

УДК 622.002.5

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ОБОЛОЧКИ ПРИ СБОРКЕ СЕКЦИЙ ГЕОХОДА\*

*В.В. АКСЕНОВ, доктор техн. наук, профессор  
А.В. ВАЛЬТЕР, канд. техн. наук, доцент  
В.Ю. БЕГЛЯКОВ, канд. техн. наук, доцент  
(ЮТИ ТПУ, г. Юрга)*

Поступила 25 сентября 2014  
Рецензирование 23 октября 2014  
Принята к печати 03 ноября 2014

**Вальтер А.В.** – 652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26,  
Юргинский технологический институт (филиал)  
федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего профессионального образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,  
e-mail: avwalter@tpu.ru

Рассматриваются вопросы обеспечения геометрической точности при сборке крупногабаритных кольцевых сегментных изделий на примере сборки секций геолохода. Предложена схема установки, заключающаяся в базировании сектора поверхностью оболочки по неподвижным опорам, при этом оболочки отдельных секторов аппроксимируют оболочку секции в целом. Получены аналитические выражения для определения величины отклонения профиля сектора от номинальной окружности с учетом действительных размеров секторов и расстояний, устанавливающих положение опор. Выявлены факторы, влияющие на геометрическую точность оболочки секции, и установлен характер их влияния на точность. Приведена постановка задачи определения максимальных значений отклонения профиля сектора в зависимости от допусков на размеры секторов и расстояния, устанавливающие положение опор. Получены зависимости максимальных значений отклонения профиля сектора от величины допусков. Показано, что при предложенной схеме установки можно обеспечить более высокую точность оболочки секции, чем та, которую имеет отдельный сектор.

**Ключевые слова:** крупногабаритные кольцевые сегментные изделия, базирование, сборка, геометрическая точность, допуск, геолоход, оболочка.

## Введение

В настоящее время активно развивается новое направление в горном машиностроении, связанное с разработкой и исследованиями геолоходов. Геолоход – аппарат, предназначенный для проходки горных выработок различного назначения и расположения в подземном пространстве и движущийся в породном массиве с использованием геосреды [1, 2]. Первый опыт по созданию геоло-

ходов относится к 1980–1990-м гг. [3–5], когда, в частности, были изготовлены экспериментальные агрегаты ЭЛАНГ-3 и ЭЛАНГ-4. Результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в данной области показали необходимость постановки на производство новых, более совершенных образцов геолохода.

Геолоход как предмет производства обладает совокупностью специфических конструктивных признаков, обуславливающих необходимость

\* Полученные результаты достигнуты в ходе реализации комплексного проекта при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ. Договор №02.G25.31.0076.

разработки и обоснования новых технологических решений. В частности, ярко выраженной спецификой обладает носитель геохода – корпусные изделия геохода, являющиеся базовыми несущими элементами, которые взаимодействуют всей наружной поверхностью (оболочкой) с геосредой. Контакт наружной поверхности корпуса геохода с геосредой накладывает требование обеспечения геометрической точности оболочки. Несоблюдение требований геометрической точности приводит к нарушениям работоспособности машины, снижению ее надежности и энергоэффективности [6–9].

Наиболее распространенным вариантом компоновки геохода [10] является вариант с носителем, состоящий из головной и стабилизирующей секции. В соответствии с данной компоновкой разрабатывается опытный образец геохода ФЮРА. 612322.401.0.00.00.000 [11], имеющий

цилиндрическую оболочку радиусом  $1600 \pm 5$  мм (рис. 1). Каждая из секций является сборной и состоит из четырех секторов. Выполнение фрагментов оболочки на каждом из секторов радиусом  $1600 \pm 5$  мм является непростой технологической задачей, что связано с недостаточной жесткостью каждого из отдельных секторов и сложностью контроля радиуса оболочки. Механическая обработка секции в сборе недопустима вследствие высокой трудоемкости и наличия конструктивных элементов, прерывающих оболочку.

В связи с этим была поставлена задача обеспечения геометрической точности оболочки в процессе сборки секций геохода при значениях допусков на радиус секторов, превосходящих допуски на радиус секции. При этом в целях сокращения трудоемкости сборки необходимо стремиться к обеспечению точности без регулирования, пригонки и подбора.

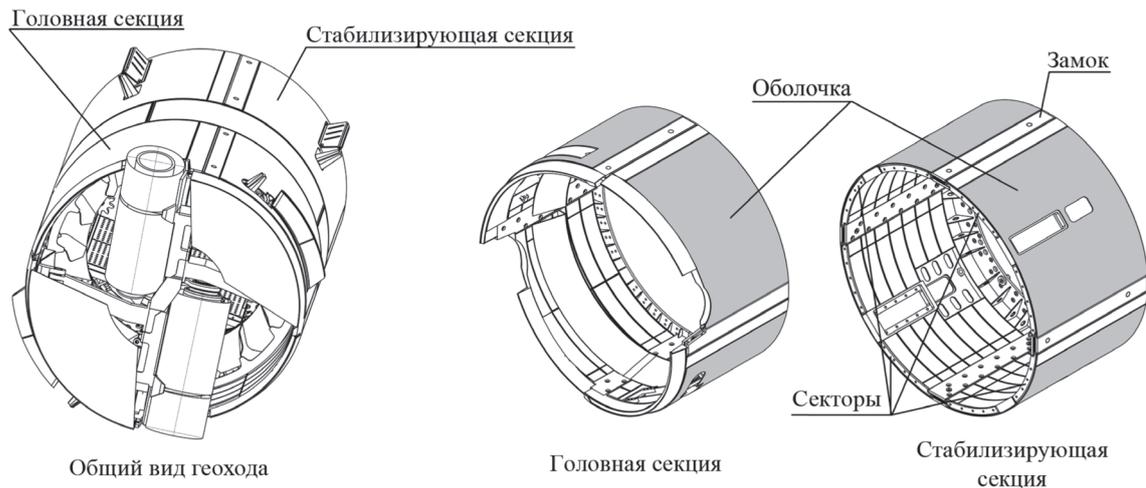


Рис. 1. Геоход и секции

## 1. Теория

### 1.1. Схема обеспечения геометрической точности оболочки секции

Сформулированная во введении задача может быть решена путем обеспечения при сборке такого положения секторов, при котором их оболочки будут с достаточной точностью аппроксимировать оболочку секции в целом. Данный подход реализуется по схеме, изображенной на рис. 2. Секторы устанавливаются на сборочной плите в упор к регулируемым опорам и закрепляются винтами. При этом должно обеспечиваться такое взаимное расположение секторов, при котором поверхность секции целиком находится

между наибольшим и наименьшим предельными цилиндрами. Для обеспечения собираемости заранее соединенные замки могут быть приварены по месту между секторами.

### 1.2. Расчетная схема и аналитические выражения

Для определения факторов, влияющих на точность формы оболочек секций и вывода аналитических выражений, устанавливающих данные связи, составим расчетную схему к модели формирования погрешности формы оболочки (рис. 3).

Для этого представим задачу в виде плоской, рассматривая поперечное сечение секции аналогично тому приему, который используется в

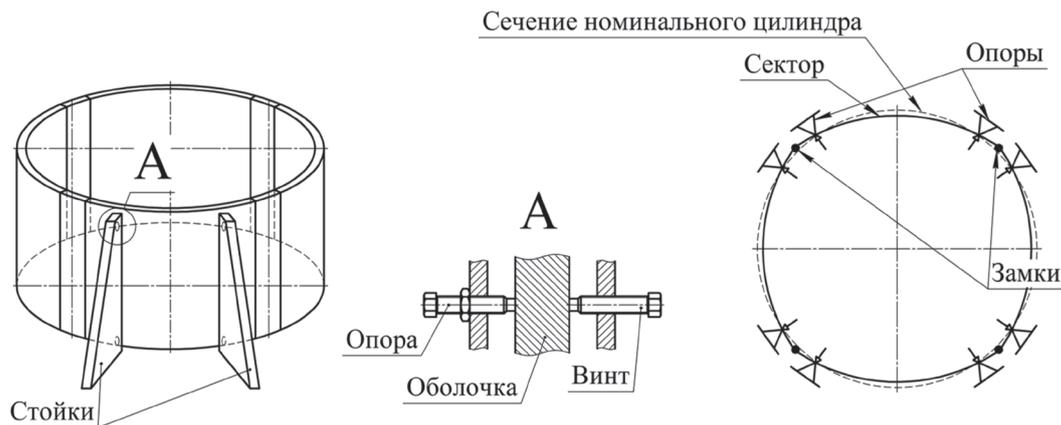


Рис. 2. Схема установки секторов при сборке

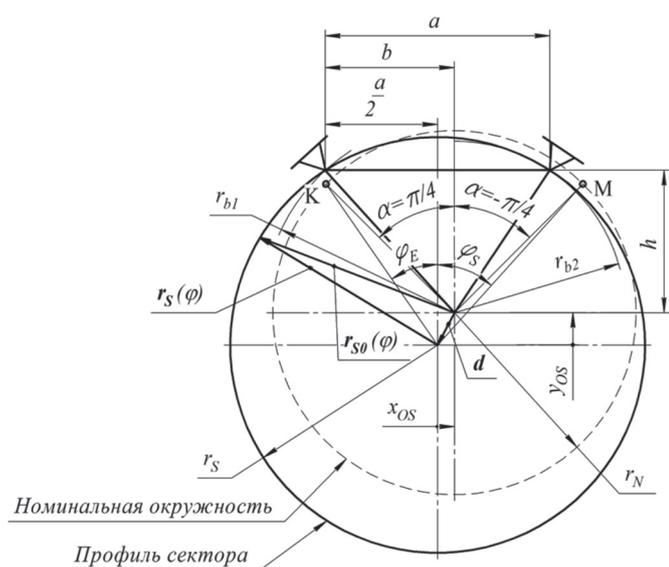


Рис. 3. Расчетная схема к модели формирования погрешности оболочки

работах [12–14]. Схема составлена для отдельного сектора, положение которого целиком определяется положением пары опор. В общем случае окружность данного сектора отличается от номинальной окружности секции как величиной радиуса, так и положением центра. Положение центра номинальной окружности задается совокупностью всех секторов секции [15], в связи с чем нельзя считать, что расстояния от центра номинальной окружности до опор являются равными.

Отклонение профиля сектора от номинальной окружности непостоянно и выражается следующим уравнением:

$$\Delta(\varphi) = |\mathbf{r}_{s0}(\varphi)| - r_N, \tag{1}$$

где  $r_N$  – радиус номинальной окружности оболочки;  $\mathbf{r}_{s0}(\varphi)$  – радиус-вектор точки сектора от

носителем центра номинальной окружности;  $\varphi$  – текущий угол радиуса-вектора.

Радиус-вектор точки сектора относительно центра номинальной окружности определяется следующей суммой векторов:

$$\mathbf{r}_{s0}(\varphi) = \mathbf{d} + \mathbf{r}_s(\varphi), \tag{2}$$

где  $\mathbf{d}$  – радиус-вектор центра дуги сектора относительно центра номинальной окружности;  $\mathbf{r}_s(\varphi)$  – радиус-вектор точки сектора относительно центра дуги сектора.

Приведенные выше радиусы-векторы могут быть определены из выражений

$$\begin{aligned} \mathbf{d} &= -x_{0s}\mathbf{i} - y_{0s}\mathbf{j}; \\ \mathbf{r}_s(\varphi) &= r_s \sin \varphi \mathbf{i} + r_s \cos \varphi \mathbf{j}, \end{aligned} \tag{3}$$

где  $x_{0s}$  и  $y_{0s}$  – координаты смещения центра дуги сектора относительно центра номинальной окружности;  $r_s$  – радиус сектора.

Координаты смещения центра дуги сектора определяются из следующих выражений:

$$\begin{aligned} x_{0s} &= \frac{a}{2} - \sqrt{r_{b1}^2 - h^2}; \\ y_{0s} &= h - \frac{1}{2}\sqrt{4r_s^2 - a^2}; \\ h &= \frac{2}{a}\sqrt{p(p-a)(p-r_{b1})(p-r_{b2})}; \\ p &= \frac{1}{2}(a + r_{b1} + r_{b2}), \end{aligned} \tag{4}$$

где  $a$  – расстояние между опорами;  $r_{b1}$  и  $r_{b2}$  – расстояния от центра номинальной окружности до опор.

Выражения (1)–(4) полностью описывают зависимость отклонения профиля сектора от номинальной окружности.

Поскольку корпус состоит из четырех секторов, отклонения необходимо рассматривать на участке номинальной окружности  $\alpha \in [-\frac{\pi}{4}; \frac{\pi}{4}]$ .

Для использования выражений (1)–(3) необходимо найти соответствующий участок  $\varphi \in [\varphi_s; \varphi_E]$  (см. рис. 3). Если принять за начало системы координат центр номинальной окружности, то уравнение окружности сектора можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} x &= -r_s \sin \varphi - x_{0s}; \\ y &= r_s \cos \varphi - y_{0s}. \end{aligned} \quad (5)$$

Для точки *K* (см. рис. 3), соответствующей  $\alpha = \frac{\pi}{4}$  и  $\varphi_E$ , выполняется условие  $-x = y$ . Для

точки *M* (см. рис. 3), соответствующей  $\alpha = -\frac{\pi}{4}$

и  $\varphi_s$ , выполняется условие  $x = y$ . Используя данные условия в выражениях (5), можно найти границы участка  $[\varphi_s; \varphi_E]$ :

$$\begin{aligned} \varphi_s &= \arcsin\left(\frac{x_{0s} - y_{0s}}{r_s \sqrt{2}}\right) - \frac{\pi}{4}; \\ \varphi_E &= \frac{\pi}{4} - \arcsin\left(\frac{-x_{0s} - y_{0s}}{r_s \sqrt{2}}\right). \end{aligned} \quad (6)$$

### 1.3. Факторы, влияющие на геометрическую точность оболочки секции

Анализ полученных выражений показывает, что на отклонение профиля сектора от номинальной окружности оказывают влияние следующие факторы:

- радиус номинальной окружности ( $r_N$ );
- действительный радиус сектора ( $r_s$ );
- действительные расстояния от центра номинальной окружности до опор ( $r_{b1}$  и  $r_{b2}$ );
- расстояние между опорами ( $a$ ).

Рассмотрим влияние перечисленных факторов на отклонение профиля сектора от номинальной окружности. Поскольку радиус номинальной окружности ( $r_N$ ) является величиной постоянной для рассматриваемого предмета производства, в дальнейших расчетах будем принимать его равным  $r_N = 1600$  мм в соответствии с параметрами геохода ФЮРА. 612322.401.0.00.00.000 [11].

В случае неравенства радиуса номинальной окружности и действительного радиуса сектора ( $r_N \neq r_s$ ) неизбежно будет возникать отклонение профиля сектора. Причем, как отмечалось выше, отклонение является непостоянным для различных участков дуги сектора. На рис. 4 приведена зависимость отклонения профиля сектора от полярного угла  $\varphi$ .

Из графика, изображенного на рис. 4, видно, что на характер зависимости существенное влияние оказывают действительные расстояния от центра номинальной окружности до опор.

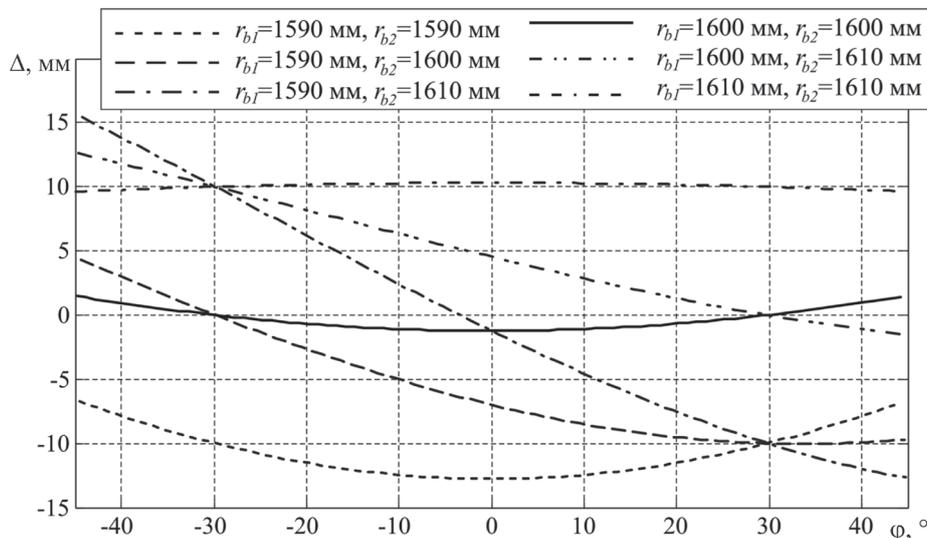


Рис. 4. Зависимость отклонения профиля сектора от полярного угла ( $r_N = 1600$  мм,  $r_s = 1608$  мм,  $a = 1600$  мм)

Учитывая, что для определения соответствия требованиям геометрической точности необходимо анализировать наибольшие отклонения, установим характер влияния перечисленных выше факторов на величину экстремального отклонения формы сечения сектора от номинальной окружности, определяемого как:

$$\Delta_{EX} = \arg \max |\Delta|. \quad (7)$$

Отрицательные значения  $\Delta_{EX}$  означают, что точка сектора с максимальным отклонением лежит внутри номинальной окружности.

На рис. 5 показана зависимость максимального значения отклонения профиля сектора от радиуса сектора. Нарушения непрерывности некоторых из приведенных зависимостей связаны с переходом экстремальных отклонений с середины сектора на его периферию, или наоборот.

На рис. 6 приведена зависимость максимального значения отклонения профиля сектора от расстояния между опорами. Как следует из графика (см. рис. 6), для определенных соотношений  $r_{b1}$  и  $r_{b2}$  существуют некоторые значения расстояния между опорами, обеспечивающие наименьшую величину отклонений профиля.

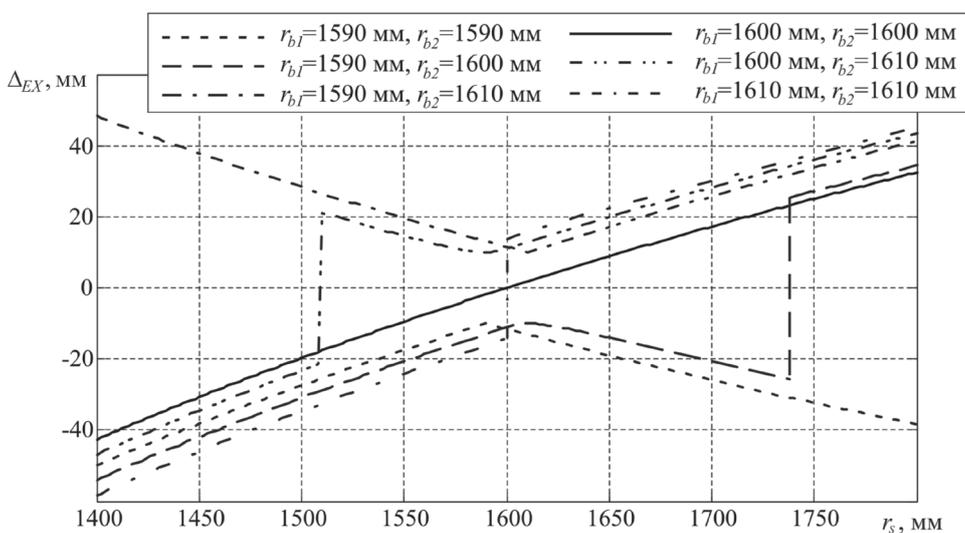


Рис. 5. Зависимость экстремального отклонения профиля сектора от радиуса сектора ( $r_N = 1600$  мм,  $a = 1600$  мм)

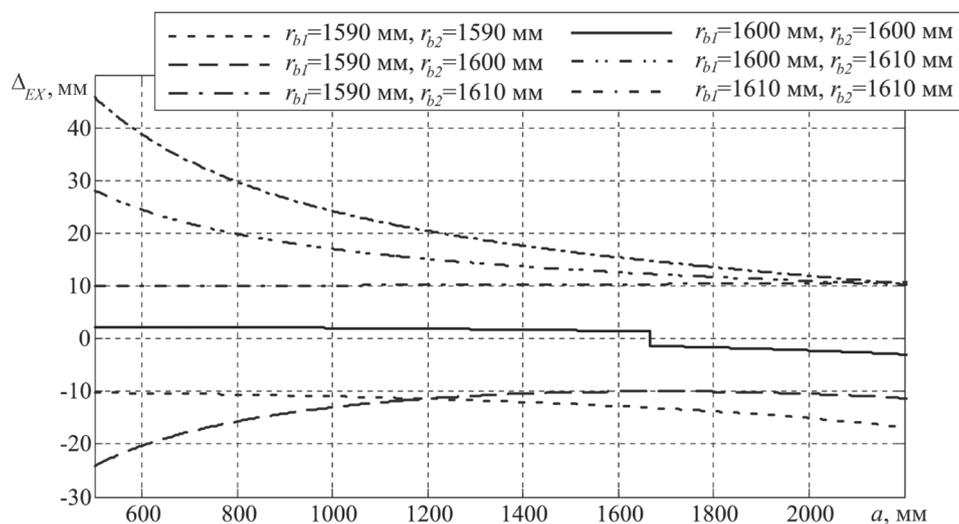


Рис. 6. Зависимость экстремального значения отклонения профиля сектора от расстояния между опорами ( $r_N = 1600$  мм,  $r_s = 1608$  мм)

### 1.4. Влияние допусков на геометрическую точность оболочки секции

С использованием полученных выражений (1)–(4) может быть решена задача определения максимального значения отклонения профиля сектора от номинальной окружности  $\Delta_{\max}$  по известным значениям радиуса номинальной окружности  $r_N$ , действительного радиуса сектора  $r_s$ , действительным расстояниям от центра номинальной окружности до опор  $r_{b1}$  и  $r_{b2}$ , расстояния между опорами  $a$ . Данная задача решается путем максимизации модуля функции  $\Delta$ :

$$\Delta_{\max} = \max |\Delta(\varphi)|; \quad (8)$$

$$\varphi \in [\varphi_{\min}; \varphi_{\max}],$$

где  $\varphi_{\min}$  и  $\varphi_{\max}$  – наименьшее и наибольшее значения угловой координаты профиля сектора соответственно.

Большой практический интерес имеет решение данной задачи с учетом допусков. Если принять симметричное расположение полей допусков, то решение данной задачи выражается в следующем виде:

$$\Delta_{\max} = \max |\Delta(\varphi, r_s, r_{b1}, r_{b2}, a)|;$$

$$\varphi \in [\varphi_{\min}; \varphi_{\max}];$$

$$r_s \in \left[ r_{sn} - \frac{1}{2} T_s; r_{s \max} + \frac{1}{2} T_s \right];$$

$$r_{b1} \in \left[ r_{bn} - \frac{1}{2} T_b; r_{bn} + \frac{1}{2} T_b \right]; \quad (9)$$

$$r_{b2} \in \left[ r_{bn} - \frac{1}{2} T_b; r_{bn} + \frac{1}{2} T_b \right];$$

$$a \in \left[ a_n - \frac{1}{2} T_a; a_n + \frac{1}{2} T_a \right],$$

где  $r_{sn}$ ,  $r_{bn}$ ,  $a_n$  – номинальные значения радиуса сектора, расстояния от центра номинальной окружности до опор и расстояния между опорами соответственно;  $T_s$ ,  $T_b$ ,  $T_a$  – допуски на радиус сектора, на расстояния от центра номинальной окружности до опор и на расстояние между опорами соответственно.

Как следует из рис. 6, изменение расстояния  $a$  между опорами в пределах обычных допусков не способно существенно повлиять на величину отклонений. В связи с этим упростим задачу, приняв  $a = \text{const}$ .

Проведенные в соответствии с (9) вычисления показали, что в случае симметричного расположения поля допуска максимальные значения отклонений наблюдаются при минимальном значении  $r_s$  и при минимальных или максимальных значениях  $r_{b1}$  и  $r_{b2}$ . В связи с этим дальнейшие расчеты  $\Delta_{\max}$  целесообразно проводить в следующем виде:

$$\Delta_{\max} = \max (\Delta(\varphi, r_s, r_{b1}, r_{b2}, a));$$

$$\varphi \in [\varphi_{\min}; \varphi_{\max}];$$

$$r_s = r_{sn} - \frac{1}{2} T_s; \quad (10)$$

$$r_{b1} = r_{bn} - \frac{1}{2} T_b, r_{b2} = r_{bn} + \frac{1}{2} T_b;$$

$$r_{b2} = r_{bn} - \frac{1}{2} T_b, r_{b1} = r_{bn} + \frac{1}{2} T_b;$$

$$a = \text{const}.$$

На рис. 7 представлены зависимости максимальных значений отклонения профиля сектора от допусков. Для принятых условий ( $r_N = r_{sn} = r_{bn} = 1600$  мм) при значениях допусков в пределах 20 мм зависимости  $\Delta_{\max}$  от  $T_s$  и  $T_b$  близки к линейным. Явная нелинейность становится заметной лишь при значениях допусков в сотни миллиметров.

Как следует из графиков, изображенных на рис. 7, на характер зависимостей влияет расстояние между опорами  $a$ . Установим характер данного влияния, построив зависимость максимальных значений отклонения профиля сектора от расстояния между опорами  $a$  и допусков  $T_s = T_b$  (рис. 8). На основании графика, представленного на рис. 8, можно заключить, что есть некоторое значение расстояния  $a$ , при котором максимальное значение отклонения профиля сектора минимально, причем данное значение мало отличается для различных значений допусков  $T_s$  и  $T_b$ .

## 2. Результаты и обсуждение

Выполненные расчеты показывают, что в общем случае все факторы, являющиеся исходными данными при расчете ( $r_N, r_s, r_{b1}, r_{b2}, a$ ), значимо влияют на величину отклонений профиля сектора от номинальной окружности и должны учитываться при определении величины погрешности формы оболочек в процессе сборки.

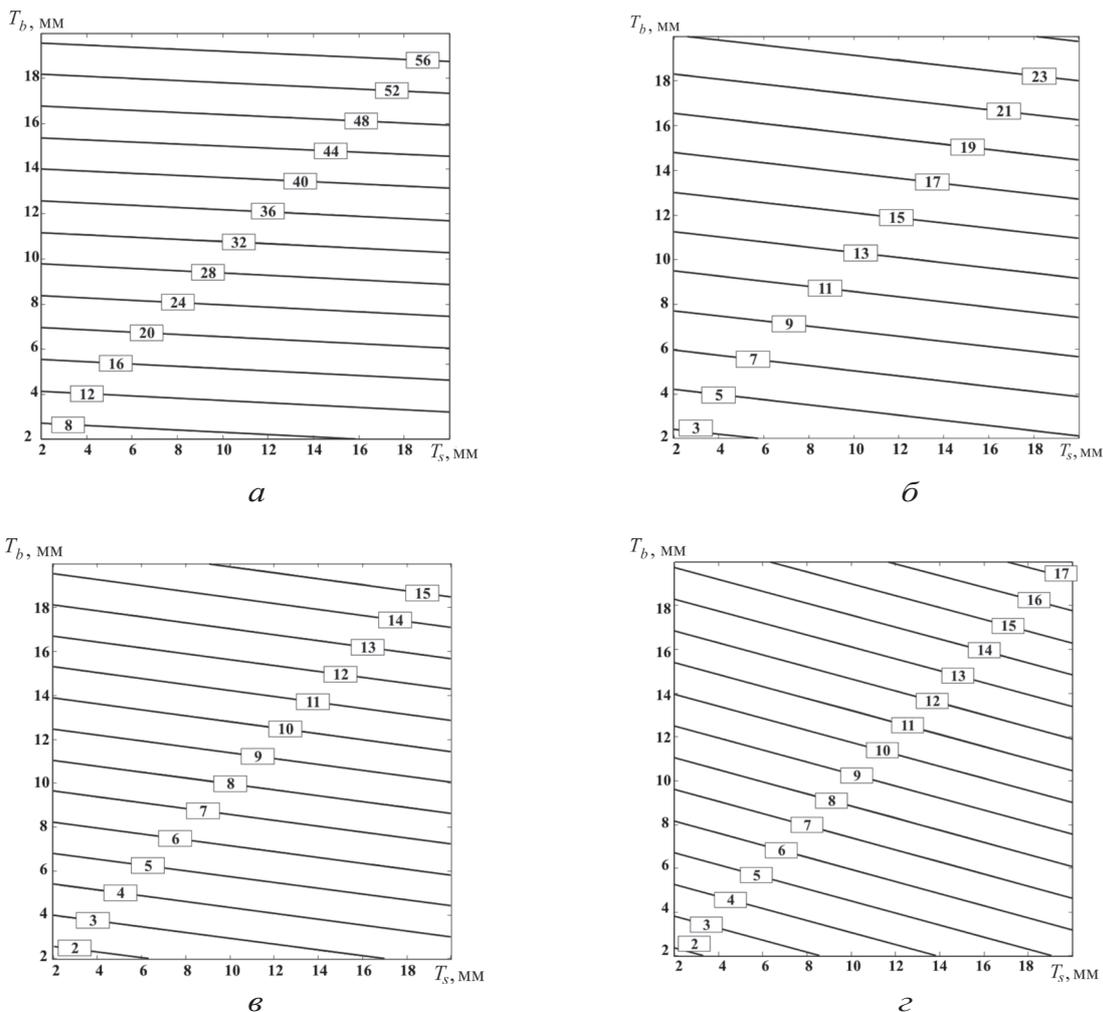


Рис. 7. Зависимость максимальных значений отклонения профиля сектора ( $\Delta_{max}$ , мм) от допусков при  $r_N = r_{sn} = r_{bn} = 1600$  мм:  
 $a - a = 400$  мм;  $б - a = 1000$  мм;  $в - a = 1600$  мм;  $г - a = 2200$  мм

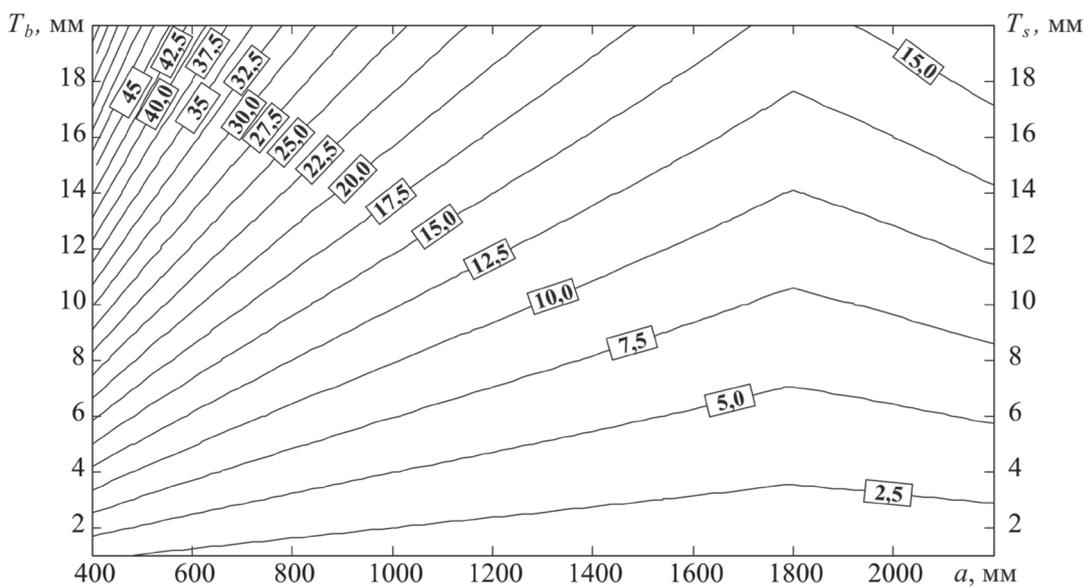


Рис. 8. Зависимость максимальных значений отклонения профиля сектора ( $\Delta_{max}$ , мм) от расстояния между опорами  $a$  и допусков при  $r_N = r_{sn} = r_{bn} = 1600$  мм

При этом изменение значения одних факторов (например,  $r_{b1}$  и  $r_{b2}$ ) зачастую приводит к изменению характера влияния других факторов (например,  $r_s$ ) на величину экстремального значения отклонения профиля сектора  $\Delta_{EX}$ .

Определение величины максимальных отклонений профиля сектора по заданным значениям исходных данных сводится к задаче максимизации одномерной функции  $\Delta(\varphi)$ . Учет допусков на величины исходных данных усложняет задачу, поскольку требует максимизации многомерной функции  $\Delta(\varphi, r_s, r_{b1}, r_{b2}, a)$ . Расчеты (см. рис. 7) показывают, что допуск на расстояние от центра номинальной окружности до опор  $T_b$  оказывает большее влияние на  $\Delta_{max}$ , чем допуск на радиус сектора  $T_s$ . Таким образом, ужесточение допуска на расстояние от центра номинальной окружности до опор  $T_b$  является одним из наиболее рациональных мероприятий по повышению точности формы оболочек секции при рассматриваемой схеме выполнения сборки.

Расчеты показывают, что существуют такие сочетания допусков  $T_s$  и  $T_b$ , а также расстояния  $a$ , при которых максимальное значение отклонения профиля сектора  $\Delta_{max}$  имеет меньшую величину, чем допуск на радиус сектора  $T_s$ . Это означает, что предложенная схема выполнения сборки позволяет добиться более высокой точности формы оболочки сектора, чем та, которую имеет отдельный сектор.

На величину  $\Delta_{max}$  значимое влияние оказывает величина расстояния между опорами  $a$ , также  $a$  определяет соотношение интенсивности влияния  $T_s$  и  $T_b$  на  $\Delta_{max}$ . С увеличением расстояния между опорами  $a$  растет интенсивность влияния  $T_s$  на  $\Delta_{max}$ . Таким образом, изменяя расстояние  $a$ , можно менять значимость допусков  $T_s$  и  $T_b$ . На практике это означает, что если технологически сложнее обеспечить точность сектора (уменьшить допуск  $T_s$ ), чем точность расположения опор (уменьшить допуск  $T_b$ ), то следует уменьшать расстояние между опорами  $a$ . В целом же следует отметить, что для заданных значений  $T_s$  и  $T_b$  существует такое значение  $a$ , при котором можно получить наименьшее значение  $\Delta_{max}$ .

## Выводы

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы.

1. Выражения (1)–(4) описывают отклонения профиля сектора от номинальной окружности при сборке по схеме, представленной на рис. 1. Выражение (6) устанавливает границы сектора, соответствующие  $1/4$  номинальной окружности.

2. Отклонение профиля сектора от номинальной окружности непостоянно по угловой координате, а для оценки соответствия отклонений требованиям точности необходимо определять экстремальные значения отклонения. Возникающие отклонения существенным образом зависят от расстояний, приведенных на схеме, изображенной на рис. 3.

3. При практических расчетах в процессе проектирования операции сборки необходимо учитывать значения допусков на расстояния от центра номинальной окружности до опор и на радиус сектора. Данная задача может быть решена с использованием выражений (10).

4. Предложенная схема реализации сборки дает возможность получить геометрическую точность оболочки без регулирования, пригонки и подбора. Это подтверждается расчетами, которые показывают, что существуют такие сочетания допусков на расстояния от центра номинальной окружности до опор и на радиус сектора и расстояния между опорами, при которых обеспечивается более высокая точность оболочки секции, чем та, которую имеет отдельный сектор.

## Список литературы

1. Аксенов В.В. Научные основы геовинчестерной технологии проведения горных выработок и создания винтоповоротных агрегатов: дис. ... д-ра техн. наук: 25.00.22, 05.05.06. – Кемерово, 2004. – 304 с.
2. Аксенов В.В. Геовинчестерная технология проведения горных выработок. – Кемерово: ИУУ СО РАН, 2004. – 263 с.
3. Разработка и испытание щитового вращающегося проходческого агрегата ЭЛАНГ / В.Ф. Горбунов, А.Ф. Эллер, В.В. Аксенов, В.Д. Нагорный, Ю.П. Савельев // Шахтное строительство. – 1985. – № 6. – С. 8–11.
4. Горбунов В.Ф., Эллер А.Ф., Аксенов В.В. Разработка и шахтные испытания вращающегося проходческого агрегата ЭЛАНГ // Уголь. – 1989. – № 9. – С. 33–34.
5. Винтоповоротный агрегат для щитовой проходки наклонных выработок на шахтах ассоциации «Ленинскуголь» / А.Ф. Эллер, В.В. Аксенов,

В.Ф. Горбунов, А.А. Филатов // Уголь. – 1992. – № 9. – С. 10–12.

6. Коган Б.И. Технологическое обеспечение качества горных машин и инструментов. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 1996. – 259 с.

7. Коган Б.И., Дрыгин М.Ю. Ремонтно-технологический блок для обеспечения качества монтажа крупнотоннажных узлов горных машин // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2012. – № 4 (57). – С. 15–18.

8. Camelio J.A., Hu S.J., Ceglarek D. Impact of Fixture Design on Sheet Metal Assembly Variation // Journal of Manufacturing Systems. – 2004. – Vol. 23, iss. 3. – P. 182–193.

9. Разработка требований к основным системам геохода / В.В. Аксенов, А.Б. Ефременков, В.Ю. Бегляков, М.Ю. Блащук, В.Ю. Тимофеев, А.В. Сапожкова // Горное оборудование и электромеханика. – 2009. – № 5. – С. 3–7.

10. Компоновочные решения машин для проведения горных выработок на основе геовинчестерной технологии / В.В. Аксенов, А.Б. Ефременков, В.Ю. Бегляков, П.В. Бурков, М.Ю. Блащук, А.В. Сапожкова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 1. – С. 251–259.

11. ФЮРА. 612322.401.0.00.00.000ПЗ. Геоход. Технический проект. Пояснительная записка. – Юрга: ЮТИ ТПУ, 2014. – 238 с.

12. Lowth S., Axinte D.A. An assessment of “variation conscious” precision fixturing methodologies for the control of circularity within large multi-segment annular assemblies // Precision Engineering. – 2014. – Vol. 38, iss. 2. – P. 379–390.

13. Straight-build assembly optimization: A method to minimize stage-by-stage eccentricity error in the assembly of axisymmetric rigid components (two-dimensional case study) / T. Hussain, Z. Yang, A.A. Popov, S. McWilliam // ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering. – 2011. – Vol. 133, iss. 3. – P. 031014/1-031014/9.

14. Liu T., Wang M.Y. An Approximate Quadratic Analysis of Fixture Locating Schemes // Proceedings of 7th International Conference on Automation Technology “Automation 2003”, Chia-Yi, Taiwan, September 2003. – P. 527–532.

15. Memon M., Hussain T., Ali Z. Minimizing Assembly Errors by Selecting Optimum Assembly Sequence in the Assembly of a Rigid Circular Structure // Mehran University Research Journal of Engineering & Technology. – 2012. – Vol. 31, iss. 4. – P. 743–754.

## OBRAVOTKA METALLOV

(METAL WORKING AND MATERIAL SCIENCE)

N 4(65), October – December 2014, Pages 19–28

### Ensuring the geometric accuracy of shell during assembly of Geohod sections

**Aksenov V.V.**, D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: v.aksenov@icc.kemsc.ru

**Walter A.V.**, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: avwalter@tpu.ru

**Beglyakov V.Yu.**, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: begljakov@gmail.com

Yurga Institute of Technology, TPU Affiliate, 26 Leningradskaya st., Yurga, 652055, Russian Federation

#### Abstract

The article shows the way to ensure the geometric accuracy of large segmented-ring structures, for example sections of Geohod. The method of installation, consisting in location of the sector by the shell surface on a fixed support therewith the shells of individual sectors approximate shell section as a whole, is offered. Mathematical expressions of deviation profile of the sector with the real sector size and distances, which define a position of the supports, are received. The factors affecting geometric accuracy of the shell section and the impact of these factors on the accuracy are examined. Problem of determination of the maximum deviation of the profile of the sector, depending on the tolerance of the sector size and distance, establishing the position of the supports, is set. The dependences of the maximum values of the deviation of the sector profile on the of the tolerance levels are gotten. It is shown that the proposed scheme can be installed to provide higher accuracy of the shell section, than that which has a separate sector.

#### Keywords:

large segmented-ring assemblies, fixturing, assembly, circularity, variation conscious, geokhod, shell

## References

1. Aksenov V.V. *Nauchnye osnovy geovinchesternoi tekhnologii provedeniya gornykh vyrabotok i sozdaniya vintopovorotnykh agregatov*. Diss. dokt. tekhn. nauk [Scientific bases geowinchester technology of mine working and creating of pivoted screw aggregates. Dr. eng. sci. diss.]. Kemerovo, 2004. 304 p.
2. Aksenov V.V. *Geovinchesternaya tekhnologiya provedeniya gornykh vyrabotok* [Geowinchester technology of mine working]. Kemerovo, ICC SB RAS Publ., 2004. 263 p.
3. Gorbunov V.F., Eller A.F., Aksenov V.V., Nagornyi V.D., Savel'ev Yu.P. Razrabotka i ispytanie shchitovogo vrashchayushchegosya prokhodcheskogo agregata ELANG [Development and testing of the shield tunneling machine rotating "Elango"]. *Shakhtnoe stroitel'stvo – Mine Construction*, 1985, no. 6, pp. 8–11.
4. Gorbunov V.F., Eller A.F., Aksenov V.V. Razrabotka i shakhtnye ispytaniya vrashchayushchegosya prokhodcheskogo agregata ELANG [Development and testing of a rotating shaft of the tunnel aggregate "Elango"]. *UGOL – Coal*, 1989, no. 9, pp. 33–34.
5. Eller A.F., Aksenov V.V., Gorbunov V.F., Filatov A.A. Vintopovorotnyi agregat dlya shchitovoi prokhodki nakhlonnykh vyrabotok na shakhtakh assotsiatsii "Leninskugol" [Screw-Pivoting aggregate for shield driving inclined workings in the mines of the association "Leninskugol"]. *UGOL – Coal*, 1992, no. 9, pp. 10–12.
6. Kogan B.I. *Tekhnologicheskoe obespechenie kachestva gornykh mashin i instrumentov* [Technological quality assurance for mining machines and tools]. Kemerovo, Kuzbassvuzizdat Publ., 1996. 259 p.
7. Kogan B.I., Drygin M.Yu. Remontno-tekhnologicheskii blok dlya obespecheniya kachestva montazha krupnotonazhnykh uzlov gornykh mashin [The repair and technological unit for support of mounting of large-capacity assemblies of mountain machines]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) – Metal Working and Material Science*, 2012, no. 4 (57), pp. 15–18.
8. Camelio J.A., Hu S.J., Ceglarek D. Impact of fixture design on sheet metal assembly variation. *Journal of Manufacturing Systems*, 2004, vol. 23, iss. 3, pp. 182–193. doi: 10.1016/S0278-6125(05)00006-3
9. Aksenov V.V., Efremenkov A.B., Beglyakov V.Yu., Blashchuk M.Yu., Timofeev V.Yu., Sapozhkova A.V. Razrabotka trebovaniy k osnovnym sistemam geokhoda [Requirements to Main Systems of Geohod]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika – Mining Equipment and Electromechanics*, 2009, no. 5, pp. 3–7.
10. Aksenov V.V., Efremenkov A.B., Beglyakov V.Yu., Burkov P.V., Blashchuk M.Yu., Sapozhkova A.V. Komponovochnye resheniya mashin dlya provedeniya gornykh vyrabotok na osnove geovinchesternoi tekhnologii [Layout solutions for mining machinery based on screw drilling technology]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' – Mining information-analytical bulletin*, 2009, no. 1, pp. 251–259.
11. Geohod. Technical project. Explanatory note no. FYuRA. 612322.401.0.00.00.000. Yurga, UTI TPU Publ., 2014. 238 p. (In Russian)
12. Lowth S., Axinte D.A. An assessment of "variation conscious" precision fixturing methodologies for the control of circularity within large multi-segment annular assemblies. *Precision Engineering*, 2014, vol. 38, iss. 2, pp. 379–390. doi: 10.1016/j.precisioneng.2013.12.004
13. Hussain T., Yang Z., Popov A.A., McWilliam S. Straight-Build Assembly Optimization: A Method to Minimize Stage-by-Stage Eccentricity Error in the Assembly of Axisymmetric Rigid Components (Two-Dimensional Case Study). *ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 2011, vol. 133, iss. 3, pp. 031014/1–031014/9. doi:10.1115/1.4004202
14. Liu T., Wang M.Y. An Approximate Quadratic Analysis of Fixture Locating Schemes. Proceedings of 7th International Conference on Automation Technology "Automation 2003", Chia-Yi, Taiwan, September 2003, pp. 527–532.
15. Memon M., Hussain T., Memon Z.A. Minimizing Assembly Errors by Selecting Optimum Assembly Sequence in the Assembly of a Rigid Circular Structure. *Mehran University Research Journal of Engineering & Technology*, 2012, vol. 31, iss. 4, pp. 743–754.

## Funding

The work was financially supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (Public contract no. 02.G25.31.0076).

Received 25 September 2014

Revised 23 October 2014

Accepted 03 November 2014