

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СООСНОСТИ ВАЛОВ ШАХТНЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ТИПА МАРКШЕЙДЕРСКИМ СПОСОБОМ В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

А.В. Третьяк, Национальный горный университет, Украина

В статье приведена часть результатов исследования оценки точности определения соосности валов вентиляторов главного проветривания шахт маркшейдерским способом, а именно – вентиляционных установок центробежного типа, и только в вертикальной плоскости.

Вентиляторы главного проветривания шахт являются объектом повышенного внимания, так как от надёжности их работы зависит безопасность персонала [2]. Качество эксплуатации вентиляторных установок обеспечивается механической службой шахты, в соответствии с руководящими документами [3]. В силу ряда причин [4, 5] возникла необходимость дополнительного контроля соосности валов вентиляторных установок. Данная задача была поставлена перед маркшейдерской службой. В связи с этим, были предложены некоторые способы решения поставленной задачи [6, 7]. Один из предложенных способов был включен в маркшейдерскую инструкцию, изданную в Украине в 2001 году.

В соответствии с требованиями действующей “Инструкции...” [1], маркшейдерская служба угольных шахт систематически должна выполнять комплекс работ по определению соосности валов вентиляторов главного проветривания шахт. Однако производственный опыт показал, что приведенный в указанной инструкции способ имеет ограниченную область применения. Поэтому на кафедре маркшейдерии Государственного ВУЗ “Национальный горный университет” был проведен ряд теоретических и практических исследований по разработке новых способов решения данной производственной задачи [8, 9, 10, 11, 12]. В результате многочисленных производственных экспериментов, выполненных на базе угольных шахт Западного Донбасса и ГП “Львовуголь”, был сделан вывод о целесообразности и возможности применения различных способов определения соосности валов в определенных условиях.

В данной работе рассмотрен случай определения соосности валов в вертикальной плоскости при маркшейдерском обслуживании главных вентиляторных установок центробежного типа. Для решения задачи определения соосности валов необходимо получить следующие результаты:

1. Наклон осей валов относительно горизонтальной плоскости.
2. Разворот осей валов относительно друг друга.
3. Радиальное смещение осей валов в месте их стыковки.

Наклон осей валов относительно горизонтальной плоскости является промежуточным результатом для определения разворота осей валов относительно друг друга. Поэтому отдельно для него оценка точности не требует рассмотрения.

Выполненная оценка точности относится к наиболее распространенной и доступной методике определения соосности в вертикальной плоскости двух стыкующихся между собой валов, выполняемой нивелирами типа Н-1 и Н-3. В качестве реек в этом способе могут быть использованы нивелирная шашечная рейка для нивелирования II класса с делениями 5 мм, или металлическая линейка с ценой деления 1 мм. Точность взятия отсчетов при этом составляет, соответственно, 0,05 мм и 0,1 мм. Все отсчеты берутся с одной установки нивелира, это позволяет исключить из конечного результата погрешность определения высотной отметки исходного репера. Расстояния от нивелира до точек установки реек на поверхности валов находится в диапазоне от 2 м до 6 м, что обусловлено особенностями расположения оборудования в машинном зале, и позволяет минимизировать погрешности взятия отсчетов. Учитывая непрерывный режим работы главных вентиляционных установок шахт, при измерениях рекомендуется не пользоваться нивелирами с компенсаторами. Ниже приведена принципиальная схема выполнения полевых измерений.

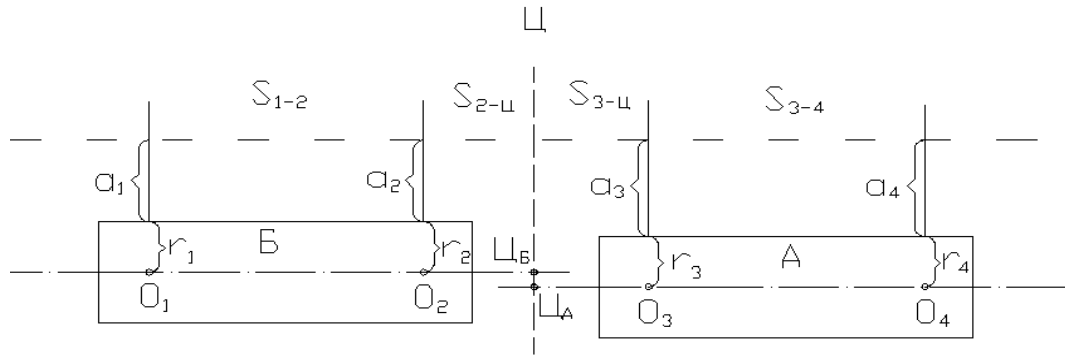


Рис.1. Схема выполнения измерений для определения соосности валов в вертикальной плоскости.

В соответствии с методикой выполнения полевых работ (рис.1), вычисление геометрических параметров соосности выполняется по следующим формулам.

Высотные отметки h_{O_i} точек на осях валов вычисляются по формуле (1):

$$h_{O_i} = ГП - a_i - r_i, \quad (1)$$

где $ГП$ – высотная отметка визирного луча нивелира (горизонт прибора);
 a_i – отсчёт по рейке, установленной на i – той точке на поверхности вала;
 r_i – радиус вала в i – той точке.

Наклоны осей валов i_{1-2} и i_{3-4} вычисляются по формулам (2) и (3):

$$i_{1-2} = \frac{h_{O2} - h_{O1}}{S_{1-2}} = \frac{ГП - a_2 - r_2 - (ГП - a_1 - r_1)}{S_{1-2}} = \frac{ГП - a_2 - r_2 - ГП + a_1 + r_1}{S_{1-2}} = \frac{(a_1 - a_2) + (r_1 - r_2)}{S_{1-2}}, \quad (2)$$

$$i_{3-4} = \frac{h_{O4} - h_{O3}}{S_{3-4}} = \frac{ГП - a_4 - r_4 - (ГП - a_3 - r_3)}{S_{3-4}} = \frac{ГП - a_4 - r_4 - ГП + a_3 + r_3}{S_{3-4}} = \frac{(a_3 - a_4) + (r_3 - r_4)}{S_{3-4}}, \quad (3)$$

где S_{1-2} и S_{3-4} – расстояния между точками установки реек на поверхности валов.

Разворот осей валов в вертикальной плоскости Δi вычисляется по формуле (4):

$$\Delta i = i_{1-2} - i_{3-4} = \frac{a_1 - a_2 + r_1 - r_2}{S_{1-2}} - \frac{a_3 - a_4 + r_3 - r_4}{S_{3-4}}, \quad (4)$$

Высотные отметки точек осей валов “А” и “Б” в месте стыковки валов вычисляются по формулам (5) и (6):

$$h_{Ц_Б} = h_{O2} + \Delta h_{O2-Ц} = h_{O2} + i_{1-2} \cdot S_{2-Ц} = ГП - a_2 - r_2 + \frac{a_1 - a_2 + r_1 - r_2}{S_{1-2}} \cdot S_{2-Ц}, \quad (5)$$

$$h_{Ц_А} = h_{O3} + \Delta h_{O3-Ц} = h_{O3} + i_{3-4} \cdot S_{3-Ц} = ГП - a_3 - r_3 + \frac{a_4 - a_3 + r_4 - r_3}{S_{3-4}} \cdot S_{3-Ц}, \quad (6)$$

где $S_{2-Ц}$ и $S_{3-Ц}$ – расстояния от точек установки реек на поверхности валов до места стыковки валов.

Радиальное смещение осей валов в месте стыковки валов Δh вычисляется по формуле (7):

$$\begin{aligned}
\Delta h = h_{\text{ЦБ}} - h_{\text{ЦА}} &= \Gamma\Pi - a_2 - r_2 + \frac{a_1 - a_2 + r_1 - r_2}{S_{1-2}} \cdot S_{2-II} - \left(\Gamma\Pi - a_3 - r_3 + \frac{a_4 - a_3 + r_4 - r_3}{S_{3-4}} \cdot S_{3-II} \right) = \\
&= \Gamma\Pi - a_2 - r_2 + \frac{a_1 - a_2 + r_1 - r_2}{S_{1-2}} \cdot S_{2-II} - \Gamma\Pi + a_3 + r_3 - \frac{a_4 - a_3 + r_4 - r_3}{S_{3-4}} \cdot S_{3-II} = \\
&= a_3 - a_2 + r_3 - r_2 + \frac{a_1 - a_2 + r_1 - r_2}{S_{1-2}} \cdot S_{2-II} - \frac{a_4 - a_3 + r_4 - r_3}{S_{3-4}} \cdot S_{3-II}
\end{aligned} \quad (7)$$

Параметры Δi и Δh являются основными характеристиками соосности валов в вертикальной плоскости. Их максимально допустимые значения задаются заводом-изготовителем. Для оценки точности определения этих параметров $m_{\Delta i}$ и $m_{\Delta h}$, окончательный вид формул (4) и (7) был дифференцирован в виде:

$$\begin{aligned}
m_{\Delta i}^2 &= \left(\frac{\partial m_{\Delta i}}{\partial a_1} \right)^2 \cdot m_{a_1}^2 + \left(\frac{\partial m_{\Delta i}}{\partial a_2} \right)^2 \cdot m_{a_2}^2 + \left(\frac{\partial m_{\Delta i}}{\partial a_3} \right)^2 \cdot m_{a_3}^2 + \left(\frac{\partial m_{\Delta i}}{\partial a_4} \right)^2 \cdot m_{a_4}^2 + \left(\frac{\partial m_{\Delta i}}{\partial r_1} \right)^2 \cdot m_{r_1}^2 + \\
&+ \left(\frac{\partial m_{\Delta i}}{\partial r_2} \right)^2 \cdot m_{r_2}^2 + \left(\frac{\partial m_{\Delta i}}{\partial r_3} \right)^2 \cdot m_{r_3}^2 + \left(\frac{\partial m_{\Delta i}}{\partial r_4} \right)^2 \cdot m_{r_4}^2 + \left(\frac{\partial m_{\Delta i}}{\partial S_{1-2}} \right)^2 \cdot m_{S_{1-2}}^2 + \left(\frac{\partial m_{\Delta i}}{\partial S_{3-4}} \right)^2 \cdot m_{S_{3-4}}^2, \quad (8)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
m_{\Delta h}^2 &= \left(\frac{\partial m_{\Delta h}}{\partial a_1} \right)^2 \cdot m_{a_1}^2 + \left(\frac{\partial m_{\Delta h}}{\partial a_2} \right)^2 \cdot m_{a_2}^2 + \left(\frac{\partial m_{\Delta h}}{\partial a_3} \right)^2 \cdot m_{a_3}^2 + \left(\frac{\partial m_{\Delta h}}{\partial a_4} \right)^2 \cdot m_{a_4}^2 + \left(\frac{\partial m_{\Delta h}}{\partial r_1} \right)^2 \cdot m_{r_1}^2 + \left(\frac{\partial m_{\Delta h}}{\partial r_2} \right)^2 \cdot m_{r_2}^2 + \\
&+ \left(\frac{\partial m_{\Delta h}}{\partial r_3} \right)^2 \cdot m_{r_3}^2 + \left(\frac{\partial m_{\Delta h}}{\partial r_4} \right)^2 \cdot m_{r_4}^2 + \left(\frac{\partial m_{\Delta h}}{\partial S_{1-2}} \right)^2 \cdot m_{S_{1-2}}^2 + \left(\frac{\partial m_{\Delta h}}{\partial S_{3-4}} \right)^2 \cdot m_{S_{3-4}}^2 + \left(\frac{\partial m_{\Delta h}}{\partial S_{2-II}} \right)^2 \cdot m_{S_{2-II}}^2 + \left(\frac{\partial m_{\Delta h}}{\partial S_{3-II}} \right)^2 \cdot m_{S_{3-II}}^2, \quad (9)
\end{aligned}$$

где m_{ai} – погрешности взятия отсчётов нивелиром по рейкам, установленным на i – тых точках на поверхности валов;

m_{ri} – погрешности определения радиусов валов в i – тых точках установки реек на поверхности валов;

m_{Si} – погрешности измерения расстояний между точками установки реек на поверхности валов.

Значения погрешностей m_{ai} зависят от многих параметров – от кратности увеличения зрительной трубы нивелира, класса точности нивелира, класса точности нивелирной рейки, расстояния от нивелира до рейки. Также эти погрешности зависят в разной степени и от других параметров, например, от опытности исполнителей. Фактическая погрешность m_{ai} неоднократно определялась экспериментальным путём по отклонениям единичных отсчётов от среднего арифметического значения из многократно взятых отсчётов. При этом средняя квадратическая погрешность $m_{ai} = \pm 0,1$ мм, а предельная погрешность $m_{ai}^{пред} \pm 0,2$ мм.

Погрешности m_{ri} также определялись как аналитически, так и экспериментальным путём, и, в зависимости от диаметра вала в i – той точке установки рейки, их значения находятся в пределах от $\pm 0,05$ мм до $\pm 0,1$ мм.

Погрешности m_{Si} зависят, в первую очередь, от расстояния между точками установки реек на поверхности валов. Чем больше расстояние между этими точками, тем большее допустимое значение указанной погрешности и оно может достигать ± 10 мм. При уменьшении измеряемого расстояния требования к точности измерения возрастают и возможно уменьшить погрешность до значения $\pm 1 \dots 2$ мм.

Степень влияния погрешностей m_{ai} , m_{ri} , m_{Si} можно оценить по полученным из формул (8) и (9) частным производным. Для формулы (8) результаты дифференцирования следующие:

$$\begin{aligned} \frac{\partial m_{\Delta i}}{\partial a_1} &= \frac{1}{S_{1-2}}; \frac{\partial m_{\Delta i}}{\partial a_2} = -\frac{1}{S_{1-2}}; \frac{\partial m_{\Delta i}}{\partial a_3} = -\frac{1}{S_{3-4}}; \frac{\partial m_{\Delta i}}{\partial a_4} = \frac{1}{S_{3-4}}; \\ \frac{\partial m_{\Delta i}}{\partial r_1} &= \frac{1}{S_{1-2}}; \frac{\partial m_{\Delta i}}{\partial r_2} = -\frac{1}{S_{1-2}}; \frac{\partial m_{\Delta i}}{\partial r_3} = -\frac{1}{S_{3-4}}; \frac{\partial m_{\Delta i}}{\partial r_4} = \frac{1}{S_{3-4}}; \\ \frac{\partial m_{\Delta i}}{\partial S_{1-2}} &= -\frac{a_1 - a_2 + r_1 - r_2}{S_{1-2}^2}; \frac{\partial m_{\Delta i}}{\partial S_{3-4}} = \frac{a_3 - a_4 + r_3 - r_4}{S_{3-4}^2} \end{aligned} \quad (10)$$

Для формулы (9) результаты дифференцирования следующие:

$$\begin{aligned} \frac{\partial m_{\Delta h}}{\partial a_1} &= \frac{S_{2-II}}{S_{1-2}}; \frac{\partial m_{\Delta h}}{\partial a_2} = -1 - \frac{S_{2-II}}{S_{1-2}}; \frac{\partial m_{\Delta h}}{\partial a_3} = 1 + \frac{S_{3-III}}{S_{3-4}}; \frac{\partial m_{\Delta h}}{\partial a_4} = \frac{S_{3-III}}{S_{3-4}}; \\ \frac{\partial m_{\Delta h}}{\partial r_1} &= \frac{S_{2-II}}{S_{1-2}}; \frac{\partial m_{\Delta h}}{\partial r_2} = -1 - \frac{S_{2-II}}{S_{1-2}}; \frac{\partial m_{\Delta h}}{\partial r_3} = 1 + \frac{S_{3-III}}{S_{3-4}}; \frac{\partial m_{\Delta h}}{\partial r_4} = -\frac{S_{3-III}}{S_{3-4}}; \\ \frac{\partial m_{\Delta h}}{\partial S_{2-II}} &= \frac{a_1 - a_2 + r_1 - r_2}{S_{1-2}}; \frac{\partial m_{\Delta h}}{\partial S_{3-III}} = -\frac{a_4 - a_3 + r_4 - r_3}{S_{3-4}}; \\ \frac{\partial m_{\Delta h}}{\partial S_{1-2}} &= -\frac{a_1 - a_2 + r_1 - r_2}{S_{1-2}^2} S_{2-II}; \frac{\partial m_{\Delta h}}{\partial S_{3-4}} = \frac{a_4 - a_3 + r_4 - r_3}{S_{3-4}^2} S_{3-III} \end{aligned} \quad (11)$$

Результаты дифференцирования (10) и (11) подставлены в соответствующие формулы вычисления погрешностей $m_{\Delta i}$ и $m_{\Delta h}$. Формулы (8) и (9) при этом принимают вид:

$$\begin{aligned} m_{\Delta i}^2 &= \left(\frac{m_{a_1}}{S_{1-2}}\right)^2 + \left(\frac{m_{a_2}}{S_{1-2}}\right)^2 + \left(\frac{m_{a_3}}{S_{3-4}}\right)^2 + \left(\frac{m_{a_4}}{S_{3-4}}\right)^2 + \left(\frac{m_{r_1}}{S_{1-2}}\right)^2 + \left(\frac{m_{r_2}}{S_{1-2}}\right)^2 + \\ &+ \left(\frac{m_{r_3}}{S_{3-4}}\right)^2 + \left(\frac{m_{r_4}}{S_{3-4}}\right)^2 + \left(\frac{a_1 - a_2 + r_1 - r_2}{S_{1-2}^2}\right)^2 \cdot m_{S_{1-2}}^2 + \left(\frac{a_3 - a_4 + r_3 - r_4}{S_{3-4}^2}\right)^2 \cdot m_{S_{3-4}}^2 \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} m_{\Delta h}^2 &= \left(\frac{S_{2-II}}{S_{1-2}}\right)^2 \cdot m_{a_1}^2 + \left(-1 - \frac{S_{2-II}}{S_{1-2}}\right)^2 \cdot m_{a_2}^2 + \left(1 + \frac{S_{3-III}}{S_{3-4}}\right)^2 \cdot m_{a_3}^2 + \left(\frac{S_{3-III}}{S_{3-4}}\right)^2 \cdot m_{a_4}^2 + \\ &+ \left(\frac{S_{2-II}}{S_{1-2}}\right)^2 \cdot m_{r_1}^2 + \left(-1 - \frac{S_{2-II}}{S_{1-2}}\right)^2 \cdot m_{r_2}^2 + \left(1 + \frac{S_{3-III}}{S_{3-4}}\right)^2 \cdot m_{r_3}^2 + \left(\frac{S_{3-III}}{S_{3-4}}\right)^2 \cdot m_{r_4}^2 + \\ &+ \left(\frac{a_1 - a_2 + r_1 - r_2}{S_{1-2}^2} S_{2-II}\right)^2 \cdot m_{S_{1-2}}^2 + \left(\frac{a_4 - a_3 + r_4 - r_3}{S_{3-4}^2} S_{3-III}\right)^2 \cdot m_{S_{3-4}}^2 + \\ &+ \left(\frac{a_1 - a_2 + r_1 - r_2}{S_{1-2}}\right)^2 \cdot m_{S_{2-II}}^2 + \left(\frac{a_4 - a_3 + r_4 - r_3}{S_{3-4}}\right)^2 \cdot m_{S_{3-III}}^2 \end{aligned} \quad (13)$$

Применяя формулы (12) и (13), можно получить расчётные значения погрешности $m_{\Delta i}$ определения разворота осей валов Δi и погрешности $m_{\Delta h}$ определения радиального смещения Δh в вертикальной плоскости. Таким образом можно математически охарактеризовать результаты фактически выполненной работы. Кроме того, эти же формулы можно использо-

вать для выполнения предрасчёта точности планируемой работы, что позволяет планировать применение соответствующих приборов и технологии полевых работ.

Изложенная в данной работе оценка точности относится к общему принципу выполнения подобных работ и может применяться не только при определении соосности вылов вентиляторов главного проветривания шахт центробежного типа, но и для установок осевого типа при стыковке вала электродвигателя и промежуточного вала. Также полученные формулы можно применять при определении соосности валов любого оборудования, если условия выполнения измерений позволяют применить рассмотренную методику полевых работ.

В ближайшее время будут изложены все результаты выполненных исследований.

Список литературы

1. Маркшейдерские работы на угольных шахтах и разрезах. Инструкция. – Киев: Минтопэнерго Украины, 2001. – 264 с.
2. ДНАОП 1.1.30-1.01-96. Правила безпеки у вугільних шахтах. – Київ, 1996.
3. Руководство по ревизии и наладке главных вентиляторных установок шахт. – М.: Недра, 1981.
4. Е.Д. Платонов, В.И. Беженцев. “Состояние исследований в области маркшейдерского обеспечения строительства и эксплуатации шахтных вентиляторов главного проветривания”. – Маркшейдерское обеспечение горных работ: Сборник научных трудов. – Л.: ВНИМИ, 1990. – 110с.
5. В.И. Дворников, В.А. Корсун, В.И. Мялковский, Н.А. Чехлатый. – “Определение расхода электроэнергии при перекосе и расцентровке валов в пальцевых муфтах”. – “Уголь Украины”, январь, 2008.
6. Е.Д. Жариков, Е.И.Рыхлюк, В.Б. Лебедев и др. Новые технологии ведения маркшейдерских работ. М.: Недра, 1992.- 302 с.
7. Беженцев В. И., Озеров И. Ф. Методика маркшейдерского контроля вентиляторных установок./ Уголь Украины,- 1998. №2, с. 51-52.
8. Ю.М. Халимендик, А.В. Третьяк. Использование комбинации засечек при строительномонтажных работах. – Донецк, ДонДТУ, 2001., Выпуск 36.
9. Ю.М. Халимендик, А.В. Третьяк. Методы определения соосности валов вентиляторных установок. – Науковий вісник Національної гірничої академії України, 2001, №3.
10. А.В. Третьяк, Н.В. Сидельникова. Применение строгого способа уравнивания при маркшейдерском обеспечении высокоточных монтажных работ. – Сборник научных трудов Национальной горной академии Украины, 2002, №11, том 1.
11. Ю.М. Халимендик, А.В. Третьяк. Метод повышения точности маркшейдерских работ при монтаже вентиляторов главного проветривания. – Горный информационно-аналитический бюллетень Московского государственного горного университета, 2003, № 1.
12. В.И. Диковенко, Ю.И. Вронский, С.Д. Головкин, А.В. Третьяк. О проблеме маркшейдерского обслуживания вентиляторов главного проветривания осевого типа. – Геотехнічна механіка: Міжвідомчий збірник наукових праць/ Інститут геотехнічної механіки ім. М.С.Полякова НАН України.-Дніпропетровськ, 2003-Випуск 47.