

ВЫЯВЛЕНИЕ ИСКАЖЕНИЙ ФОРМЫ ОБОЛОЧКИ ВНЕШНЕГО КОРПУСА МОДУЛЯ СОПРЯЖЕНИЯ ГЕОХОДА

А.А. Солдатова, студент

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38452)-6-22-48

E-mail: nastena.soldatova.93@mail.ru

Модуль сопряжения геохода – один из наиболее важных узлов в конструкции агрегата, который воспринимает нагрузки со стороны различных силовых механизмов, а также со стороны окружающей геосреды [1]. В процессе эксплуатации геохода внешний корпус контактирует с породой, совершая винтовое движение, в процессе которого возникают силы сопротивления движению. Величина этих сил напрямую влияет на потери энергии при движении аппарата. Величина данных сил зависит не только от конструктивно заложенных характеристик узла и условий его эксплуатации, но и от погрешностей, возникающих в процессе его изготовления. Возникающие погрешности должны непосредственно учитываться при проектировании технологических процессов изготовления подобных корпусов с целью обеспечения требований качества и принятия различных технологических решений, таких как определение припусков [2] и выбор методов контроля [3].

При производстве неизбежно возникновение отклонений реальной поверхности внешнего корпуса от конструктивно заданного цилиндра [4]. Эти отклонения могут быть вызваны как погрешностями исходных деталей и сборочных единиц, поступающих на сборку [5], так и особенностями реализации собственно сборки [6; 7]. Как продемонстрировано в работе [8] на примере стабилизирующей секции, среди возникающих при изготовлении таких корпусов погрешностей можно уверенно выделить два важных компонента: погрешности изготовления отдельных обечаек корпусов и погрешности их взаимного позиционирования при сборке корпуса. Однако помимо этого наблюдаются искажения формы, имеющие регулярный характер. Целью данной работы заключается определение искажений формы внешнего корпуса модуля сопряжения и выявление причин их возникновения.

Представленное в работе исследование проводилось на основе данных координатного контроля [9] внешнего корпуса модуля сопряжения опытного образца геохода. Координатный контроль выполнялся шарнирно-сочлененной координатно-измерительной машиной (КИМ) типа «искусственная рука» FARO Arm Edge 9. В процессе исследования контролировались точки на наружной поверхности внешнего корпуса модуля сопряжения. В результате контроля были получены облака точек, принадлежащих реальным поверхностям корпусов (рис. 1а). Координаты точек в дальнейшем использовались для анализа, который осуществлялся при помощи специально разработанного программного обеспечения по методике, приведенной в работе [10].

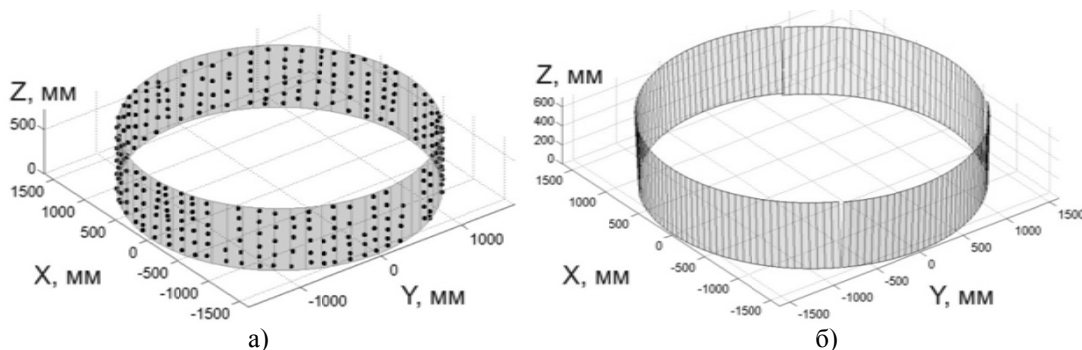


Рис. 1. Аппроксимирующие поверхности: а) общий цилиндр внешнего корпуса модуля сопряжения; б) сегменты внешнего корпуса модуля сопряжения

Выявление искажений формы оболочки выполнялось исходя из подхода, приведенного в работе [11], согласно которому обечайки корпуса могут быть описаны отдельными цилиндрическими поверхностями, имеющими различные действительные размеры и разориентировку относительно общей оси корпуса. Данные координатного контроля позволяют установить фактические размеры поверхностей, оценить обоснованность математической модели формирования погрешности и выявить значимые факторы, путем создания регрессионных моделей поверхностей и статистического анализа рядов данных. Были построены регрессионные модели цилиндрических поверхностей корпуса в целом (рис. 1а) и поверхности отдельных обечаек (рис. 1б).

Регрессионное моделирование выполнялось методом наименьших квадратов [12] с использованием следующего уравнения:

$$(a_y z_i + a_z (y_0 - y_i))^2 + ((a_x (x_0 - x_i) + a_x z_i)^2 + (a_x (y_0 - y_i) - a_y (x_0 - x_i))^2 - (r - \varepsilon_i)^2 = 0;$$

где x_i, y_i, z_i – координаты аппроксимируемых точек; $a_x, a_y, a_z, x_0, y_0, r$ – неизвестные коэффициенты регрессии; a_x, a_y, a_z – координаты направляющего вектора оси аппроксимирующего цилиндра; x_0, y_0 – координаты точки, через которую проходит ось аппроксимирующего цилиндра; r – радиус аппроксимирующего цилиндра; ε_i – остаток регрессионной модели.

После создания регрессионных моделей исходные координаты точек, полученных измерением, переводились в цилиндрические системы координат $\theta\rho Z$ (θ – угловая координата, ρ – расстояние (радиус) от оси Z до точки), связанные с осями аппроксимирующих цилиндрических поверхностей. Дальнейшие исследования проводились путем анализа точности созданных моделей поверхностей и анализа их адекватности. Определялись стандартные статистические характеристики отклонений точек контроля от поверхностей и производился регрессионный анализ моделей, путем проверки рядов остатков моделей. Ряды остатков исследовались на наличие корреляции, соответствие закону нормального распределения, отсутствие тренда и отсутствие автокорреляции. Соответствие закону нормального распределения проводилось по критерию Харке-Бера, отсутствие тренда определялось по критерию поворотных точек, отсутствие автокорреляции – по критерию Дарбина – Уотсона.

Характеристики полученных моделей цилиндрической поверхности корпуса в целом приведены в табл. 1 (уровень значимости при статистических расчетах принят равным 0,05). Как следует из результатов расчетов, среднее значение радиуса контролируемых поверхностей является близким к номинальному значению 1600 мм. Абсолютная погрешность лежит вблизи предельно допустимого значения (10 мм). Внешний корпус модуля сопряжения изготовлен несколько более точным, чем стабилизирующая секция, что может быть объяснено его меньшими габаритами по высоте.

Как показывает анализ рядов остатков (рис. 2) существует систематическая погрешность точек, полученных координатным контролем, от созданных моделей поверхностей корпусов в целом. Это подтверждается тем, что обнаружена значимая корреляция радиусов точек ρ от угловой координаты θ и координаты высоты Z . Анализ показал, что ряды остатков не соответствуют закону нормального распределения, в одном из рядов обнаруживается тренд, а также имеется положительная автокорреляция во всех рядах остатков.

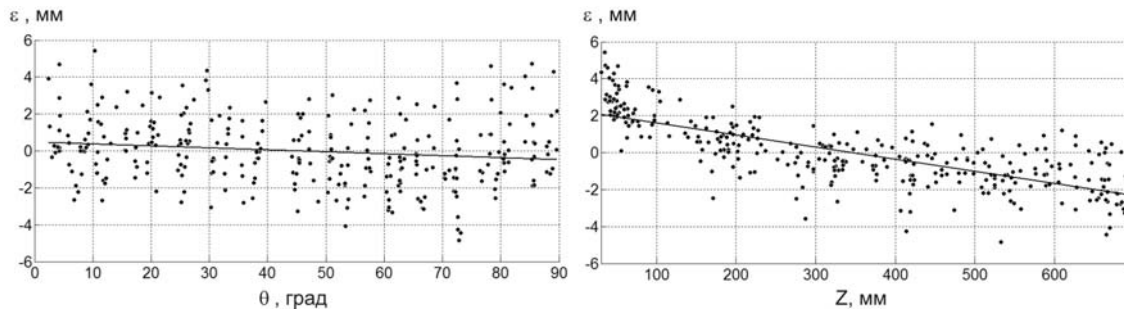


Рис. 2. Ряды остатков модели внешнего корпуса модуля сопряжения

В качестве наиболее возможной причины возникновения систематических погрешностей следует рассматривать погрешности, связанные с неточностями изготовления обечаек и их взаимного расположения, описываемых в модели, приведенной в работе [11]. В таком случае отклонения от моделей отдельных обечаек должны иметь меньшие значения и демонстрировать меньшую систематичность. В табл. 1 приведены характеристики регрессионных моделей. Радиусы отдельных секторов имеют значительный разброс, но не выходят за пределы, установленные предельным отклонением в 10 мм.

Для моделей отдельных обечаек наблюдается меньшая систематичность ряда остатков. Во всех рядах остатков отсутствует тренд. Все ряды соответствуют закону нормального распределения. Для большей части рядов отсутствует автокорреляция. В то же время, в большинстве случаев наблюдается значимая корреляция радиуса точек от их координат.

В целом, по результатам анализа следует констатировать, что отклонения от моделей сегментов являются систематическими. Это означает, что помимо погрешностей изготовления отдельных сегментов и погрешностей их взаимного расположения существуют искажения формы оболочки.

На рис. 3 представлены остатки моделей отдельных сегментов.

Таблица 1

Характеристики регрессионных моделей

Наименование характеристики	В целом	Номер обечайки				
		1	2	3	4	
Радиус аппроксимирующего цилиндра, мм	1598,23	1601,93	1601,44	1597,13	1602,06	
Стандартное отклонение, мм	1,72	0,92	0,94	0,70	0,68	
Абсолютная погрешность, мм	9,48	4,24	4,39	3,78	3,55	
Корреляция ρ по координате θ	Коэффициент	-0,179	-0,152	-0,62	0,113	0,103
	Вывод о значимости	Значима	Не значима	Значима	Не значима	
Корреляция ρ по координате Z	Коэффициент	-0,750	-0,802	-0,800	-0,965	-0,953
	Вывод о значимости	Значима				
Соответствие ряда остатков нормальному распределению	Статистика Харке-Бера	11,42	1,98	2,10	0,79	0,106
	Критическое значение	5,78	5,38	5,17	5,33	5,27
	Вывод	Не соответствует	Соответствует			
Отсутствие тренда в ряду остатков по координате θ	Число поворотных точек	173	53	39	51	47
	Критическое число	191,5	50,9	34,8	46,6	40,9
	Вывод	Присутствует	Отсутствует			
Отсутствие тренда в ряду остатков по координате Z	Число поворотных точек	204	56	46	61	46
	Критическое число	191,5	50,9	34,8	46,6	40,9
	Вывод	Отсутствует				
Отсутствие автокорреляции в ряду остатков по координате θ	Статистика Дарбина - Уотсона	1,42	1,21	1,11	1,24	1,99
	Вывод	Положительная автокорреляция				Отсутствует
Отсутствие автокорреляции в ряду остатков по координате Z	Статистика Дарбина - Уотсона	1,58	1,00	1,72	1,25	1,19
	Вывод	Положительная автокорреляция	Отсутствует	Положительная автокорреляция		

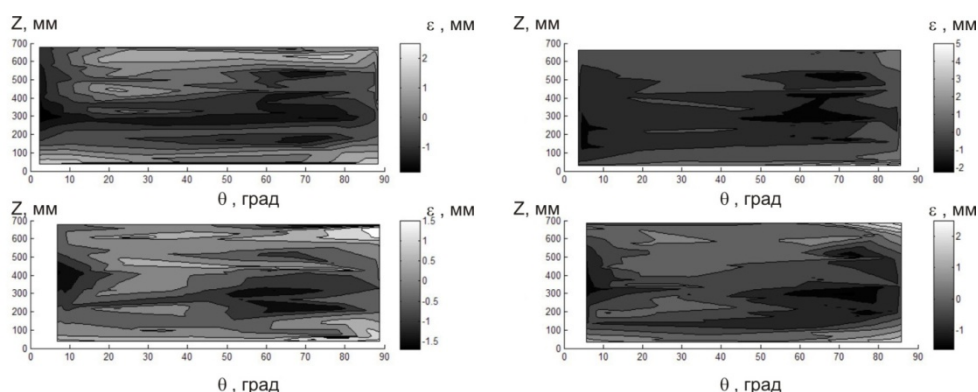


Рис. 3. Остатки моделей поверхностей сегментов внешнего корпуса

В сущности, величина остатков ϵ показывает искажения формы поверхностей сегментов. Выраженные полосы на графиках соответствуют положению на сегментах мощных ребер жесткости. В целом отклонения можно охарактеризовать следующим образом: в местах сегментов с наименьшей жесткостью (между ребрами, на удалении от фланцев, в местах замков) наблюдаются отрицательные значения отклонений. Причиной таких деформаций являются остаточные напряжения, возникающие в результате процессов сварки корпусов. Подтверждением этого является локализация мест с макси-

мальными градиентами искажений вблизи мест расположения мощных сварных швов. Наибольшие значения искажений (соответствующие наименьшим деформациям) характерны для нижней части обечаек. Это связано с тем, что в данном месте установлен наиболее мощный фланец конструкции, препятствующий смещению точек корпуса внутрь конструкции.

На рис. 4 приведено схематичное изображение искажений формы оболочки внешнего корпуса модуля сопряжения. Искажения придают корпусу седлообразную форму с выступами на местах установки ребер жесткости и с разноразмерными основаниями. В поперечном сечении корпус имеет форму, которая напоминает форму огибающей кривой «полярная роза».

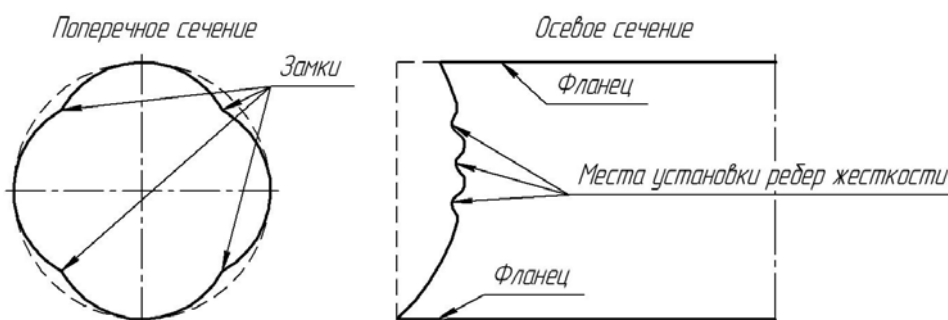


Рис. 4. Схема искажений формы оболочки внешнего корпуса модуля сопряжения

Исследование показало, что искажения формы оболочки внешнего корпуса модуля сопряжения имеют значимую величину и систематический характер. Появление искажений обусловлено деформациями в результате процессов сварки, а их величина и характер распределения по оболочке обусловлен конструктивными особенностями корпуса.

Литература.

1. Аксенов В.В., Хорешок А.А., Ефременков А.Б., Казанцев А.А., Бегляков В.Ю., Вальтер А.В. Создание нового инструментария для формирования подземного пространства // Горная техника. – 2015. – № 1 (15). – С. 24-26.
2. Вальтер А.В., Лагунов С.Е. Определение припуска на поверхности вращения сборных корпусных изделий геолода // Актуальные проблемы машиностроения. – 2015. – № 2. – С. 152-157.
3. Вальтер А.В., Березовский А.Н., Лагунов С.Е. Способ расчета координат отверстий при контроле ответственных фланцев геолода // Современное состояние и проблемы естественных наук. – 2015. – С. 238-242.
4. Вальтер А.В., Аксенов В.В. Варианты обеспечения точности оболочек и собираемости корпусов геолода // Механика XXI века. – 2015. – № 14. – С. 89-92.
5. Медарь А.В. Точностной анализ в технологическом проектировании сборочных процессов // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2009. – № 1 (102). – С. 37-42.
6. 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 et al. // Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME. – 2011. – Vol. 133. – Iss. 3. – Article number 031014.
7. Аксенов В.В., Вальтер А.В., Лагунов С.Е. Настройка положения опор методом триангуляции при сборке секций геолода // Технологии и материалы. – 2015. – № 1. – С. 31-36.
8. Вальтер А.В., Аксенов В.В., Бегляков В.Ю., Чазов А.П. Определение погрешности расположения секторов стабилизирующей секции геолода на основе данных координатного контроля // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2015. – № 4 (69). – С. 31-42.
9. Соломахо Д.В. Классификация средств координатных измерений / Д.В. Соломахо, С.С. Соколовский // Вестник БНТУ. – 2010. – № 1. – С. 35-39.
10. Вальтер А.В., Аксенов В.В., Чазов П.А. Математическое обеспечение обработки данных координатного контроля оболочки геолода // Технологии и материалы. – 2015. – № 3. – С. 4-9.
11. Walter A.V., Aksenov V.V. Determining deviations in geometry of the geokhod shells // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 770. – P. 439-444.
12. Nievergelt Y. Fitting cylinders to data // Journal of Computational and Applied Mathematics. – 2013. – Vol. 239. – P. 250-269.