица 5

## Определение класса точности поковки

Основное технологическое оборудование, технологические процессы	Класс точности поковки				
	T1	T2	T3	T4	T5
Штамповочные молоты				+	+
Горизонтально-ковочные машины				+	+
Прессы винтовые, гидравлические				+	+
Кривошипные горячештамповочные прессы:					
открытая (облойная) штамповка				+	+
выдавливание			+	+	
закрытая штамповка		+	+		
Горячештамповочные автоматы		+	+		
Калибровка объемная (горячая, холодная)	+	+			
Калибровка плоскостная (горячая, холодная)	+				
Прецизионная штамповка	+				

Примечание: при пламенном нагреве допускается снижение точности для классов T2–T4 на один класс.

Таблица 6

## Допускаемые отклонения линейных размеров поковок, мм (ГОСТ 7505-89)

Ис-ход-ный индекс	Наибольшая толщина поковки									
	до 40	40–63	63–100	100–160	160–250	св. 250				
	Длина, ширина, диаметр, глубина и высота поковки									
	до 40	40–100	100–160	160–250	250–400	400–630	630–1000	1000–1600	1600–2500	
1	+0,2 -0,1	+0,3 -0,1	+0,3 -0,2	+0,4 -0,2	+0,5 -0,2	-	-	-	-	
2	+0,3 -0,1	+0,3 -0,2	+0,4 -0,2	+0,5 -0,2	+0,5 -0,3	+0,6 -0,3	-	-	-	
3	+0,3 -0,2	+0,4 -0,2	+0,5 -0,2	+0,5 -0,3	+0,6 -0,3	+0,7 -0,3	+0,8 -0,4	-	-	
4	+0,4 -0,2	+0,5 -0,2	+0,5 -0,3	+0,6 -0,3	+0,7 -0,3	+0,8 -0,4	+0,9 -0,5	-	-	
5	+0,5 -0,2	+0,5 -0,3	+0,6 -0,3	+0,7 -0,3	+0,8 -0,4	+0,9 -0,5	+1,1 -0,5	+1,3 -0,7	-	
6	+0,5 -0,3	+0,6 -0,3	+0,7 -0,3	+0,8 -0,4	+0,9 -0,5	+1,1 -0,5	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,6 -0,9	
7	+0,6 -0,3	+0,7 -0,3	+0,8 -0,4	+0,9 -0,5	+1,1 -0,5	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,6 -0,9	+1,8 -1,0	
8	+0,7 -0,3	+0,8 -0,4	+0,9 -0,5	+1,1 -0,5	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,6 -0,9	+1,8 -1,0	+2,2 -1,1	
9	+0,8 -0,4	+0,9 -0,5	+1,1 -0,5	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,6 -0,9	+1,8 -1,0	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	
10	+0,9 -0,5	+1,1 -0,5	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,6 -0,9	+1,8 -1,0	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	+2,7 -1,3	
11	+1,1 -0,5	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,6 -0,9	+1,8 -1,0	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	+2,7 -1,3	+3,0 -1,5	
12	+1,3 -0,7	+1,4 -0,8	+1,6 -0,9	+1,8 -1,0	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	+2,7 -1,3	+3,0 -1,5	+3,3 -1,7	
13	+1,4 -0,8	+1,6 -0,9	+1,8 -1,0	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	+2,7 -1,3	+3,0 -1,5	+3,3 -1,7	+3,7 -1,9	

	Длина, ширина, диаметр, глубина и высота поковки								
	до 40	40- 100	100- 160	160- 250	250- 400	400- 630	630- 1000	1000- 1600	1600- 2500
14	+1,6 -0,9	+1,8 -1,0	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	+2,7 -1,3	+3,0 -1,5	+3,3 -1,7	+3,7 -1,9	+4,2 -2,1
15	+1,8 -1,0	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	+2,7 -1,3	+3,0 -1,5	+3,3 -1,7	+3,7 -1,9	+4,2 -2,1	+4,7 -2,4
16	+2,1 -1,1	+2,4 -1,2	+2,7 -1,3	+3,0 -1,5	+3,3 -1,7	+3,7 -1,9	+4,2 -2,1	+4,7 -2,4	+5,3 -2,7
17	+2,4 -1,2	+2,7 -1,3	+3,0 -1,5	+3,3 -1,7	+3,7 -1,9	+4,2 -2,1	+4,7 -2,4	+5,3 -2,7	+6,0 -3,0
18	+2,7 -1,3	+3,0 -1,5	+3,3 -1,7	+3,7 -1,9	+4,2 -2,1	+4,7 -2,4	+5,3 -2,7	+6,0 -3,0	+6,7 -3,3
19	+3,0 -1,5	+3,3 -1,7	+3,7 -1,9	+4,2 -2,1	+4,7 -2,4	+5,3 -2,7	+6,0 -3,0	+6,7 -3,3	+7,4 -3,6
20	+3,3 -1,7	+3,7 -1,0	+4,2 -2,1	+4,7 -2,4	+5,3 -2,7	+6,0 -3,0	+6,7 -3,3	+7,4 -3,6	+8,0 -4,0
21	+3,7 -1,9	+4,2 -2,1	+4,7 -2,4	+5,3 -2,7	+6,0 -3,0	+6,7 -3,3	+7,4 -3,6	+8,0 -4,0	+8,6 -4,4
22	+4,2 -2,1	+4,7 -2,4	+5,3 -2,7	+6,0 -3,0	+6,7 -3,3	+7,4 -3,6	+8,0 -4,0	+8,6 -4,4	+9,2 -4,8
23	+4,7 -2,4	+5,3 -2,7	+6,0 -3,0	+6,7 -3,3	+7,4 -3,6	+8,0 -4,0	+8,6 -4,4	+9,2 -4,8	+10,0 -6,0

Примечания: 1. Допускаемые отклонения внутренних размеров поволоков устанавливаются с обратными знаками. 2. Допускаемые отклонения размеров, отражающие односторонний износ штампов, равны 0,5 табличных. 3. Допускаемые отклонения размеров толщины, учитывающие недоштамповку, устанавливаются по наибольшей толщине поковки и распространяются на все размеры ее толщины. 4. Допуск размеров, не указанный на чертеже поковки, принимается равным 1,5 допуска соответствующего размера поковки с равными допускаемыми отклонениями.

Таблица 7

Допуски на толщину поволоков, подвергаемых холодной и горячей калибровке, мм

Площадь, подвергаемая калибровке, кв. см	Поле допуска при К	
	до 0,5	св. 0,5
До 2,5	0,32	0,26
Св. 2,5 до 6,3	0,36	0,32
Св. 6,3 до 10,0	0,40	0,36
Св. 10,0 до 16,0	0,44	0,40
Св. 16,0 до 25,0	0,50	0,44
Св. 25,0 до 40,0	0,60	0,50
Св. 40,0 до 80,0	0,80	0,60

Примечания: 1. Коэффициент К определяют отношением расстояния между калиброванными плоскостями к ширине калибруемой поковки или ее элемента. 2. При горячей калибровке допуски могут увеличиваться до 1,5 раз. 3. Ширина, длина и диаметр поковки или ее элементов, изменяющихся при калибровке, устанавливаются по согласованию между изготовителем и потребителем. При этом величина одностороннего увеличения размеров не должна превышать удвоенного положительного отклонения, а уменьшения - удвоенного отрицательного отклонения размера до калибровки. 4. Отклонения от параллельности, плоскостности и прямолинейности калиброванных плоскостей устанавливаются в пределах допуска размера после калибровки.

Таблица 8

## Допускаемые отклонения от concentричности пробитого отверстия, мм

Наибольший размер поковки	Класс точности				
	T1	T2	T3	T4	T5
До 100	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
Св. 100 до 160	0,5	0,6	0,8	1,0	1,5
Св. 160 до 250	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0
Св. 250 до 400	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5
Св. 400 до 630	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Св. 630 до 1000	1,2	2,0	2,5	3,0	4,0

Примечание: Приведенные отклонения соответствуют началу пробивки (со стороны входа пуансона в поковку). В конце пробивки (со стороны выхода пуансона) эти отклонения могут быть увеличены на 25%.

Таблица 9

## Допускаемые отклонения от плоскостности и прямолинейности поковок, мм

Наибольший размер поковки	Класс точности				
	T1	T2	T3	T4	T5
До 100	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8
Св. 100 до 160	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
Св. 160 до 250	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2
Св. 250 до 400	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6
Св. 400 до 630	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0
Св. 630 до 1000	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5
Св. 1000 до 1600	1,2	1,6	2,0	2,5	3,2
Св. 1600 до 2500	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0

Примечания: 1. В приведенных величинах не учитываются перепады по высоте, толщине или ширине поковок. 2. Длинномерные поковки с размерами свыше 1000 мм подвергают правке перед механической обработкой. 3. Допуск радиального биения цилиндрических поверхностей не должен превышать удвоенной величины, указанной в данной таблице.

Таблица 10

## Допускаемые отклонения межосевого расстояния поковок, мм

Межосевое расстояние	Класс точности				
	T1	T2	T3	T4	T5
До 60	±0,10	±0,15	±0,20	±0,25	±0,30
Св. 60 до 100	±0,15	±0,20	±0,25	±0,30	±0,50
Св. 100 до 160	±0,20	±0,25	±0,30	±0,50	±0,80
Св. 160 до 250	±0,25	±0,30	±0,50	±0,80	±1,20
Св. 250 до 400	±0,30	±0,50	±0,80	±1,20	±1,60
Св. 400 до 630	±0,50	±0,80	±1,20	±1,60	±2,00
Св. 630 до 1000	±0,80	±1,20	±1,60	±2,00	±3,00
Св. 1000 до 1600	±1,20	±1,60	±2,00	±3,00	±4,50
Св. 1600 до 2500	±1,60	±2,00	±3,00	±4,50	±7,00

Таблица 11

## Минимальная величина радиусов закруглений (мм) наружных углов поковок

Масса поковки, кг	Глубина полости ручья штампа, мм			
	до 10	10-25	25-50	св.50
До 1,0	1,0	1,6	2,0	2,5
Св. 1,0 до 6,3	1,6	2,0	2,5	3,0
Св. 6,3 до 16,0	2,0	2,5	3,0	4,0
Св. 16,0 до 40,0	2,5	3,0	4,0	5,0
Св. 40,0 до 100,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Св. 100,0 до 250,0	4,0	5,0	6,0	8,0

Таблица 12

## Допуск радиусов закруглений внутренних и наружных углов поковок, мм

Радиус закругления	Класс точности				
	T1	T2	T3	T4	T5
До 4	0,5	0,5	0,5	1,0	2,0
Св. 4 до 6	0,5	0,5	1,0	2,0	3,0
Св. 6 до 10	1,0	1,0	2,0	3,0	5,0
Св. 10 до 16	1,0	2,0	3,0	5,0	8,0
Св. 16 до 25	2,0	3,0	5,2	8,0	12,0
Св. 25 до 40	3,0	5,0	8,0	12,0	20,0
Св. 40 до 60	5,0	8,0	12,0	20,0	30,0
Св. 60 до 100	8,0	12,0	20,0	30,0	50,0

Таблица 13

## Штамповочные уклоны, град

Оборудование	На наружной поверхности	На внутренней поверхности
Штамповочные молоты, прессы без выталкивателей	7	10
Прессы с выталкивателями, ГКМ	5	7
Горячештамповочные автоматы	1	2

Таблица 14

## Отклонение от перпендикулярности торцов относительно оси и боковых поверхностей относительно основания поковок, мм

В и д обработки	Диаметр или толщина детали, мм				
	до 20	20-50	50-100	100-200	300-500
Ковка	2,00	2,50	4,00	6,00	8,50
Горячая объемная штамповка	0,65	1,15	1,50	3,75	6,50

Таблица 15

Средняя статистическая точность координат и расположения осей отверстий в поковках, мм

В и д обработки	Расстояние от торца или между отверстиями, мм				Удельная перпендикулярность или параллельность от базы, мкм/мм			
					Диаметр отверстия, мм			
	до 50	50- 120	120- 260	260- 500	до 10	10- 30	30- 50	св. 50
Ковка	3,00	4,00	5,00	6,00	-	-	-	-
Штамповка: обычной точности повышенной точности	1,00	1,40	2,00	3,00	-	-	-	-
	0,60	1,00	1,50	2,00	-	-	-	-

## Приложение 21

Заготовки, получаемые литьем

Таблица 1

Классы точности размеров и масс отливок для различных способов литья (ГОСТ 26645-85)

Л и т ь е	Наибольшие габаритные размеры отливки, мм		Металлы и сплавы		
			Цветные с температурой плавления ниже 700 град.С	Цветные с температурой плавления выше 700 град.С, серый чугун	Ковкий, высокопрочный, легированный чугун, сталь
Под давлением в металлические формы	до св.	100 100	3Т-5 3-6	3-6 4-7Т	4-7Т 5Т-7
В керамические формы и по выплавляемым и выжигаемым моделям	до св.	100 100	3-6 4-7	4-7Т 5Т-7	5Т-7 5-8
В кокиль, под низким давлением в металлические формы, в песчаные формы, отверждаемые в контакте с оснасткой	до 100 - св.	100 630 630	4-9 5Т-10 5-11Т	5Т-10 5-11Т 6-11	5-11Т 6-11 7Т-12
Центробежное, в песчаные формы, отверждаемые вне контакта с оснасткой, в сварные и сухие песчано-глинистые формы	до 630 - св.	630 4000 4000	6-11 7-12 8-13Т	7Т-12 8-13Т 9Т-13	7-13Т 9Т-13 9-14

Примечания: 1. Меньшие значения классов точности и масс отливок относятся к простым отливкам и условиям массового автоматизированного производства; большие значения - к сложным отливкам и условиям мелкосерийного и индивидуального производства; средние значения - к отливкам средней сложности и условиям механизированного серийного производства. 2. Классы точности масс следует принимать соответствующими классам точности отливок.

Таблица 2

Допуски линейных размеров отливок, мм, не более (ГОСТ 26645-85)

Интервалы номинальных размеров, мм	Класс точности размеров отливок										
	1	2	3Т	3	4	5Т	5	6	7Т	7	8
До 6	0,06	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64
4 - 6	0,07	0,09	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70
6 - 10	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80
10 - 16	0,09	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90
16 - 25	0,10	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00
25 - 40	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10
40 - 63	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20
63 - 100	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10	1,40
100 - 160	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60
160 - 250	--	--	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10	1,40	1,80
250 - 400	--	--	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00
400 - 630	--	--	--	--	0,56	0,70	0,90	1,10	1,40	1,80	2,20
630 - 1000	--	--	--	--	--	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,40
1000 - 1600	--	--	--	--	--	--	--	1,40	1,80	2,20	2,80
1600 - 2500	--	--	--	--	--	--	--	--	2,00	2,40	3,20
2500 - 4000	--	--	--	--	--	--	--	--	--	3,20	3,60
4000 - 6300	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6300 - 10000	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Интервалы номинальных размеров, мм	Класс точности размеров отливок										
	9Т	9	10	11Т	11	12	13Т	13	14	15	16
До 6	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	--	--	--	--	--	--
4 - 6	0,90	1,10	1,40	1,80	2,20	2,80	--	--	--	--	--
6 - 10	1,00	1,20	1,60	2,00	2,40	3,20	4,00	5,00	--	--	--
10 - 16	1,10	1,40	1,80	2,20	2,80	3,60	4,40	5,60	7,00	--	--
16 - 25	1,20	1,60	2,00	2,40	3,20	4,00	5,00	6,40	8,00	10,0	12,0
25 - 40	1,40	1,80	2,20	2,80	3,60	4,40	5,60	7,00	9,00	11,0	14,0
40 - 63	1,60	2,00	2,40	3,20	4,00	5,00	6,40	8,00	10,0	12,0	16,0
63 - 100	1,80	2,20	2,80	3,60	4,40	5,60	7,00	9,00	11,0	14,0	18,0
100 - 160	2,00	2,40	3,20	4,00	5,00	6,40	8,00	10,0	12,0	16,0	20,0
160 - 250	2,20	2,80	3,60	4,40	5,60	7,00	9,00	11,0	14,0	18,0	22,0
250 - 400	2,40	3,20	4,00	5,00	6,40	8,00	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0
400 - 630	2,80	3,60	4,40	5,60	7,00	9,00	11,0	14,0	18,0	22,0	28,0
1000 - 1600	3,60	4,40	5,60	7,00	9,00	11,0	14,0	18,0	22,0	28,0	36,0
1600 - 2500	4,00	5,00	6,40	8,00	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	40,0
2500 - 4000	4,40	5,60	7,00	9,00	11,0	14,0	18,0	22,0	28,0	36,0	44,0
4000 - 6300	5,00	6,40	9,00	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	40,0	50,0
6300 - 10000	--	8,00	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	40,0	50,0	64,0

Примечания: 1. Табличные допуски не учитывают смещение и коробление отливок. 2. Допуски угловых размеров в пересчете на линейные не должны превышать табличных значений. 3. Допуски размеров элементов отливки, образованных двумя полуформами, перпендикулярными к плоскости разъема, сле-

дуют устанавливать соответствующими классу точности размеров отливки. Допуски размеров элементов, образованных одной частью формы или одним стержнем, устанавливают на 1–2 класса точнее. Допуски размеров элементов, образованных тремя частями формы и более, несколькими стержнями или подвижными элементами формы, а также толщины стенок, ребер и фланцев устанавливают на 1–2 класса грубее. 4. Предпочтительно следующее расположение полей допусков: несимметричные односторонние "в тело" – для размеров элементов (кроме толщин стенок), расположенных в одной части формы и не подвергаемых механической обработке (для охватывающих – "в плюс", для охватываемых – "в минус"); симметричные – для размеров остальных элементов.

Таблица 3

Средняя статистическая точность координат и расположения осей отверстий в отливках, мм

Л и т ь е	Расстояние от торца или между отверстиями, мм				Удельная перпендикулярность или параллельность от базы, мкм/мм			
					Диаметр отверстия, мм			
	до 50	50–120	120–260	260–500	до 10	10–30	30–50	св. 50
В песчано-глинистые формы	2,00	3,00	4,00	5,00	-	15	10	7
В металлические формы	0,60	1,00	1,50	2,00	-	-	-	-
Под давлением, в оболочковые формы, по выплавляемым моделям	0,30	0,40	0,50	0,70	3	2	1	1

Таблица 4

Отклонение от перпендикулярности торцов относительно оси и боковых поверхностей относительно основания отливок, мм

Л и т ь е в формы	Диаметр или толщина детали, мм				
	до 20	20 – 50	50 – 100	100–200	300–500
Песчано-глинистые	1,25	1,75	2,00	2,50	4,50
Металлические	0,75	1,00	1,25	1,75	3,00

Термическая и химико-термическая обработка

Таблица 1

Значения математических ожиданий приращений  
размеров цилиндрических образцов ( $d=20, l=100$ ) после термообработки

Марка стали	Температура, °С		Охлаждающая среда	Математическое ожидание $A^{MO}$ приращения, мм		
	нагрев	охлаждение		длина	Диаметр	
					среднее сечение	около торца
45	850	10...20	вода	0,43	0	0,058
55	820	14	вода	0,38	0,005	0,052
18X2H4B	910	14	масло	0,29	0	0,025
18XГТ	910	16	масло	-0,08	0,045	0,012
ШХ15	910	14	масло	0,06	0,04	0,032

Примечание: для проектных расчетов можно принимать значение поля рассеяния приращения, равное  $4A^{MO}$ .

Таблица 2

Удельная изогнутость и коробление закаленных деталей, мм/мм

Метод получения поверхности	Диаметр или толщина детали, мм				
	18 - 30	30 - 50	50 - 80	80 - 120	120 - 180
Закаленные детали после правки	0,0009	0,0008	0,0007	0,0006	0,0005
Детали, закаленные ТВЧ	0,0005	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003

Таблица 3

Рекомендуемые значения глубины слоев насыщения и покрытия стальных поверхностей и их колебания, мм

Вид обработки	Наименьшая глубина	Наибольшая глубина	Колебание глубины
цементация твердым карбюризатором	0,20	2,50	0,400
цементация жидким карбюризатором	0,10	0,50	0,100
цементация газовая	0,20	2,00	0,150
цианирование	0,20	1,50	0,100
азотирование	0,10	0,50	0,050
хромирование молочное	0,01	0,07	0,020
хромирование пористое	0,04	0,20	0,050
никелирование	0,03	0,15	0,020
алитирование	0,10	0,60	0,030
цинкование	0,02	0,07	0,050
кадмирование	0,02	0,05	0,005
меднение	0,03	0,06	0,010
лужение	0,02	0,06	0,015

## Зацентровка

Средняя статистическая точность зацентровки (отклонение от соосности центровых отверстий относительно технологических баз, в диаметральном выражении), мм

Оборудование и методы обработки	Вид зажимного приспособления	Метод получения базовой поверхности	Диаметр базовой поверхности, мм				
			до 30	30 - 50	50 - 80	80 - 120	св. 120
Фрезерно-центровальные двусторонние, центровальные двусторонние станки	Неподвижные призмы	Литье и штамповка	0,70	0,85	1,00	1,25	1,45
		Прокат	0,52	0,62	0,75	1,10	1,40
		Обточка	0,34	0,40	0,42	0,45	0,50
	Самоцентрирующие призмы	Литье и штамповка	0,52	0,65	0,80	0,95	1,00
		Прокат	0,40	0,45	0,55	0,85	0,90
		Обточка	0,26	0,30	0,35	0,40	0,45
	Обратные центра (чашки)	Литье и штамповка	0,45	0,50	0,62	0,75	0,90
		Прокат	0,32	0,36	0,45	0,66	0,85
		Обточка	0,20	0,22	0,25	0,27	0,30
Токарные станки	Кулачковые патроны	Литье и штамповка	0,35	0,42	0,52	0,62	0,73
		Прокат	0,26	0,31	0,38	0,56	0,69
		Обточка	0,17	0,19	0,21	0,22	0,25

Примечание: 1. Отклонение от соосности общей оси центровых отверстий относительно технологической базы принимать равным наибольшему значению отклонения одного из отверстий. 2. Отклонение от параллельности общей оси центровых отверстий относительно технологической базы принимать в пределах 0,35...0,5 отклонения от соосности.

Токарная обработка

Таблица 1

Средняя статистическая точность размеров на токарных операциях  
(при совмещенных технологических и измерительных базах и отклонениях формы  
измерительных баз в пределах 10% от погрешностей продольных размеров)

Оборудование и методы обработки	Способы обеспечения точности	Р а р о б о д	Ше- ро- хо- ват- ость о Ra, мкм	Де- фек- тный слой мкм	Т о ч н о с т ь размеров				
					диамет- ральных  (ква- литеты)	продольных, мм			
						до 80	80 - 260	260 - 500	св. 500
Преци- зионные токарные станки	По предварительно настроенному лимбу с применением поворотного резцедержателя	1	10	50	8-9	0,08	0,10	0,12	0,15
		2	1,25	10	6-7	0,04	0,06	0,08	0,10
Станки с ЧПУ	По программе	1	20	100	11	0,20	0,25	0,30	0,40
		2	2,25	30	10	0,12	0,17	0,20	0,25
Малые кару- сельные станки	По предварительно настроенному лимбу или по упорам	1	20	50	12-13	0,25	0,30	0,35	0,45
		2	2,5	10	8-9	0,07	0,10	0,12	0,18
Опера- ционные станки	По упорам	1	20	60	11	0,15	0,20	0,25	0,30
		2	2,25	20	8-9	0,06	0,08	0,10	0,12
Токарно- револь- верные станки	По упорам от тех- нологических баз	1	20	50	12-13	0,25	0,30	0,35	0,40
		2	2,5	20	10	0,15	0,17	0,30	0,25
	Между поверхно- стями, обработанными на разных позициях	1	20	50	12-13	0,20	0,25	0,30	0,35
		2	2,5	20	10	0,12	0,14	0,20	0,25
	Между поверхно- стями, обработанными резцами в много- резцовой державке	1	20	50	12-13	0,12	0,17	0,20	0,25
		2	2,5	20	10	0,08	0,10	0,12	0,15
Много- резцовые токарные полу- автоматы	По упорам от тех- нологических баз	1	20	50	12-13	0,25	0,30	0,35	0,40
		2	2,5	20	11	0,12	0,17	0,20	0,25
	Между поверхно- стями, обработанными резцами в много- резцовой державке	1	20	50	12-13	0,15	0,20	0,25	0,30
2		2,5	20	11	0,08	0,10	0,12	0,15	

Продолжение табл. 1

	Между поверхностями, обработанными резцами с разных суппортов	1	20	50	12-13	0,20	0,25	0,30	0,35
		2	2,5	20	11	0,12	0,17	0,20	0,25
Гидро-копировальные токарные полуавтоматы	По копиру от технологических баз	1	20	50	12-13	0,25	0,30	0,35	0,40
		2	2,5	20	10	0,15	0,17	0,25	0,25
	Между поверхностями, обработанными резцами в много-резцовой державке	1	20	50	12-13	0,17	0,20	0,25	0,30
		2	2,5	20	10	0,12	0,17	0,20	0,25
	Между поверхностями, обработанными резцами с разных суппортов	1	20	50	12-13	0,20	0,25	0,30	0,35
		2	2,5	20	10	0,17	0,20	0,25	0,30
Вертикальные многошпиндельные токарные полуавтоматы	По копирам и упорам от технологических баз	1	20	50	12-13	0,20	0,25	0,30	-
		2	2,5	20	10	0,12	0,15	0,20	-
	Между поверхностями, обработанными резцами в много-резцовой державке	1	20	50	12-13	0,17	0,20	0,25	-
		2	2,5	20	10	0,08	0,10	0,12	-
	Между поверхностями, обработанными на разных позициях	1	20	50	12-13	0,20	0,25	0,30	-
		2	2,5	20	10	0,15	0,20	0,25	-
Автоматы фасонно-продольного точения	По копиру	1	20	40	10	0,12	0,17	-	-
		2	2,5	20	7-8	0,08	0,10	-	-
Токарно-револьверные автоматы	Между поверхностями, обработанными на разных позициях	1	10	40	11	0,12	0,17	-	-
		2	2,5	20	8-9	0,08	0,10	-	-
	От упора с поперечного суппорта	1	10	40	11	0,20	0,30	-	-
	Между поверхностями, обработанными резцами в много-резцовой державке	1	5	30	11	0,06	0,08	-	-
		Между поверхностями, обработанными фасонным резцом	1	5	30	11	0,02	0,04	-

Горизонтальные многошпиндельные	По копиру от технологической базы с продольного суппорта	1	10	50	11	0,12	0,17	-	-
		2	2,5	20	8-9	0,08	0,10	-	-
токарные автоматы и полуавтоматы	Между поверхностями, обработанными резцами с разных суппортов	1	10	50	11	0,10	0,15	-	-
		2	2,5	20	8-9	0,08	0,12	-	-
	От упора с поперечного суппорта	1	10	50	11	0,20	0,30	-	-
	Между поверхностями, обработанными резцами в многорезцовой державке	1	10	50	11	0,10	0,12	-	-
		2	2,5	20	8-9	0,06	0,08	-	-
	Между поверхностями, обработанными фасонным резцом	1	5	30	11	0,02	0,04	-	-

Таблица 2

Средняя статистическая точность расположения (отклонение от соосности в диаметральном выражении) обработанных цилиндрических поверхностей относительно первичных баз на токарных операциях, мм

Метод получения базовых поверхностей	Интервалы диаметров, мм			
	до 50	50 - 120	120 - 260	260 - 500
Установка в патроне с винтовым зажимом				
Литье в формы:				
песчано-глинистые	0,6	0,8	1,0	1,2
металлические	0,4	0,6	0,8	1,0
оболочковые	0,2	0,3	0,4	0,5
Ковка	0,6	0,8	1,0	1,2
Штамповка	0,4	0,6	0,8	1,0
Установка в патроне с пневматическим зажимом				
Литье в формы:				
песчано-глинистые	0,5	0,6	0,8	1,0
металлические	0,3	0,5	0,6	0,8
оболочковые	0,15	0,2	0,3	0,4
Ковка	0,5	0,6	0,8	1,0
Штамповка	0,3	0,5	0,6	0,8

Установка в цанге				
Холоднотянутая калиброванная	0,1	0,12	0,14	0,16

Таблица 3

Средняя статистическая точность формы и расположения поверхностей, обработанных на токарных операциях относительно "чистых" технологических баз, мм

Оборудование и методы обработки	Р а б о т а	Отклонение от	Номинальные размеры, мм					
			до	10	50	160	300	св.
			10	50	160	300	500	500
Токарные станки	1	плоскостности	0,010	0,020	0,040	0,060	0,100	0,180
		перпендикулярности	0,040	0,080	0,150	0,220	0,350	0,650
		цилиндричности	0,015	0,030	0,040	0,080	0,120	0,220
		соосности	0,060	0,080	0,100	0,150	0,200	0,300
	2	плоскостности	0,005	0,010	0,018	0,025	0,038	0,070
		перпендикулярности	0,010	0,025	0,030	0,050	0,070	0,200
		цилиндричности	0,005	0,010	0,015	0,018	0,020	0,030
		соосности	0,025	0,050	0,060	0,080	0,120	0,300
	3	плоскостности	0,001	0,002	0,004	0,007	0,012	0,025
		перпендикулярности	0,002	0,007	0,010	0,015	0,025	0,050
		цилиндричности	0,002	0,003	0,005	0,008	0,010	0,018
		соосности	0,010	0,015	0,018	0,020	0,030	0,050

Таблица 4

Средняя статистическая точность расположения (отклонение от соосности в диаметральном выражении) обработанных цилиндрических поверхностей относительно центров фасок, мм

Диаметр	Интервал длины, мм			
	до 120	120 - 260	260 - 500	500 - 1200
Черновая обработка				
До 18	0,030	0,035	-	-
18 - 50	0,045	0,050	0,060	0,080
50 - 80	0,060	0,065	0,080	0,110
80 - 120	0,070	0,075	0,090	0,130
120 - 180	0,085	0,090	0,105	0,145
180 - 260	0,100	0,110	0,120	0,160
Чистовая обработка				
До 18	0,010	0,010	-	-
18 - 50	0,012	0,015	0,020	0,025
50 - 80	0,020	0,020	0,025	0,035
80 - 120	0,020	0,025	0,025	0,040
120 - 180	0,025	0,030	0,030	0,030
180 - 260	0,030	0,035	0,035	0,050

## Приложение 25

## Фрезерная обработка

Таблица 1

Средняя статистическая точность размеров на операциях фрезерования (при совмещенных технологических и измерительных базах и отклонениях формы измерительных баз в пределах 10% от погрешностей продольных размеров)

Оборудование и методы обработки	Способы обеспечения точности	Р	Ше- а ро- б хо- ват- х ость о Ra, д мкм	Де- фек- тный слой мкм	Т о ч н о с т ь размеров				
					диамет- ральных (ква- литеты)	продольных, мм			
						до 80	80 - 260	260 - 500	св. 500
Цилиндрическими фрезами на горизонтальных и универсальных станках	По установам и упорам	1	20	90	-	0,20	0,25	0,30	0,40
		2	2,5	50	-	0,12	0,17	0,20	0,25
		3	1,25	20	-	0,06	0,08	0,12	0,15
Торцовыми фрезами на вертикальных и универсальных станках	По установам и упорам	1	20	90	-	0,20	0,25	0,30	0,40
		2	2,5	50	-	0,12	0,17	0,20	0,25
		3	1,25	20	-	0,04	0,06	0,10	0,12

Двусторонние фрезерные станки	От базы по установкам	1	20	90	-	0,20	0,25	0,30	0,40
		2	2,5	50	-	0,12	0,17	0,20	0,25
	Между фрезами	1	20	90	-	0,10	0,15	0,17	0,20
		2	2,5	50	-	0,08	0,10	0,12	0,15

Таблица 2

Средняя статистическая точность формы и расположения поверхностей,  
обработанных на фрезерных операциях относительно "чистых" технологических баз, мм

Оборудо- вание и методы обра- ботки	Р а б о д	Откло- нение от	Номинальные размеры, мм					
			до	10	50	160	300	св.
			10	50	160	300	500	500
Фрезер- ные станки	1	плоско- стности	0,010	0,020	0,030	0,050	0,080	0,350
		перпен- дикуляр- ности	0,040	0,080	0,180	0,280	0,350	0,680
	2	плоско- стности	0,002	0,006	0,010	0,015	0,020	0,06
		перпен- дикуляр- ности	0,010	0,020	0,040	0,060	0,100	0,250

## Приложение 26

## Протягивание

Таблица 1

Средняя статистическая точность размеров на операциях протягивания  
(при совмещенных технологических и измерительных базах и отклонениях формы  
измерительных баз в пределах 10% от погрешностей продольных размеров)

Оборудование и методы обработки	Способы обеспечения точности	Р а б о д	Ше- ро- хо- ват- ость Ra, мкм	Де- фек- тный слой мкм	Т о ч н о с т ь размеров				
					диамет- ральных (ква- литеты)	продольных, мм			
						до	80	260	св.
Протягивание внутреннее	-	1	2,5	40	6-7	-	-	-	-
		2	1,25	10	4-5	-	-	-	-

Окончание табл. 1

Протягивание наружное	-	1	2,5	40	-	0,12	0,17	0,20	0,25
		2	1,25	10	-	0,05	0,07	0,10	0,15

Таблица 2

Средняя статистическая точность формы и расположения поверхностей,  
обработанных на операциях протягивания относительно "чистых" технологических баз, мм

Оборудование и методы обработки	Р а б х о д	Откло- нение от	Номинальные размеры, мм					
			до 10	10 - 50	50 - 160	160 - 300	300 - 500	св. 500
Протяги- вание и прошива- ние	1	прямоли- нейности	0,003	0,005	0,010	0,015	-	-
		перпен- дикуляр- ности	Оси отверстия относительно базы 0,00015:1					
		цилинд- ричности	0,004	0,006	0,010	0,012	-	-
		соосно- сти	Исходное смещение + (0,004)					

Приложение 27

## Строгание

Таблица 1

Средняя статистическая точность размеров на операциях строгания  
(при совмещенных технологических и измерительных базах и отклонениях формы  
измерительных баз в пределах 10% от погрешностей продольных размеров)

Оборудование и методы обработки	Способы обеспечения точности	Р а б х о д	Ше- ро- ват- ость Ra, мкм	Де- фек- тный слой мкм	Т о ч н о с т ь  р а з м е р о в				
					диамет- ральных (ква- литеты)	п р о д о л ь н ы х ,  м м			
						до 80	80 - 260	260 - 500	св. 500
Долбежные станки	По лимбу	1	20	120	-	0,40	0,45	0,50	0,60
		2	5	25	-	0,20	0,25	0,30	0,40
Поперечно-стро- гальные станки	По лимбу и установам	1	20	120	-	0,40	0,45	0,50	0,60
		2	2,5	25	-	0,12	0,17	0,20	0,25
Продольно-стро- гальные станки	По лимбу и установам	1	20	120	-	0,20	0,25	0,30	0,40
		2	2,5	20	-	0,12	0,17	0,20	0,25

Таблица 2

Средняя статистическая точность формы и расположения поверхностей,  
обработанных на операциях строгания относительно "чистых" технологических баз, мм

Оборудование и методы обработки	Р а б . х о д	Откло- нение от	Номинальные размеры, мм					
			до 10	10 - 50	50 - 160	160 - 300	300 - 500	св. 500
Стро- гальные станки	1	прямоли- нейности	0,003	0,005	0,010	0,005	-	-
		перпен- дикуляр- ности	0,00015:0,1					

## Приложение 28

## Сверление

Таблица 1

Средняя статистическая точность размеров на операциях сверления  
(при совмещенных технологических и измерительных базах и отклонениях формы  
измерительных баз в пределах 10% от погрешностей продольных размеров)

Оборудование и методы обработки	Способы обеспе- чения точности	Р а б . х о д	Ше- а ро- хот- ват- ость O Ra, мкм	Де- фек- тный слой мкм	Т о ч н о с т ь размеров				
					диамет- ральных (ква- литеты)	продольных, мм			
						до 80	80 - 260	260 - 500	св. 500
Обработка сквоз- ных отверстий: сверлами -спиральными  -ружейными  зенкерами  зенкерами после сверл  развертками	По упорам	1							
			20	50	12-13	-	-	-	-
			10	50	8-10	-	-	-	-
			20	50	12-13	-	-	-	-
			20	50	10-11	-	-	-	-
			2,5	15	6-7	-	-	-	-

Обработка глухих отверстий: сверлами -спиральными  -ружейными  зенкерами	По упорам	1	20	50	12-13	0,10	0,15	0,20	-
			10	50	8-10	0,10	0,15	0,20	-
			10	40	12-13	0,15	0,20	0,30	-
Обработка ступенчатых отверстий комбинированным инструментом	По упорам	1	20	50	11-13	0,15	0,20	0,30	-
Цекование	По упорам	1	10	50	12-13	0,15	0,20	0,30	-

Таблица 2

Средняя статистическая точность формы и расположения поверхностей, обработанных на операциях сверления относительно "чистых" технологических баз, мм

Оборудование и методы обработки	Р а б . х о д	Отклонение от	Номинальные размеры, мм					
			до	10	50	160	300	св.
			10	50	160	300	500	500
Сверление спиральными сверлами	1	соосности	0,040	0,080	0,150	0,280	-	-
		цилиндричности	0,020	0,030	0,035	-	-	-
Сверление ружейными сверлами	1	соосности	0,005	0,010	0,020	0,035	-	-
		цилиндричности	0,005	0,007	0,012	0,016	-	-
Зенкерование	1	соосности	0,007	0,012	0,018	0,027	-	-
		цилиндричности	0,005	0,010	0,014	-	-	-
Развертывание	1	соосности	Исходная погрешность + (0,005)					
		цилиндричности	0,002	0,003	0,008	0,012	-	-

Таблица 3

Средняя статистическая точность координат и расположения осей отверстий, полученных на операциях сверления, мм

Метод обработки и координации инструмента на сверлильных и радиально-сверлильных станках	Расстояние от базы или между отверстиями, мм				Удельная перпендикулярность или параллельность от базы, мкм/мм			
					Диаметр отверстия, мм			
	до	50	120	260	до	10	30	св.
	50	-	-	-	10	-	-	50
	50	120	260	500	10	30	50	50
По разметке	1,00	1,40	1,60	2,00	3,00	2,40	1,50	1,20
По кондуктору со сменными втулками нормальной точности	0,20	0,30	0,40	0,50	1,75	1,70	1,10	0,75
По кондуктору с вращающимися втулками повышенной точности	0,07	0,08	0,10	0,12	0,85	0,65	0,50	0,40
Ружейными сверлами	0,07	0,08	0,10	0,12	0,65	0,45	0,30	0,20

Примечание: приведенные в таблице величины погрешностей координат оси действительны для отверстий диаметром 18–30 мм. При обработке других размеров табличные величины необходимо умножить на коэффициент К:

Диаметр, мм	10–18	18–30	30–50	св. 50
К	0,8	1,0	1,2	1,6

Таблица 4

Средняя статистическая точность расположения осей отверстий после сверления, мм

Параметр	Диаметр отверстия, мм	Материал детали			
		чугун, алюминий		сталь	
		Сверло по ГОСТ 885-77			
		общего назначения	точного исполнения	общего назначения	точного исполнения
Смещение оси отверстия относительно: оси кондукторной втулки	До 6	0,13	0,12	0,18	0,17
	6 - 10	0,13	0,11	0,18	0,16
	10 - 18	0,15	0,13	0,20	0,18
	18 - 30	0,20	0,18	0,28	0,26
	30 - 50	0,27	0,25	0,38	0,36

технологических баз без учета погрешности базирования	До 6	0,17	0,15	0,23	0,21
	6 - 10	0,17	0,15	0,22	0,20
	10 - 18	0,18	0,17	0,25	0,23
	18 - 30	0,25	0,23	0,34	0,32
	30 - 50	0,32	0,30	0,46	0,44
Расстояние между осями отверстий, обработанных на одной позиции	До 6	±0,23	±0,20	±0,31	±0,29
	6 - 10	±0,23	±0,20	±0,31	±0,28
	10 - 18	±0,25	±0,23	±0,34	±0,31
	18 - 30	±0,32	±0,32	±0,48	±0,45
	30 - 40	±0,45	±0,42	±0,65	±0,61

Примечание: 1. При сверлении отверстий комбинированными сверлами табличные значения смещения осей должны быть увеличены: при  $L = (2-3)D$  в 1,8 раза; при  $L > 3D$  в 2,5...2,8 раза. 2. При сверлении и развертывании комбинированным инструментом точность расположения осей отверстий соответствует точности зенкерования.

Таблица 5

Средняя статистическая точность расположения осей отверстий после зенкерования, мм

Параметр	Диаметр отверстия, мм	Материал детали					
		чугун		алюминий		сталь	
		Крепление инструмента					
		жесткое	плавающее	жесткое	плавающее	жесткое	плавающее
Смещение оси отверстия относительно: оси кондукторной втулки	До 12	0,10	0,08	0,11	0,09	0,10	0,12
	12 - 18	0,09	0,08	0,11	0,10	0,12	0,12
	18 - 30	0,12	0,10	0,15	0,12	0,17	0,13
	30 - 50	0,14	0,13	0,18	0,14	0,20	0,16
	50 - 60	-	0,06	-	0,07	-	0,07
	60 - 80	-	0,07	-	0,07	-	0,07
технологических баз без учета погрешности базирования	До 12	0,12	0,10	0,14	0,12	0,15	0,13
	12 - 18	0,12	0,11	0,14	0,13	0,15	0,13
	18 - 30	0,16	0,14	0,19	0,15	0,21	0,17
	30 - 50	0,18	0,16	0,22	0,18	0,25	0,19
	50 - 60	-	0,09	-	0,10	-	0,10
60 - 80	-	0,10	-	0,10	-	0,10	
Расстояние между осями отверстий, обработанных на одной позиции	До 12	0,16	0,14	0,19	0,16	0,21	0,17
	12 - 18	0,16	0,15	0,19	0,17	0,20	0,18
	18 - 30	0,21	0,19	0,26	0,21	0,29	0,23
	30 - 50	0,24	0,22	0,30	0,25	0,34	0,26
	50 - 60	-	0,11	-	0,12	-	0,13
60 - 80	-	0,13	-	0,13	-	0,13	

Таблица 6

Средняя статистическая точность расположения осей отверстий после развертывания, мм

Параметр	Диаметр отверстия, мм	Точность кондукторной втулки	
		повышенная	высокая
Смещение оси отверстия относительно: оси кондукторной втулки  технологических баз без учета погрешности базирования	До 18	0,042	0,038
	18 - 30	0,047	0,045
	30 - 50	0,052	0,049
	50 - 80	0,018	0,016
	До 18	0,070	0,066
	18 - 30	0,074	0,070
	30 - 50	0,079	0,076
	50 - 80	0,053	0,052
Расстояние между осями отверстий, обработанных на одной позиции	До 18	0,070	0,067
	18 - 30	0,076	0,069
	30 - 50	0,092	0,087
	50 - 80	0,039	0,036

## Приложение 29

## Растачивание

Таблица 1

Средняя статистическая точность размеров на операциях растачивания  
(при совмещенных технологических и измерительных базах и отклонениях формы  
измерительных баз в пределах 10% от погрешностей продольных размеров)

Оборудование и методы обработки	Способы обеспечения точности	Р	Ше- а ро- б хо- ват- х ость о Ra, д мкм	Де- фек- тный слой мкм	Т о ч н о с т ь размеров				
					диамет- ральных (ква- литеты)	продольных, мм			
						до 80	80 - 260	260 - 500	св. 500
Растачи- вание ступен- чатых отверс- тий  на гори- зонталь- норосто- чных станках	По лимбу	1	20	50	11	0,15	0,20	0,25	-
		2	2,5	15	8-9	0,10	0,15	0,20	-
	По программе (на станке с ЧПУ)	1	20	50	11	0,10	0,12	0,15	-
		2	2,5	15	8-9	0,05	0,08	0,10	-
	Между поверхностями, обработанными резцами в одной борштанге	1	5	20	8-9	0,05	0,06	0,08	-
		2	1,25	10	6-7	0,05	0,06	0,08	-
	Между поверхностями, обработанными на разных позициях	1	5	20	8-9	0,10	0,12	0,15	-
		2	1,25	5	6-7	0,07	0,10	0,12	-

Таблица 2

Средняя статистическая точность формы и расположения поверхностей, обработанных на операциях растачивания относительно "чистых" технологических баз, мм

Оборудование и методы обработки	Р а б . х о д	Откло- нение от	Номинальные размеры, мм					
			до	10	50	160	300	св.
			10	- 50	- 160	- 300	- 500	500
Алмазное растачивание	1	плоско- стности	0,001	0,002	0,003	0,005	0,008	-
		перпен- дикуляр- ности	0,001	0,003	0,004	0,006	0,008	0,012
		цилинд- ричности	0,001	0,002	0,004	0,007	0,010	0,015
		соосно- сти	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,015

Таблица 3

Средняя статистическая точность координат и расположения осей отверстий, полученных на операциях растачивания, мм

Оборудование и методы обработки	Метод координации инструмента	Расстояние от базы или между отверстиями, мм				Удельная перпендикулярность или параллельность от базы, мкм/мм			
		до	50	120	260	Диаметр отверстия, мм			
		50	- 120	- 260	- 500	до	10	30	св.
Растачивание на горизонтально-расточных станках	По разметке	0,8	1,2	1,4	1,6	-	-	-	-
	По шкале с нониусом	0,3	0,4	0,6	0,8	-	-	-	-
	По штихмасу	0,1	0,14	0,20	0,24	-	-	-	-
	По концевым мерам	0,06	0,08	0,1	0,12	-	-	-	-

Растачивание на алмазно-расточных станках	По нониусу	0,04	0,04	0,06	0,08	-	-	-	-
Растачивание на координатно-расточных станках	По шкале с нониусом	0,04	0,06	0,08	0,1	-	-	-	-
	По оптическим приборам	0,01	0,02	0,03	0,04	-	-	-	-

Примечание: приведенные в таблице величины погрешностей координат оси действительны для отверстий диаметром 18–30 мм. При обработке других размеров табличные величины необходимо умножить на коэффициент К:

Диаметр, мм	10–18	18–30	30–50	св. 50
К	0,8	1,0	1,2	1,6

Таблица 4

Средняя статистическая точность расположения осей отверстий после растачивания, мм

Станки	Методы координации инструмента	Отклонения межосевого расстояния
Токарные	Перемещение салазок на угольнике	0,20
Горизонтально-расточные	По шкале с нониусом	0,30
	По концевым мерам	0,08
	По индикаторному упору	0,06
	По кондуктору	0,08
	По программе	0,04
Координатно-расточные	По оптическим приборам	0,01
Алмазно-расточные	-	0,03
Агрегатно-расточные многшпиндельные	С направлением борштанг	0,05
	Без направления инструмента при его вылете не более (3–4)D	0,08

## Шлифование

Таблица 1

Средняя статистическая точность размеров на шлифовальных операциях  
(при совмещенных технологических и измерительных базах и отклонениях формы  
измерительных баз в пределах 10% от погрешностей продольных размеров)

Оборудование и методы обработки	Способы обеспечения точности	Вид шлифования	Шероховатость Ra, мкм	Дефектный слой, мкм	Точность размеров				
					диаметральных (квалитеты)	продольных, мм			
						до 80	80 - 260	260 - 500	св. 500
Круглошлифовальные станки	По лимбу, упорам и пробным рабочим ходам	Предварительное	2,5	20	10	-	-	-	-
		Чистовое	0,16	5	6-7	-	-	-	-
		Тонкое	0,04	2,5	5-6	-	-	-	-
Торце-круглошлифовальные станки	По упорам	Предварительное	2,5	20	10	0,15	0,17	0,20	0,25
		Чистовое	0,63	10	6-7	0,08	0,10	0,12	0,15
	С позиционером	Предварительное	2,5	20	10	0,10	0,12	0,15	0,17
		Чистовое	0,63	10	6-7	0,06	0,08	0,10	0,12
Внутришлифовальные станки	По лимбу, упорам и пробным рабочим ходам	Предварительное	2,5	20	10	0,20	0,25	0,30	-
		Чистовое	0,63	10	6-7	0,12	0,17	0,20	-
		Тонкое	0,16	5	5-6	0,06	0,08	0,12	-
Плоскошлифовальные станки	По лимбу, упорам и пробным рабочим ходам	Предварительное	2,5	20	-	0,15	0,20	0,25	-
		Чистовое	0,63	10	-	0,08	0,10	0,12	-
		Тонкое	0,16	5	-	0,05	0,08	0,10	-
Бесцентровошлифовальные станки	По упорам	Предварительное	2,5	20	8-9	-	-	-	-
		Чистовое	1,25	10	6-7	0,12	0,17	0,20	-

Таблица 2

Средняя статистическая точность формы и расположения поверхностей, обработанных на шлифовальных операциях относительно "чистых" технологических баз, мм

Оборудование и методы обработки	Р а б . х о д	Откло- нение от	Номинальные размеры, мм					
			до	10	50	160	300	св.
			10	50	160	300	500	500
Кругло-шлифовальные, внутри-шлифовальные плоско-шлифовальные станки	1	плоско- стности	0,004	0,007	0,010	0,018	0,030	0,060
		перпен- дикуляр- ности	0,007	0,014	0,023	0,035	0,045	0,100
		цилинд- ричности	0,003	0,005	0,008	0,012	0,015	0,028
		соосно- сти	0,015	0,038	0,050	0,065	0,080	0,140
	2	плоско- стности	0,003	0,005	0,009	0,015	0,022	0,040
		перпен- дикуляр- ности	0,003	0,004	0,007	0,012	0,018	0,060
		цилинд- ричности	0,002	0,003	0,004	0,005	0,007	0,012
		соосно- сти	0,010	0,012	0,016	0,023	0,030	0,075
Бесцен- трово- шлифо- вальные станки	1	цилинд- ричности	0,004	0,007	0,010	0,015	0,028	0,040
		соосно- сти	Исходное смещение + (0,003)					

Таблица 3

Средняя статистическая точность расположения (отклонение от соосности в диаметральном выражении) обработанных цилиндрических поверхностей относительно центровых фасок, мм

Ди а м е т р	Интервал длины, мм			
	до 120	120 - 260	260 - 500	500 - 1200
До 18	0,005	0,006	-	-
18 - 50	0,007	0,008	0,010	0,015
50 - 80	0,009	0,010	0,012	0,017
80 - 120	0,011	0,012	0,014	0,019

Отделочные операции

Таблица 1

Средняя статистическая точность размеров на отделочных операциях

Оборудование и методы обработки	Способы обеспечения точности	Рабочий ход	Шероховатость Ra, мкм	Дефектный слой, мкм	Точность размеров				
					диаметральных (квалитеты)	продольных, мм			
						до 80	80 - 260	260 - 500	св. 500
Хонингование	-	Предварительный	0,32	6	-	-	-	-	-
		Чистой	0,32	3	5-6	-	-	-	-
Суперфинишрование	-	Предварительный	0,32	5	1,1 исходной погрешности	-	-	-	-
		Чистой	0,08	3		-	-	-	-
Притирка не размерная	-	Предварительный	0,32	5	-	Сохраняется			-
		Чистой	0,08	3	-				-
Притирка размерная	-	-	0,08	3	Точнее 3	0,001			-

Таблица 2

Средняя статистическая точность формы и расположения поверхностей, обработанных на отделочных операциях, мм

Оборудование и методы обработки	Рабочий ход	Отклонение от	Номинальные размеры, мм					
			до 10	10 - 50	50 - 160	160 - 300	300 - 500	св. 500
			Хонингование	1	прямолинейности	0,001	0,002	0,004
круглости	0,001	0,002			0,003	0,004	0,005	-
соосности	Сохраняется							
Суперфинишрование	-	-	Все виды погрешностей сохраняются					

Притирка		плоско- стности, прямоли- нейности оси	0,0005	0,001	0,002	0,003	0,004	0,010
	1	цилинд- ричности	0,0005	0,001	0,0015	0,002	0,003	-
		соосно- сти	Сохраняется					

## Приложение 32

Таблица 1

## Точность обработки на станках с ЧПУ

Методы и условия обработки	Диаметр поверхности, качество	Линейный размер от технологической базы, качество	Линейный размер между одновременно обработанными поверхностями, качество	Соосность относительно технологической базы, мм	Соосность одновременно обработанных поверхностей, мм
Обтачивание наружных цилиндрических поверхностей на станках гр.1.1; 0.1 при пониженной жесткости технологической системы:	черновое	12		±0,4	±0,3
	получистовое	10		±0,2	±0,15
	чистовое	8		±0,1	±0,1
То же, при повышенной жесткости технологической системы:	чистовое	11		±0,3	±0,25
	получистовое	9		±0,2	±0,15
	чистовое	8		±0,15	±0,1
	чистовое при повышенной точности наладки	7		±0,15	±0,05
Растачивание цилиндрических поверхностей на станках гр.1.1; 0.1:	получистовое	9		±0,25	±0,15
	чистовое	8		±0,2	±0,1
	тонкое	7		±0,15	±0,08
То же на станках гр.2; 0.2:	получистовое	8	9	8	±0,1
	чистовое	7	8	7	±0,08
	тонкое	6	7	6	±0,05
Подрезка торцов у деталей типа дисков на станках гр.1.1; 1.2; 0.1:	черновая		10	9	
	получистовая		9	8	
	чистовая		8	7	

Методы и условия обработки	Диаметр поверхности, качество	Линейный размер от технологической базы, качество	Линейный размер между обработанными поверхностями, качество	Соосность относительно технологической базы, мм	Соосность одновременно обработанных поверхностей, мм
То же у деталей типа валов на станках гр.1.1; 0.1: черновая получистовая чистовая		11	9		
		10	9		
		9	8		
Отрезка деталей отрезным резцом на станках гр.1.1		12			
То же, дисковой фрезой на станках гр.6		13			
Сверление и рассверливание неглубоких отверстий на станках гр.1.1; 0.1 спиральными сверлами	12			±0,4	±0,3
То же, на станках гр.2; 0.2	12	10	9	±0,3	±0,2
Сверление и рассверливание глубоких отверстий на станках гр.1.1; 0.1 спиральными сверлами	13			±0,3	±0,2
То же, на станках гр.2; 0.2	13	11	10	±0,5	±0,3
Зенкерование отверстий на станках гр.1.1; 1.2; 0.1	10			±0,3	±0,2
То же, на станках гр.2; 0.2	9	10	10	±0,3	±0,2
Развертывание отверстий на станках гр.1.1; 1.2; 0.1: однократное двухкратное	9				
	7				
То же, на станках гр.2; 0.2: однократное двухкратное	9	10	9		
	7	9	9		
Фрезерование плоскостей торцевой фрезой на станках группы 6; 0.1: черновое чистовое чистовое при повышенной точности наладки		10	8		
		8	7		
		7	6		
То же, боковой поверхностью пальцевой фрезы черновое чистовое		11	9		
		9	8		

Примечание: в таблице приведены следующие обозначения групп станков: 1.1 – токарные одношпиндельные с горизонтальной осью вращения; 1.2 – токарные карусельные; 2 – сверлильно-расточные; 6 – фрезерные; 0,1 – обрабатывающие центры токарно-сверлильно-фрезерно-расточные; 0.2 – обрабатывающие центры сверлильно-фрезерно-расточные.

Размеры и предельные отклонения диаметров стержней под резьбу с крупным шагом  
(ГОСТ 19258-73), мм

Номи- нальный диаметр резьбы <i>d</i>	Шаг резьбы <i>P</i>	Диаметр стержня под резьбу с полем допуска						
		4h; 6h; 8h*	6g; 8g*	6e	6d	4h	6h; 6g; 6e; 6d	8h; 8g
		Номинальное значение				Предельное отклонение		
2,5	0,45	2,45	2,43	—	—	-0,04	-0,06	—
3	0,5	2,94	2,92	2,89	—	-0,04	-0,06	—
3,5	0,6	3,44	3,49	3,39	—	-0,05	-0,07	—
4	0,7	3,94	3,92	3,89	—	-0,06	-0,08	—
4,5	0,75	4,44	4,42	4,38	—	-0,06	-0,09	—
5	0,8	4,94	4,92	4,88	—	-0,07	-0,10	-0,18
6	1,0	5,92	5,89	5,86	5,83	-0,07	-0,10	-0,20
8	1,25	7,90	7,87	7,84	7,80	-0,08	-0,11	-0,24
10	1,5	9,88	9,85	9,81	9,78	-0,09	-0,12	-0,26
12	1,75	11,86	11,83	11,80	10,76	-0,10	-0,13	-0,29
14	2	13,84	13,80	13,77	13,74	-0,10	-0,13	-0,29
16		15,84	15,80	15,77	15,74			
18	2,5	17,84	17,80	17,76	17,73	-0,13	-0,18	-0,37
20		19,84	19,80	19,76	19,73			
22		21,84	21,80	21,76	21,73			
24	3	23,84	23,79	23,75	23,73	-0,16	-0,22	-0,44
27		26,84	26,79	26,75	26,73			
30	3,5	29,84	29,79	29,75	29,72	-0,18	-0,27	-0,51
33		32,84	32,79	32,75	32,72			
36	4	35,84	35,78	35,74	35,71	-0,22	-0,32	-0,59
39		38,84	38,78	38,74	38,71			
42	4,5	41,84	41,78	41,74	41,71	-0,24	-0,34	-0,64
45		44,84	44,78	44,74	44,71			
48	5	47,84	47,77	47,73	47,71	-0,26	-0,37	-0,69
52		51,84	51,77	51,73	51,71			
56	5,5	55,84	55,76	55,73	55,70	-0,28	-0,40	-0,74
60		59,84	59,76	59,73	59,70			
64	6	63,84	63,76	63,72	63,69	-0,30	-0,44	-0,79
68		67,84	67,76	67,72	67,69			

\* Минимальный диаметр резьбы с полями допусков 8h и 8g составляет 5 мм.

Таблица 2

Размеры и предельные отклонения диаметров стержней под резьбу с мелким шагом  
(ГОСТ 19258-73), мм

Номи- нальный диаметр резьбы, <i>d</i>	Шаг резьбы <i>P</i>	Диаметр стержня под резьбу с полем допуска						
		4h; 6h; 8h*	6g; 8g*	6e	6d	4h	6h; 6g; 6e; 6d	8h; 8g
		Номинальное значение				Предельное отклонение		
2,5	0,35	2,45	2,43	—	—	—	—	—
3		2,95	2,93	—				
3,5		3,45	3,43	—				
4	0,5	3,94	3,92	3,69	—	-0,04	-0,06	—
4,5		4,44	4,42	4,39				
5		4,94	4,92	4,89				
6	0,5	5,94	5,92	5,89	—	-0,04	-0,06	—
	0,75			5,88				

Номинальный диаметр резьбы, $d$	Шаг резьбы $P$	Диаметр стержня под резьбу с полем допуска							
		4h; 6h; 8h*	6g; 8g*	6e	6d	4h	6h; 6g; 6e; 6d	8h; 8g	
		Номинальное значение				Предельное отклонение			
8	0,5	7,94	7,92	7,89	—	-0,04	-0,06	—	
	0,75	7,94	7,92	7,88	—	-0,06	-0,09	—	
	1	7,92	7,89	7,86	7,83	-0,07	-0,10	-0,20	
10	0,5	9,94	9,92	9,89	—	-0,04	-0,06	—	
	0,75	9,94	9,92	9,88	—	-0,06	-0,09	—	
	1	9,92	9,89	9,86	9,83	-0,07	-0,10	-0,20	
10	1,25	9,90	9,87	9,84	9,80	-0,08	-0,11	-0,24	
	12	0,5	11,94	11,92	11,89	—	-0,04	-0,06	—
		0,75	11,94	11,92	11,88	—	-0,06	-0,09	—
1		11,92	11,89	11,86	11,83	-0,07	-0,10	-0,20	
12	1,25	11,90	11,87	11,84	11,80	-0,08	-0,11	-0,24	
	1,5	11,88	11,85	11,81	11,78	-0,09	-0,12	-0,26	
	14	0,5	13,94	13,92	13,89	—	-0,04	-0,06	—
0,75		13,94	13,92	13,88	—	-0,06	-0,09	—	
1		13,92	13,89	13,86	13,83	-0,07	-0,10	-0,20	
14	1,25	13,90	13,87	13,84	13,80	-0,08	-0,11	-0,24	
	1,5	13,88	13,85	13,81	13,78	-0,09	-0,12	-0,26	
	16	0,5	15,94	15,92	15,89	—	-0,04	-0,06	—
0,75		15,94	15,92	15,88	—	-0,06	-0,09	—	
1		15,92	15,89	15,86	15,83	-0,07	-0,10	-0,20	
16	1,5	15,88	15,85	15,81	15,78	-0,09	-0,12	-0,26	
	18	0,5	17,94	17,92	17,89	—	-0,04	-0,06	—
		0,75	17,94	17,92	17,88	—	-0,06	-0,09	—
1		17,92	17,89	17,86	17,83	-0,07	-0,10	-0,20	
18	1,5	17,88	17,85	17,81	17,78	-0,09	-0,12	-0,26	
	2	17,84	17,80	17,77	17,74	-0,10	-0,13	-0,29	
	20	0,5	19,94	19,92	19,89	—	-0,04	-0,06	—
0,75		19,94	19,92	19,88	—	-0,06	-0,09	—	
1		19,92	19,89	19,86	19,83	-0,07	-0,10	-0,20	
20	1,5	19,88	19,85	19,81	19,78	-0,09	-0,12	-0,26	
	2	19,84	19,85	19,77	19,74	-0,10	-0,13	-0,29	
	22	0,5	21,94	21,92	21,89	—	-0,04	-0,06	—
0,75		21,94	21,92	21,88	—	-0,06	-0,09	—	
1		21,92	21,89	21,86	21,83	-0,07	-0,10	-0,20	
22	1,5	21,88	21,85	21,81	21,78	-0,09	-0,12	-0,26	
	2	21,84	21,80	21,77	21,74	-0,10	-0,13	-0,29	
	24	0,75	23,94	23,92	23,88	—	-0,06	-0,09	—
1		23,92	23,89	23,86	23,83	-0,07	-0,10	-0,20	
1,5		23,88	23,85	23,81	23,78	-0,09	-0,12	-0,26	
24	2	23,84	23,80	23,77	23,74	-0,10	-0,13	-0,29	
	27	0,75	26,94	26,92	26,88	—	-0,06	-0,09	—
		1	26,92	26,89	26,86	26,83	-0,07	-0,10	-0,20
1,5		26,88	26,85	26,81	26,78	-0,09	-0,12	-0,26	
27	2	26,84	26,80	26,77	26,74	-0,10	-0,13	-0,29	
	30	0,75	29,94	29,92	29,88	—	-0,06	-0,09	—
		1	29,92	29,89	29,86	29,83	-0,07	-0,10	-0,20
1,5		29,88	29,85	29,81	29,78	-0,09	-0,12	-0,26	
30	2	29,84	29,80	29,77	29,74	-0,10	-0,13	-0,29	
	3	29,84	29,79	29,75	29,73	-0,16	-0,22	-0,44	

Номи- нальный	Шаг резьбы $P$	Диаметр стержня под резьбу с полем допуска						
		4h; 6h; 8h*	6g; 8g*	6e	6d	4h	6h; 6g; 6e; 6d	8h; 8g
		Номинальное значение				Предельное отклонение		
диаметр резьбы, $d$ 33	0,75	32,94	32,92	32,88	—	-0,06	-0,09	—
	1	32,92	32,89	32,86	32,83	-0,07	-0,10	-0,20
	1,5	32,88	32,85	32,81	32,78	-0,09	-0,12	-0,26
	2		32,80	32,77	32,74	-0,10	-0,13	-0,29
	3	32,84	32,79	32,75	32,73	-0,16	-0,22	-0,44
36	1	35,92	35,89	35,86	35,83	-0,07	-0,10	-0,20
	1,5	35,88	35,85	35,81	35,78	-0,09	-0,12	-0,26
	2		35,80	35,77	35,74	-0,10	-0,13	-0,29
	3	35,84	35,79	35,75	35,73	-0,16	-0,22	-0,44
39	1	38,92	38,89	38,86	38,83	-0,07	-0,10	-0,20
	1,5	38,88	38,85	38,81	38,78	-0,09	-0,12	-0,26
	2		38,80	38,77	38,74	-0,10	-0,13	-0,29
	3	38,84	38,79	38,75	38,73	-0,16	-0,22	-0,44
42	1	41,92	41,89	41,86	41,83	-0,07	-0,10	-0,20
	1,5	41,88	41,81	41,88	41,78	-0,09	-0,12	-0,26
	2		41,80	41,77	41,74	-0,10	-0,13	-0,23
	3	41,84	41,79	41,75	41,73	-0,16	-0,22	-0,41
	4		41,78	41,74	41,71	-0,22	-0,32	-0,59
45	1	41,92	44,89	44,86	41,83	-0,07	-0,10	-0,20
	1,5	44,88	14,86	41,81	44,78	-0,09	-0,12	-0,26
	2		44,80	44,77	44,74	-0,10	-0,13	-0,29
	3	41,81	44,79	44,75	44,73	-0,16	-0,22	-0,44
	4		41,78	14,74	14,71	-0,22	-0,32	-0,59
48	1	47,92	47,89	47,86	47,83	-0,07	-0,10	-0,20
	1,5	47,88	47,85	47,81	47,78	-0,09	-0,12	-0,26
	2		47,80	47,77	47,74	-0,10	-0,13	-0,29
	3	47,84	47,79	47,75	47,73	-0,16	-0,22	-0,41
	4		47,78	47,74	47,71	-0,22	-0,32	-0,59
52	1	51,92	51,89	51,86	51,83	-0,07	-0,10	-0,20
	1,5	51,88	51,85	51,81	51,78	-0,09	-0,12	0,26
	2	51,81	51,80	51,77	51,74	-0,10	-0,13	-0,29
	3		51,79	51,75	51,73	-0,16	-0,22	-0,44
	4	51,84	51,78	51,71	51,71	-0,22	-0,32	-0,50
56	1	55,92	55,89	55,86	55,83	-0,07	-0,10	-0,20
	1,5	55,88	55,85	55,81	55,78	-0,09	-0,12	-0,26
	2		55,80	55,77	55,74	-0,10	-0,13	-0,29
	3	55,84	55,79	55,75	55,73	-0,16	-0,22	-0,44
	4		55,78	55,74	55,71	-0,22	-0,32	-0,59
60	1	59,92	59,89	59,86	59,83	-0,07	-0,10	-0,20
	1,5	59,88	59,85	59,81	59,78	-0,09	-0,12	-0,26
	2		59,80	59,77	59,74	-0,10	-0,13	-0,29
	3	59,84	59,79	59,75	59,73	-0,16	-0,22	-0,44
	4		59,78	59,74	59,71	-0,22	-0,32	-0,59
64	2		63,80	63,77	63,74	-0,10	-0,13	-0,29
	3	63,84	63,79	63,75	63,73	-0,16	-0,22	-0,44
	4		63,78	63,74	63,71	-0,22	-0,32	-0,59

\* Минимальный диаметр резьбы с полями допусков 8h и 8g составляет 8 мм, минимальный шаг такой резьбы – 1 мм.

Размеры и предельные отклонения диаметров отверстий под резьбу с крупным шагом, мм

Номинальный диаметр резьбы, $d$	Шаг резьбы $P$	Диаметр отверстия под резьбу с полем допуска				
		4H5H; 5H; 5H6H; 6H; 7H	6G; 7G	4H5H; 5H	5H6H; 6H; 6G	7H; 7G
		Номинальное значение			Предельное отклонение	
2,5	0,45	2,05	2,07	+0,07	+0,09	—
3	0,5	2,50	2,52	+0,08	+0,10	+0,14
3,5	0,6	2,90	2,93	+0,08	+0,11	+0,15
4	0,7	3,30	3,33	+0,08	+0,12	+0,16
4,5	0,75	3,70	3,73	+0,11	+0,17	+0,22
5	0,8	4,20	4,23	+0,09	+0,19	+0,18
6	1	4,95	5,0	+0,17	+0,20	+0,26
8	1,25	6,70	6,75	+0,17	+0,20	+0,26
10	1,5	8,43	8,50	+0,19	+0,22	+0,30
12	1,75	10,20	10,25	+0,21	+0,27	+0,36
14	2	11,90	11,95	+0,24	+0,30	+0,40
16		13,90	13,95			
18	2,5	15,35	15,40	+0,30	+0,40	+0,53
20		17,35	17,40			
22		19,35	19,40			
24	3	20,85	20,90	+0,30	+0,40	+0,53
27		23,85	23,90			
30	3,5	26,30	26,35	+0,36	+0,48	+0,62
33	3,5	29,30	29,35			
36	4	31,80	31,85			
39	4	34,80	34,85	+0,36	+0,48	+0,62
42	4,5	37,25	37,30	+0,41	+0,55	+0,73
45	4,5	40,25	40,30	+0,41	+0,55	+0,73
48	5	42,70	42,80	+0,45	+0,60	+0,80
52		40,70	46,80			
56	5,5	50,20	50,30			
60		54,20	54,30			
64	6	57,70	57,80			
68		61,70	61,80			

Примечание. Стандарт предусматривает также отверстия под резьбу с  $d = 1,6-2$  мм.

Таблица 2

Размеры и предельные отклонения диаметров отверстий под резьбу с мелким шагом, мм

Номинальный диаметр резьбы, $d$	Шаг резьбы $P$	Диаметр отверстий под резьбу с полем допуска				
		4H5H; 5H; 5H6H; 6H; 7H	6G; 7G	4H5H; 5H	5H6H; 6H; 6G	7H; 7G
		Номинальное значение			Предельное отклонение	
2,5	0,35	2,15	2,17	+0,05	+0,07	—
3		2,65	2,67			
3,5		3,15	3,17			
4	0,5	3,50	3,52	+0,08	+0,10	+0,14
4,5		4,00	4,02			
5		4,50	4,52			
6	0,5	5,50	5,52	+0,08	+0,10	+0,14
	0,75	5,20	5,23	+0,11	+0,17	+0,22
8	0,5	7,50	7,52	+0,08	+0,10	+0,14
	0,75	7,20	7,23	+0,11	+0,17	+0,22
	1	6,95	7,00	+0,17	+0,20	+0,26

Номинальный диаметр резьбы, $d$	Шаг резьбы $P$	Диаметр отверстий под резьбу с полем допуска				
		4H5H; 5H; 5H6H; 6H; 7H	6G; 7G	4H5H; 5H	5H6H; 6H, 6G	7H; 7G
		Номинальное значение		Предельное отклонение		
10	0,5	9,50	9,53	+0,08	+0,10	+0,14
	0,75	9,20	9,23	+0,11	+0,17	+0,22
	1	8,95	9,00	+0,17	+0,20	+0,26
	1,25	8,70	8,75	+0,17	+0,20	+0,26
12	0,5	11,50	11,52	+0,08	+0,10	+0,14
	0,75	11,20	11,23	+0,11	+0,17	+0,22
	1	10,99	11,00	+0,17	+0,17	+0,26
	1,25	10,70	10,75	+0,17	+0,20	+0,26
	1,5	10,43	10,50	+0,19	+0,22	+0,30
14	0,5	13,50	13,52	+0,08	+0,10	+0,14
	0,75	13,20	13,23	+0,11	+0,17	+0,22
	1	12,95	13,00	+0,17	+0,20	+0,26
	1,25	12,70	12,75	+0,17	+0,20	+0,26
	1,5	12,43	12,50	+0,19	+0,22	+0,30
16	0,5	15,50	15,52	+0,08	+0,10	+0,14
	0,75	15,20	15,23	+0,11	+0,17	+0,22
	1	14,95	15,00	+0,17	+0,20	+0,26
	1,5	14,43	14,50	+0,19	+0,22	+0,30
18	0,5	17,50	17,52	+0,08	+0,10	+0,14
	0,75	17,20	17,23	+0,11	+0,17	+0,22
	1	16,95	17,00	+0,17	+0,20	+0,26
	1,5	16,43	16,50	+0,19	+0,22	+0,30
	2	15,90	15,95	+0,24	+0,30	+0,40
20	0,5	19,50	19,52	+0,08	+0,10	+0,14
	0,75	19,20	19,23	+0,11	+0,17	+0,22
	1	18,95	19,00	+0,17	+0,20	+0,26
	1,5	18,43	18,50	+0,19	+0,22	+0,30
	2	17,90	17,95	+0,24	+0,30	+0,40
22	0,5	21,50	21,52	+0,08	+0,10	+0,14
	0,75	21,20	21,23	+0,11	+0,17	+0,22
	1	20,95	21,00	+0,17	+0,20	+0,26
	1,5	20,43	20,50	+0,19	+0,22	+0,30
	2	19,90	19,95	+0,24	+0,30	+0,40
24	0,75	23,20	23,23	+0,11	+0,17	+0,22
	1	22,95	23,00	+0,17	+0,20	+0,26
	1,5	22,43	22,50	+0,19	+0,22	+0,30
	2	21,90	21,95	+0,24	+0,30	+0,40
27	0,75	26,20	26,23	+0,11	+0,17	+0,22
	1	25,95	26,00	+0,17	+0,20	+0,26
	1,5	25,43	25,50	+0,19	+0,22	+0,30
	2	24,90	24,95	+0,24	+0,30	+0,40
30	0,75	29,20	29,23	+0,11	+0,17	+0,22
	1	28,95	29,00	+0,17	+0,20	+0,26
	1,5	28,43	28,50	+0,19	+0,22	+0,30
	2	27,90	27,95	+0,24	+0,30	+0,40
	3	20,85	26,90	+0,30	+0,40	+0,53

Номинальный диаметр резьбы, $d$	Шаг резьбы $P$	Диаметр отверстий под резьбу с полем допуска				
		4H5H; 5H; 5H6H; 6H; 7H	6G; 7G	4H5H; 5H	5H6H; 6H, 6G	7H; 7G
		Номинальное значение		Предельное отклонение		
33	0,75	32,20	32,23	+0,11	+0,17	+0,22
	1	31,95	32,00	+0,17	+0,20	+0,26
	1,5	31,43	31,50	+0,19	+0,22	+0,30
	2	30,90	30,95	+0,24	+0,30	+0,40
	3	29,85	29,90	+0,30	+0,40	+0,53
36	1	34,95	35,00	+0,17	+0,20	+0,26
	1,5	34,43	34,50	+0,19	+0,22	+0,30
	2	33,90	33,95	+0,24	+0,30	+0,40
	3	32,85	32,90	+0,30	+0,40	+0,53
39	1	37,95	38,00	+0,17	+0,20	+0,26
	1,5	37,43	37,50	+0,19	+0,22	+0,30
	2	36,90	36,95	+0,24	+0,30	+0,40
	3	35,85	35,90	+0,30	+0,40	+0,53
42	1	40,95	41,00	+0,17	+0,20	+0,26
	1,5	40,43	40,50	+0,19	+0,22	+0,30
	2	39,90	39,95	+0,24	+0,30	+0,40
	3	38,85	38,90	+0,30	+0,40	+0,53
	4	37,80	37,85	+0,36	+0,48	+0,62
45	1	43,95	44,90	+0,17	+0,20	+0,26
	1,5	43,43	43,50	+0,19	+0,22	+0,30
	2	42,90	42,95	+0,24	+0,30	+0,40
	3	41,85	41,90	+0,30	+0,40	+0,53
	4	40,80	40,85	+0,36	+0,48	+0,62