УДК 528.489

В.В.Петров
Санкт-Петербургский горный ин-т, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕЦИЗИОННОГО ЭЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ВАЛОВ И МЕХАНИЗМОВ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНЫХ МАШИН

Рассмотрена методика исследования геометрии механизмов и валов бумагоделательной машины координатоопределяющей системой. Габариты машины, стесненные условия работ, наличие сушильных сеток обуславливают сложность выверки.

The technique of research of geometry of mechanisms and shaft of the machine for paper manufacture with the help of system of definition of coordinates is considered. Dimensions of the machine, the constrained conditions of works, presence of drying grids cause complexity of the adjustment.

Важным условием качественной работы бумагоделательной машины (БМ) является горизонтальность и взаимная параллельность кромки губы напорного ящика, сетковедущих валов, сушильных цилиндров, гранитного и грудного валов, валов каландра. Они представляют собой расположенные последовательно в нескольких ярусах цилиндры (50-200 штук в зависимости от размеров машины) диаметром от 0,8 до 6 м и длиной от 3 до 10 м. Значительные отклонения от параллельности валов вызывают частые обрывы бумажного полотна, лежащего на сушильных сетках, ускоряют износ сеток, снижают качество бумаги. При тщательном соблюдении проектной геометрии машины скорость изготовления бумаги (800-1000 м/мин) может быть увеличена до 1300 м/мин.

Выверка валов по высоте не представляет сложности. Трудности возникают при определении отклонений от параллельности цилиндров в горизонтальной плоскости. Они обусловлены габаритами объекта (длина напорного ящика 70-150 м), чрезвычайно стесненными условиями работа внутри бумагоделательной машины и в цехе, наличием сушильных сеток, натянутых на цилиндрах, которые существенно ограничивают видимость.

Применяемые в настоящее время способы, струнный или створный с построением прямого угла, не позволяют достигнуть требуемой точности (0,2-0,5 мм на десятиметровый вал) в сжатые сроки ремонта. Решить поставленную задачу позволяют электронные промышленно-геодезические координатоопределяющие системы, широко применяемые при высокоточных обмерах объектов крупного машиностроения [1, 4].

Рассмотрим методику, при которой на одной из образующих каждого цилиндра определяются пространственные координаты трех точек (две по краям цилиндра – основные, одна в центре – контрольная).

Точки фиксируются с помощью марок, а признаком расположения марки на одной и той же образующей является положение пузырька цилиндрического уровня (рис.1). Полученные таким образом отклонения отрезков от параллельности характеризуют геометрию машины.

На точность методики влияют: погрешности определения координат точек, обусловленные в основном геометрией сети и ошибками установки визирной цели на образующей цилиндра.

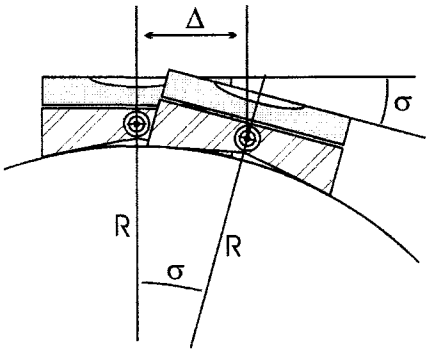


Рис.1. Плановая погрешность Δ установки марки

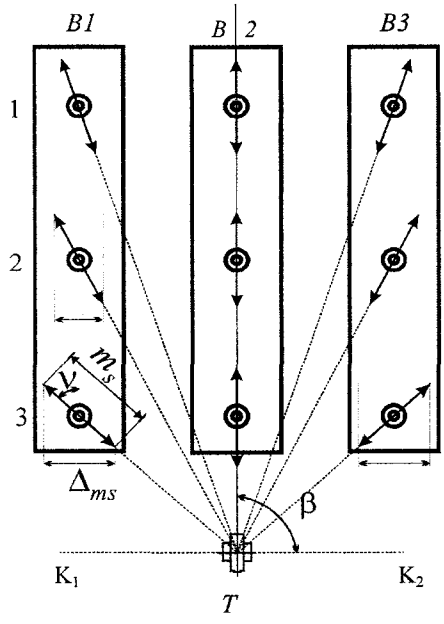


Рис.2. Плановая погрешность Δ_{ms}, обусловленая ошибкой светодальномера m_s

Плановая погрешность Δ, вносимая ошибкой установки марки на образующую, зависит от цены деления уровня σ и радиуса R сетковедущего вала (рис.1). Ошибка в одно деление уровня вносит плановую погрешность Δ, равную длине хорды дуги, опирающейся на угол σ, с учетом угла наклона α (при установке марки на боковую образующую): $\Delta = R\,\mathrm{tg}\,\sigma\cos\alpha$. С учетом малости угла σ и при $\alpha = 0$ (для верхней и нижней образующих) $\sigma_{max} = (\Delta_{max} / R)\rho''$. Следовательно, чем больше диаметр цилиндра, тем более точный уровень необходимо использовать. Считая допустимой ошибку $\Delta_{max} = 0{,}05$ мм, определим максимальную цену деления уровня σ_{max}. Для цилиндра диаметром 1 м цена деления $\sigma_{max} = 21''$.

Координаты точек на образующей необходимо определять с точностью $\Delta^{\Gamma}_{max} = 0{,}09$ мм (тогда погрешность взаимного положения крайних точек вдоль оси машины равна 0,13 мм). Подобную точность обеспечивают теодолитные координатоопределяющие системы [3], в которых положение пунктов определяют из наблюдения пространственной угловой сети. Однако наличие сеток на валах не позволяет наблюдать визирную цель двумя приборами. Точность же определения координат в системах на базе высокоточного тахеометра (полярным способом) недостаточна, поскольку погрешность дальномерной части $m_s = 0{,}2 \div 1$ мм (тахеометры *Leica* TDA5000, TC2000). Учитывая, что Δ^{Γ}_{max} – поперечная к валу ошибка, выдерживать точность определения координат следует именно в этом направлении. Поэтому, устанавливая тахеометр T в торце группы валов *B1*, *B2*, *B3* (рис.2), можно координировать визирные цели 1, 2, 3 полярным способом. При этом необходимо,

чтобы угол ν между осью вала и визирной осью тахеометра был меньше угла, при котором поперечная по отношения к оси вала погрешность $\Delta_{ms} = m_s \sin(\nu)$ не превосходила $\Delta^{\Gamma}_{\max}$. Приняв $m_s = 0{,}5$ мм, получим, что допустимый угол $\nu_{\max} = 10°$. Таким образом, с одной стоянки тахеометра можно наблюдать группу цилиндров.

Горизонтальный угол между визирными целями, установленными на ближних к наблюдателю концах цилиндров, не должен превышать 20°. С увеличением отстояния угол ν для крайних цилиндров группы уменьшается. В реальном цеху отстояние от машины не может превышать 6 м. Это соответствует (рис.3) расстоянию L между образующими цилиндров не более 2 м. Учитывая, что верхний и нижний ряды цилиндров располагаются друг относительно друга в шахматном порядке, для машины с метровым диаметром цилиндров и расстоянием между ними 0,2 м с одной стоянки тахеометра можно наблюдать группу из 3-5 цилиндров. Для наблюдения такой группы при большем диаметре валов визирную цель можно устанавливать не на верхнюю (нижнюю) образующие (рис.3, *B*), а на боковые (рис.3, *A*). Последовательными измерениями вдоль машины можно составить полную картину непараллельности валов. Однако подобная методика приведет к накоплению погрешности.

Рассмотрим вариант независимого определения непараллельности валов всей машины, например, их отклонение в плане от некоторого угла к произвольно выбранному направлению. Таким направлением, в частности, может быть нормаль к оси машины или отрезок, между двумя точками на торцевых стенках цеха. Важно, чтобы это направление было зафиксировано отражательными марками K_1 и K_2 (контрольные точки, рис.2), легко наблюдаемыми из любой точки цеха. Указанный отрезок используем для создания локальной системы координат машины. Положение установленного рядом с группой цилиндров тахеометра в системе координат машины определим из наблюдения линейно-угловой сети. Вычисленные превышение и расстояние между марками K_1 и K_2 могут служить контролем наведения на концы отрезка (отражательные марки) на станции. Ориентацию оси каждого цилиндра (наклон и горизонтальный угол β между осью цилиндра и направлением K_1K_2) получим из координат визирных целей на его образующей в системе координат машины.

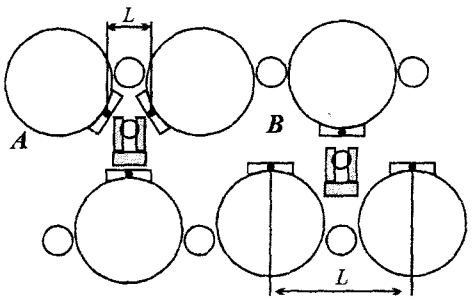


Рис.3. Установка марок на боковых (*A*), верхних и нижних (*B*) образующих цилиндра

Оценить погрешности измерения углов и определения положения самого тахеометра в локальной системе координат машины позволяет математическое моделирование сети [2]. В качестве критерия для сравнения различных ее вариантов целесообразно использовать матрицы ошибок m_β угла стороны сети и твердого направления K_1K_2 в угловой (в секундах) и линейной (в миллиметрах) мерах: $S(m_\alpha / \rho)$.

Были смоделированы несколько видов сетей при условии, что ошибка измерения горизонтального направления и

зенитного расстояния соответственно равна 0,5" и 0,5 мм (тахеометр *Leica* TDA5000).

В соответствии с первым вариантом прибор размещен на пересечении створов K_1K_2 и 1-3 (рис.2, *В2*), $\nu = 0°$. Ошибка определения ориентации оси цилиндра в горизонтальной плоскости составила 0,8", что на всю длину цилиндра дает 0,04 мм. Это существенно точнее допуска. Однако такая схема измерений требует установки тахеометра столько раз, сколько цилиндров требуется обследовать.

В другом варианте тахеометр использовался для обследования группы из трех цилиндров и был увеличен угол ν путем смещения прибора в створе контрольных точек на 600 мм от створа визирных целей на образующей. В результате ошибка определения ориентации оси цилиндра в горизонтальной плоскости оказалась равной 1,96", что на всю длину цилиндра дает 0,09 мм. Допуск и в этом случае выдерживается, но в сравнении с предыдущим вариантом такая схема измерений существенно сокращает объем работ. Увеличение группы обследуемых с одной стоянки цилиндров до пяти приводит к погрешности в 3", что на всю длину цилиндра дает 0,13 мм. Это на границе допуска.

Положение тахеометра в створе контрольных точек не является обязательным. Если, например, отодвинуть тахеометр от машины на 6 м, то точность определения ориентации оси цилиндра возрастает (по сравнению со вторым вариантом) и оказывается равной 1,6" (или 0,07 мм), т.е. точность повышается с увеличением отстояния прибора.

Рассмотренная методика демонстрирует возможность снижения влияния ошибки измерения расстояний высокомобильными координатоопределяющими системами на базе высокоточного тахеометра при решении очень широкого круга задач (обмер, монтаж, вынос проектных координат, исследование деформаций объектов крупного машиностроения и др.).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Петров В.В.* Использование промышленной координатоизмерительной системы ECDS3 для контроля геометрии путей подъемного оборудования реакторного зала ВВЭР-1000 АЭС / В.В.Петров, В.Г.Ващилин; Институт проблем машиноведения РАН. СПб, 1996. С.15-19. (Серия «Новое в теории точности и качества машин и приборов». Выпуск 4. Препринт 130).

2. *Петров В.В.* Методика проверки алгоритма уравнивания специальных пространственных сетей / Санкт-Петербургский горный ин-т. СПб, 1996. 12 с. Деп. в ВИНИТИ, 24.09.96, № 2861-В96.

3. *Петров В.В.* Обмер объектов крупного машиностроения в пространственных линейно-угловых сетях // Полезные ископаемые России и их освоение: Тезисы докладов научной конференции / Санкт-Петербургский горный ин-т. СПб, 1996. С.93.

4. *Петров В.В.* Применение геодезической системы ECDS3 для контроля геометрии путей подъемного оборудования реакторного зала // Сборник трудов молодых ученых / Санкт-Петербургский горный ин-т. СПб, 1996. С.43-46.