

## ФОРМИРОВАНИЕ ПОЗИЦИОННОЙ ТОЧНОСТИ СОЕДИНЕНИЯ НИППЕЛЬ-КОРПУС АЛМАЗНОГО ДОЛОТА

Мартюшова А.А.<sup>1</sup>, Хазанова О.В.<sup>2</sup>, Новикова А.Д.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», Москва;

<sup>2</sup>Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», Москва

**Ключевые слова:** алмазное долото, автоматическая сборка, геометрическая точность, соосность, погрешность установки, аналитическая теория баз, методика расчета.

**Аннотация.** В статье представлены результаты расчета формируемой погрешности установки при сборке соединения ниппель-корпус алмазного долота, рассмотрено ее влияние на соосность сопрягаемых деталей, что имеет важное значение для возможности реализации автоматической сборки при изготовлении бурового инструмента. Показано, что для обоснования требований геометрической точности поверхностей корпуса и ниппеля долота, принятых в качестве конструкторских баз соединяемых элементов, целесообразно использовать аналитические методы теории баз, широко применяемые в технологии машиностроения.

## FORMATION OF THE NIPPLE-BODY CONNECTION POSITIONAL ACCURACY OF THE DIAMOND BIT

Martyushova A.A.<sup>1</sup>, Khazanova O.V.<sup>2</sup>, Novikova A.D.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National Research Technological University «MISIS», Moscow;

<sup>2</sup>Moscow State Technological University «STANKIN», Moscow

**Keywords:** diamond chisel, automatic assembly, geometric accuracy, alignment, installation error, analytical theory of bases, calculation method.

**Abstract.** The article presents the results of calculating the formed installation error when assembling the nipple-body connection of a diamond bit, its effect on the alignment of the mating parts is considered, which is important for the possibility of implementing automatic assembly in the manufacture of drilling tools. It is shown that it is advisable to use analytical methods of the theory of bases, widely used in mechanical engineering technology, to substantiate the requirements of the geometric accuracy of the surfaces of the body and the nipple of the chisel, adopted as design bases of the connected elements.

На сегодняшний день наиболее перспективным инструментом при бурении скважин являются алмазные долота, при этом их ресурс характеризуется множеством факторов, которые необходимо учитывать, как на этапе конструирования, так и на этапе изготовления бурового инструмента. Алмазные долота позволяют проводить выработку пород в вертикальном и наклонно-поворотном направлениях на глубину до 5000 м. Эффективность использования алмазных долот зависит от следующих эксплуатационных характеристик: управляемость выработки пород, скорость проходки, долговечность корпуса долота и режущих элементов, работоспособность инструмента, во много определяемая точностью его изготовления [1-4].

Наиболее ответственной технологической операцией изготовления долота является сборка соединения корпус-ниппель, в результате которой образуется неразъемное соединение. Важнейшей задачей при этом является обеспечение требуемой соосности корпуса и ниппеля, которая играет основную роль в формировании позиционных связей и отклонений корпуса относительно переводника и буровых труб, а также радиального биения алмазных зубков при окончательной сборке буровой установки.

Отклонение от заданных параметров соосности влечет за собой:

– нарушение целостности конструкции, которое повышает риск выпадения режущих элементов из корпуса инструмента,

- неравномерность износа лопастей корпуса, приводящая к трудозатратному ремонту и сокращению ресурса инструмента,
- потерю контроля выработки пород буровиками, тем самым, повышая время буровых работ.

Следует отметить, что, несмотря на широкое применение средств автоматизации на этапах проектирования породоразрушающего инструмента, а также современных высокопроизводительных металлорежущих станков с ЧПУ для механической обработки основных компонентов долот, уровень автоматизации сборочных операций при их производстве пока еще не превышает 15%. Этому способствуют недостаточное технологическое оснащение сборочных участков и слабая информационная поддержка процесса. Вместе с тем, в настоящий момент и в горном машиностроении наблюдаются положительные тенденции в направлении автоматизации сборки бурового инструмента, как изделия массового спроса. Автоматизация сборочных операций в значительной степени позволит повысить качество его изготовления и надежность дорогостоящего инструмента.

Одним из основных и важных условий реализации автоматической сборки является соблюдение принципа полной взаимозаменяемости деталей соединения, что, в свою очередь, выдвигает жесткие требования к геометрической точности сопрягаемых поверхностей [5-7]. Таким образом, на начальном этапе оценки возможности организации автоматической сборки алмазных долот требуется дать обоснование параметров точности изготовления деталей соединения, обеспечивающих автоматическое соблюдение заданных допусков расположения при сборке изделия. Такое обоснование проводится на основе определения численных значений формируемой при сборке соединений погрешностей установки.

В соответствии с техническими требованиями на сборку алмазных долот, допуск соосности ниппеля и корпуса составляет 0,3/200 мм. Он обеспечивается на подготовительном этапе путем ввинчивания ниппеля в корпус (резьбовая стыковка) с последующей фиксацией соединения контактной сваркой по торцевым поверхностям. Конструкция алмазного долота и основные размеры приведены на рисунке 1.

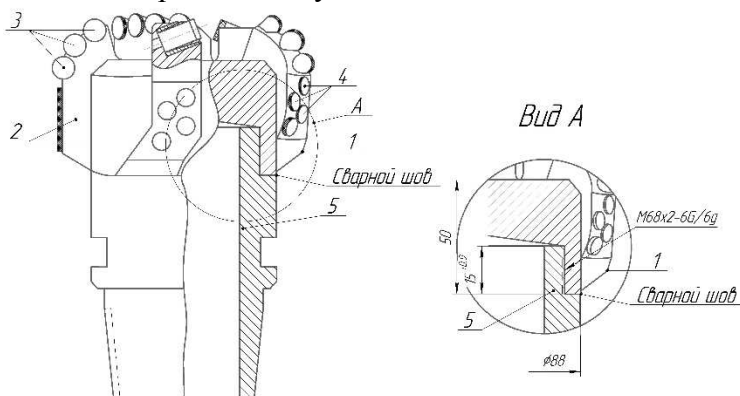


Рис. 1. Алмазное долото: 1 – корпус долота, 2 – лопасти, 3 – резцы режуще-истирающего действия, 4 – резцы защитного действия, 5 – ниппель

Определим составляющие погрешности установки ниппеля в корпус алмазного долота с помощью аналитической теории баз. Для этого необходимо рассмотреть вектор  $\omega_y = (a_y, b_y, c_y, \lambda_y, \beta_y, \gamma_y)$ , который характеризует относительное положение элементов соединения. Составляющие погрешности установки  $a_y, b_y, c_y$  и  $\lambda_y, \beta_y, \gamma_y$  выступают в роли параметров смещения и поворота, определяющие относительное положение координатных осей корпуса и ниппеля [8, 9].

Погрешность относительного положения оси ниппеля и корпуса характеризуется параметрами отклонения  $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$  и выступает в качестве приведенной погрешности установки соединения, которая зависит как от составляющих вектора  $\omega_y$ , так и от положения поверхности соединения относительно системы конструкторских баз [5, 9-12].

Стыковка поверхностей корпуса и ниппеля в процессе установки на базовые теоретические опорные точки проявляются в виде точек контакта, соответствующие координаты которых непосредственно определяют параметры вектора  $\omega_y$  как погрешности установки.

Проанализируем процесс формирования погрешности установки ниппеля относительно корпуса алмазного долота с учетом принятой схемы базирования - с использованием двойной опорной базы (рис. 2).

Схема базирования корпуса алмазного долота включает установочную, двойную опорную и опорную базы. Установочной базой служит торец ниппеля, совмещаемый с торцом корпуса (точки 1, 2, 3, рис. 2), двойная опорная – поверхность резьбовой части ниппеля (точки 4 и 5, рис. 2), опорная база (точка 6, рис. 2) выступает в качестве скрытой базы и обеспечивается силами трения.

Отклонения размера установки, формируемые в направлении принятых конструкторских баз, составляют:

– в направлении оси  $X$  от двойной опорной базы:

$$\epsilon_x^{(d.on)} = a_y^{(d.on)} + \beta_y^{(yсм)} \cdot z + y_y^{(on)} \cdot y, \quad (1)$$

– в направлении оси  $Y$  от двойной опорной базы:

$$\epsilon_y^{(d.on)} = b_y^{(d.on)} + \lambda_y^{(yсм)} \cdot z + y_y^{(on)} \cdot x, \quad (2)$$

где составляющие имеют индексы соответствующих баз: ( $yсм$ ) – установочная, ( $d.on$ ) – двойная опорная, ( $on$ ) – опорная.

При базировании ниппеля по конструктивно оформленным опорным элементам параметр смещения  $c_y^{(yсм)}$ , формируемый на установочной базе составляет

$$c_y^{(yсм)} = 0,5 \cdot h, \quad (3)$$

где  $h$  – погрешность формы поверхности установочной базы.

Погрешность формы  $h$  регламентируется по ГОСТ 24643-81 с учетом допуска на размер между поверхностями соединения и уровня относительной геометрической точности А, В, С. В общем случае отклонения формы  $h$  можно определить как часть допуска  $IT$  на размер между рассматриваемыми поверхностями:

$$h = k \cdot IT, \quad (4)$$

где  $k$  – коэффициент, определяющий соотношение  $\frac{h}{IT}$ ,

$IT$  – допуск на высоту головки корпуса.

В соответствии с рекомендациями ГОСТ по определению уровня относительной геометрической точности цилиндрических поверхностей деталей коэффициент  $k$  имеет следующие значения, приведенные в таблице 1.

Табл. 1. Относительная геометрическая точность поверхностей деталей

Нормальная (группа А)	Повышенная (группа В)	Высокая (группа С)
$\frac{h}{IT} \cdot 100 = 60\%$	$\frac{h}{IT} \cdot 100 = 40\%$	$\frac{h}{IT} \cdot 100 \leq 25\%$
$k = 0,6$	$k = 0,4$	$k \leq 0,25$

С учетом выражения (4) можно найти  $c_y^{(yсм)}$  следующим образом:

$$c_y^{(yсм)} = 0,5 \cdot k \cdot IT, \quad (5)$$

В соответствии с (5) параметры смещения  $c_y^{(yсм)}$ , формируемые на установочной базе, можно рассчитать по формулам, представленным в таблице 2.

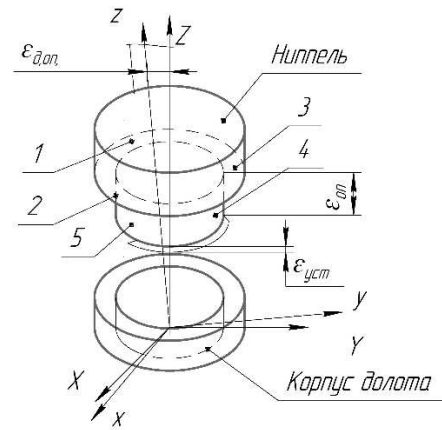


Рис. 2. Формирование отклонения от соосности при соединении корпуса и ниппеля

Табл. 2. Относительная геометрическая точность установочной базовой поверхности

Нормальная (группа А) $k = 0,6$	Повышенная (группа В) $k = 0,4$	Высокая (группа С) $k = 0,25$
$c_y^{(ycm)} = 0,3 \cdot IT$	$c_y^{(ycm)} = 0,2 \cdot IT$	$c_y^{(ycm)} = 0,12 \cdot IT$

Параметры относительного поворота  $\lambda_y^{(ycm)}, \beta_y^{(ycm)}$ , формируемые по установочной базе соответственно составляют:

$$\lambda_y^{(ycm)} = \frac{h}{4 \cdot L_y}, \quad (6) \quad \beta_y^{(ycm)} = \frac{h}{4 \cdot L_x}, \quad (7)$$

где  $L_y$  и  $L_x$  – расстояния между опорными элементами установочной базы в направлении осей  $Y$  и  $X$ .

С учетом (4) выражения (6), (7) принимают вид:

$$\lambda_y^{(ycm)} = \frac{k \cdot IT}{4 \cdot L_y}, \quad (8) \quad \beta_y^{(ycm)} = \frac{k \cdot IT}{4 \cdot L_x}. \quad (9)$$

Составляющие погрешности установки  $a_y^{(\partial.on)}, b_y^{(\partial.on)}$ , формируемые на двойной опорной базе, роль которой выполняет резьба, определяются по формуле:

$$a_y^{(\partial.on)} = b_y^{(\partial.on)} = 0,25 \cdot (\Delta_{D_1}^B - \Delta_{d_1}^H), \quad (10)$$

где  $\Delta_{D_1}^B, \Delta_{d_1}^H$  – предельные отклонения размеров метрической резьбы по среднему и наружному диаметру, которые равны  $\Delta_{D_1}^B = +274$  мкм и  $\Delta_{d_1}^H = +38$  мкм на размер М68х2-6G/6g (по ГОСТ 16093-2004).

Опорная база в данном случае является скрытой, параметр поворота  $y_y^{(on)}$  с учетом радиального зазора в резьбовом соединении (0,236 мм, ГОСТ 16093-2004) принимаем равным 0,00085 мм  $\approx 0,001$  мм. В ряде случаев для резьбовых соединений данный параметр можно принимать равным 0.

Таким образом, согласно (1), (2) с учетом (10) отклонения размеров  $\epsilon_x^{(\partial.on)}$  и  $\epsilon_y^{(\partial.on)}$ , получаемых от двойной опорной базы в направлении осей  $X$  и  $Y$  составляют:

$$\epsilon_x^{(\partial.on)} = a_y^{(\partial.on)} + \beta_y^{(ycm)} \cdot z + y_y^{(on)} \cdot y, \quad (11)$$

$$\epsilon_y^{(\partial.on)} = a_y^{(\partial.on)} + \lambda_y^{(ycm)} \cdot z + y_y^{(on)} \cdot x, \quad (12)$$

где  $x$  и  $y$  равны половине среднего диаметра резьбы,  $x = y = 0,5 \cdot D_{cp} = 0,5 \cdot 68 = 34$  мм.

Все расчетные значения параметров и коэффициентов сведены в таблицу 3.

Табл. 3. Сводная таблица значений коэффициентов

№	Нормальная (группа А)	Повышенная (группа В)
1	$k = 0,6$	$k = 0,4$
2	$h = 0,6 \cdot 0,3 = 0,18$ мм	$h = 0,4 \cdot 0,3 = 0,12$ мм
3	$c_y^{(ycm)} = 0,3 \cdot 0,3 = 0,09$ мм	$c_y^{(ycm)} = 0,2 \cdot 0,3 = 0,06$ мм
4	$\lambda_y^{(ycm)} = \frac{0,18}{4 \cdot 60} = 0,00075$ мм	$\lambda_y^{(ycm)} = \frac{0,12}{4 \cdot 60} = 0,0005$ мм
5	$\beta_y^{(ycm)} = \frac{0,18}{4 \cdot 50} = 0,0009 \approx 0,001$ мм	$\beta_y^{(ycm)} = \frac{0,12}{4 \cdot 50} = 0,0006$ мм
6	$a_y^{(\partial.on)} = b_y^{(\partial.on)} = 0,059$ мм	
7	$\epsilon_x^{(\partial.on)} = 0,106$ мм	$\epsilon_x^{(\partial.on)} = 0,102$ мм
8	$\epsilon_y^{(\partial.on)} = 0,104$ мм	$\epsilon_y^{(\partial.on)} = 0,1005$ мм
9	$\epsilon = 0,149$ мм	$\epsilon = 0,143$ мм

Соосность  $\varepsilon$  ниппеля и корпуса определяется как результат смещения осей в двух координатных направлениях  $\varepsilon_x^{(d.on)}$  и  $\varepsilon_y^{(d.on)}$ ,

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_x^{(d.on)^2} + \varepsilon_y^{(d.on)^2}}. \quad (13)$$

Допуск соосности в соответствии с рабочим чертежом соединения составляет 0,3/200 мм, с предельными отклонениями: нижнее -0,15 и верхнее +0,15 мм. С учетом полученных расчетных параметров, представленных в таблице 3, для нормальной геометрической точности имеем:

$$0,15 = \sqrt{0,106^2 + 0,104^2} = 0,149 \text{ мм.}$$

Из таблицы 3 видно, что погрешность установки, тем меньше, чем выше геометрическая точность сопрягаемых поверхностей элементов соединения. Результаты расчета указывают на то, что для достижения требуемой соосности ниппеля и корпуса размерную точность установочной базы следует выдерживать не ниже двенадцатого квалитета при нормальной степени геометрической точности базовых поверхностей. Ужесточение при необходимости требований геометрической точности повышает стоимость механической обработки деталей и соответственно себестоимость изделия в целом. В связи с этим при анализе и назначении требований точности для корпуса и ниппеля необходимо руководствоваться также ресурсными показателями долота и экономическими соображениями, что входит в круг задач дальнейшего исследования.

### Вывод

Для достоверной оценки погрешности установки, формируемой при соединении ниппеля с корпусом алмазного долота, целесообразно использовать аналитические методы теории баз, которые позволяют точно определить составляющие погрешности установки и оценить их влияние на позиционную точность деталей соединения. В результате представляется возможным дать обоснованные значения требований точности изготовления базовых поверхностей корпуса и ниппеля алмазного долота для организации автоматической сборки соединений.

### Список литературы

1. Балаба В.И., Бикбулатов И.К., Вышегородцева Г.И., Гинзбург Э.С., Кершенбаум В.Я., Оганов А.С. Буровой породоразрушающий инструмент: Учебное пособие для вузов. – М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2013. – 251 с.
2. Богомолов Р.М., Носов Н.В. Буровой инструмент. Энциклопедия изобретений (1914-2014гг.). Первая часть. – М.: Инновационное Машиностроение, 2015. – 400 с.
3. Богомолов Р.М., Носов Н.В. Буровой инструмент. Энциклопедия изобретений (1914-2014гг.). Вторая часть. – М.: Инновационное Машиностроение, 2015. – 427 с.
4. Марамзин А.В., Блинов Г.А. Алмазное бурение на твердые полезные ископаемые. Технология работ. – Л.: Недра, 1977. – 248 с.
5. Проектирование технологии: Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / И.М. Баранчукова, А.А. Гусев, Ю.Б. Крамаренко и др.; Под общ. ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Машиностроение, 1990. – 416 с.
6. Радкевич Я.М., Тимирязев В.А., Схиртладзе А.Г., Островский М.С. Расчет припусков и межпереходных размеров в машиностроении / Под ред. Тимирязева В.А. – М.: Высшая школа, 2007. – 272 с.
7. Технология автоматической сборки / А.Г. Холодкова, М.Г. Кристаль, Б.Л. Штриков и др.; под ред. А.Г. Холодковой. – М.: Машиностроение, 2010. – 560 с.
8. Мягков В.Д., Палей М.Л., Романов А.Б., Брагинский В.А. Допуски и посадки: Справочник. В 2-х ч. – Л.: Машиностроение, 1982. – Ч. 1, 543 с. – Ч. 2, 448 с.
9. Тимирязев В.А., Кутин А.А., Схиртладзе А.Г. Основы технологии машиностроения: учебник. – М.: ГОУ ВПО МГТУ «Станкин», 2013. – 547 с.
10. Балашкин Б.С. Основы технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 1969. – 559 с.
11. Машиностроение. Энциклопедия. Том III-5. Технология сборки в машиностроении / Под общ. ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Машиностроение, 2001. – 640 с.
12. Потемкин А.Н., Карягин Д.С. О возникновении первичных погрешностей при формировании показателей качества автоматизированной сборки резьбовых соединений // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2016. – Т. 15. – С. 1816-1820. – URL: <http://e-koncept.ru/2016/96282.htm>.

## References

1. Balaba V.I., Bikbulatov N.K., Vyshegorodtseva G.N., Ginzburg E.S., Kershenbaum V.Ya., Oganov A.S. Drilling rock–destroying tool: Textbook for universities. – M.: Gubkin Russian State University of Oil and Gas, 2013. – 251 p.
2. Bogomolov R.M., Nosov N.V. Drilling tool. Encyclopedia of Inventions (1914-2014). The first part. – M.: Innovative Mechanical Engineering, 2015. – 400 p.
3. Bogomolov R.M., Nosov N.V. Drilling tool. Encyclopedia of Inventions (1914-2014). The second part. – M.: Innovative Mechanical Engineering, 2015. – 427 p.
4. Maramzin A.V., Blinov G. A. Diamond drilling for solid minerals. Technology of works. – L.: Nedra, 1977. – 248 p.
5. Technology design: Textbook for students of engineering specialties of universities / I.M. Baranchukova, A.A. Gusev, Yu.B. Kramarenko, Yu.M. Solomentseva et al. – M.: Mechanical engineering, 1990. – 416 p.
6. Radkevich Ya.M., Timiryazev V.A., Skhirtladze A.G., Ostrovsky M.S., Timiryazeva V.A. Calculation of allowances and intermediate sizes in mechanical engineering. – M.: Higher School, 2007. – 272 p.
7. Technology of automatic assembly / A.G. Kholodkova, M.G. Krista., B.L. Shtrikov et al.; ed. A.G. Kholodkova. – M.: Mechanical Engineering, 2010. – 560 p.
8. Myagkov V.D., Paley M.L., Romanov A.B., Braginsky V.A. Tolerances and landings: Handbook. In 2 parts. – L.: Mechanical Engineering, 1982. – Part 1, 543 p. – Part 2, 448 p.
9. Timiryazev V.A., Kutin A.A., Skhirtladze A.G. Fundamentals of mechanical engineering technology: Textbook. – M.: MSUT «STANKIN», 2013. – 547 p.
10. Balakshin B.S. Fundamentals of mechanical engineering technology. – M.: Mechanical Engineering, 1969. – 559 p.
11. Mechanical engineering. Encyclopedia volume III-5. Assembly technology in mechanical engineering / ed. Y.M. Solomentsev. – M.: Mechanical Engineering. 2001. – 640 p.
12. Potemkin A.N., Karyagin D.S. On the occurrence of primary errors in the formation of quality indicators of automated assembly of threaded connections // Scientific and Methodological electronic journal “Concept”. 2016, vol. 15, pp. 1816-1820. URL: <http://e-koncept.ru/2016/96282.htm>.

*Сведения об авторах:*

*Information about authors:*

<b>Мартюшова Анастасия Алексеевна</b> – аспирант	<b>Martyushova Anastasia Alekseevna</b> – graduate student
<b>Хазанова Ольга Владимировна</b> – кандидат технических наук, доцент	<b>Khazanova Olga Vladimirovna</b> – candidate of technical sciences, associate professor
<b>Новикова Алёна Дмитриевна</b> – аспирант	<b>Novikova Alyona Dmitrievna</b> – graduate student
nastyu.martyushova@mail.ru	

Получена 19.08.2022