

Научная статья
УДК 514.01: 621.9: 629.12: 681.1
<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-2-21-32>

Технологические базы: понятие и проблемы формирования

Татьяна Владимировна Антоненкова

*Дальневосточный федеральный университет,
Владивосток, Россия, antonenkova_tv@live.ru*

Аннотация. Задача обеспечения требуемой точности взаимного расположения поверхностей детали, как правило, решается на этапе создания изделий машиностроения. Базирование – процедура, связанная с ориентацией поверхностей в процессе обработки детали или сборки изделия с целью достижения заданных условий взаимного расположения. Существующие трактовки некоторых основных положений теории базирования не позволяют найти однозначного решения по ключевым вопросам, возникающим при реализации процесса базирования. Представленный анализ трактовок некоторых используемых в теории базирования понятий обнаруживает возникающие неопределенности при решении вопросов обеспечения взаимного расположения поверхностей при обработке. Отмечено, что в существующих регламентных документах (ГОСТ 21495-76, ГОСТ 3.1109-82) не указывается конечная практическая цель базирования. Рассматриваются проблемы представления геометрических структур в трехмерном пространстве. Проиллюстрирована схема шестимерного пространства, включающего три линейные и три угловые координаты. Проведен анализ неопределенностей в теории базирования, рассматриваются различные случаи базирования, в результате чего базирование определяется как ориентация формообразующих движений инструмента относительно поверхности (группы поверхностей), к которой (к которым) заданы требования взаимного расположения. Приведены схемы базирования деталей типа «призма» и «кубик». Сделаны выводы о недостаточности ориентира на геометрические свойства поверхностей и их размеры (протяженность, ширину) при назначении их в качестве базовых. Исследуются условия формирования комплекта баз, сформулированы правила формирования комплекта баз при базировании.

Ключевые слова: машиностроение, технология судоремонта, изготовление деталей, технологический процесс, базирование, степени свободы, шестимерное пространство

Для цитирования: Антоненкова Т. В. Технологические базы: понятие и проблемы формирования // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2022. № 2. С. 21–32. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-2-21-32>.

Original article

Technological bases: concept and problems of formation

Tatiana V. Antonenkova

*Far Eastern Federal University,
Vladivostok, Russia, antonenkova_tv@live.ru*

Abstract. The task of achieving the required accuracy of the positional relationship of the part surfaces, as a rule, is solved at the stage of manufacturing the engineering products. Basing is a procedure associated with the orientation of surfaces in the process of processing a part or assembling a product in order to meet the specified conditions of positional relationship. The practical interpretations of the principles of the basing theory do not allow to find the sound solutions to the key problems that arise in the course of basing. The presented analysis of the interpretations of the concepts used in the basing theory reveals the emerging uncertainties in solving the problems of ensuring the positional relationship of the surfaces in the machining process. It has been stated that the existing regulatory documents (GOST 21495-76, GOST 3.1109-82) do not indicate the ultimate practical purpose of basing. There are considered the problems of representing the 3D geometric structures. There is illustrated a 6D diagram, which includes three linear and three angular coordinates. Analysis of uncertainties in basing theory has been carried out, different cases of basing have been considered, in the result of which basing has been defined as positioning the shaping movements of the tool relative to the surface (surfaces), to which the requirements of the positional relationship are set. The schemes for basing prismatic and cubical parts are given. Conclusions are drawn about the lack of reference to the geometric proper-

ties of surfaces and their dimensions (extent, width) when assigning them as base ones. The conditions for the set of bases have been investigated, the rules for arranging the bases in basing process have been formulated.

Keywords: mechanical engineering, ship repair technology, machine part manufacturing, technological process, basing, degrees of freedom, 6D space

For citation: Antonenkova T. V. Technological bases: concept and problems of formation. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2022;2:21-32. (In Russ.) <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-2-21-32>.

Введение

Судовое машиностроение является неотъемлемой частью судоремонта, поскольку ремонт судна помимо корпусных работ практически всегда включает ремонт или замену, а иногда модернизацию различных систем и механизмов, обеспечивающих его функционирование и безопасность. Судоремонтное производство, как правило, носит единичный характер при достаточно широкой номенклатуре технологических операций. Одним из факторов, влияющих на эффективность ремонтных предприятий, является качество и оперативность технологической подготовки.

В процессе проектирования технологии изготовления деталей и изделий понятие базирования принято использовать в двух случаях. В первом случае базирование является неотъемлемой процедурой при формировании сопряжений деталей в сборочных узлах и агрегатах, а во втором базирование влияет на погрешность взаимного расположения поверхностей при обработке в процессе изготовления детали [1–5].

Целью статьи является рассмотрение и решение проблем, возникающих при использовании основных понятий и трактовок базирования в ходе проектирования технологических процессов обработки деталей на металлорежущем оборудовании. В статье излагаются результаты исследований и разработок, конкретизирующие закономерности и взаимодействия элементов геометрических конфигураций деталей при их изготовлении.

Формально конфигурация детали как геометрического объекта G представляется в виде пары множеств $G(S^G, D^G)$:

– непустым множеством поверхностей S^G , т. е. $\forall S^G (S^G \neq \emptyset)$;

– множеством используемых отношений (размерных связей) между поверхностями $D^G := \{d_1^k, d_2^k, \dots, d_m^k\}$ [6–8].

Тогда технология получения геометрической конфигурации детали рассматривается в виде двух непересекающихся множеств технологических процедур [6]. Первое множество $M^{T^\phi} := \{p_1^\phi, p_2^\phi, \dots, p_n^\phi\}$ включает в себя полный набор процедур p_i^ϕ , необходимых для получения геометрической формы каждой обрабатываемой поверхности S_i^k k -й дета-

ли. Второе множество $M^{T^{вpp}} := \{p_1^{вpp}, p_2^{вpp}, \dots, p_m^{вpp}\}$ состоит из необходимого и достаточного набора процедур $p_j^{вpp}$, которые обеспечивают ориентацию заготовки относительно набора формообразующих движений инструмента.

В существующей учебной, научной и справочной литературе решение вопросов получения формы обрабатываемых поверхностей в значительной мере детерминировано, поскольку для обработки каждого вида поверхностей применяется сравнительно небольшой набор конкретных видов инструмента.

Иная ситуация складывается при решении вопросов обеспечения взаимного расположения поверхностей, получаемых при обработке, что связано с большой степенью неопределенности в имеющихся сегодня методиках решения этих вопросов [3, 6, 7, 9]. Как известно, взаимное расположение поверхностей детали в процессе изготовления связано с выбором схем базирования и назначением последовательности смены баз при обработке поверхностей [1, 2, 7, 8, 10].

Действующие в настоящее время в России регламенты, применяемые в науке и технике термины и определения основных понятий базирования и баз при проектировании, изготовлении, эксплуатации и ремонте изделий машиностроения и приборостроения определяются устаревшим ГОСТ 21495-76 [11]. Ряд неоднозначных понятий, расплывчатых формулировок и наличие неопределенных положений теории базирования в этом документе приводят к необходимости совершенствования теории в направлении формулирования четких правил и однозначных трактовок.

Неоднозначность трактовок и понятий существующей теории базирования

Анализ современной технической литературы свидетельствует об отсутствии целостных и однозначных правил выбора баз и формирования комплектов баз. Регламентируемые отечественными стандартами единой системы технологической документации ГОСТ 3.1109-82 и ГОСТ 21495-76 понятия трактуются в общем виде и требуют значительного числа пояснений и конкретизаций.

В ГОСТ 21495-76 понятие базирования сформулировано следующим образом: «Базирование – придание заготовке или изделию *требуемого по-*

ложения относительно выбранной системы координат» [11, с. 2]. ГОСТ 3.1109-82 содержит следующую трактовку: «Технологическая база – *поверхность, сочетание поверхностей*, ось или точка, используемые для определения положения предмета труда в процессе изготовления» [12, с. 2]. При этом в отечественной технической литературе не удается найти однозначных ответов на вопросы:

1. Что считать *требуемым* положением заготовки?
2. Каким образом *выбирается* система координат?
3. Как определяются *поверхности*, которые необходимо использовать для *определения положения*?

Кроме того, ни в одном из регламентов нет даже намека на указание конечной практической цели базирования, ведь если базирование – это придание заготовке или изделию некоего положения, то возникает вопрос: для чего это необходимо, т. е. что является целью базирования? Рамки настоящей статьи не позволяют перечислить остальное множество вопросов, возникающих как при попытке разобраться в закономерностях и взаимосвязях теории базирования, так и при использовании ее положений в практике технологического проектирования.

По-видимому, вышеперечисленное является причиной неоднозначного толкования и использования понятий установки, закрепления, базирования при описании процессов конструирования механизмов или процессов обработки деталей машин.

В ГОСТ 3.1109-82 и ГОСТ 21495-76 процессу закрепления дано следующее определение: приложение сил и пар сил к предмету труда (заготовке, изделию) для обеспечения постоянства его положения, достигнутого при базировании. Установка есть базирование и закрепление заготовки или изделия [11, 12]. Отметим, что трактовки понятий базирования, установки и закрепления очень тесно переплетаются, сложны для восприятия, поэтому нередко встречаются подмены этих понятий при описании процессов обработки.

Теоретическим базисом моделирования технологии получения геометрических параметров деталей и сборочных узлов является трехмерное пространство евклидовой геометрии. В ходе исследований, выполняемых сотрудниками Политехнического института (школы) Дальневосточного федерального университета (ДВФУ), установлено, что формализация вопросов базирования наталкивается на ряд фундаментальных проблем, не разрешимых в рамках классической геометрии [3, 6, 7, 9].

Проблемы представления геометрических структур в трехмерном пространстве

Современная техника и технология в работе с геометрическими объектами целиком опирается на положения и правила классической геометрии,

способной описывать идеальные геометрические конфигурации, и при этом используется евклидово пространство с тремя линейными координатами [13]. Однако ряд технических областей (подводный флот, авиация и космонавтика, приборостроение и т. д.) широко используют понятие шести степеней свободы (6DoF). Следует отметить, что современная теория базирования тоже пытается оперировать этим понятием [11].

Стандарты, устанавливающие требования к взаимному расположению поверхностей и базированию [11, 14], ориентируются на существующие положения классической геометрии, которая представляет геометрическое пространство трехмерным линейным вектором. Так, положение любой точки трехмерного пространства задается концом вектора, выходящего из начала координат, и определяется координатами X , Y и Z .

Тело, как замкнутое подпространство, ограничено совокупностью определенным образом расположенных поверхностей. Для задания соосности, симметричности, пересечения осей и позиционного отклонения необходимо ориентировать деталь как в линейных, так и в угловых координатах, в то время как для параллельности, перпендикулярности и наклона – задать только угловое положение. Однако в классической геометрии угловое положение определяется с помощью тригонометрических преобразований.

Учитывая, что формальный инструментарий классической геометрии рассматривает только существующие (кем-либо созданные) конфигурации независимо от того, каким образом они сформированы, он не способен оперировать реальными формами и конфигурациями объектов, а также формально представлять схемы порождения конфигураций [3]. Для решения указанных проблем сотрудниками ДВФУ предлагается использовать разрабатываемую геометрию неидеальных объектов [6, 7, 10, 15].

В качестве базиса геометрии неидеальных объектов использует шестимерное геометрическое пространство (рис. 1), включающее три линейные и три угловые координаты, пространство задается векторами $\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z, \vec{\alpha}_x, \vec{\alpha}_y, \vec{\alpha}_z$ [3, 7].

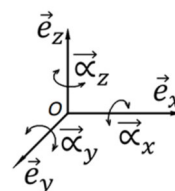


Рис. 1. Базис шестимерного пространства

Fig. 1. 6D Basis

Как указывалось выше, геометрическая конфигурация детали G представляется в виде пары множеств $G(S^G, D^G)$, одно из которых включает в себя полный набор поверхностей детали S^G , а другое представлено множеством размерных связей, определяющих взаимное расположение этих поверхностей D^G [6–8]. Тогда для описания отношений между поверхностями удобно использовать инструментарий теории графов [16, 17].

Представление отношений между поверхностями в виде плоских графов не позволяет сформировать общую структуру детали в шестимерном пространстве, поэтому для визуализации и возможности выполнения преобразований в пространстве $\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z, \vec{\alpha}_x, \vec{\alpha}_y, \vec{\alpha}_z$ геометрические связи можно представлять в виде шестиклеточных таблиц (рис. 2), где нулями обозначено отсутствие связей между поверхностями, а единицами – их наличие в соответствующем координатном направлении.

	x	y	z
e	0	0	0
α	0	0	0

a

	x	y	z
e	1	1	1
α	1	1	1

b

Рис. 2. Шестиклеточные таблицы: a – отсутствие связей; b – наличие связей

Fig. 2. Six-cell tables: a - absence of links; b - presence of links

Анализ неопределенностей в теории базирования

В условиях производства можно выявить бесконечное количество множеств одновременно существующих систем координат: множества систем координат поверхностей детали ($M_{c.k}^a$); множества систем координат станка ($M_{c.k}^c$); множества систем координат приспособления ($M_{c.k}^n$); множества систем координат режущего инструмента ($M_{c.k}^u$) и т. д. Возникают вопросы: как и какую систему координат выбрать из представленных множеств для привязки положения детали при базировании?

Для начала необходимо понять, что является системой координат.

Рассмотрим пример выбора системы координат для базирования детали, изображенной на рис. 3. Задача – разработать схему базирования с целью обеспечения в процессе обработки заданных требований взаимного расположения поверхностей.

На детали имеются предварительно обработанные поверхности А и Б. Предлагается решить две абсолютно разные задачи:

1. Поверхность П должна быть обработана на расстоянии L от поверхности А, необходимо обеспечить их параллельность;
2. Поверхность П должна быть обработана на расстоянии L от поверхности А, обеспечить перпендикулярность поверхностей Б и П.

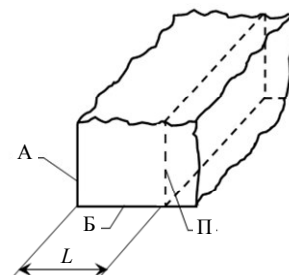


Рис. 3. Обрабатываемая деталь
 Fig. 3. A workpiece

В шестиклеточных таблицах на рис. 4 приведены степени свободы, которые необходимо зафиксировать для полной ориентации поверхностей детали А, Б и П. Единицами в клетках обозначены фиксируемые степени свободы, а нулями – остаточные степени свободы.

А	<table border="1"><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	1	0	0	0	1	1
1	0	0					
0	1	1					
Б	<table border="1"><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	0	0	1	1	1	0
0	0	1					
1	1	0					
П	<table border="1"><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	1	0	0	0	1	1
1	0	0					
0	1	1					

Рис. 4. Представление положения поверхностей в виде шестиклеточных таблиц

Fig. 4. Positioning the surfaces in the form of six-cell tables

В рассматриваемом примере выбранной системой координат для базирования будет система координат формообразующего движения инструмента при получении (обработки) поверхности П.

Рассмотрим первую задачу. Поверхность П должна быть обработана в линейный размер L от поверхности А. Этот размер указан в направлении оси X , поэтому необходимо зафиксировать линейную координату \vec{e}_x . Параллельность достигается фиксацией поворотов вокруг осей Y ($\vec{\alpha}_y$) и Z ($\vec{\alpha}_z$).

Анализ возможных связей поверхностей А и П позволяет сделать вывод о том, что вид и количество фиксируемых степеней свободы поверхности А дают возможность использовать эту поверхность в качестве базы для обработки поверхности П. Схема базирования представлена на рис. 5.

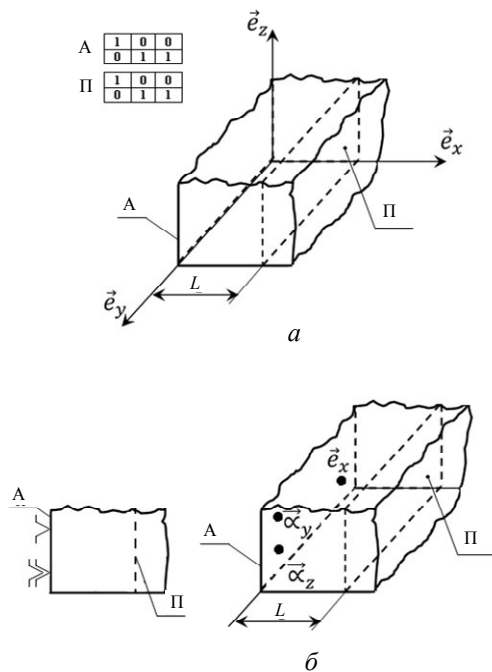


Рис. 5. Первый случай базирования:
 а – представление положений поверхностей
 в виде шестиклеточных таблиц;
 б – анализ выбора поверхности А в качестве базовой

Fig. 5. I basing case: a - positioning the surfaces
 in the form of six-cell tables;
 b - analysis of choosing
 the surface A as a base

Во втором случае (рис. 6) помимо обработки в размер L необходимо обеспечить перпендикулярность поверхностей Б и П.

Как видим, линейный размер задан от поверхности А, что требует фиксации линейной координаты \vec{e}_x . Поверхность А позволяет зафиксировать это направление. Параллельность поверхностей А и П в этом случае не задана, но должна быть обеспечена в пределах точности размера L и достигается фиксацией поворотов вокруг осей Y ($\vec{\alpha}_y$) и Z ($\vec{\alpha}_z$), что может быть получено базированием на поверхность А. Заданная перпендикулярность поверхностей Б и П также фиксируется поворотом вокруг осей Y ($\vec{\alpha}_y$) (рис. 6, а). Следовательно, возникает конкуренция – и поверхность А, и поверхность Б имеют возможность координату $\vec{\alpha}_y$ зафиксировать (рис. 6, б). Но поскольку требование обеспечения перпендикулярности прописано в условиях задачи, базисующие свойства поверхности Б возьмут на себя эту функцию. На рис. 6, в две базисующие точки поверхности А фиксируют положение в направлениях \vec{e}_x и $\vec{\alpha}_z$, одна точка поверхности Б – в направлении $\vec{\alpha}_y$.

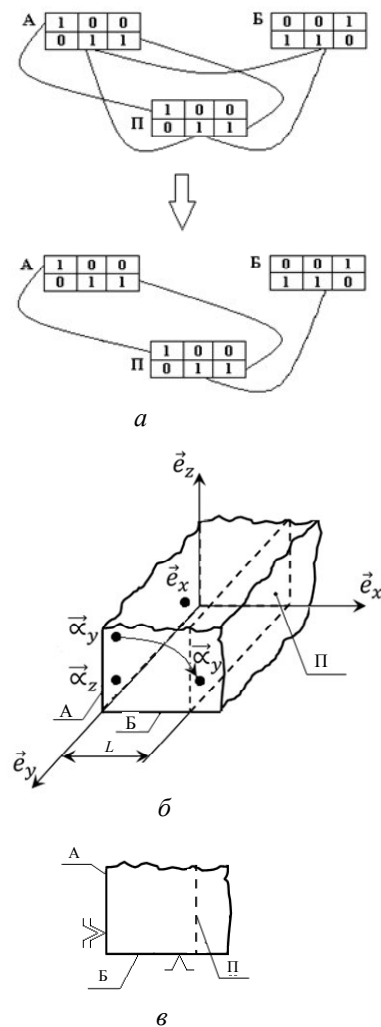


Рис. 6. Второй случай базирования:
 а – анализ базисующих свойств поверхностей А и Б;
 б – конкуренция поверхностей А и Б за направление $\vec{\alpha}_y$;
 в – схема базирования

Fig. 6. II basing case: a - analysis of the basing properties
 of surfaces A and B; б - competition of surfaces A and B
 for direction $\vec{\alpha}_y$; в - basing scheme

В рассмотренном выше примере решаемые задачи были абсолютно разные, но объединенные одной целью – получить поверхность детали, соответствующую заданным требованиям расположения. Получаемая в ходе обработки поверхность есть результат формообразующих движений инструмента в процессе обработки, поэтому корректно рассматривать *базирование* как ориентацию формообразующих движений инструмента относительно поверхности (группы поверхностей), к которой (которым) заданы требования взаимного расположения.

Трактовка понятия базы

Используемое определение понятия базы также не отражает сущности (правила) выбора или назначения того или иного элемента заготовки (детали) при обработке в ее качестве. По существующим положениям базой предлагается назначить поверхность, сочетание поверхностей, ось, точку, принадлежащие заготовке или изделию и используемые для базирования [11]. Необходимо более четкое формулирование понятия базы, т. к. в нем отражается суть процесса базирования.

Рассмотрим пример, часто используемый в литературе и представленный как классический при формировании комплекта баз в ГОСТ 21495-76, – базирование призматической детали [11]. Назначенные поверхности в качестве установочной, направляющей и опорной баз представлены на рис. 7.

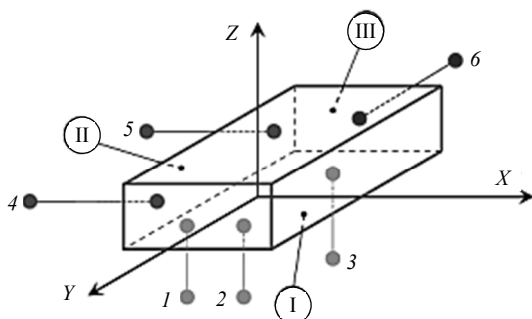


Рис. 7. Базирование детали типа «призма»: 1–6 – комплект базующих точек

Fig. 7. Basing a prismatic workpiece: 1–6 - a set of base points

По существующим положениям основание детали I – установочная база – лишает ее при базировании трех степеней свободы: перемещения вдоль оси Z (\vec{e}_z) и двух поворотов вокруг осей X ($\vec{\alpha}_x$) и Y ($\vec{\alpha}_y$); направляющая II – перемещения вдоль оси X (\vec{e}_x) и поворота вокруг оси Z ($\vec{\alpha}_z$); опорная III – перемещения вдоль оставшейся оси Y (\vec{e}_y).

Возникают вопросы:

1. Почему именно так распределены поверхности детали для реализации установочной, направляющей и опорной баз? Можно ли назначить в качестве установочной – II, направляющей – III, опорной – I (или в другом сочетании)?

2. Существует ли правило (зависимость) распределения (назначения) базующих точек по лишаемым степеням свободы?

При ответе на первый вопрос использованы существующие положения теории базирования: во-первых, установочная база используется для установки детали; во-вторых, при установке на поверхность с наибольшими габаритными размерами под действием силы тяжести твердое тело,

установленное на три точки, более устойчиво и имеет большую точность положения [18]. Направляющей базой назначается наиболее протяженная поверхность (по длине) при наименьшей ширине, а опорной – поверхность с наименьшими и малыми габаритными размерами [18].

Рассмотрим вопрос, являются ли примененные положения единственными для назначения схем базирования любых деталей призматической формы. Проанализируем базующие свойства поверхностей детали типа «кубик» (рис. 8).

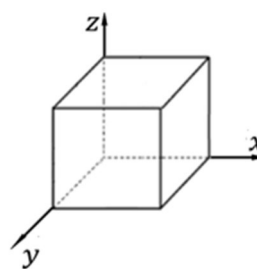


Рис. 8. Деталь типа «кубик»

Fig. 8. A cubical machine part

Все поверхности кубика – плоскости, равные по протяженности и расположенные на одном удалении друг от друга. Рассмотренные ранее правила назначения установочной, направляющей и опорной базы для данной детали не работают, потому что любая поверхность кубика может быть использована как в качестве установочной, так и направляющей и опорной базы; свойства плоскостей, образующие поверхность кубика, одинаковые.

Вывод: описанные в ГОСТ 21495-76 правила назначения поверхностей в качестве базующих не работают для всего разнообразия деталей, подвергающихся механообработке. Ориентироваться только на геометрические свойства поверхностей и их размеры (протяженность, ширину) при назначении их в качестве базовых недостаточно. Требуется пересмотреть и переформулировать трактовку понятия базы, используемую при базировании, с указанием конкретной решаемой задачи.

Условия формирования комплекта баз

Согласно ГОСТ 21495-76 комплект баз – совокупность трех баз, образующих систему координат заготовки или изделия [11]. Состав предлагается формировать сочетанием установочной, направляющей и опорной баз. В зависимости от геометрической формы поверхностей, используемых при базировании, количество лишаемых степеней свободы будет разным. Но при этом теория не предлагает алгоритма (правил), который бы позволил скомпоновать набор поверхностей для формирования комплекта баз.

В предлагаемых типовых схемах базирования используются и скрытые базы – в виде воображаемой плоскости, оси или точки [11], а при базировании, как отмечалось ранее, ориентирами могут рассматриваться только реальные поверхности.

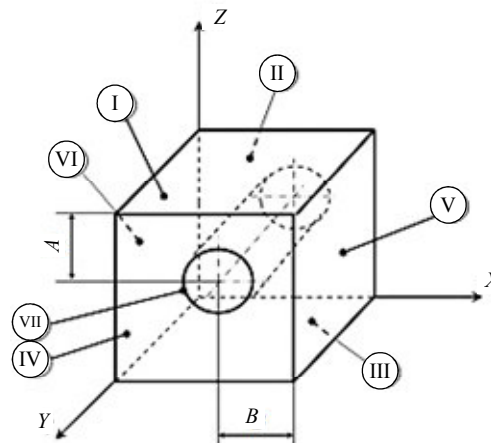
Обеспечение заданной точности взаимного расположения поверхностей непосредственно связано с выбором комплекта баз детали. Поэтому формирование комплекта баз должно начинаться с определения количества фиксируемых степеней свободы обрабатываемой поверхности (пока еще не существующей) и поверхностей, с которыми обрабатываемая связана размерными связями, определяющими их взаимное расположение.

Материальное тело не имеет объема само по себе. Объем возникает только за счет сочетания поверхностей, причем эти поверхности должны пересекаться, т. е. пространство должно быть замкнутым. Геометрическая конфигурация любой детали определяется: 1) набором бесконечно протяженных элементарных поверхностей; 2) конечным набором заданных отношений их взаимной ориентации. Согласно положениям геометрии неидеальных объектов существуют только три элементарные поверхности: плоскость, цилиндр и сфера. Они, в зависимости от положения в пространстве, обеспечивают ориентацию по определенным координатам [3, 7, 8]. Если поверхность плоская, то фиксируются три координаты, цилиндрическая – четыре, сфера – три.

Далее рассмотрим задачу формирования единственно возможного комплекта баз. На основе проведенного анализа будут сформулированы правила формирования минимального набора поверхностей, который обеспечит ориентацию формообразующих движений инструмента для обработки поверхности исходя из заданных требований расположения.

На рис. 9, а представлена деталь с уже обработанными плоскими поверхностями. Задача – сформировать комплект баз для обработки отверстия VII, связанного линейными размерами A и B с поверхностями I и V, при этом неперпендикулярность поверхности VII относительно поверхности IV должна быть не более 0,05 мм.

Согласно существующим положениям теории базирования в качестве установочной базы может быть выбрана плоскость IV, направляющей – плоскость I, опорной – плоскость V. Однако этот вариант не единственный. Даже в рассмотренном комплекте баз каждая из плоскостей может выступать в роли установочной, направляющей или опорной базы. Тогда для рассматриваемых плоскостей (I, IV и V) может быть сформировано как минимум шесть схем базирования. Неопределенность базирования обусловлена наличием конкурирующих связей в каждом из вариантов схем базирования [7].



Неперпендикулярность поверхности VII относительно поверхности IV – не более 0,05 мм

а

I	$e \begin{matrix} x & y & z \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{matrix}$	IV	$e \begin{matrix} x & y & z \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{matrix}$
V	$e \begin{matrix} x & y & z \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \end{matrix}$	VII	$e \begin{matrix} x & y & z \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{matrix}$

б

Рис. 9. Деталь с обработанными плоскими поверхностями: а – обозначение поверхностей и координирующих размеров; б – представление положения поверхностей

Fig. 9. A workpiece with the machined flat surfaces: а - designation of surfaces and coordinating dimensions; б - positioning the surfaces

Для формирования единственно возможной схемы базирования, исходя из заданных условий взаимного расположения поверхностей, необходимо четко определить, какая базирующая точка поверхности какой степени свободы лишает деталь. Такой анализ предлагается провести с использованием подхода к определению базирующего комплекта, основанного на выполнении логических операций с шестиклеточными таблицами [7].

Как уже отмечалось, в рассматриваемом примере поверхности, образующие геометрический контур детали, – плоскости. Все они связаны между собой размерными связями и требованием, ограничивающим отклонения от перпендикулярности. Связи определяют пространственную геометрическую конфигурацию детали и являются определяющими при выборе схемы базирования, поэтому в качестве баз для обработки отверстия VII можно назначить только плоскости I, IV и V. Каждая из них в шестимерном пространстве лишает деталь трех степеней свободы. На рис. 9, б в таблицах указаны фиксируемые степени свободы каждой из поверхностей.

Формирование базировочного комплекса для обработки отверстия VII строится на основе установления связей между базировочными поверхностями и формообразующими движениями инструмента, в процессе которых будет получена обрабатываемая поверхность.

Для обработки отверстия VII необходимо формообразующее движение инструмента сориентировать в четырех направлениях: двух линейных перемещениях (\vec{e}_x, \vec{e}_z) и двух поворотах ($\vec{\alpha}_x, \vec{\alpha}_z$). Эта информация взята из шестиклеточной таблицы, отображающей положение в пространстве обрабатываемого отверстия (рис. 9, б).

Согласно информации, представленной в шестиклеточных таблицах поверхностей I, IV и V, фиксацию перемещения вдоль осей X (\vec{e}_x) и Z (\vec{e}_z) обеспечат поверхности V и I соответственно. За фиксацию поворотов вокруг этих же осей конкурируют все три из рассматриваемых поверхности попарно: I и IV могут зафиксировать положение вокруг $\vec{\alpha}_x$, IV и V – вокруг $\vec{\alpha}_z$. Определяющим при выборе базовой поверхности является требование перпендикулярности поверхностей IV и VII (рис. 10).

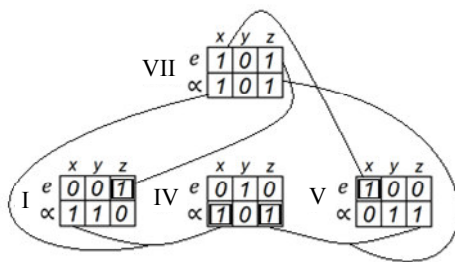


Рис. 10. Формирование базировочного комплекса

Fig. 10. Forming the basing complex

Следовательно, сформированный комплект баз для обработки отверстия в детали, изображенной на рис. 9, состоит из поверхностей V (\vec{e}_x), I (\vec{e}_z), IV ($\vec{\alpha}_x, \vec{\alpha}_z$).

На основе рассмотренной задачи сформулированы правила формирования комплекта баз при базировании.

Методика формирования комплекта баз

Комплект должен состоять из минимального набора поверхностей, обеспечивающего ориентацию формообразующих движений инструмента. Последовательность формирования комплекта баз:

1. Определить координатное направление, требуемое для ориентации формообразующего движения инструмента обработки поверхности, для которой разрабатывается комплект баз. Эта задача решается на основе анализа отображения фиксируемых степеней свободы в шестиклеточной

таблице, отражающего положение обрабатываемой поверхности в шестимерном пространстве. Как известно, плоская поверхность требует фиксации трех степеней свободы: одной линейной, двух угловых; цилиндрическая – четырех (по две линейных и угловых); сфера – трех линейных. Положение обрабатываемой поверхности лучше всего привязать к системе координат режущей кромки инструмента, т. к. именно она воспроизводит движение формообразования в процессе резания.

2. Определить по чертежу размеры (координирующие, непараллельности, перпендикулярности и др.), связывающие поверхности детали с обрабатываемой поверхностью. Эти размерные связи укажут на поверхности, которые могут быть использованы в качестве базовых. Для каждой из них построить шестиклеточные таблицы с указанием фиксируемых степеней свободы в выбранной системе координат.

3. Сопоставить требуемые координаты для ориентации формообразующего движения инструмента (определенные в пункте 1) с координатами поверхностей, выявленных в пункте 2. Выбрать в качестве базовых поверхности, которые обеспечат фиксацию требуемых степеней свободы обрабатываемой поверхности. Таким образом гарантируется ориентация формообразующего движения инструмента для получения в результате обработки поверхности заданного положения, т. е. базирование осуществлено.

Анализ шестиклеточных таблиц и проведение логических операций с ними позволяют осуществить целенаправленный выбор поверхностей, из которых формируется базировочный комплекс.

Наборы сформированных комплектов баз зависят от структуры и конфигурации детали. Структура определяется количеством и видом поверхностей, конфигурации – взаимным расположением поверхностей, образующих деталь. Ниже на примерах проиллюстрирована данная зависимость.

Во всех рассмотренных случаях требуется сориентировать формообразующие движения инструмента (выбрать базы) для обработки поверхности V.

Как было отмечено ранее, базирование необходимо осуществить в системе координат формообразующих движений инструмента, т. к. именно оно в ходе обработки обеспечит получение поверхности в заданном положении. На рис. 11 для наглядности система координат смещена с положением обрабатываемой поверхности V.

Так как поверхность V плоская, для определения ее однозначной ориентации в выбранной системе координат достаточно фиксации свободы по направлениям $\vec{e}_x, \vec{\alpha}_y, \vec{\alpha}_z$.

Далее из чертежа необходимо выбрать размеры, задающие взаимосвязи положения поверхности V с другими поверхностями детали. Пусть в представленных ниже примерах будут заданы связи

только с поверхностями I, IV и VI. Связи определяют пространственную геометрическую конфигурацию детали и являются определяющими при выборе схемы базирования.

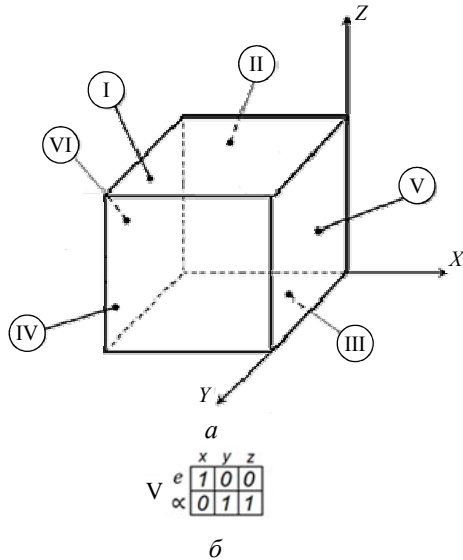


Рис. 11. Отображение положений: a – системы координат; b – поверхности в виде степеней свободы в пространстве

Fig. 11. Position display: a - coordinate systems; b - surfaces in the form of degrees of freedom in space

Первый из рассмотренных вариантов заданной конфигурации представлен на рис. 12.

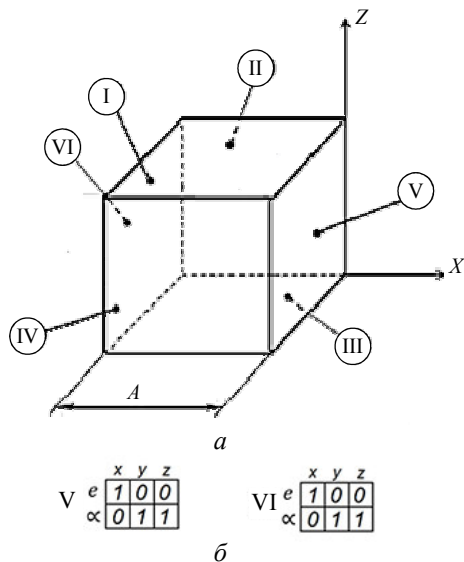
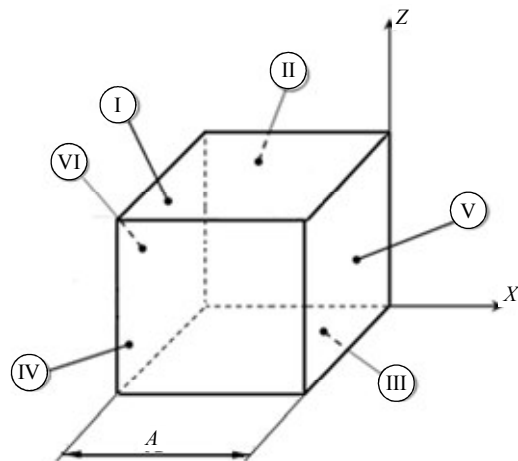


Рис. 12. Первый вариант задания взаимосвязей поверхностей детали: a – заданные размеры; b – положение взаимосвязанных поверхностей

Fig. 12. I type of specifying the relationships of the part surfaces: a - specified dimensions; b - position of the related surfaces

Заданная связь требует получения в результате обработки поверхности V, отстоящей от поверхности VI на размер A , при этом параллельность этих поверхностей также должна быть обеспечена. Базой в этом случае является поверхность VI. Она полностью покрывает все необходимые степени свободы: перемещение \vec{e}_x , два поворота ($\vec{\alpha}_y$ и $\vec{\alpha}_z$).

Следующий вариант конфигурации приведен на рис. 13.



Неперпендикулярность поверхности V относительно поверхности IV – не более 0,05 мм

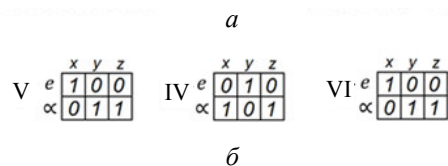


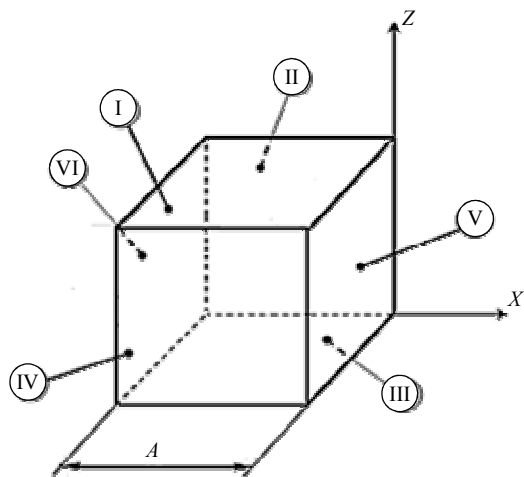
Рис. 13. Второй вариант задания взаимосвязей поверхностей детали: a – заданные размеры; b – положение взаимосвязанных поверхностей

Fig. 13. II type of specifying the relationships of the part surfaces: a - specified dimensions; b - position of the related surfaces

Положение поверхности V здесь определено линейным размером A и требованием отклонения от перпендикулярности относительно поверхности IV. Для обеспечения этих требований при обработке необходимо в качестве базовых назначить поверхности IV и VI. Обоснованием такого назначения является следующее рассуждение. Требуемая фиксация свободы по направлениям $\vec{e}_x, \vec{\alpha}_y, \vec{\alpha}_z$ обеспечится парой поверхностей IV и VI, каждая из которых дает возможность зафиксировать в направлениях: поверхность IV – вокруг оси Z ($\vec{\alpha}_z$), поверхность VI – вдоль оси X (\vec{e}_x) и вокруг Y ($\vec{\alpha}_y$).

Антоненко Т. В. Технологические базы: понятие и проблемы формирования

В третьем варианте положение поверхности V задано линейным размером A и требованием отклонения от перпендикулярности относительно двух поверхностей I и IV (рис. 14).



Неперпендикулярность поверхности V относительно поверхности I и IV – не более 0,05 мм

a

$$V \begin{matrix} e \\ \alpha \end{matrix} \begin{matrix} x & y & z \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \end{matrix}$$

$$IV \begin{matrix} e \\ \alpha \end{matrix} \begin{matrix} x & y & z \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{matrix} \quad I \begin{matrix} e \\ \alpha \end{matrix} \begin{matrix} x & y & z \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{matrix} \quad VI \begin{matrix} e \\ \alpha \end{matrix} \begin{matrix} x & y & z \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \end{matrix}$$

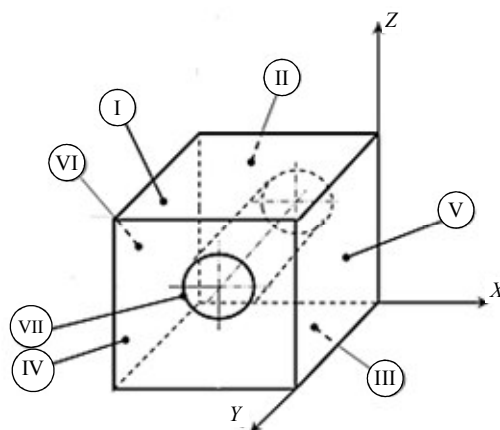
б

Рис. 14. Третий вариант задания взаимосвязей поверхностей детали: а – заданные размеры; б – положение взаимосвязанных поверхностей

Fig. 14. III type of specifying the relationship of the part surfaces: a - specified dimensions; б - position of the related surfaces

Анализ фиксируемых координат в шестиклеточных таблицах поверхностей I, IV и VI указывает на возможность их выбора в качестве варианта комплекта баз для обработки поверхности V (рис. 14, б). Для ориентации движения режущей кромки инструмента в заданных условиях получения поверхности V необходимо обеспечить лишение степеней свободы в трех направлениях: вокруг осей Y и Z и вдоль оси X. Следовательно, базировочный комплекс будет состоять из следующих поверхностей: I и IV фиксируют положения вокруг Y ($\bar{\alpha}_y$) и Z ($\bar{\alpha}_z$) соответственно, VI – вдоль оси X ($\bar{\alpha}_x$).

В четвертом варианте (рис. 15) в геометрическую конфигурацию добавлено отверстие и требование расположения (отклонение от параллельности) обрабатываемой поверхности V относительно этого отверстия.



Неперпендикулярность поверхности V относительно поверхностей I и IV – не более 0,05 мм.
 Непараллельность поверхности V относительно поверхности VII – не более 0,05 мм.

a

$$V \begin{matrix} e \\ \alpha \end{matrix} \begin{matrix} x & y & z \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \end{matrix}$$

б

$$I \begin{matrix} e \\ \alpha \end{matrix} \begin{matrix} x & y & z \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{matrix} \quad IV \begin{matrix} e \\ \alpha \end{matrix} \begin{matrix} x & y & z \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{matrix} \quad VII \begin{matrix} e \\ \alpha \end{matrix} \begin{matrix} x & y & z \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{matrix}$$

Рис. 15. Четвертый вариант задания взаимосвязей поверхностей детали: а – заданные размеры; б – положение взаимосвязанных поверхностей

Fig. 15. IV type of specifying the relationships of the part surfaces: a - specified dimensions; б - position of the related surfaces

В четвертом случае базировочный комплекс будет формироваться из поверхностей I, IV, VII. Фиксируемые координаты каждой из поверхностей, используемых в качестве баз: поверхность I лишает свободы в направлении $\bar{\alpha}_y$; поверхность IV – в направлении $\bar{\alpha}_z$; поверхность VII – в направлении $\bar{\alpha}_x$.

Таким образом, все три направления ($\bar{\alpha}_x, \bar{\alpha}_y, \bar{\alpha}_z$), необходимые для ориентации формообразующих движений инструмента, зафиксированы. Следовательно, комплект баз для обработки поверхности V сформирован.

Представленные примеры демонстрируют, что формирование базы или комплекта баз зависит от структуры и конфигурации детали. Каждой заданной взаимосвязи между поверхностями детали соответствует только один вариант базирования для получения данной структуры.

Заклучение

В настоящее время имеется большая проблема использования существующей теории базирования при проектировании, изготовлении, эксплуатации и ремонте изделий машиностроения и приборостроения. Присутствуют неоднозначные понятия, расплывчатые формулировки и неопределенности положений теории базирования.

В теории базирования требуется пересмотр, уточнение формулировок основных понятий, переработка основополагающих положений, регламентов и ГОСТов. Работа в этом направлении даст возможность использовать теорию базирования для формального проектирования технологических процессов изготовления деталей машин и изделий в целом.

Список источников

1. Базров Б. М. Модульная технология в машиностроении. М.: Машиностроение, 2001. 368 с.
2. Halevi G. Industrial Management - Control and Profit. Lecture Notes in Management and Industrial Engineering 1. Springer International Publishing, Switzerland, 2014. 273 p. DOI: 10.1007/978-3-319-03470-6_1.
3. Lelyukhin V. E., Kolesnikova O. V., Ruzhitskaya E. V. Geometry of Six-Dimensional Space for Engineering // Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020). Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2021. P. 386–394.
4. Yuguang Wu. Assembly Tolerance Analysis Method Based on the Real Machine Model with Three Datum Planes Location // Procedia CIRP. 2015. V. 27. P. 47–52.
5. Zhou C., Liu Z., Qiu C., Tan J. Three-dimensional tolerance analysis of discrete surface structures based on the tursor cluster model // Assembly Automation. 2021. V. 41. N. 4. P. 486–500.
6. Лелюхин В. Е., Колесникова О. В. Метод формального проектирования технологии обработки на станках деталей судовых машин // Мор. интеллектуал. технологии. 2021. № 4. Т. 3. С. 39–46.
7. Лелюхин В. Е., Колесникова О. В., Ружницкая Е. В., Антоненкова Т. В. Геометрия неидеальных объектов в инженерной деятельности (машиностроение и робототехника). М.: Знание-М, 2020. 104 с.
8. Лелюхин В. Е., Колесникова О. В., Антоненкова Т. В., Дренин А. С., Кузьминова Т. А. Геометрия неидеальных объектов при конструировании и производстве морской техники // Мор. интеллектуал. технологии. 2019. № 4. Т. 2. С. 46–53.

9. Лелюхин В. Е., Колесникова О. В. Геометрия неидеальных объектов в судостроении и судоремонте // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2020. № 1. С. 31–44.
10. Лелюхин В. Е., Антоненкова Т. В., Колесникова О. В. Структурно-параметрическое представление взаимного расположения поверхностей детали // Вестн. Инженер. шк. Дальневост. федер. ун-та. 2016. № 1. С. 3–9.
11. ГОСТ 21495-76. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1990. 36 с.
12. ГОСТ 3.1109-82. Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий. М.: Стандартиформ, 2012. 98 с.
13. Выгодский М. Я. Справочник по высшей математике. М.: Астрель, 2006. 991 с.
14. ГОСТ 24642-81. Допуски формы и расположения поверхностей. Основные термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 2002. 45 с.
15. Lelyukhin V. E., Kolesnikova O. V., Ruzhitskaya E. V. The Geometry of Non-ideal Objects in Process Engineering for Processing Parts on Machine Tools // Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2021). Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, 2022. P. 165–173.
16. Cayley A. A. Theorem on trees // The Quarterly Journal of Mathematics. 1889. V. 23. P. 376–378.
17. Gross Jonathan L., Yellen Jay. Handbook of graph theory. CRC Press, 2004. 285 p.
18. Балакишин Б. С. Теория и практика технологии машиностроения: в 2-х ч. М.: Машиностроение, 1982. Ч. 2. Основы технологии машиностроения. 367 с.

References

1. Bazrov B. M. *Modul'naiia tekhnologiia v mashinostroenii* [Modular technology in mechanical engineering]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2001. 368 p.
2. Halevi G. *Industrial Management - Control and Profit*. Lecture Notes in Management and Industrial Engineering 1. Springer International Publishing, Switzerland, 2014. 273 p. DOI: 10.1007/978-3-319-03470-6_1.
3. Lelyukhin V. E., Kolesnikova O. V., Ruzhitskaya E. V. Geometry of Six-Dimensional Space for Engineering. *Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020)*. Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2021. Pp. 386-394.
4. Yuguang Wu. Assembly Tolerance Analysis Method Based on the Real Machine Model with Three Datum Planes Location. *Procedia CIRP*, 2015, vol. 27, pp. 47-52.
5. Zhou C., Liu Z., Qiu C., Tan J. Three-dimensional tolerance analysis of discrete surface structures based on the

- tursor cluster model. *Assembly Automation*, 2021, vol. 41, no. 4, pp. 486-500.
6. Leliukhin V. E., Kolesnikova O. V. Metod formal'nogo proektirovaniia tekhnologii obrabotki na stankakh detalei sudovykh mashin [Method of formal design of processing technology for ship machine parts on machine tools]. *Morskie intelektual'nye tekhnologii*, 2021, no. 4, vol. 3, pp. 39-46.
7. Leliukhin V. E., Kolesnikova O. V., Ruzhitskaia E. V., Antonenkova T. V. *Geometriia neideal'nykh ob"ektov v inzhenernoi deiatel'nosti (mashinostroenie i robototekhnika)* [Geometry of non-ideal objects in engineering (machine engineering and robotics)]. Moscow, Znanie-M Publ., 2020. 104 p.
8. Leliukhin V. E., Kolesnikova O. V., Antonenkova T. V., Drenin A. S., Kuz'minova T. A. *Geometriia neideal'nykh ob"ektov pri konstruirovanii i proizvodstve morskoi tekhniki* [Geometry of non-ideal objects in design and production

of marine equipment]. *Morskije intellektual'nye tekhnologii*, 2019, no. 4, vol. 2, pp. 46-53.

9. Leliukhin V. E., Kolesnikova O. V. Geometriia neideal'nykh ob"ektov v sudostroenii i sudoremonte [Geometry of non-ideal objects in shipbuilding and ship repair]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaja tekhnika i tekhnologija*, 2020, no. 1, pp. 31-44.

10. Leliukhin V. E., Antonenkova T. V., Kolesnikova O. V. Strukturno-parametricheskoe predstavlenie vzaimnogo raspolozheniia poverkhnostei detali [Structural-parametric representation of positional relationship of part surfaces]. *Vestnik Inzhenernoi shkoly Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta*, 2016, no. 1, pp. 3-9.

11. *GOST 21495-76. Bazirovanie i bazy v mashinostroenii. Terminy i opredeleniia* [GOST 21495-76. Basing and bases in mechanical engineering. Terms and Definitions]. Moscow, Izd-vo standartov, 1990. 36 p.

12. *GOST 3.1109-82. Edinaia sistema tekhnologicheskoi dokumentatsii. Terminy i opredeleniia osnovnykh poniatii* [GOST 3.1109-82. Unified system of technological documentation. Terms and definitions of basic concepts]. Moscow, Standartinform Publ., 2012. 98 p.

13. Vygodskii M. Ia. *Spravochnik po vysshei matematike* [Handbook of higher mathematics]. Moscow, Astrel' Publ., 2006. 991 p.

14. *GOST 24642-81. Dopuski formy i raspolozheniia poverkhnostei. Osnovnye terminy i opredeleniia* [GOST 24642-81. Tolerances of the shape and location of surfaces. Basic terms and definitions]. Moscow, Izd-vo standartov, 2002. 45 p.

15. Leliukhin V. E., Kolesnikova O. V., Ruzhitskaya E. V. The Geometry of Non-ideal Objects in Process Engineering for Processing Parts on Machine Tools. *Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2021)*. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, 2022. Pp. 165-173.

16. Cayley A. A. Theorem on trees. *The Quarterly Journal of Mathematics*, 1889, vol. 23, pp. 376-378.

17. Gross Jonathan L., Yellen Jay. *Handbook of graph theory*. CRC Press, 2004. 285 p.

18. Balakshin B. S. *Teoriia i praktika tekhnologii mashinostroeniia: v 2-kh ch.* [Theory and practice of engineering technology: in 2 Vol.]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1982. Part 2. Osnovy tekhnologii mashinostroeniia. 367 p.

Статья поступила в редакцию 10.03.2022; одобрена после рецензирования 12.04.2022; принята к публикации 21.04.2022
The article was submitted 10.03.2022; approved after reviewing 12.04.2022; accepted for publication 21.04.2022

Информация об авторе / Information about the author

Татьяна Владимировна Антоненкова — доцент департамента компьютерно-интегрированных производственных систем, Политехнический институт (школа); Дальневосточный федеральный университет; antonenkova_tv@live.ru

Tatiana V. Antonenkova — Assistant Professor of the Department of Computer Integrated Production Systems of the Polytechnic Institute (School); Far Eastern Federal University; antonenkova_tv@live.ru

