

ISSN 1561-8323 (Print)
ISSN 2524-2431 (Online)

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
TECHNICAL SCIENCES

УДК 621.91.01
<https://doi.org/10.29235/1561-8323-2022-66-6-631-637>

Поступило в редакцию 05.05.2022
Received 05.05.2022

Б. М. Базров¹, Н. А. Родионова¹, М. Л. Хейфец², В. Л. Гуревич³

¹*Институт машиноведения имени А. А. Благонравова Российской академии наук,
Москва, Российская Федерация*

²*Институт прикладной физики Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь*

³*Белорусский государственный институт метрологии, Минск, Республика Беларусь*

**СХЕМЫ БАЗИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ В САМОЦЕНТРИРУЮЩИХ МЕХАНИЗМАХ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКТОВ СКРЫТЫХ БАЗ**

(Представлено академиком П. А. Витязем)

Аннотация. С учетом развития гибридных технологий, объединяющих как традиционные, так и аддитивные, актуализированы положения теории базирования и сформирован обновленный состав баз: установочная, направляющая, опорная, двойная направляющая, двойная опорная и тройная опорная. Комбинации баз образуют пять комплектов, каждый из них может быть реализован с помощью явных или воображаемых скрытых баз, а также их совмещений. Особенностью базирования предмета скрытыми базами является определение положения опорных точек с помощью точек контакта предмета, реализуемых установочными элементами приспособлений. При базировании предмета скрытой базой положение опорной точки определяется самоцентрирующим механизмом с помощью точек контакта с предметом базирования. Рассмотрены всевозможные схемы конструктивных решений базирования и закрепления предметов в гибридных технологиях комплектами из скрытых баз в самоцентрирующихся механизмах.

Ключевые слова: предмет базирования, схема базирования, комплект баз, явная и скрытая базы, опорная точка, точка контакта, силовое замыкание.

Для цитирования. Схемы базирования изделий в самоцентрирующихся механизмах с использованием комплектов скрытых баз / Б. М. Базров [и др.] // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2022. – Т. 66, № 6. – С. 631–637. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2022-66-6-631-637>

Boris M. Bazrov¹, Natalya A. Rodionova¹, Mikhail L. Kheifetz², Valery L. Gurevich³

¹*Institute of Machine Science of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

²*Institute of Applied Physics of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*

³*Belarussian State Institute of Metrology, Minsk, Republic of Belarus*

**SCHEMES FOR LOCATING AND FIXING AN OBJECT IN SELF-CENTERING MECHANISMS
WITH A SET OF HIDDEN BASES**

(Communicated by Academician Petr A. Vityaz)

Abstract. The updated provisions of the basing theory and the updated composition of the bases are given: installation, guide, support, double guide, double support, and triple support. Base combinations form five sets, each of which can be implemented using explicit or hidden bases or their combinations. It is shown that basing an object with sets of hidden bases causes the greatest difficulties, and a feature of basing an object with hidden bases is determining the position of reference points using the contact points of the object, implemented by the installation elements. When basing an object with a hidden base, the position of the reference point is determined by a self-centering mechanism using the points of contact with the basing object. Various schemes of constructive solutions for basing and fixing objects in sets of hidden bases in self-centering mechanisms are considered.

Keywords: locating thing, locating chart, clamping base, overt and covert bases, locating point, contact point, power closure

For citation. Bazrov B. M., Rodionova N. A., Kheifetz M. L., Gurevich V. L. Schemes for locating and fixing the object in self-centering mechanisms with a set of hidden bases. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2022, vol. 66, no. 6, pp. 631–637 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2022-66-6-631-637>

Введение. Машиностроение при широкой цифровизации жизненного цикла продукции и процессов изготовления и обслуживания изделий отличается огромным, непрерывно растущим их разнообразием, традиционными и новыми аддитивными технологиями их производства [1–5].

Размерные связи играют все большую роль как в создании изделия, особенно с использованием прецизионных, аддитивных и других технологий, так и в процессе его функционирования и обслуживания. Поскольку размерные цепи, описывающие изделия, возникают при решении разнообразных конструкторских, технологических и метрологических задач машиностроения и зависят от выбора баз, то построению размерных цепей должен предшествовать анализ базирования [4–8].

Процессу базирования изделия (заготовки, детали или сборочной единицы) посвящены многочисленные работы, в связи с тем, что он оказывает определяющее влияние на точность и трудоемкость его изготовления [9–13]. Однако до сих пор базирование в гибридных технологиях, объединяющих как традиционные, так и аддитивные процессы обработки и сборки сложнопрофильных изделий, не рассматривалось.

Основы теории базирования при современном развитии производства актуализируются с учетом перехода от существующего описания из теоретической механики посредством положения трех координатных точек; к новому описанию из теории машин и механизмов путем лишения предмета базирования степеней свободы (подвижности) в технической системе [12–14].

В результате проектирование конструкции изделия, технологии его производства и измерения характеристик следует проводить рассматривая системы, включающие станки и приспособления, измерительные машины и метрологическое оснащение в качестве механизмов, в том числе самоцентрирующих и при наличии их избыточных степеней подвижности, замыкающим звеном которых является предмет базирования [12].

Поскольку при базировании ставятся задачи обеспечения требуемого положения предмета в заданной системе координат путем лишения его степеней подвижности, то с учетом развития гибридных технологий, объединяющих как традиционные, так и аддитивные процессы, целью работы является дальнейшая актуализация основ теории путем определения схем базирования сложнопрофильных изделий (заготовок, деталей или сборочных единиц) комплектами скрытых баз, положение опорных точек которых определяется самоцентрирующими механизмами.

Теоретическая и реальные схемы базирования предмета. Согласно теории базирования, заложенной в стандарте¹, положение изделия в прямоугольной системе координат определяется тремя координатами каждой из трех точек предмета, не лежащих на одной прямой [6]. Лишение изделия степеней свободы решается наложением односторонних связей по координатам трех его точек. При контакте изделия с плоскостями прямоугольной системы координат связи превращаются в опорные точки.

В результате контакта изделия с плоскостями прямоугольной системы координат возникает девять опорных точек, три из которых являются дублирующими. В итоге для лишения изделия всех степеней свободы достаточно шести опорных точек, три из которых лишают его трех перемещений, а три другие – трех поворотов [7; 13]. Шесть опорных точек образуют схему базирования из трех баз: установочной (У), направляющей (Н) и опорной (О). Установочная база лишает предмет трех степеней свободы, одного перемещения и двух поворотов; направляющая база – двух степеней свободы, одного перемещения, одного поворота; опорная база лишает предмет одной степени свободы – одного перемещения.

В реальных условиях в качестве баз выступает не только поверхность изделия, но и точка симметрии, лежащая на плоскости изделия, центр симметрии изделия и др. Поэтому, в дополнение к установочной, направляющей и опорной базам, возникают двойная направляющая (ДН), двойная опорная (ДО) и тройная опорная базы (ТО) [8; 13].

Двойная направляющая база лишает изделие четырех степеней свободы – двух перемещений и двух поворотов, двойная опорная база лишает предмет двух степеней свободы – двух перемещений, тройная опорная база лишает предмет трех степеней свободы – трех перемещений. Перечисленные базы могут быть реализованы с помощью соответствующих поверхностей предмета и элементами его симметрии.

¹ Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения: ГОСТ 21495–76. – М., 1981. – 11 с.

Установочная явная база (Уя) реализуется с помощью плоской поверхности или участков поверхностей, лежащих в одной плоскости. Направляющая явная база (Ня) образуется линией, связывающей две точки поверхности или поверхностей. Опорная явная база (Оя) реализуется точкой поверхности предмета. Двойная направляющая явная база (ДНя) реализуется с помощью цилиндрической поверхности или двумя кольцевыми поверхностями, лежащими на одной оси. Двойная опорная явная база (ДОя) образуется посредством кольцевой поверхности предмета. Тройная опорная явная база (ТОя) реализуется с помощью конической поверхности.

Базирование точкой симметрии лишает изделие одного перемещения по координате, являясь опорной скрытой базой (Ос). Центр симметрии на плоскости лишает его перемещений по двум координатам, являясь двойной опорной скрытой базой (ДОс). Центр симметрии в пространстве лишает предмет перемещений по трем координатам, являясь тройной опорной скрытой базой (ТОс). Линия симметрии лишает предмет одного перемещения и одного поворота, являясь направляющей скрытой базой (Нс). Плоскость симметрии лишает предмет одного перемещения и двух поворотов, являясь установочной скрытой базой (Ус). Ось симметрии лишает предмет двух перемещений и двух поворотов, являясь двойной направляющей скрытой базой (ДНс).

В результате возникают следующие комплекты баз: У–Н–О, У–ДО–О, ДН–О–О, ДН–ДО, ТО–ДО–О. Теоретически же существует одна схема базирования У–Н–О, образованная комплектом баз, содержащим установочную, направляющую и опорную базы.

Комплекты баз и модули явных и скрытых баз. Постоянство положения изделия, достигнутое в результате его базирования, обеспечивается посредством приложения силового замыкания, по величине большего, действующих на него возмущающих сил и их моментов [8].

Если изделию сохранить некоторое число степеней свободы, то на такое же число уменьшится количество соответствующих опорных точек. Так, в ряде случаев не требуется определения положения предмета по какой-либо координате. В этих случаях сокращается число опорных точек, а предмет по данным координатам занимает неизвестное положение. Примером такого случая является базирование диска в трехкулачковом патроне, где базирование осуществляется с помощью неполного комплекта баз – установочной базы и двойной опорной базы.

Комплект баз может быть реализован с помощью явных или скрытых баз или их сочетаний. В связи с этим было введено понятие модулей баз [8; 12; 13], под которым понимается комплект баз с указанием характера баз – явной или скрытой. Так для теоретической схемы базирования обозначаются комплекты явных Уя–Ня–Оя и скрытых Ус–Нс–Ос баз. Отсюда каждый комплект баз может быть представлен группой модулей баз, в зависимости от составляющих его явных или скрытых баз.

Если реализация явных баз, в том числе для микро-, нано-, аддитивных и других технологий, решается сравнительно просто, путем формирования установочных элементов (в том числе являющихся частью заготовки), то реализация скрытых баз требует достаточно сложных конструктивных решений.

Базирование предмета скрытой базой осуществляется с помощью самоцентрирующего механизма. При технологической или измерительной реализации базирования предмета скрытой базой возникает необходимость в определении точки контакта, под которой понимается точка контакта элемента самоцентрирующего механизма с предметом базирования. В результате, как отмечалось ранее [12; 13], при проектировании изделия, технологии его производства и измерения характеристик, следует рассматривать системы, включающие оборудование и средства оснащения в качестве механизмов, замыкающим звеном которых являются предметы базирования.

Таким образом, особенностью базирования предмета скрытыми базами является определение положения опорных точек с помощью точек контакта предмета, реализуемых установочными элементами. Конструктивно эти задачи решаются применением самоцентрирующих механизмов при базировании и закреплении предмета.

Схемы базирования предмета комплектами скрытых баз. Разработка конструктивных решений базирования различных заготовок, деталей и сборочных единиц с помощью скрытых баз охватывает всевозможные схемы базирования предмета: Ус–Нс–Ос; Ус–ДОс–Ос; ДНс–Ос–Ос; ДНс–ДОс; ТОс–ДОс–Ос. При этом первые три схемы реализуются традиционно, известными

комплектами баз для пластины, диска и цилиндра. Оставшиеся две схемы с новыми комплектами рассмотрим более подробно, так как они применимы для сборочных единиц или сложнопрофильных изделий аддитивного производства (в тех случаях, когда они не приводятся к подобию простейших форм: пластины, диска и цилиндра).

Базирование предмета комплектом скрытых баз Ус–Нс–Ос. При таком базировании пластины скрытой установочной базой является плоскость симметрии. В качестве направляющей скрытой базы выступает другая плоскость симметрии, перпендикулярная начальной. В качестве опорной скрытой базы выступает плоскость симметрии, перпендикулярная предыдущим двум плоскостям симметрии. Все точки контакта пластины образуются парами самоцентрирующих тисков со сферическими губками.

Базирование предмета комплектом скрытых баз Ус–ДОс–Ос. При таком базировании диска скрытой установочной базой является плоскость симметрии, на которой размещаются три опорные точки, каждая из которых образуется соответствующей парой точек контакта с помощью самоцентрирующих тисков со сферическими губками. В качестве двойной опорной базы выступает ось пересечения двух других плоскостей. Для такой схемы базирования нет необходимости определять положение по углу поворота вокруг оси диска, поэтому последняя опорная точка отсутствует. В то же время степень свободы – поворот диска вокруг оси, обеспечивается посредством приложения силового замыкания к опорным точкам.

Базирование предмета комплектом скрытых баз ДНс–Ос–Ос. При таком базировании цилиндра в качестве двойной направляющей скрытой базы выступает ось симметрии, являющаяся линией пересечения двух плоскостей симметрии. Положение опорных точек определяется с помощью самоцентрирующих тисков с губками в виде «ножевых» призм.

Базирование предмета комплектом скрытых баз ДНс–ДОс. Рассмотрим реализацию схемы базирования сборочной единицы или детали (полученной из заготовки традиционного литейного или нового аддитивного производства) комплектом скрытых баз ДНс–ДОс (рис. 1).

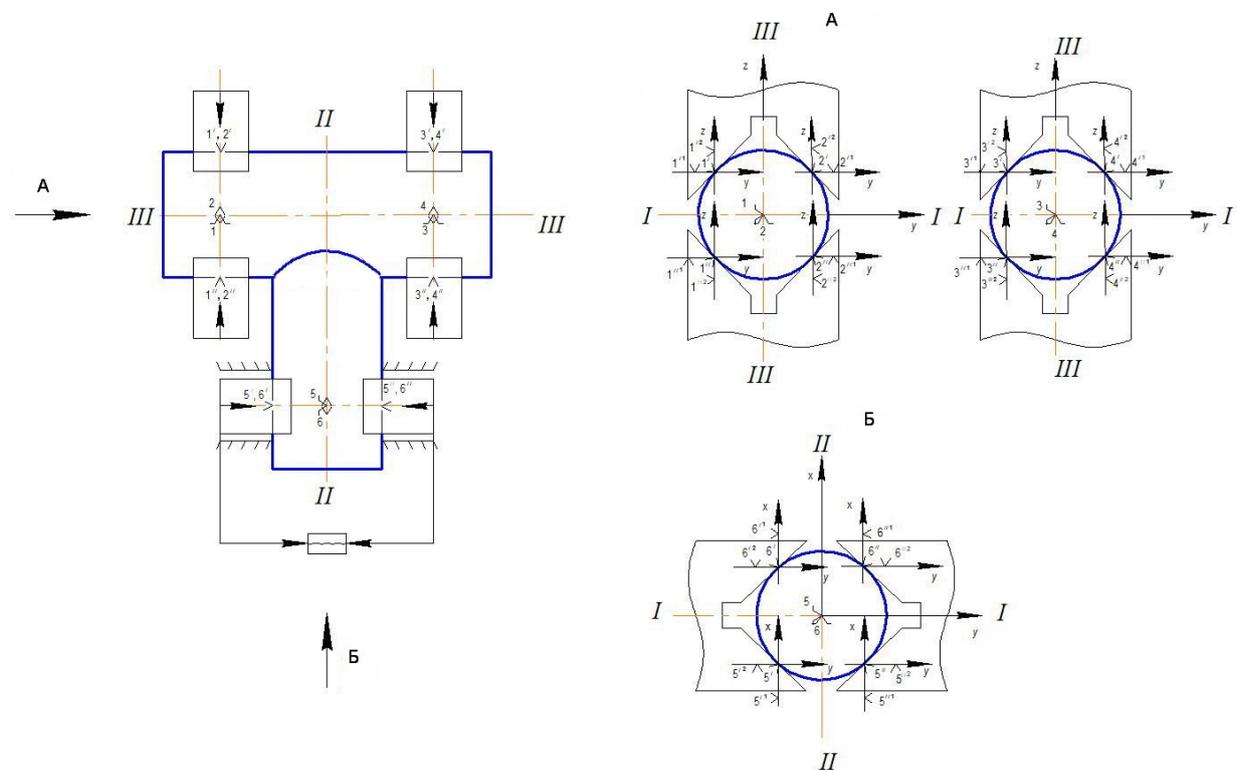


Рис. 1. Базирование предмета комплектом скрытых баз ДНс–ДОс. Опорные точки: 1–4 – ДНс; 5, 6 – ДОс

Fig. 1. Basing the thing with a set of hidden bases DGc–DSc. Reference points: 1–4 – DGc; 5, 6 – DSc

В качестве двойной направляющей скрытой базы выступает ось симметрии, являющаяся линией пересечения двух плоскостей симметрии II и III. Опорные точки 1, 3 лежат на плоскости симметрии III, 2, 4 – на плоскости симметрии I.

В качестве двойной опорной базы выступает ось пересечения двух плоскостей II и III. Точки 5 и 6 лежат на плоскости симметрии II. На плоскости симметрии III размещаются две опорные точки 1, 3, где опорная точка 1 образуется двумя точками контакта 1' и 1'', а опорная точка 3 образуется двумя точками контакта 3' и 3'', точки контакта образуются самоцентрирующимися тисками с губками в виде «ножевых» призм.

На плоскости симметрии I размещаются две опорные точки 2, 4, где опорная точка 2 образуется двумя точками контакта 2' и 2'', а опорная точка 4 образуется двумя точками контакта 4' и 4'', точки контакта образуются вторыми самоцентрирующимися тисками.

Построим через эти точки прямоугольные координатные системы, параллельные системе координат. Спроецируем точки контакта на оси этих координатных систем, получим восемь точек контакта 1¹, 1², 2¹, 2², 1¹¹, 1¹², 2¹¹, 2¹². Точки контакта 1¹², 2¹², 1¹¹², 2¹¹² образуют опорную точку 1, а точки контакта 1¹¹, 2¹¹, 1¹¹¹, 2¹¹¹ – опорную точку 2.

Аналогично, при базировании вторыми тисками возникают четыре точки контакта 3', 4', 3'', 4''. Спроецируем точки контакта на оси построенных координатных систем, получим восемь точек контакта 3¹, 3², 4¹, 4², 3¹¹, 3¹², 4¹¹, 4¹². Точки контакта 3¹², 4¹², 3¹¹², 4¹¹² образуют опорную точку 3, а точки контакта 3¹¹, 4¹¹, 3¹¹¹, 4¹¹¹ – опорную точку 4.

На плоскости симметрии II размещается опорная точка 5, которая образуется двумя точками контакта 5' и 5'', а опорная точка 6 расположена на плоскости симметрии I и образуется двумя точками контакта 6' и 6'', точки контакта образуются самоцентрирующимися тисками с губками в виде «ножевых» призм.

Построив через эти точки прямоугольные координатные системы и спроецировав точки контакта на их оси, получим восемь точек контакта 5¹, 5², 6¹, 6², 5¹¹, 5¹², 6¹¹, 6¹². Точки контакта 5¹², 6¹², 5¹¹², 6¹¹² образуют опорную точку 5, а точки контакта 5¹¹, 6¹¹, 5¹¹¹, 6¹¹¹ образуют опорную точку 6.

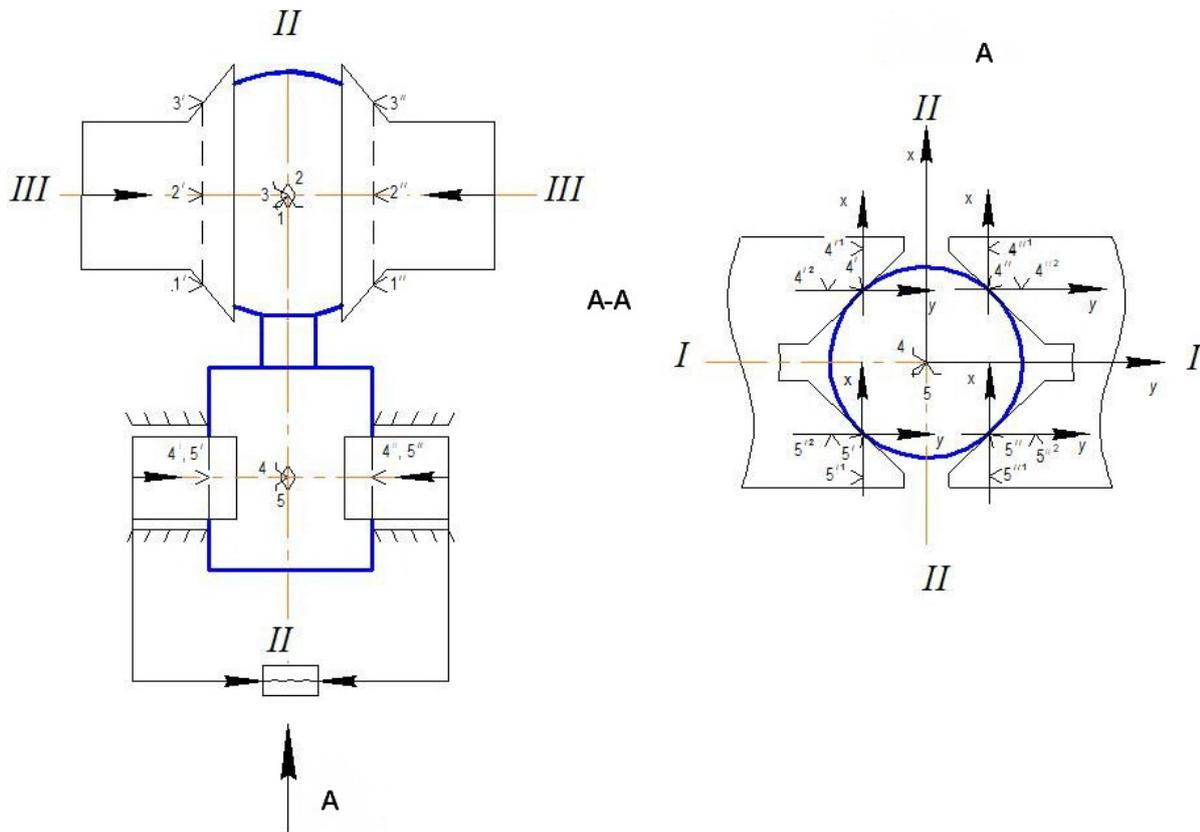


Рис. 2. Базирование детали комплектом скрытых баз ТОс–ДОс–Ос. Опорные точки: 1–3 – ТОс; 4, 5 – ДОс
 Fig. 2. Basing the part with a set of hidden bases TSc–DSc–Sc. Reference points: 1–3 – TOc; 4, 5 – DSc

Базирование предмета комплектом скрытых баз ТОс–ДОс–Ос. Проанализируем реализацию схемы базирования детали или сборочной единицы комплектом скрытых баз ТОс–ДОс–Ос (рис. 2).

Тройная опорная скрытая база образуется центром симметрии тремя опорными точками, лежащими на трех координатных плоскостях симметрии. Опорная точка 1 лежит на плоскости симметрии III, опорная точка 2 – на плоскости симметрии I, опорная точка 3 – на плоскости симметрии II.

В качестве двойной опорной базы выступают опорные точки 4, 5, точка 4 лежит на плоскости симметрии II, точка 5 – на плоскости симметрии I. При такой схеме базирования нет необходимости определять положение детали по углу поворота вокруг оси симметрии II, поэтому опорная точка 6 отсутствует. В то же время степень свободы – поворот вокруг оси, решается посредством приложения силового замыкания к опорным точкам 1–5.

На плоскости симметрии II размещается опорная точка 4, которая образуется двумя точками контакта 4' и 4'', а опорная точка 5 расположена на плоскости симметрии I и образуется двумя точками контакта 5' и 5'', точки контакта образуются самоцентрирующимися тисками с губками в виде «ножевых» призм.

Аналогично, как и в предыдущем случае построив через эти точки прямоугольные координатные системы и спроецировав точки контакта на их оси, получим восемь точек контакта 4'¹, 4'², 5'¹, 5'², 4''¹, 4''², 5''¹, 5''². Точки контакта 4'¹, 5'¹, 4''¹, 5''¹ образуют опорную точку 4, а точки контакта 4'², 5'², 4''², 5''² – опорную точку 5.

Выводы

1. С учетом развития гибридных технологий, объединяющих как традиционные, так и аддитивные процессы, актуализирована теория базирования, согласно которой, в качестве баз в реальных условиях, применяются: установочная, направляющая, опорная, двойная направляющая, двойная опорная и тройная опорная. Перечисленные базы, в соответствии с модульным принципом, формируют комплекты баз: У–Н–О, У–ДО–О, ДН–О–О, ДН–ДО, ТО–ДО–О. Комплекты баз могут быть образованы явными или скрытыми базами, а также их сочетаниями.

2. При базировании изделия скрытой базой положение опорной точки определяется с помощью двух точек контакта предмета с опорными элементами самоцентрирующего механизма. Базирование изделия установочной скрытой базой осуществляется с помощью трех самоцентрирующих механизмов; базирование направляющей скрытой базой – с помощью двух механизмов; базирование опорной скрытой базой – одним; базирование двойной направляющей скрытой базой – четырьмя; базирование двойной опорной скрытой базой – двумя; базирование тройной опорной скрытой базой – одним самоцентрирующим механизмом с элементом контакта конической поверхностью.

Список использованных источников

1. Витязь, П. А. «Индустрия 4.0»: от информационно-коммуникационных и аддитивных технологий к самовоспроизведению машин и организмов / П. А. Витязь, М. Л. Хейфец, С. А. Чижик // *Вестн. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. физ.-техн. наук.* – 2017. – № 2. – С. 54–72.
2. Теоретические основы проектирования технологических комплексов / А. М. Русецкий [и др.]; под общ. ред. А. М. Русецкого. – Минск, 2012. – 239 с.
3. Конструирование и оснащение технологических комплексов / А. М. Русецкий [и др.]; под общ. ред. А. М. Русецкого. – Минск, 2014. – 316 с.
4. Gibson, I. *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing* / I. Gibson, D. Rosen, B. Stucker. – N. Y., 2015. – 498 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2113-3>
5. *Additive Manufacturing for the Aerospace Industry* / ed. by F. Froes and R. Boyer. – Cambridge, 2019. – 465 p. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-00712-7>
6. Колесов, И. М. *Основы технологии машиностроения* / И. М. Колесов. – М., 1999. – 591 с.
7. Базров, Б. М. *Основы технологии машиностроения* / Б. М. Базров. – М., 2005. – 736 с.
8. Базров, Б. М. *Модульная технология в машиностроении* / Б. М. Базров. – М., 2001. – 368 с.
9. Колыбенко, Е. Н. Системные знания теории базирования в машиностроении / Е. Н. Колыбенко // *Вестн. машиностроения.* – 2004. – № 6. – С. 58–62; № 8. – С. 67–70.
10. Абрамов, Ф. Н. Влияние погрешностей формы и взаимного расположения базовых поверхностей на точность базирования призматических заготовок с совмещением баз / Ф. Н. Абрамов // *Вестн. машиностроения.* – 2007. – № 7. – С. 54–64.

11. Новоселов, Ю. А. Системный анализ логики базирования / Ю. А. Новоселов // Вестн. машиностроения. – 2007. – № 3. – С. 62–67.
12. Базров, Б. М. Метод представления изделия как объекта цифровизации производства структурированным множеством модулей / Б. М. Базров, М. Л. Хейфец // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2019. – Т. 63, № 3. – С. 377–384. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-3-377-384>
13. Базров, Б. М. Совершенствование основ теории базирования с учетом развития традиционных и аддитивных технологий / Б. М. Базров, М. Л. Хейфец // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2020. – Т. 64, № 5. – С. 617–623. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2020-64-5-617-623>
14. Базров, Б. М. Компоночный синтез на основе модульного принципа элементной базы мехатронных технологических комплексов / Б. М. Базров, М. Л. Хейфец // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2022. – Т. 66, № 2. – С. 229–236. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2022-66-2-229-236>

References

1. Vityaz P. A., Kheifetz M. L., Chizhik S. A. «Industry 4.0»: from information and communication and additive technologies to self-reproduction of machines and organisms. *Vestsi Natsyonal'noi akademii navuk Belarusi. Seryya fizika-technichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*, 2017, no. 2, pp. 54–72 (in Russian).
2. Rusetsky A. M., ed. *Theoretical bases of technological systems designing*. Minsk, 2012. 239 p. (in Russian).
3. Rusetsky A. M., ed. *Design and equipment of technological systems*. Minsk, 2014. 316 p. (in Russian).
4. Gibson I., Rosen D., Stucker B. *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. New York, 2015. 498 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2113-3>
5. Froes F., Boyer R., eds. *Additive Manufacturing for the Aerospace Industry*. Cambridge, 2019. 465 p. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-00712-7>
6. Kolesov I. M. *Fundamentals of Engineering Technique*. Moscow, 1999. 591 p. (in Russian).
7. Bazrov B. M. *Fundamentals of Engineering Technique*. Moscow, 2005. 736 p. (in Russian).
8. Bazrov B. M. *Modular technology in mechanical engineering*. Moscow, 2001. 368 p. (in Russian).
9. Kolybenko E. N. System knowledge of the theory of basing in mechanical engineering. *Vestnik Mashinostroenia [Engineering Proceedings]*, 2004, no. 6, pp. 58–62; no. 8, pp. 67–70 (in Russian).
10. Abramov F. N. Effect of form inaccuracy and of location surface positional relationship on the basing precision of base-superpositioned prismatic blanks. *Vestnik Mashinostroenia [Engineering Proceedings]*, 2007, no. 7, pp. 54–64 (in Russian).
11. Novosiolov Yu. A. System analysis of basing logic. *Vestnik Mashinostroenia [Engineering Proceedings]*, 2007, no. 3, pp. 62–67 (in Russian).
12. Bazrov B. M., Kheifetz M. L. Method of presenting a product as an object of digitalization of manufacturing by a structured set of modules. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2019, vol. 63, no. 3, pp. 377–384 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-3-377-384>
13. Bazrov B. M., Kheifetz M. L. Improvement bases of the theory basing with account for the development of traditional and additive technologies. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2020, vol. 64, no. 5, pp. 617–623 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2020-64-5-617-623>
14. Bazrov B. M., Kheifetz M. L. Layout synthesis based on the modular principle of the element base of mechatronic technological complexes. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2022, vol. 66, no. 2, pp. 229–236 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2022-66-2-229-236>

Информация об авторах

Базров Борис Мухтарбекович – д-р техн. наук, профессор, заведующий лабораторией. Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН (Малый Харитоньевский пер., 4, 101990, Москва, Российская Федерация). E-mail: modul_lab@mail.ru.

Родионова Наталья Анатольевна – канд. техн. наук, науч. сотрудник. Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН (Малый Харитоньевский пер., 4, 101990, Москва, Российская Федерация). E-mail: n.rodionova@mail.ru.

Хейфец Михаил Львович – д-р техн. наук, профессор, директор. Институт прикладной физики НАН Беларуси (ул. Академическая, 16, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: mlk-z@mail.ru.

Гуревич Валерий Львович – канд. техн. наук, доцент, директор. Белорусский государственный институт метрологии (Старовиленский тракт, 93, 220053, Минск, Республика Беларусь). E-mail: hurevich@belgim.by.

Information about the authors

Bazrov Boris M. – D. Sc. (Engineering), Professor, Head of the Laboratory. Institute of Machine Science of the Russian Academy of Sciences (4, M. Kharitonievsky Per., 101990, Moscow, Russian Federation). E-mail: modul_lab@mail.ru.

Rodionova Nataliya A. – Ph. D. (Engineering), Researcher. Institute of Machine Science of the Russian Academy of Sciences (4, M. Kharitonievsky Per., 101990, Moscow, Russian Federation). E-mail: n.rodionova@mail.ru.

Kheifetz Mikhail L. – D. Sc. (Engineering), Professor, Director. Institute of Applied Physics of the National Academy of Sciences of Belarus (16, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic Belarus). E-mail: mlk-z@mail.ru.

Gurevich Valery L. – Ph. D. (Engineering), Associate Professor, Director. Belarussian State Institute of Metrology (93, Starovilenskiy Tract, 220053, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: hurevich@belgim.by.