



# ЭЛЕКТРОНИКА, ФОТОНИКА, ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И СВЯЗЬ

УДК 006.01:621

DOI: 10.25206/1813-8225-2023-187-116-124

EDN: RWJCNA

В. И. ГЛУХОВ

Л. Г. ВАРЕПО

Омский государственный  
технический университет,  
г. Омск

## ЕДИНАЯ СИСТЕМА ОТСЧЕТА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗМЕРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕТАЛЕЙ. ЧАСТЬ I. ТЕОРИЯ ДВУХ РАЗМЕРОВ МАКСИМУМА И МИНИМУМА

Единая система отсчета геометрических характеристик базируется на классификации соединений прикладной механики, в которой номер класса определяется числом степеней свободы, ограничиваемых сопрягаемыми элементами деталей и получившее краткий термин «информативность». Различная информативность баз элементов, материализующих системы координат, определяет разную информативность осей координат — четыре, две, ноль и разную информативность конструкторских плоскостей — три, две, одну. В работе показано, что информативность элементов в функциях вспомогательных баз и исполнительных элементов определяет число и вид координат (линейных и угловых), с помощью которых необходимо задавать их положение в обобщенной системе координат детали. Показано, что точность координирующих размеров следует задавать симметричными допусками на линейные и угловые размеры.

**Ключевые слова:** системы координат детали, конструкторские базы, исполнительные элементы, информативность элементов, линейные и угловые координаты, размеры максимума и минимума материала.

**I. Введение.** Геометрические характеристики являются самыми распространенными в машиностроении, составляя 90–95 % всех измеряемых величин. Качество продукции по точности геометрических характеристик обеспечивается с по-

мощью технических законов, сформулированных в более чем 30 международных стандартах ISO и в таком же количестве в национальных стандартах — российских ГОСТ, американских ASME и ANSI, английских BS, немецких DIN, француз-

ских NF и японских JIS. Следовало ожидать, что Международная организация по стандартизации ISO положит в основу Международного словаря по метрологии VIM [1] свои термины и определения на геометрические характеристики, имея такой солидный вес стандартов и являясь одним из авторов словаря VIM. Ожидания оказались напрасными — в словаре нет понятий «геометрическая характеристика», «допуск величины», а понятия «размер», «система», «элемент» отнесены к неопределимым терминам и заменены синонимами, не применяемыми в стандартах на геометрические характеристики. Без допуска измеряемой величины невозможно узнать, с какой точностью ее следует измерять. ISO почему-то согласилась с отнесением плоского угла к безразмерностным величинам — угол потерял единицу измерения, хотя в стандартах ISO все углы имеют единицу измерения — угловой градус.

Геометрические характеристики деталей базируются на двух физических величинах — длина и угол, которые взаимосвязаны друг с другом, так же как неразделимы два движения объекта в пространстве — линейное поступательное и угловое вращательное, два вида степеней свободы элементов детали — линейные и угловые. Поэтому место угла — рядом с длиной, т.е. в основных физических величинах, а не в производных [2].

Все системы автоматизированного проектирования работают в Декартовой прямоугольной системе координат. Конструирование деталей и сборочных единиц ведется на компьютерах с разработкой электронных 3d-моделей изделий [3] с обязательным изображением систем координат, материализуемых базами. Однако стандарты ISO, разработанные новым техническим комитетом ISO/TC 213 «Геометрические характеристики технических изделий и контроль» [4–8], обходятся без систем координат, обрекая на трудности применения стандартов и конструкторов, и производителей, и исследователей. В результате новые издания справочников [9, 10] по геометрическим характеристикам также не содержат систем координат, декларируя их только в определениях или при контроле на координатно-измерительных машинах. В то же время в международном стандарте Американского общества инженеров-механиков ASME [11] допускается применение систем координат при проектировании сложных изделий для простановки геометрических характеристик и нормирования их точности. В Российском национальном стандарте [12] установлено, что системы координат образуют комплекты баз деталей при проектировании конструкторской документации и во всех других процессах жизненного цикла: производстве, контроле и эксплуатации изделий, с помощью проектных, технологических, измерительных и конструкторских баз.

Многосторонние исследования в области точности геометрических характеристик продолжаются во многих странах мира:

- по формализации геометрической модели допуска [13];

- по включению отклонений формы в метод преобразования матриц для анализа допусков в сборочных единицах [14];

- по классификации операций разбиения деталей на элементы для стандартизации геометрических характеристик и их контроля [15];

- по взаимосвязям геометрических характеристик с характеристиками подшипников скольжения [16];

- по влиянию размерных и геометрических отклонений на внутренний зазор в роликовых подшипниках [17].

Таким образом, дальнейшее повышение качества изделий на основе нормирования точности геометрических характеристик в системах координат является актуальной проблемой.

**II. Постановка задач.** Многолетние исследования научной школы «Точность геометрических величин» Омского государственного технического университета в рамках научного направления «Стандартизация и метрология» на основе российского стандарта «Базирование и базы в машиностроении» [12] убедили авторов в правильности своего подхода к решению проблемы точности через системы координат, которые материализуются базами деталей. Первая международная публикация на немецком языке [18] была посвящена геометрическим моделям, построенным в системах координат деталей. Основные результаты руководителя научной школы [19] были опубликованы в российских ведущих журналах «Вестник машиностроения» [20] и «Измерительная техника» [21–22], которые переводятся на английский язык в США. Альтернативные принципы стандартизации геометрических характеристик должны быть основаны на инженерных принципах обеспечения качества техники [23]. Открытие различного функционального назначения координатных плоскостей и осей координат прямоугольной Декартовой системы [24] стало поворотным событием для повышения точности расположения геометрических элементов деталей, в том числе деталей подшипников качения [25] и зубчатых колес при 3d-печати [26]. Введение в классификацию геометрических характеристик систем координат, линейных и угловых координирующих размеров потребует не только систематизации матричной модели [27], но и модернизации системы допусков и посадок линейных размеров [28] с передачей симметричного допуска линейным координатам.

Различное назначение плоскостей и осей Декартовой системы координат потребовало уточнения содержания всех геометрических характеристик элементов деталей: координат, размеров, отклонений расположения и формы поверхностей. При геометрическом моделировании учитываются следующие функциональные назначения элементов:

- основная или вспомогательная конструкторская база, материализующие системы координат детали;

- число ограничиваемых базой элемента линейных и угловых степеней свободы детали (информативность элемента);

- исполнительный (рабочий) элемент с нулевой информативностью.

В настоящей работе рассмотрена теория двух размеров максимума и минимума материала элемента детали.

**III. Теория двух размеров максимума и минимума материала элемента детали.** Согласно теоретической механике, деталь является абсолютно твердым телом. Деталь состоит из совокупности материальных элементов, каждый из которых ограничен одной или несколькими геометрическими поверхностями и предназначен для выполнения одной из функций детали. Не случайно автор научной организации труда и управления производством [29] американский инженер Taylor F.W. назвал наибольший размер наружного элемента (вала) и наи-

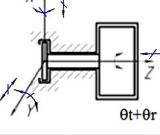
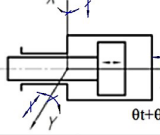
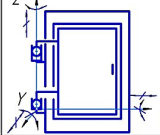
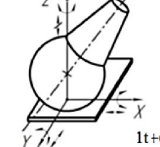
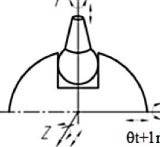
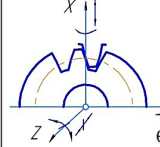
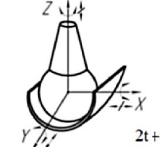
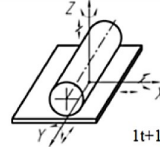
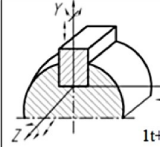
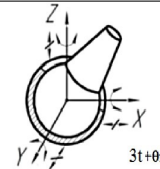
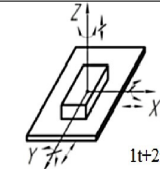
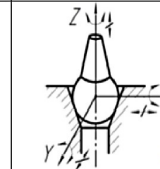
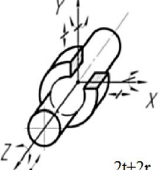
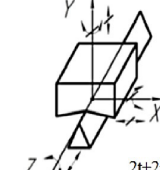
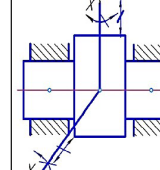
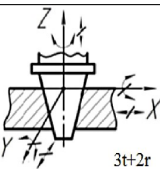
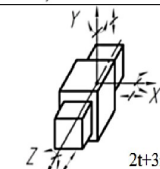
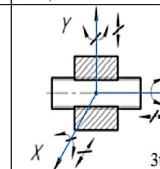
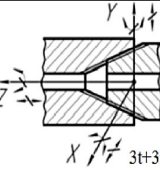
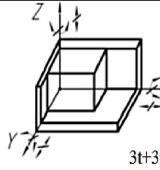
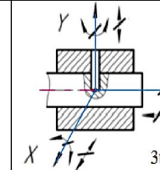
Классы соединений	Соединения основных и вспомогательных конструкторских баз геометрических элементов деталей и число степеней свободы (t-линейных, r-угловых), ограничиваемых базами - информативность баз			Информативность	Инвариантность
0	 $0t+0r$	 $0t+0r$	 $0t+0r$	0	1
I	 $1t+0r$	 $0t+1r$	 $0t+1r$	1	5
II	 $2t+0r$	 $1t+1r$	 $1t+1r$	2	4
III	 $3t+0r$	 $1t+2r$	 $3t+0r$	3	3
IV	 $2t+2r$	 $2t+2r$	 $2t+2r$	4	2
V	 $3t+2r$	 $2t+3r$	 $3t+2r$	5	1
VI	 $3t+3r$	 $3t+3r$	 $3t+3r$	6	0

Рис. 1. Классификация соединений геометрических элементов

меньший размер внутреннего элемента (отверстия) общим термином «размер максимума материала», а наименьший размер вала и наибольший размер отверстия — общим термином «размер минимума материала». Это позволило ему открыть два принципа конструирования калибров для контроля точности размеров элементов:

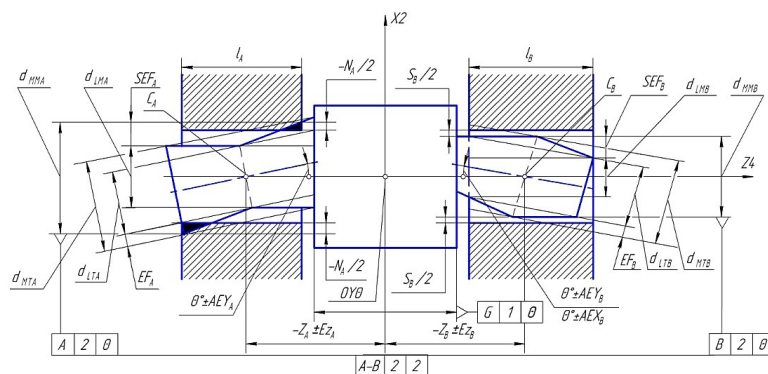
— проходной калибр для контроля размера максимума материала должен иметь геометрическую форму и длину сопряжения присоединяемого элемента;

— непроходной калибр для контроля размера минимума материала должен быть двухточечным.

Два разных вида калибров подтвердили наличие у каждого геометрического элемента двух значений размера, создаваемых отклонениями формы реальной поверхности элемента, которые занимают 20 % ... 60 % от допуска размера. Более того, установлено разное функциональное назначение размеров: размеры максимума материала вала и отверстия в соединении определяют тип посадки — с зазором или с натягом и поэтому их можно считать действи-

тельными размерами элементов, а размеры минимума материала ограничивают отклонения формы элементов в диаметральном выражении и максимальные зазоры или минимальные натяги в соединениях.

Калибры по принципам Тейлора стали составной частью научной организации труда рабочих в процессе контроля продукции, т.к. обеспечивали высокую производительность и точность. Принципы Тейлора открыты в начале двадцатого века (1905), когда Тейлор работал главным контролером сталелитейного завода, на котором литейные заготовки подвергались механической обработке. Позднее на основе принципов Тейлора были разработаны международные стандарты на допуски и посадки линейных размеров, где основными предельными отклонениями допусков являлись размеры максимума материала. Более века продлевают жизнь калибров международные [30] и национальные стандарты. Калибры стали арбитражными средствами контроля. Таким образом, из принципов Тейлора вытекают следующие определения терминов размеров



$d_{\max}, d_{\min}$  – размеры диаметров максимума и минимума материала баз  $A2$  и  $B2$  вала по Тейлору;  
 $d_{\max}, d_{\min}$  – действующие размеры диаметров максимума и минимума материала баз  $A2$  и  $B2$  вала;  
 $EF$  – отклонение формы профиля баз вала (седлообразность базы  $A2$  и бочкообразность базы  $B2$ );  
 $AEY$  – угловые отклонения осей баз  $A2$  и  $B2$  относительно общей базовой оси;  
 $S_N$  – зазоры и натяги в сопряжениях;  
 $SEF$  – суммарные отклонения формы профиля баз  $A2$  и  $B2$  вала и угловых отклонений осей баз.

**Рис. 2. Модель совместного влияния отклонений расположения и формы профиля комплекта двух цилиндрических базовых элементов вала с информативностью  $2inf + 2inf$  на размеры диаметров максимума и минимума материала**

максимума и минимума материала геометрического элемента;

— *размер максимум материала* — это линейный размер правильного элемента, прилегающего к поверхности реального элемента вне его материала;

— *размер минимума материала* — это экстремальное расстояние между двумя противоположными точками поверхности реального элемента.

Однако эти определения размеров максимума и минимума материала учитывают только отклонения формы реальных элементов и не учитывают их функциональное назначение, представленное на рис. 1.

Согласно теории машин и механизмов прикладной механики, все геометрические элементы деталей создают пять классов подвижных соединений (I...V), образующих подвижные кинематические пары.

Эти пять классов классификации, дополнены нашей научной школой до семи классов за счёт нулевого класса бесконтактных соединений (0) и шестого класса неподвижных соединений (VI). Номер класса означает сумму линейных и угловых степеней свободы, сопрягаемые геометрические элементы которых ограничивают соединяемые детали.

Отсчёт ограничиваемых степеней свободы (три линейных и три угловых) возможен только в системах координат, образованных базами базирующей и присоединяемой деталей.

Номер класса определяет новый термин научной школы *информативность геометрического элемента*, то есть такую же сумму ограничиваемых линейных и угловых степеней свободы элемента в функции базы или комплекта баз нескольких элементов, участвующих в материализации системы координат. Термин *информативность* дан геометрическим элементам в противовес термину *инвариантность* в математике, обозначающую сумму степеней свободы, не ограничиваемых поверхностью, что невозможно установить без пространственной системы координат материальной детали, ограничиваемой нематериальными поверхностями.

В рис. 1 показано, что одни и те же геометрические элементы образуют соединения в нескольких классах: от нулевого до седьмого. Это означает,

что геометрические элементы в соединениях ограничивают различное число линейных и угловых степеней свободы сопрягаемых деталей — от нуля до максимально возможного. Следовательно, в соединениях геометрические элементы могут иметь разную информативность, которая будет влиять на посадку в сопряжении через размеры максимума и минимума материала сопрягаемых элементов.

Рассмотрим модель соединения четвертого класса двух цилиндрических элементов  $A2$  и  $B2$  выполняющих функцию основных конструкторских баз с информативностью  $2inf = 2t + 0r$  каждый и материализующих общую базовую ось  $A-B$  вала с информативностью  $4inf = 2t + 2r$  (рис. 2), где  $t$  — ограничение линейной (поступательной) степени свободы,  $r$  — ограничение угловой (вращательной) степени свободы. Общая базовая ось  $A-B$  проходит через центры  $C_A$  и  $C_B$  средних сечений баз  $A2$  и  $B2$  и материализует первичную ось  $Z4$  прямоугольной системы координат с информативностью  $4inf = 2t + 2r$ . Начало координат  $0$  образует точка пересечения плоскости симметрии базового призматического элемента  $G1$  с осью координат  $Z4$ .

Поскольку максимальная информативность цилиндрического элемента составляет  $4inf = 2t + 2r$ , т.к. элемент может ограничивать деталь двух линейных ( $2t$ ) и двух угловых ( $2r$ ) степеней свободы, а на материализацию координатной оси  $Z4$  потрачено только по две линейные информативности  $2t_A + 2t_B$  баз  $A2$  и  $B2$ , то у каждой базы остались неиспользованными по две угловые информативности  $2r$ .

Эти информативности вызовут по два угловых поворота (перекоса) осей базовых элементов  $A2$  и  $B2$  относительно оси координат  $Z4$  вокруг осей координат  $X2$  и  $Y0$  с центрами вращения  $C_A$  и  $C_B$  соответственно:  $\theta^\circ \pm AEY_{A'}$ ,  $\theta^\circ \pm AEY_{B'}$ ,  $\theta^\circ \pm AEX_{A'}$ ,  $\theta^\circ \pm AEX_{B'}$  (два последних угловых перекося располагаются на горизонтальной проекции модели, где ось  $X2$  проектирует в точку  $0X2$  на оси  $Z4$ ). Таким образом, каждый цилиндрический элемент в функции основной конструкторской базы с информативностью  $2inf = 2t + 0r$  в комплекте двух соосных баз будет иметь два дифференцированных угловых отклонения расположения, которые, по существу, являются



угловыми координатами оси элемента с нулевыми номиналами  $\theta \pm AEY$  и  $\theta \pm AEX$  в материализованной комплект баз системе координат 0Z4X2Y0. С введением центров  $C_A$  и  $C_B$  элементов в средних сечениях баз потребуется только по одной линейной координате по оси Z4 для задания положения элементов:  $-Z_A \pm EZ_A$  и  $Z_B \pm EZ_B$ , т.к. ось Z4 проходит через эти центры.

Согласно принципам Тейлора, отклонения формы поверхностей  $EF_A$  и  $EF_B$  цилиндрических баз A2 и B2 приводят к образованию двух размеров элементов: диаметров максимума материала  $d_{MTA}$  и  $d_{MTB}$  и диаметров минимума материала  $d_{LTA}$  и  $d_{LTB}$ . На модели приняты равные значения размеров геометрических характеристик двух баз A2 и B2:  $EF_A = EF_B$ ,  $d_{MTA} = d_{MTB}$ ,  $d_{LTA} = d_{LTB}$ ,  $AEY_A = AEY_B$ . Различие базовых элементов состоит лишь в отклонениях формы профиля — база A2 имеет седлообразность, а база B2 — бочкообразность. Однако при сопряжении с одинаковыми по диаметру отверстиями только база B2 обеспечивает посадку с зазором  $S_B$ , а база A2 вместо посадки с зазором образует посадку с натягом  $N_A$  и лишает вал вращения. Следовательно, действующий диаметр максимума материала  $d_{MMB}$  базы B2 оказался меньше действующего диаметра максимума материала  $d_{MMA}$  базы A2. Именно эти диаметры определяют тип посадки. Причина результатов ясна — бочкообразность формы профиля базы B2 компенсирует угловой перекося оси  $AEY_B$  базы. В подшипниках качения применяются только бочкообразные ролики [31].

Седлообразность базы A2 такой компенсацией не обладает, поэтому угловой перекося оси базы  $AEY_A$ , равный перекося  $AEY_B$  базы B2 относительно их общей базовой оси Z4 в системе координат 0Z4X2Y0, приводит к увеличению действующего диаметра максимума материала  $d_{MMA}$  вала по сравнению с диаметром максимума материала  $d_{MTA}$  по Тейлору. Угловые перекося осей цилиндрических базовых элементов относительно общей оси нормируются стандартизованными допусками соосности [32] в линейных единицах. Значения допусков угловых отклонений могут выражаться в линейных единицах [33–34] и зависят не от номинальных размеров углов, а от длин образующих углов, т.е. от длин сопряжений баз  $I_A$  и  $I_B$  в диаметральной выражении или их половин  $I_A/2$  и  $I_B/2$  — в радиусном.

Все, что сказано о валах, справедливо и для базовых отверстий с аналогичной информативностью, с той разницей, что отклонения расположения уменьшают действующий размер диаметра максимума материала отверстия.

Таким образом, все геометрические характеристики элементов деталей имеют линейно-угловую природу и должны нормироваться в единой обобщенной системе координат, материализованной комплектом баз детали:

- размер максимума материала и размер минимума материала элемента — это размеры двух правильных элементов, номинально расположенных относительно системы координат детали и охватывающих с касанием реальную поверхность элемента: первый — вне материала элемента, касается выступов поверхности, второй — из материала элемента, касается впадин поверхности;

- суммарное отклонение формы реальной поверхности — это положительная полуразность размеров максимума и минимума материала элемента, включающая собственные отклонения формы по-

верхности и отклонения расположения элемента в системе координат детали. По существу — это толщина реальной поверхности элемента.

### Заключение

1. Единая система отсчета геометрических характеристик размерных элементов деталей базируется на классификации соединений прикладной механики, в которой номер класса определяется числом степеней свободы, ограничиваемых соединяемыми элементами деталей в прямоугольной системе координат. В работе число ограничиваемых элементов степеней свободы детали получило термин «информативность».

2. Первичной геометрической характеристикой детали является обобщенная система координат, материализованная комплектом основных конструкторских баз с суммарной информативностью шесть, определяющих положение детали в изделии за счет ограничения трех линейных и трех угловых степеней свободы детали. В обобщенной системе координат задаются все геометрические характеристики элементов детали.

3. Вторичной геометрической характеристикой детали является вспомогательная система координат для задания положения присоединяемой детали, материализованная комплектом вспомогательных баз с информативностью шесть. Вспомогательная система имеет в обобщенной системе координат детали шесть координат — три линейные точки начала координат и три угловых поворота осей координат. Все шесть координат являются дифференцированными величинами, которые отсчитываются на проекциях координатных плоскостей прямоугольной системы координат.

4. Различная информативность баз элементов, материализующих системы координат, определяет разную информативность осей координат — четыре, две, ноль и разную информативность конструкторских плоскостей — три, две, одну. Столько же координат элемента детали можно задавать относительно координатных плоскостей: одну линейную и две угловые координаты — относительно плоскости с информативностью три, одну линейную и одну угловую — относительно плоскости с информативностью две и одну линейную — относительно плоскости с информативностью одна. Аналогично относительно оси координат с информативностью четыре — две линейные и две угловые координаты, относительно оси с информативностью две — одну линейную и одну угловую координату и относительно оси с информативностью ноль — ни одной координаты.

5. Информативность элементов в функциях вспомогательных баз и исполнительных элементов определяет число и вид координат (линейных и угловых), с помощью которых необходимо задавать их положение в обобщенной системе координат детали. Координирующие размеры полностью заменяют стандартизованные отклонения расположения. Точность координирующих размеров следует задавать симметричными допусками на линейные и угловые размеры.

6. Размерные элементы имеют две геометрические характеристики — размер максимума материала, участвующий в соединении и определяющий тип посадки, и размер минимума материала, ограничивающий отклонения формы поверхностей элемента. Вместе с координирующими размерами, элементные размеры образуют два функциональных вида размеров. Координирующие размеры опреде-

ляют положение элементов в обобщенной системе координат детали, элементные размеры определяют габариты элементов.

### Библиографический список

1. ISO/IEC GUIDE 99:2007. International vocabulary of metrology. Basic and general concepts and associated terms (VIM). URL: <https://www.iso.org/standard/45324.html> (дата обращения: 02.03.2023).
2. ISO 80000-3. Quantities and units — Part 3: Space and time. URL: <https://www.iso.org/standard/64974.html> (дата обращения: 02.03.2023).
3. ISO 10303-203:2011 Industrial automation systems and integration — Product data representation and exchange — Part 203: Application protocol: Configuration controlled 3D design of mechanical parts and assemblies. URL: <https://www.iso.org/standard/44305.html> (дата обращения: 02.03.2023).
4. ISO 1101:2017 Geometrical product specifications (GPS) — Geometrical tolerancing — Tolerances of form, orientation, location and run-out. URL: <https://www.iso.org/standard/66777.html> (дата обращения: 02.03.2023).
5. ISO 5459:2011 Geometrical product specifications (GPS) — Geometrical tolerancing — Datums and datum systems. URL: <https://www.iso.org/standard/40358.html> (дата обращения: 02.03.2023).
6. ISO 14638:2015 Geometrical product specifications (GPS) — Matrix model. URL: <https://www.iso.org/standard/57054.html> (дата обращения: 02.03.2023).
7. ISO 286-1:2010 Geometrical product specifications (GPS) — ISO code system for tolerances on linear sizes — Part 1: Basis of tolerances, deviations and fits. URL: <https://www.iso.org/standard/45975.html> (дата обращения: 02.03.2023).
8. ISO 492:2014 Rolling bearings — Radial bearings — Geometrical product specifications (GPS) and tolerance values. URL: <https://www.iso.org/standard/60356.html> (дата обращения: 02.03.2023).
9. Henzold G. Geometrical Dimensioning and Tolerancing for Design, Manufacturing and Inspection: A Handbook for Geometrical Product Specification using ISO and ASME standards. 3rd ed. Butterworth-Heinemann, 2021. 463 p.
10. Simmons C., Maguire D., Phelps N. Manual of Engineering Drawing (Fifth Edition) — British and International Standards. 5th ed. Butterworth-Heinemann, 2020. 608 p.
11. ASME Y14.5-2009: Dimensioning and Tolerancing. Engineering Drawing and Related Documentation Practices // An international standard. USA, New York: The American Society of Mechanical Engineers, 2009. 215 p.
12. ГОСТ 21495-76. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения. Введ. 1977—01—01. Москва: Изд-во стандартов, 1990. 36 с.
13. Leonard P., Pairel E., Giordano M. A Simpler and More Formal Geometric Tolerancing Model // Procedia CIRP. 2013. Vol. 10 (4). P. 30—36. DOI: 10.1016/j.procir.2013.08.009.
14. Serrano-Mira J., Rosado-Castellano P., Romero-Subiryn F. [et al]. Incorporation of form deviations into the matrix transformation method for tolerance analysis in assemblies // Procedia Manufacturing. 2019. Vol. 41. P. 547—554. DOI: 10.1016/j.promfg.2019.09.042.
15. Anwer N., Scott P. J., Srinivasan V. Toward a Classification of Partitioning Operations for Standardization of Geometrical Product Specifications and Verification // Procedia CIRP. 2018. Vol. 75. P. 325—330.
16. Hidalgo D., Ruiz R. O., Delgadod A. A novel framework for relationship of manufacturing tolerance and component-level performance of journal bearings // Applied Mathematical Modelling. 2022. Vol. 105. P. 566—583.
17. Alexander Aschenbrenner, Sandro Wartzack A Concept for the Consideration of Dimensional and Geometrical Deviations in the Evaluation of the Internal Clearance of Roller Bearings // Procedia CIRP. 43. 2016. P. 256—261. DOI: 10.1016/j.procir.2016.02.003.
18. Gluchov V. I., Kondashevskij V. V. System zur festlegung von lagetoleranzen werkstückoberflächen // Wissenschaftliche Gesellschaft für Meßtechnik und Automatisierung in der Kammer der Technik: VI Oberflächenkolloquium mit internationaler Beteiligung. D.D.R., Karl-Marx-Stadt, 1984. S. 4/1—4/11.
19. Глухов В. И. Повышение точности измерений в машиностроении на основе введения новых комплексных показателей действительных размеров деталей: дис. ... д-ра техн. наук. Москва, 1998. 370 с.
20. Глухов В. И. Комплексные показатели размерной и геометрической точности деталей машин // Вестник машиностроения. 1998. № 4. С. 3—7.
21. Глухов В. И. Методология достоверных измерений размеров деталей // Измерительная техника. 1998. № 5. С. 9—13.
22. Глухов В. И. Координирующие размеры деталей и их измерение // Измерительная техника. 1998. № 7. С. 18—22.
23. Glukhov V. I. Geometrical product specifications: Alternative standardization principles, coordinate systems, models, classification and verification // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines, Dynamics. 2014. DOI: 10.1109/Dynamics.2014.7005655.
24. Glukhov V. I., Ivleva I. A., Zlatkina O. Y. Geometrical product specifications. Datums and coordinate systems // Journal of Physics Conference Series. 2017. Vol. 858 (1). 012013. DOI: 10.1088/1742-6596/858/1/012013.
25. Glukhov V. I., Pushkarev V. V., Khomchenko V. G. Geometric modeling in the problem of ball bearing accuracy // Journal of Physics Conference Series. 2017. Vol. 858 (1). 012014. DOI: 10.1088/1742-6596/858/1/012014.
26. Glukhov V. I., Varepo L. G., Nagornova I. V., Doronin F. A. Strength and geometry parameters accuracy improvement of 3D-printed polymer gears // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1260 (3). 032019 DOI: 10.1088/1742-6596/1260/3/032019.
27. Glukhov V. I., Varepo L. G., Shalay V. V., Grinevich V. A. New matrix for geometrical product specifications on coordinate basis // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1441 (1). 012061. DOI: 10.1088/1742-6596/1441/1/012061.
28. Glukhov V. I., Grinevich V. A., Shalay V. V. The linear sizes tolerances and fits system modernization // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 998. (1). 012012. DOI: 10.1088/1742-6596/998/1/012012.
29. Taylor F. W. The Principles of Scientific Management. New York; London: Harper, 1911. 144 p.
30. ISO 1938-1:2015 Geometrical product specifications (GPS) — Dimensional measuring equipment — Part 1: Plain limit gauges of linear size. URL: <https://www.iso.org/standard/41132.html> (дата обращения: 02.03.2023).
31. ГОСТ 22696-77. Подшипники качения. Ролики цилиндрические короткие. Технические требования. Введ. 1979—01—01. Москва: Изд-во стандартов, 1982. 16 с.
32. ГОСТ 24643-81. Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Числовые значения. Введ. 1981—06—30. Москва: Изд-во стандартов, 2004. 10 с.
33. ГОСТ 8908-81. Основные нормы взаимозаменяемости. Нормальные углы и допуски углов. Введ. 1981—06—22. Москва: Изд-во стандартов, 1981. 16 с.
34. ГОСТ 2.412-81. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения чертежей и схем оптических изделий. Введ. 1983—01—01. Москва: Стандартинформ, 2011. 16 с.

**ГЛУХОВ Владимир Иванович**, доктор технических наук, доцент (Россия), профессор кафедры «Нефтегазовое дело, стандартизация и метрология»

Омского государственного технического университета (ОмГТУ), г. Омск.

SPIN-код: 3101-0639

ORCID: 0000-0002-4513-3291

AuthorID (SCOPUS): 56503382500

ResearcherID: Q-2030-2016

**ВАРЕПО Лариса Григорьевна**, доктор технических наук, доцент (Россия), профессор кафедры «Нефтегазовое дело, стандартизация и метрология» ОмГТУ, г. Омск.

SPIN-код: 4980-6679

ORCID: 0000-0001-5366-2700

AuthorID (SCOPUS): 6507043152

ResearcherID: B-1163-2015

Адрес для переписки: [larisavarepo@yandex.ru](mailto:larisavarepo@yandex.ru)

#### Для цитирования

Глухов В. И., Варепо Л. Г. Единая система отсчета геометрических характеристик размерных элементов деталей. Часть I. Теория двух размеров максимума и минимума // Омский научный вестник. 2023. № 3 (187). С. 116–124. DOI: 10.25206/1813-8225-2023-187-116-124.

Статья поступила в редакцию 15.03.2023 г.

© В. И. Глухов, Л. Г. Варепо

# UNIFIED REFERENCE SYSTEM FOR GEOMETRIC CHARACTERISTICS DIMENSIONAL ELEMENTS OF DETAILS. PART I. THE THEORY OF TWO DIMENSIONS MAXIMUM AND MINIMUM

A unified reference system for geometric characteristics is based on the classification of joints of applied mechanics, in which the class number is determined by the number of degrees of freedom limited by mating elements of parts and has received the short term «informativeness». Different information content of the bases of elements that materialize coordinate systems determines different information content of the coordinate axes — four, two, zero and different information content of design planes — three, two, one. The paper shows that the information content of elements in the functions of auxiliary bases and executive elements determines the number and type of coordinates (linear and angular), with the help of which it is necessary to set their position in the generalized coordinate system of the part. It is shown that the accuracy of coordinating dimensions should be specified by symmetrical tolerances for linear and angular dimensions.

**Keywords:** workpiece coordinate systems, design bases, actuating elements, informativeness of elements, linear and angular coordinates, dimensions of material maximum and minimum.

## References

1. ISO/IEC GUIDE 99:2007 International vocabulary of metrology. Basic and general concepts and associated terms (VIM). URL: <https://www.iso.org/standard/45324.html> (accessed: 02.03.2023). (In Engl.).
2. ISO 80000-3 Quantities and units — Part 3: Space and time. URL: <https://www.iso.org/standard/64974.html> (accessed: 02.03.2023). (In Engl.).
3. ISO 10303-203:2011 Industrial automation systems and integration — Product data representation and exchange — Part 203: Application protocol: Configuration controlled 3D design of mechanical parts and assemblies. URL: <https://www.iso.org/standard/44305.html> (accessed: 02.03.2023). (In Engl.).
4. ISO 1101:2017 Geometrical product specifications (GPS) — Geometrical tolerancing — Tolerances of form, orientation, location and run-out. URL: <https://www.iso.org/standard/66777.html> (accessed: 02.03.2023). (In Engl.).
5. ISO 5459:2011 Geometrical product specifications (GPS) — Geometrical tolerancing — Datums and datum systems. URL: <https://www.iso.org/standard/40358.html> (accessed: 02.03.2023). (In Engl.).
6. ISO 14638:2015 Geometrical product specifications (GPS) — Matrix model. URL: <https://www.iso.org/standard/57054.html> (accessed: 02.03.2023). (In Engl.).
7. ISO 286-1:2010 Geometrical product specifications (GPS) — ISO code system for tolerances on linear sizes — Part 1: Basis of tolerances, deviations and fits. URL: <https://www.iso.org/standard/45975.html> (accessed: 02.03.2023). (In Engl.).
8. ISO 492:2014 Rolling bearings — Radial bearings — Geometrical product specifications (GPS) and tolerance values. URL: <https://www.iso.org/standard/60356.html> (accessed: 02.03.2023). (In Engl.).
9. Henzold G. Geometrical Dimensioning and Tolerancing for Design, Manufacturing and Inspection: A Handbook for Geometrical Product Specification using ISO and ASME standards. 3rd ed. Butterworth-Heinemann, 2021. 463 p. (In Engl.).
10. Simmons C., Maguire D., Phelps N. Manual of Engineering Drawing (Fifth Edition) — British and International Standards. 5th ed. Butterworth-Heinemann, 2020. 608 p. (In Engl.).
11. ASME Y14.5-2009: Dimensioning and Tolerancing. Engineering Drawing and Related Documentation Practices // An international standard. USA, New York: The American Society of Mechanical Engineers, 2009. 215p. (In Engl.).
12. GOST 21495-76. Bazirovaniye i bazy v mashinostroyenii. Terminy i opredeleniya [Locating and bases in machine building industry. Terms and definitions]. Moscow, 1990. 36 p. (In Russ.).
13. Leonard P., Pairel E., Giordano M. A Simpler and More Formal Geometric Tolerancing Model // Procedia CIRP. 2013. Vol. 10 (4). P. 30 — 36. DOI: 10.1016/j.procir.2013.08.009. (In Engl.).
14. Serrano-Mira J., Rosado-Castellano P., Romero-Subiryn F. [et al]. Incorporation of form deviations into the matrix transformation method for tolerance analysis in assemblies // Procedia Manufacturing. 2019. Vol. 41. P. 547 — 554. DOI: 10.1016/j.promfg.2019.09.042. (In Engl.).
15. Anwer N., Scott P. J., Srinivasan V. Toward a Classification of Partitioning Operations for Standardization of Geometrical Product Specifications and Verification // Procedia CIRP. 2018. Vol. 75. P. 325 — 330. (In Engl.).



16. Hidalgo D., Ruiz R. O., Delgadod A. A novel framework for relationship of manufacturing tolerance and component-level performance of journal bearings // *Applied Mathematical Modelling*. 2022. Vol. 105. P. 566–583. (In Engl.).
17. Aschenbrenner A., Wartzack S. A Concept for the Consideration of Dimensional and Geometrical Deviations in the Evaluation of the Internal Clearance of Roller Bearings // *Procedia CIRP*. 2016. P. 256–261. DOI: 10.1016/j.procir.2016.02.003. (In Engl.).
18. Glukhov V. I., Kondashevskij V. V. System zur festlegung von lagetoleranzen werkstückoberflächen // *Wissenschaftliche Gesellschaft für Meßtechnik und Automatisierung in der Kammer der Technik: VI Oberflächenkolloquium mit internationaler Beteiligung*. D.D.R., Karl-Marx-Stadt, 1984. S. 4/1–4/11. (In Germ.).
19. Glukhov V. I. Povysheniye tochnosti izmereniy v mashinostroyenii na osnove vvedeniya novykh kompleksnykh pokazateley deystvitel'nykh razmerov detaley [Improvement of measurement accuracy in mechanical engineering through the introduction of new complex measures of actual part dimensions]. Moscow, 1998. 370 p. (In Russ.).
20. Glukhov V. I. Kompleksnyye pokazateli razmernoy i geometricheskoy tochnosti detaley mashin [Comprehensive dimensional indicators and geometric accuracy figures for machine parts] // *Vestnik mashinostroyeniya. Vestnik Mashinostroyeniya*. 1998. No. 4. P. 3–7. (In Russ.).
21. Glukhov V. I. Metodologiya dostovernykh izmereniy razmerov detaley [Methodology for reliable measurement of workpiece dimensions] // *Izmeritel'naya tekhnika. Metrology*. 1998. No. 5. P. 9–13. (In Russ.).
22. Glukhov V. I. Koordiniruyushchiye razmery detaley i ikh izmereniye [Coordinate part dimensions and their measurement] // *Izmeritel'naya tekhnika. Metrology*. 1998. No. 7. P. 18–22. (In Russ.).
23. Glukhov V. I. Geometrical product specifications: Alternative standardization principles, coordinate systems, models, classification and verification // *Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines, Dynamics*. 2014. DOI: 10.1109/Dynamics.2014.7005655. (In Engl.).
24. Glukhov V. I., Ivleva I. A., Zlatkina O. Y. Geometrical product specifications. Datums and coordinate systems // *Journal of Physics Conference Series*. 2017. Vol. 858 (1). 012013. DOI: 10.1088/1742-6596/858/1/012013. (In Engl.).
25. Glukhov V. I., Pushkarev V. V., Khomchenko V. G. Geometric modeling in the problem of ball bearing accuracy // *Journal of Physics Conference Series*. 2017. Vol. 858 (1). 012014. DOI: 10.1088/1742-6596/858/1/012014. (In Engl.).
26. Glukhov V. I., Varepo L. G., Nagornova I. V., Doronin F. A. Strength and geometry parameters accuracy improvement of 3D-printed polymer gears // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1260 (3). 032019. DOI: 10.1088/1742-6596/1260/3/032019. (In Engl.).
27. Glukhov V. I., Varepo L. G., Shalay V. V., Grinevich V. A. New matrix for geometrical product specifications on coordinate basis // *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. Vol. 1441 (1). 012061. DOI: 10.1088/1742-6596/1441/1/012061. (In Engl.).
28. Glukhov V. I., Grinevich V. A., Shalay V. V. The linear sizes tolerances and fits system modernization // *Journal of Physics: Conference Series*. 2018. Vol. 998. (1). 012012. DOI: 10.1088/1742-6596/998/1/012012. (In Engl.).
29. Taylor F. W. *The Principles of Scientific Management*. New York; London: Harper, 1911. 144 p. (In Engl.).
30. ISO 1938-1:2015 Geometrical product specifications (GPS) – Dimensional measuring equipment – Part 1: Plain limit gauges of linear size. URL: <https://www.iso.org/standard/41132.html> (accessed: 02.03.2023). (In Engl.).
31. COST 22696-77. Podshipniki kacheniya. Roliki tsilindricheskiye korotkiye. Tekhnicheskiye trebovaniya [Rolling bearings. Short cylindrical rollers. Technical requirements]. Moscow, 1982. 16 p. (In Russ.).
32. COST 24643-81. Osnovnyye normy vzaimozamenyayemosti. Dopuski formy i raspolozheniya poverkhnostey. Chislavye znacheniya [Basic norms of interchangeability. Tolerances of form and position of surfaces. Numerical values]. Moscow, 2004. 10 p. (In Russ.).
33. COST 8908-81. Osnovnyye normy vzaimozamenyayemosti. Normal'nyye ugly i dopuski uglov [Basic norms of interchangeability. Standart angles and angle tolerances]. Moscow, 1981. 16 p. (In Russ.).
34. COST 2.412-81. Edinaya sistema konstruktorskoy dokumentatsii. Pravila vypolneniya chertezhey i skhem opticheskikh izdeliy [Unified system for design documentation. Rules for making drawings and diagrams of optical products]. Moscow, 2011. 16 p. (In Russ.).

**GLUKHOV Vladimir Ivanovich**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Oil and Gas Engineering, Standardization and Metrology Department, Omsk State Technical University (OmSTU), Omsk.  
 SPIN-code: 3101-0639  
 ORCID: 0000-0002-4513-3291  
 AuthorID (SCOPUS): 56503382500  
 ResearcherID: Q-2030-2016  
**VAREPO Larisa Grigorievna**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Oil and Gas Engineering, Standardization and Metrology Department, OmSTU, Omsk.  
 SPIN-code: 4980-66-79  
 ORCID: 0000-0001-5366-2700  
 AuthorID (SCOPUS): 6507043152  
 ResearcherID: B-1163-2015  
 Correspondence address: [larisavarepo@yandex.ru](mailto:larisavarepo@yandex.ru)

#### For citations

Glukhov V. I., Varepo L. G. Unified reference system for geometric characteristics dimensional elements of details. Part I. The theory of two dimensions maximum and minimum // *Omsk Scientific Bulletin*. 2023. No. 3 (187). P. 116–124. DOI: 10.25206/1813-8225-2023-187-116-124.

Received March 15, 2023.  
 © V. I. Glukhov, L. G. Varepo