

УДК 621.753.1/2(035)

Мартынов А. П., Московцев Н. Н.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ ИЗДЕЛИЙ С ЗАВИСИМЫМИ ДОПУСКАМИ НА ОСНОВЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Одним из способов обеспечения взаимозаменяемости с одновременным повышением эффективности процессов обработки деталей и сборки изделий является полное использование резервов, заложенных в понятии о зависимых допусках элементов деталей (расположение осей крепежных деталей, соосность поверхностей, перпендикулярность и прямолинейность осей отверстий и валов).

В соответствии с ГОСТ 24642-81 [1] и стандартами ISO численное значение зависимого допуска формы и расположения переменного для разных изделий по чертежу – в последнем указывают лишь минимальное значение допуска, превышение которого при изготовлении детали возможно на величину, зависящую от отклонений действительных размеров поверхностей от проходных пределов размеров вала и отверстия.

Парные детали, изготовленные по зависимым допускам, собираются по методу полной взаимозаменяемости, поскольку дополнительное отклонение формы, расположения или координирующих размеров элементов детали компенсируется действительными отклонениями размеров этих элементов.

Поэтому по сравнению с независимыми зависимые допуски формы и расположения позволяют применить менее точные, но более экономичные способы обработки и оборудования, а также снизить потери от брака.

Стандарты [1, 2 и др.] создали базу для единообразия в понимании и применении этих видов допусков. В то же время составленные в порядке гармонизации национальных стандартов Украины со стандартами ISO нормативные документы [3, 4 и др.] как часть комплекса международных стандартов GPS (Geometrical product specifications – геометрические требования к изделиям), содержат некоторые отличия от рассмотренных выше межгосударственных стандартов и являются альтернативными в числе других подобных документов [5].

Надо отметить, что расчеты, связанные с зависимыми допусками, непросты и поэтому, как показал анализ состояния проектирования на многих машиностроительных и приборостроительных предприятиях, очень часто из-за неправильного понимания сущности зависимых отклонений поверхностей наблюдается несоответствие между назначаемыми зависимыми и независимыми допусками расположения и методами их контроля, что, в конечном счете, приводит к нарушению взаимозаменяемости, дополнительному браку и несоответствию действительного качества расчетному [6].

В [7] также показано, что недостаточная размерная отработка узлов в тяжелом машиностроении приводит к возникновению явления их несобираемости и в связи с этим к необходимости выполнения значительных объемов пригоночных работ на сборке, что тем более снижает качество изделий.

Целью работы является разработка методики автоматизированных расчетов точностных параметров изделий с зависимыми допусками и калибров для их контроля, которая позволила бы в процессе проектирования, изготовления и контроля изделий в комплексе решить проблему правильного использования преимуществ зависимых допусков.

Это полностью согласуется с процессным подходом ДСТУ ISO 9000: 2007, согласно которому желаемый результат достигается эффективнее, когда деятельностью и соответствующими ресурсами управляют как процессом.

Для достижения этой цели поставлена задача на основе всестороннего анализа объектов применения зависимых допусков и соответствующих зависимостей разработать

автоматизированную систему расчетов параметров, позволяющую, с одной стороны, правильно нормировать рассматриваемые виды отклонений поверхностей, а, с другой стороны, получать необходимые данные как для проектирования калибров, так и для выполнения приемлемых процедур во время изготовления и контроля с достижением при этом взаимозаменяемости изделия.

Для этого, прежде всего, усовершенствована методика [8] нормирования допусков расположения крепежных отверстий, для чего с целью сокращения времени на определение оптимальных допусков расположения в конструкторской и технологической документации разработана программа, позволяющая решать эти задачи в автоматизированном режиме. Оператору достаточно указать размерную характеристику соединения (диаметр отверстия и диаметр крепёжного элемента), выбрать тип соединения, требования к собираемости и схему расположения отверстий. Система позволяет получить числовые значения позиционного допуска и соответствующие ему предельные отклонения координирующих размеров, соответствующие ГОСТ 14140-81. Программа работает в системах прямоугольных и полярных координат.

Нормирование расположения осей отверстий осуществляется либо позиционными допусками, либо предельными отклонениями размеров, координирующих оси отверстий.

Предельные отклонения размеров, координирующих оси отверстий, являются элементными по отношению к позиционным допускам. Как видно из рис. 1, эти два вида отклонений связаны следующими зависимостями:

- в системе прямоугольных координат:

$$\sqrt{T_x^2 + T_y^2} = T ; \quad (1)$$

- в системе полярных координат:

$$\sqrt{T_R^2 + \left(\frac{RT_\alpha}{3440}\right)^2} = T , \quad (2)$$

где T_x и T_y – координатные составляющие позиционного допуска каждого отверстия в отдельности для прямоугольных координат (рис. 2, а);

T_R и T_α – то же, для полярных координат (рис. 2, б);

R – радиус окружности центров;

T_x, T_y, T_R, T, R – в мм; T_α – в мин; 3440 – число минут в радиане.

Хотя составляющие позиционного допуска по обоим координатным направлениям чаще принимают одинаковыми (на рис. 1 заштрихованные поля допусков), в технологически обоснованных случаях возможно увеличение предельных отклонений размеров в одном координатном направлении при условии, что предельные отклонения в другом координатном направлении будут соответственно уменьшены, что предусмотрено программой. Примеры разложения позиционного допуска оси на неодинаковые составляющие (соответственно T_x', T_y' и T_R', T_α') показаны на рис. 1 штриховыми линиями.

Для всех возможных видов формы и расположения поверхностей с зависимыми допусками разработаны алгоритм и программа расчетов параметров исполнительных размеров калибров контроля. Кроме контроля расположения рассмотренных выше осей крепежных деталей, они охватывают контроль соосности (симметричности) всех видов поверхностей, перпендикулярности (наклона), в том числе с базовым элементом, и прямолинейности оси в соответствии со схемами расположения отклонений и допусков измерительных элементов калибра по ГОСТ 16085-80.

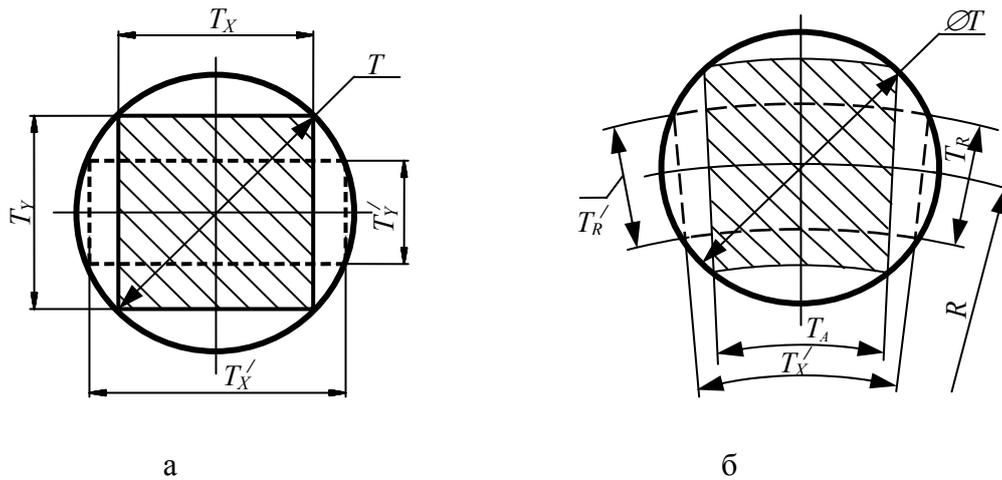


Рис. 1. Соотношение двух видов допусков координирующих размеров в прямоугольной (а) и полярной (б) системах координат

Для разработки системы использованы схемы расположения полей допусков калибров как с базовыми измерительными элементами, так и без них, содержащиеся в этом стандарте.

На рис. 2 представлена наиболее простая из них – при позиционном допуске TP до 300 мкм без базовых измерительных элементов

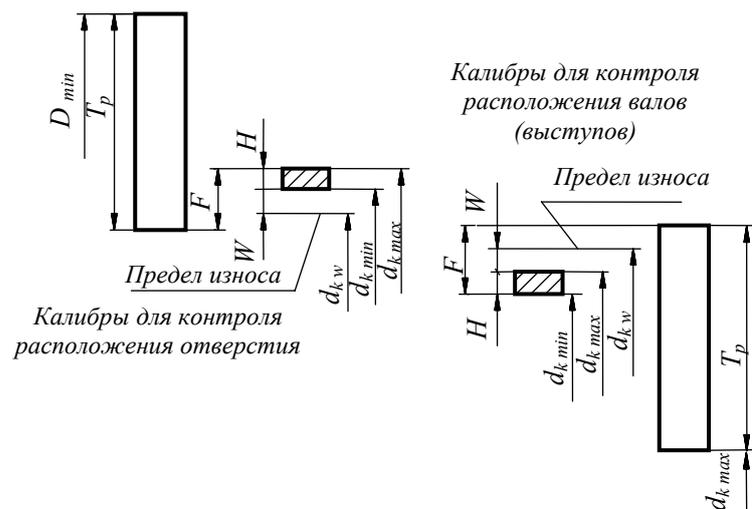


Рис. 2. Схема расположения полей допусков калибров для контроля расположения поверхностей без базовых измерительных элементов (при $TP \leq 300$ мкм)

Предельные размеры измерительных элементов калибра для контроля поверхностей отверстий:

$$d_{kmax} = D_{min} - TP + F; \quad d_{kmin} = d_{kmax} - H; \quad dk - W = d_{kmax} - H - F;$$

для контроля поверхностей валов:

$$d_{kmin} = d_{max} + TP - F; \quad d_{kmax} = d_{kmin} + H; \quad dk - W = d_{kmin} + H + F,$$

где TP – позиционный допуск поверхности (ее оси или плоскости симметрии) изделия в диаметральном выражении;

d_{kmax} и d_{kmin} – соответственно наибольший и наименьший предельные размеры измерительного элемента нового калибра;

$dk - W$ – размер предельно изношенного измерительного элемента калибра;

D_{min} – наименьший предельный размер отверстия изделия;

d_{max} – наибольший предельный размер вала (выступа) изделия;

F – основное отклонение размера измерительного элемента, соответствующее проходному пределу размера нового калибра, в калибрах без базовых измерительных элементов;

H – допуск на изготовление измерительного элемента калибра.

При контроле особенно важна возможность перераспределения допуска, когда деталь может быть забракована по одной из координатных составляющих, но считается годной, поскольку отклонение по другой составляющей меньше нормируемого настолько, что реальная ось (плоскость симметрии) элемента попадает в пределы указанного на чертеже позиционного допуска, то есть выдерживаются соотношения (1), (2).

Для упрощения нормирования допусков расположения в конструкторской и технологической документации полного использования зависимых допусков разработанная автоматизированная система позволяет в получать числовые значения позиционного допуска T и координатных составляющих T_x и T_y (T_R и T_α) и, кроме того, перераспределять позиционный допуск как при пересчёте его на отклонения координирующих размеров, так и при принятии решения «годен – негоден» в процессе контроля универсальными средствами измерения либо на координатно-измерительных машинах (КИМ).

Для определения допусков непосредственно на рабочем месте, где чаще всего пока, к сожалению, отсутствуют ЭВМ, разработаны номограммы в прямоугольных (рис. 3, а) и полярных (рис. 3, б) координатах.

Значения элементных допусков в прямоугольной системе получают, как показано на графике, а в полярной системе вначале по значениям T_R и T находят точку пересечения с левой вертикалью, а затем по величине R – искомое значение T_α (аналогичный ход решения в случае, если известной величиной является T_α).

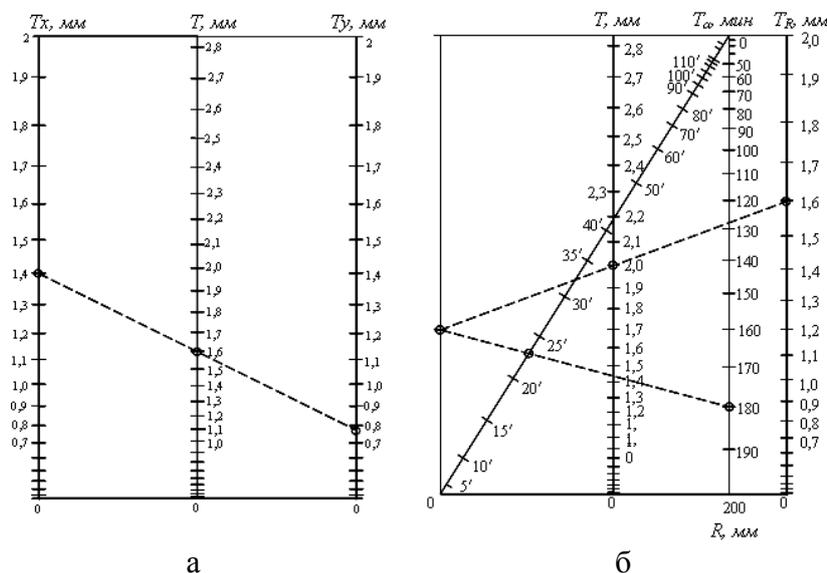


Рис. 3. Номограммы по определению позиционных допусков

Для всех возможных видов формы и расположения поверхностей с зависимыми допусками разработаны алгоритм и программа расчетов параметров исполнительных размеров калибров контроля. Кроме контроля расположения рассмотренных выше осей крепежных деталей, они охватывают контроль соосности (симметричности) всех видов поверхностей, перпендикулярности (наклона), в том числе с базовым элементом, и прямолинейности оси в соответствии со схемами расположения отклонений и допусков измерительных элементов калибра по ГОСТ 16085-80.

Система предусматривает также возможность расчетов параметров калибров для контроля расположения поверхностей элементов с использованием зависимых допусков, равных нулю. В этом случае предел максимума материала ограничивает размер по сопряжению и является предельным действующим размером элемента, а предел минимума материала ограничивает местные размеры последнего.

Что касается калибров для контроля координирующих размеров (расстояние между осью и плоскостью, межосевые расстояния), то отдельная ветвь алгоритма и программы предусматривает, в отличие от остальных видов отклонений, проектирование предельных калибров для проверки соответствующих размеров.

Автоматизированная система разработана на основе процесса объектно-ориентированного анализа и проектирования с помощью унифицированного языка моделирования (Unified modeling Language, UML) и унифицированного процесса (Unified Process, UP) [9]. Процесс UP использован в качестве языка визуального моделирования для объектно-ориентированного анализа, а UML – для обеспечения каркаса процесса производства программного обеспечения, показывающего, как осуществляется объектно-ориентированный анализ и проектирование. Система разработана в среде «Delphi 7».

Возможности системы демонстрируют представленные ниже фрагменты: главное окно системы (рис. 3) с исходными данными изделия с размерами, координирующими расположение осей элементов (обозначены также использованные стандарты) и итоговое окно (рис. 4) с полученными расчетными параметрами и данными для разработки чертежа калибра по двум вариантам его изготовления (с нормированием и контролем в виде позиционных допусков и в виде предельных отклонений – на усмотрение конструктора). Предельные отклонения измерительных элементов задаются в «тело» калибра, что удобно с технологической точки зрения.

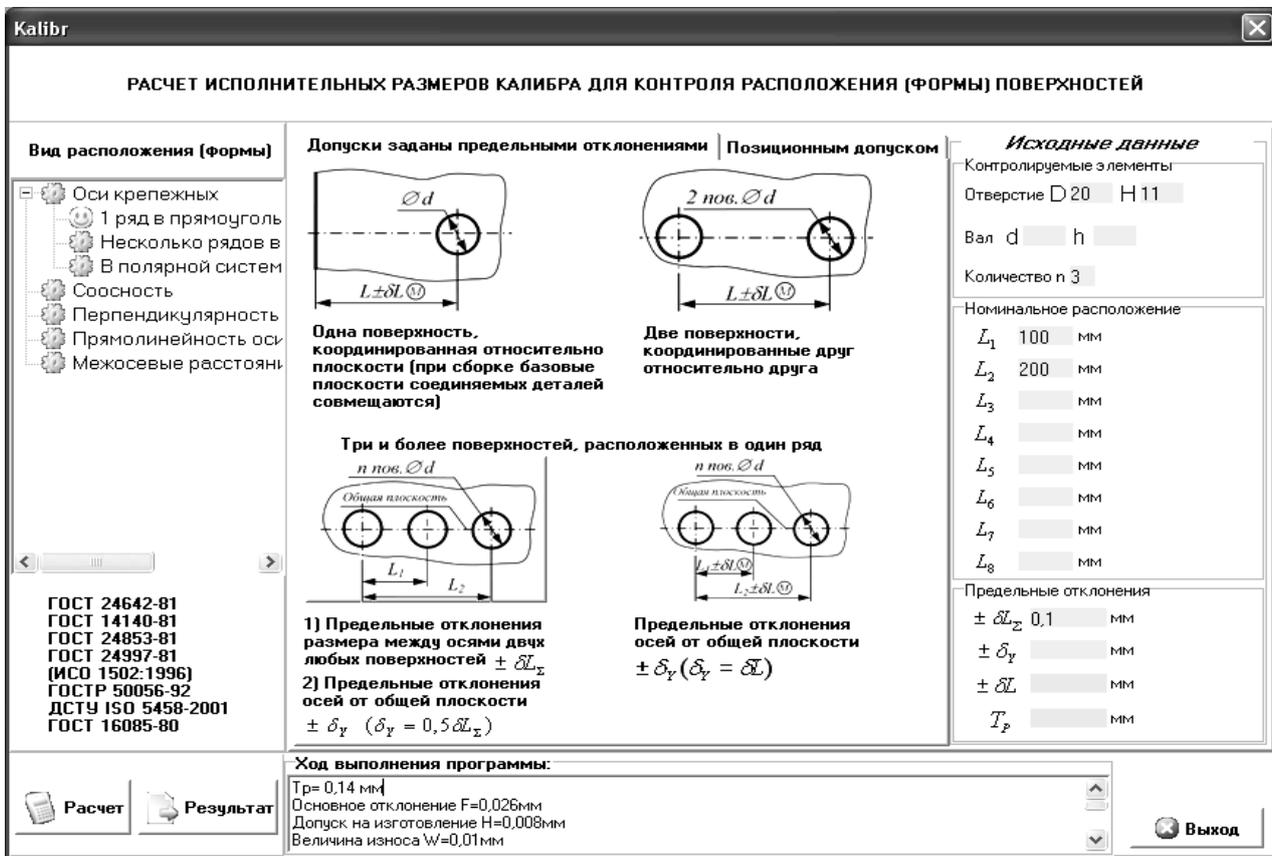
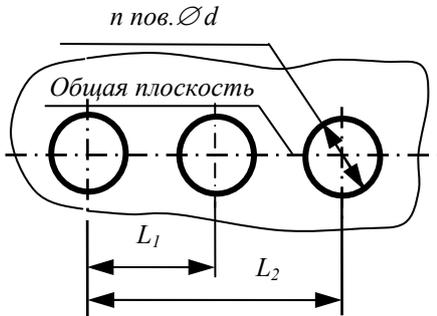


Рис. 3. Главное окно системы с исходными данными и ходом проектирования

**РАСЧЕТ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ
КАЛИБРА ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ (ФОРМЫ) ПОВЕРХНОСТЕЙ**

Три и более поверхностей,
расположенных в один ряд



1. Предельные отклонения размера между осями двух любых поверхностей $\pm \delta L_{\Sigma}$
2. Предельные отклонения осей от общей плоскости $\pm \delta y$ ($\delta y = 0,5 \delta L_{\Sigma}$)

Изделие (исходные данные):

Контролируемый элемент – отверстие $\text{Ø } 20\text{H}11$
 Количество элементов $n = 3$
 Предельные отклонения между осями двух любых поверхностей $\pm \delta L_{\Sigma} = 0,1 \text{ мм}$
 Предельные отклонения осей от общей плоскости $\pm \delta y = 0,05 \quad \delta L_{\Sigma} = 0,05 \text{ мм}$

$L_1 = 100 \text{ мм} \quad L_2 = 200 \text{ мм}$

Калибр для контроля (расчетные параметры):

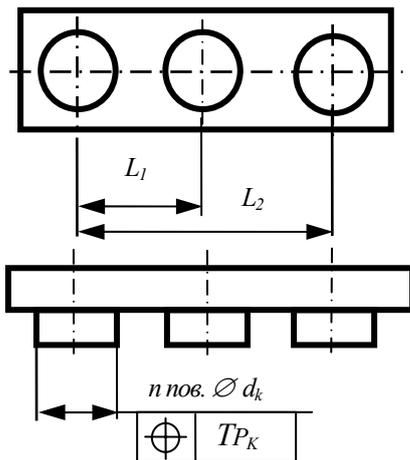
Предельные отклонения и допуски диаметра контрольного элемента:
 основное отклонение $F = 0,026 \text{ мм}$
 допуск на изготовление $H = 0,008 \text{ мм}$
 величина предельного износа $W = 0,01 \text{ мм}$
 Предельные размеры измерительного элемента:
 нового $d_{kmax} = 19,886 \text{ мм}$
 $d_{kmin} = 19,878 \text{ мм}$
 изношенного $d_{k-w} = 19,868 \text{ мм}$

Позиционный допуск (в диаметральном выражении) осей контрольных элементов
 $T_{Pk} = 0,016 \text{ мм}$

Предельные отклонения между осями двух любых поверхностей $\pm \delta L_{\Sigma k} = 0,011 \text{ мм}$
 Предельные отклонения осей от общей плоскости $\pm \delta y_k = 0,0055 \text{ мм}$

Данные для разработки чертежа калибра

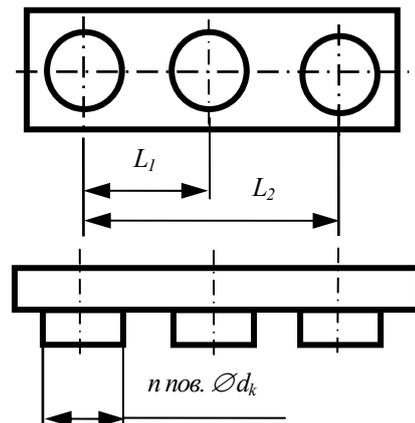
При изготовлении калибра
с нормированием и контролем
позиционных допусков



$d_k = 19,886 \text{ мм}$
 $es_k = 0 \quad ei_k = -0,008 \text{ мм}$
 $T_{Pk} = 0,016 \text{ мм}$

$L_1 = 100 \text{ мм} \quad L_2 = 200 \text{ мм}$

При изготовлении калибра
с нормированием и контролем
предельных отклонений



$d_k = 19,886 \text{ мм}$
 $es_k = 0 \quad ei_k = -0,008 \text{ мм}$
 $\pm \delta L_{\Sigma k} = 0,011 \text{ мм} \quad \pm \delta y_k = 0,0055 \text{ мм}$

$n = 3$
 $d_{k-w} = 19,868 \text{ мм} \quad L_1 = 100 \text{ мм} \quad L_2 = 200 \text{ мм}$

Рис. 4. Итоговое окно системы с результатами проектирования калибров

В системе реализуется прохождение информационных потоков двух видов: одни связаны с ручным вводом исходных данных на основе эскизов контролируемых изделий, а вторые реализуют вывод технической документации, отражающей информацию по первым информационным потокам, а также ход расчетов и их результаты проектирования.

Контроль расположения поверхностей должен проводиться после проверки годности их размеров (диаметры отверстий и валов, ширины впадин и т. д.) за исключением случая с нулевыми допусками, когда поэлементные проходные калибры при приемочном контроле не должны применяться.

Поскольку требования взаимозаменяемости и метрологические нормы, обеспечивающие достоверность и единство измерений, относятся к обязательным требованиям нормативно-технических документов, систему рационально использовать также в условиях тяжелого машиностроения, где, например, сборка соединений с крепёжными деталями чаще всего осуществляется либо путем совместной обработки отверстий в парных соединяемых деталях, либо «по подметке», то есть, по обработанным отверстиям в одной из деталей [7, 8].

ВЫВОДЫ

1. На основе современного процесса объектно-ориентированного анализа и проектирования с помощью UML и UP впервые разработана удобная в пользовании автоматизированная система нормирования и контроля допусков расположения и формы с зависимыми допусками, позволяющая в полной мере использовать преимущества этого вида допусков.

2. С помощью полученных графиков возможно перераспределять позиционный допуск как при пересчёте его на отклонения координирующих размеров, так и при определении годности детали в процессе контроля универсальными средствами измерения либо на координатно-измерительных машинах.

3. Система позволяет снизить стоимость конструкторско-технологической подготовки производства и может быть использована также непосредственно на рабочем месте при контроле точности поверхностей деталей с позиционными допусками.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 24642-81. Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Основные термины и определения. Введ. 01.07.1981. – М. : Изд-во стандартов, переиздание 1990. – 68 с.
2. ГОСТ 14140-81 Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски расположения осей отверстий для крепёжных деталей. Введ. с 1981-07-01. – М. : Изд-во стандартов, 1981. – 32 с.
3. ДСТУ ISO 14660-1-2002. Технічні вимоги до геометрії виробів (GPS). Геометричні елементи. Частина 1. Загальні терміни та визначення понять. Чинний від 01.10.2003. – К. : Держспоживстандарт України, 2003. – 4 с.
4. ДСТУ ISO 5458-2001. Технічні вимоги до геометрії виробів (GPS). Встановлення геометричних допусків. Позиційні допуски. Чинний від 2003-01-01. – К. : Держстандарт України, 2002. – 9 с.
5. Мартынов А. П. Взаимозаменяемость с учётом альтернативных стандартов / А. П. Мартынов, Д. Г. Ковалёв // Зб. «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку» : матеріали V міжнародної науково-технічної конференції : Краматорськ, ДДМА. – 2007. – С. 82.
6. Степанов Р. С. Теоретические основы обеспечения точности в машиностроении на базе комплексного анализа зависимых и независимых допусков / Под ред. Данилова Ю. С. – Саратовский университет, 1985. – 108 с.
7. Мартынов А. П. Взаимозаменяемость и обеспечение собираемости крупных изделий / А. П. Мартынов // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. пр. – Краматорськ – Київ, 2008. – Вип. 23. – С. 254–260.
8. Мартынов А. П. Автоматизированное нормирование допусков расположения крепёжных отверстий для обеспечения взаимозаменяемости узлов / А. П. Мартынов, А. П. Пащиора // Зб. «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку» : матеріали 4 міжнародної науково-технічної конференції : Краматорськ, ДДМА. – 2006. – С. 66.
9. Арлоу Д. Нейштадт И. UML 2 и Унифицированный процесс. Практический объектно-ориентированный анализ и проектирование. – 2-е изд.; пер. с англ., СПб: Символ - Плюс 2007. – 624 с. ил.