

Научная статья  
УДК 528.486.4

**С.В. Гришко, Е.А. Гришко**

**S.V. Grishko, E.A. Grishko**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
г. Пермь, Российская Федерация

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

**А.С. Федосеева**

**A.S. Fedoseeva**

Мостоотряд № 123 (филиал АО «Уралмостострой»), г. Пермь, Российская Федерация

Mostootryad No. 123 (branch of Uralmostostroy JSC), Perm, Russian Federation

## **ИСПОЛНИТЕЛЬНАЯ СЪЕМКА АРОЧНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ СТРОЯЩЕГОСЯ СКЛАДА СЫРЫХ ОКАТЫШЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ АО «ВМЗ»**

### **EXECUTIVE SURVEY OF ARCHED METAL STRUCTURES OF THE RAW PELLETS WAREHOUSE UNDER CONSTRUCTION ON THE TERRITORY OF JSC "VMZ"**

Рассмотрена исполнительная съемка сборки и установки в проектное положение арочных металлоконструкций строящегося склада, включающая четыре вида инструментального контроля. Рассчитаны регламентированная и фактическая точность выполнения работ. Даны рекомендации относительно методики выполнения измерений.

**Ключевые слова:** исполнительная съемка, косвенные измерения, погрешность измерений, тахеометр, лазерный сканер.

The executive survey of the assembly and installation in the design position of arched metal structures of a warehouse under construction, including four types of instrumental control, is considered. The regulated and actual accuracy of the work are calculated. Recommendations are given regarding the measurement methodology.

**Keywords:** executive survey, indirect measurements, measurement error, total station, laser scanner.

В наше время монтаж зданий и сооружений из укрупненных конструкций является ведущим технологическим процессом строительного производства. Точность их сборки и установки, влияющая на надежность и безопасность эксплуатации строящегося объекта, в обязательном порядке проверяется

геодезическим контролем. Основным видом работ в рамках этой процедуры является исполнительная съемка, в ходе которой определяются геометрические параметры, требования к которым установлены в нормативно-технической и проектной документации для объектов строительства. Для измерений применяют как традиционные геодезические приборы (теодолит, нивелир), так и электронные (тахеометр, лазерный сканер) [1–4]. Главное, чтобы средства измерений и методы были выбраны с учетом особенностей объекта, контролируемого параметра и обеспечивали требуемую точность.

Объект строительства расположен в Нижегородской области на территории АО «Выксунский металлургический завод» (рис. 1). Строящийся склад сырых окатышей представляет собой однопролетное отдельно стоящее здание, разделенное одним поперечным температурным швом. Несущей конструкцией склада является арочная металлоконструкция размером 79×36 м. Количество арок – 20 шт., устанавливаемых с шагом 12 м. Арки изготавливаются из прокатных труб и имеют полукруглую форму.



Рис. 1. Строящийся склад сырых окатышей

Установка арочной металлоконструкции происходит в два этапа. На первом этапе выполняется сборка полуарок на земле путем соединения отдельных элементов арки в единую конструкцию. На втором – каждую собранную на земле полуарку стреловыми кранами устанавливают нижним концом на опорные устройства фундаментов, приводят в вертикальное положение и с

использованием соответствующих траверс поднимают на проектную отметку. Установленная и выверенная арочная ферма раскрепляется.

Для проверки качества каждого этапа выполняется исполнительная съемка. При этом на этапе сборки контролируются такие параметры, как длина блока (хорда) и стрела прогиба полуарки, а на этапе установки – стрела прогиба арки и положения опорных пластин арочных ферм в плане и высоте.

Согласно СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87» [5], допуски по контролируемым параметрам при сборке и установке конструкции в проектное положение приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

## Требования к сборке конструкции

Параметр	Предельные отклонения, мм	Контроль (метод, объем, вид регистрации)
Стрела прогиба (кривизна) между точками закрепления сжатых участков пояса фермы и балки ригеля	0,0013 длины закрепленного участка, но не более 15	Измерительный, каждый элемент, журнал работ
Расстояние по длине блока	+/- 7	Измерительный, каждый блок, журнал работ

Таблица 2

## Требования к установке конструкции в проектное положение

Параметр	Предельные отклонения, мм	Контроль (метод, объем, вид регистрации)
Отметки опорных узлов	+/- 10	Измерительный, каждый узел, журнал работ
Смещение ферм, балок, ригелей с осей на оголовках колонн из плоскости рамы	+/- 15	Измерительный, каждый элемент, геодезическая исполнительная схема
Стрела прогиба (кривизна) между точками закрепления сжатых участков пояса фермы и балки ригеля	0,0013 длины закрепленного участка, но не более 15	Измерительный, каждый элемент, журнал работ

Предельное значение абсолютной погрешности применяемых для контрольных измерений методов в соответствии с техническим заданием на производство строительно-монтажных работ должно соответствовать условию

$$\delta x_{\text{мет}} \leq k \times \Delta x, \quad (1)$$

где  $\Delta x$  – допуск контролируемого параметра;  $k$  – коэффициент, установленный техническим заданием и равный 0,2.

В условиях строительной площадки часто бывает невозможно выполнить прямые измерения контрольных параметров либо из-за проблем с установкой приборов, либо это связано с безопасностью производства работ, поэтому определение их величин происходит косвенным способом, точность которого зависит от используемых инструментов, способов и методик измерения. В рассматриваемом нами примере сборки и установки арочной металлоконструкции все контрольные измерения производятся подобным образом, поэтому требуют обязательного предварительного обоснования достижения требуемой точности.

На этапе сборки конструкции проверяется такой параметр, как длина блока – это расстояния от опорной пластины до монтажного стыка верхнего и нижнего пояса полуарки. Исполнительная съемка здесь производится при помощи электронного тахеометра Leica TS10 R1000 (1") с использованием минипризмы, прикладываемой непосредственно в местах измерений. На примере нижнего пояса фермы по измеренным расстояниям  $d_1$ ,  $d_2$  и углу между ними  $\beta$ , согласно рис. 2, определяется контрольное расстояние  $d_3$ , которое по теореме косинусов находится как

$$d_3 = \sqrt{d_1^2 + d_2^2 - 2d_1d_2 \cos(\beta)}. \quad (2)$$

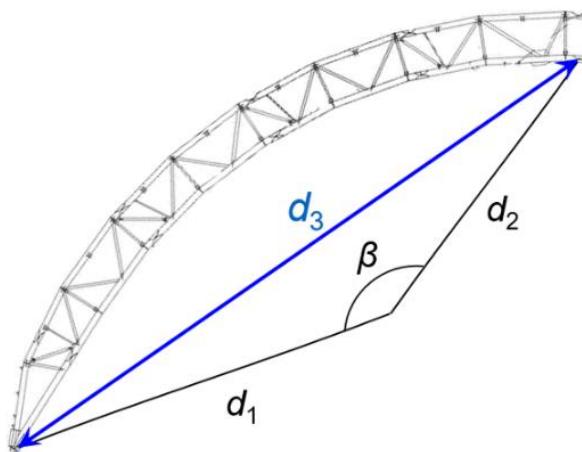


Рис. 2. Определение длины блока нижнего пояса фермы

Погрешность его определения, согласно методу переноса погрешностей [6], выразится как

$$\begin{aligned}
 m_{d_3}^2 &= \left( \frac{\partial d_3}{\partial d_1} \right)^2 m_{d_1}^2 + \left( \frac{\partial d_3}{\partial d_2} \right)^2 m_{d_2}^2 + \left( \frac{\partial d_3}{\partial \beta} \right)^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2} = \\
 &= \left( \frac{d_1 - d_2 \cos(\beta)}{\sqrt{d_1^2 + d_2^2 - 2d_1d_2 \cos(\beta)}} \right)^2 m_{d_1}^2 + \left( \frac{d_2 - d_1 \cos(\beta)}{\sqrt{d_1^2 + d_2^2 - 2d_1d_2 \cos(\beta)}} \right)^2 m_{d_2}^2 + (3) \\
 &+ \left( \frac{d_1 d_2 \sin(\beta)}{\sqrt{d_1^2 + d_2^2 - 2d_1d_2 \cos(\beta)}} \right)^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2}.
 \end{aligned}$$

Подставив в выражение (3) точностные характеристики тахеометра ( $m_\beta = 1''$ ,  $m_d = 1$  мм) и значения измеряемых величин ( $d_1 = d_2 = 25$  м,  $\beta = 160^\circ$ ), получим предельную погрешность определения расстояния  $M_{d3} = 2m_{d3} = 2,8$  мм при допустимой 1,4 мм, в соответствии с табл. 1 и выражением (1). Очевидно, что однократных измерений будет недостаточно для достижения требуемой точности, поэтому рассчитаем их необходимое количество как

$$n = \frac{M_{d_3}^2}{(1.4)^2} = 4. \quad (4)$$

Таким образом, для надлежащего выполнения операционного контроля длины блока измерения необходимо сделать не менее четырех раз или провести два полных приема.

Второй контрольный параметр, который проверяется при сборке полуарки, – стрела прогиба (кривизна). Исполнительной съемке здесь подлежат опорная пластина, сварные швы и монтажный стык сборочного элемента арки в соответствии с рис. 3. Работа выполняется электронным тахеометром Leica TS10 R1000 (1") и миниотражателем, прикладываемым непосредственно в местах измерений. Измерение отклонений точек конструкции в местах сварных швов от проектного профиля, закрепленного по крайним точкам собранного блока, выполняется с помощью САПР nanoCAD.

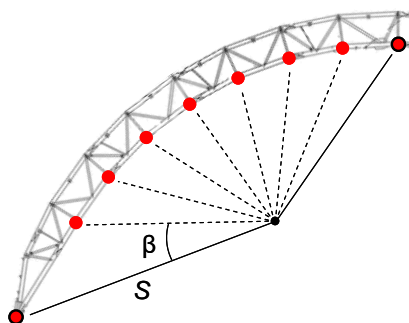


Рис. 3. Определение стрелы прогиба конструкции тахеометром

Точность контрольных измерений в этом случае главным образом зависит от погрешностей инструментальной съемки точек методом линейно-угловой засечки и выражается как

$$m_{xy}^2 = m_s^2 + \left( \frac{m_\beta}{\rho} \right)^2 S^2. \quad (5)$$

Подставив в выражение (5) точностные характеристики тахеометра ( $m_\beta = 1''$ ,  $m_s = 1$  мм) и максимальное расстояние  $S = 25$  м, получим предельную погрешность съемки точек  $M_{xy} = 2m_{xy} = 2,0$  мм при допустимой 3,0 мм, в соответствии с табл. 1 и выражением (1). Как следует из расчета, однократных измерений здесь будет достаточно для достижения требуемой точности. Тем не менее для контроля измерения выполняют, как правило, дважды.

На этапе установки конструкции в проектное положение проверяется стрела прогиба собранной и установленной арки. Исполнительная съемка здесь выполняется при помощи лазерного 3D-сканера Leica ScanStation P40 безотражательным способом. Для обработки данных лазерного сканирования используется программное обеспечение Leica Cyclone и специальный модуль ReClouds в интеграции с САПР nanoCAD. Снятое облако точек накладывается на проектную 3D-модель, и по контрольным точкам определяется несоответствие фактического радиуса фермы проектному. Точность контрольных измерений  $\Delta$  в этом случае главным образом зависит от погрешностей пространственного определения фактического положения контрольных точек – точек стыка (Т.С.) смежных сегментов конструкции арки (рис. 4).

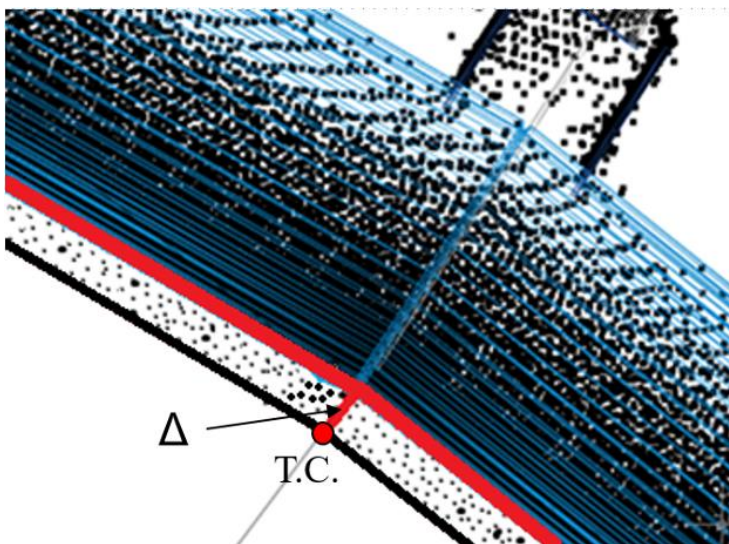


Рис. 4. Определение стрелы прогиба установленной арки по данным съемки лазерным сканером

Погрешность измерения точки лазерным сканером в горизонтальной плоскости можно описать выражением (5), а по высоте, учитывая что  $h = S \tan(\gamma)$ , как

$$m_h^2 = \operatorname{tg}(\gamma)^2 m_s^2 + \frac{S^2}{\cos^4(\gamma)} \times \frac{m_\gamma^2}{\rho^2}. \quad (6)$$

Тогда погрешность определения лазерным сканером пространственного положения съемочной точки  $m_{\text{лс}}$  выразится как

$$m_{\text{лс}}^2 = m_{\text{xy}}^2 + m_h^2. \quad (7)$$

Подставив в выражения (5, 6) точностные характеристики лазерного сканера ( $m_{\beta,\gamma} = 8''$ ,  $m_s = 1,2 \text{ мм} + 10 \text{ ppm}$ ), максимальное расстояние и угол съемки ( $S = 50 \text{ м}$ ,  $\gamma = 45^\circ$ ), из выражения (7) получим  $m_{\text{лс}} = 5,0 \text{ мм}$ .

В соответствии с рис. 4 фактическое положение контрольной точки ТС находится на пересечении двух прямых, определяющих нижние границы смежных сегментов конструкции арки и построенных по множеству точек съемки лазерным сканером. Таким образом, погрешность ее положения, а равно и точность контрольных измерений можно представить как

$$m_{\text{ТС}} = m_\Delta = \frac{m_{\text{лс}}}{\sqrt{2l / \rho S}}. \quad (8)$$

Подставив в выражение (8) длину сегмента конструкции арки  $l \approx 5,6 \text{ м}$ , плотность сканирования  $\rho = 0,31 \text{ мм/м}$  и максимальное расстояние съемки  $S = 50 \text{ м}$ , получим предельную погрешность контрольных измерений  $M_\Delta = 2m_\Delta = 0,4 \text{ мм}$  при допустимой  $3,0 \text{ мм}$ , в соответствии с табл. 2 и выражением (1). Таким образом, точности лазерного сканера достаточно, чтобы произвести контроль стрелы прогиба между точками закрепления сжатых участков пояса фермы.

Также на этапе установки конструкции в проектное положение контролируется положение опорных пластин арочных ферм в плане и высоте. Исполнительная съемка здесь производится по углам каждой опорной пластины (рис. 5) при помощи электронного тахеометра Leica TS10 R1000 (1") и минипризмы с привязкой к геодезической разбивочной основе строительной площадки. Полученные результаты в САПР nanoCAD сравнивают с проектным плановым и высотным положением опорных пластин. Фактическую отметку центра опорной пластины вычисляют методом интерполяции отметок измеренных точек.

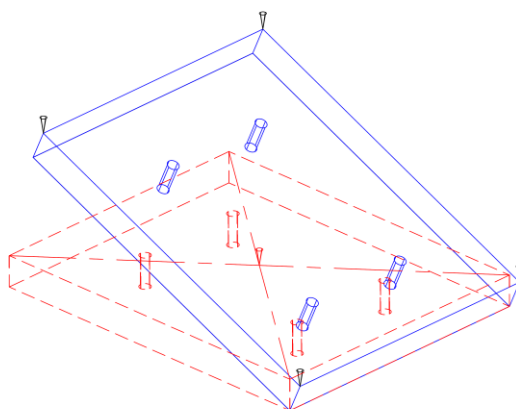


Рис. 5. Определение положения опорной пластины

Точность контрольных измерений в этом случае зависит от погрешностей инструментальной съемки относительно геодезической разбивочной основы (ГРО) строительной площадки и выражается в горизонтальной плоскости и по высоте как

$$m_{xy}^2 = m_s^2 + \left( \frac{m_\beta}{\rho} \right)^2 S^2 + m_{\text{ГРО}}^2 ; \quad (9)$$

$$m_h^2 = \text{tg}(\gamma)^2 m_s^2 + \frac{S^2}{\cos^4(\gamma)} \times \frac{m_\gamma^2}{\rho^2} + m_{\text{ГРО}}^2 . \quad (10)$$

Тогда погрешность определения отметки центра опорной пластины можно рассчитать как

$$m_h^2 = \frac{m_h^2}{n} , \quad (11)$$

где  $n$  – количество измерений (в нашем случае – это четыре угла опорной пластины).

Подставив в выражения (9–11) точностные характеристики тахеометра ( $m_{\beta,\gamma} = 1''$ ,  $m_s = 1 \text{ мм} + 1,5 \text{ ppm}$ ), максимальные расстояние и угол съемки ( $S = 50 \text{ м}$ ,  $\gamma = 15^\circ$ ), а также точность привязки к ГРО методом обратной линейно-угловой засечки  $m_{\text{ГРО}} = 1 \text{ мм}$  [7], получим предельную погрешность съемки смещения ферм с осей  $M_{xy} = 2m_{xy} = 3,0 \text{ мм}$  при допуске 3,0 мм, согласно табл. 2 и выражению (1). Предельная погрешность определения отметок опорных пластин арочных ферм составит  $M_h = 2m_h = 1,1 \text{ мм}$  при допуске 2,0 мм, согласно табл. 2 и выражению (1). Как следует из расчета, однократных измерений здесь будет достаточно для достижения требуемой точности.



Рассмотренные выше расчеты точности производства некоторых видов исполнительной съемки на примере сборки и установки арочных металлоконструкций показывают, что даже применение высокоточных приборов не гарантирует получение результатов с необходимой точностью при однократных измерениях. Поэтому для выполнения контрольных измерений с требуемым качеством нужно обязательно предварительно обосновывать методики наблюдений исходя из применяемых инструментов. Последнее может быть реализовано на стадии разработки проекта производства геодезических работ или квалифицированным специалистом, ответственным за выполнение данного вида работ.

### Список литературы

1. Хасанов Т.В., Эмирян А.В. Современные методы контрольно-исполнительных съемок в строительстве // Вестник магистратуры. – 2017. – № 1-3 (64).
2. Ахмедова Д.Р. Преимущества использования электронных тахеометров leica при строительстве зданий и сооружений // Вестник магистратуры. – 2016. – № 12-4 (63).
3. Богданов А.Н., Алешутин И.А. Наземное лазерное сканирование в строительстве и вим-технологиях // Известия КазГАСУ. – 2018. – № 4 (46).
4. Кошан Е.К. Возможности, преимущества и недостатки наземного лазерного сканирования // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2017. – № 1.
5. СП 70.13330.2012. «Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87» – 2012.
6. Гудков В.М., Хлебников А.В. «Математическая обработка маркшейдерско-геодезических измерений» – М.: Недра, 1990. – 335 с.
7. Никонов А.В. К вопросу о точности обратной линейно-угловой засечки на малых расстояниях // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2013. – № 1.

### Сведения об авторах

**Гришко Сергей Вадимович** – научный сотрудник кафедры маркшейдерского дела, геодезии и геоинформационных систем, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: svgrishko@mail.ru

**Гришко Елена Александровна** – инженер кафедры маркшейдерского дела, геодезии и геоинформационных систем, Пермский национальный исследовательский политехнический университет.

**Федосеева Анастасия Сергеевна** – инженер-геодезист, Мостоотряд № 123 (филиал АО «Уралмостострой»), e-mail: anastasiyaf0852@yandex.ru

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Получена:** 31.01.2024

**Одобрена:** 08.02.2024

**Принята к публикации:** 10.02.2024

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Гришко, С.В. Исполнительная съемка арочных металлоконструкций строящегося склада сырых окатышей на территории АО «ВМЗ» / С. В. Гришко, Е. А. Гришко, А. С. Федосеева // *Master's Journal*. – 2024. – № 1. – Art. 10.

Please cite this article in English as: Grishko S.V., Grishko E.A., Fedoseeva A.S. Executive survey of arched metal structures of the raw pellets warehouse under construction on the territory of JSC «VMZ». *Master's Journal*, 2024, no. 1, art. no. 10.