

УДК 621.1:528(076)

## ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ВЫСОТНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ И МЕТОДЫ ЕЕ ПОВЫШЕНИЯ

А. Е. Банников, Б. П. Голубко

Изложены основные принципы ведения геодезического обеспечения при строительстве высотных инженерных сооружений. Рассмотрен наиболее популярный метод ориентирования – обратная линейно-угловая засечка. Приведены формулы для предварительного расчета точности выполняемых работ. Эти формулы помогут определить на этапе проектирования, возможно ли использование предложенного метода или нужно применять что-либо другое (например, лазерное проецирование).

**Ключевые слова:** геодезическое обеспечение; обратная линейно-угловая засечка.

Задачами маркшейдерско-геодезического обеспечения горно-строительных работ являются:

- перенесение геометрических элементов проекта в натуру;
- контроль соблюдения геометрических элементов горно-строительных работ, предусмотренных проектом;
- производство маркшейдерско-геодезических съемок, составление и пополнение графической документации;
- учет объемов земляных работ.

При выполнении разбивочных работ, учитывая их особую ответственность, маркшейдеры выполняют вычисления и проверяют соответствие указанных в проектных чертежах координат и размеров основных элементов горно-строительных работ, выполняют привязку проекта, т. е. рассчитывают разбивочные элементы, по которым выносят проект в натуру от пунктов маркшейдерских и съемочных сетей. Разбивочными элементами являются расстояния, углы, превышения, выбор и расчет которых зависит от принятого способа разбивки. В результате подготавливаются рабочие чертежи, по которым выполняются разбивочные работы в натуру.

Точность разбивочных работ зависит от вида, назначения, местоположения объекта, его размеров, порядка и способа производства работ, особенностей эксплуатации и т. п.

Нормы точности на разбивочные рабо-

ты задаются в проекте или в нормативных документах (СНиП, ГОСТ, ведомственные инструкции). Точность геометрических параметров объекта в нормативных документах и чертежах определяется предельно допустимыми отклонениями [1, 2]. По принципу равных влияний всех источников погрешностей  $M$  на каждый из них, в том числе и на маркшейдерские измерения  $m_m$ , приходится доля от общей погрешности  $M_{\text{общ}}$ :

$$m_m = \frac{M_{\text{общ}}}{\sqrt{n}}.$$

Переход от допуска к среднему квадратическому отклонению получают из выражения:

$$\delta = m_m / 3.$$

Первыми пунктами исходной опорной сети на объекте строительства являются точки на основных осях будущего здания, вынесенные в натуру специализированными геодезическими организациями, имеющими допуск СРО по выданному и согласованному им проекту, и закрепленные металлическими штырями, П-образными обносками с нанесенными сверху рисками, имеющие региональные координаты. На рис. 1 представлена схема первичной разбивки сооружения – приложение к акту освидетельствования геодезической разбивочной основы. Дальше работы

ведутся в условной системе координат, где ось абсцисс направляется по вертикальным осям здания, а ось ординат – по горизонтальным. Пересечение главных осей (например «А»–«1») принимают за начало координат  $O [0; 0]$  (либо так, чтобы все опорные и разбивочные точки лежали в одной четверти, например  $O [1000; 1000]$ ) (рис. 2). Далее прокладывается полигонометрический замкнутый ход по всем вынесенным точкам, где за исходные пункты принимаются две точки с присвоением им условных координат, остальные вычисляются после уравнивания хода (рис. 3). Предрасчет точности наиболее слабой точки хода выполняется по формуле [3]:

$$M_{A_{k=n/2}} = \frac{1}{\mu} \sqrt{\frac{1}{T^2} \sum_{s=1}^n l_s^2 + \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} \sum_{s=1}^n L_s^2},$$

где  $\mu$  – коэффициент повышения точности при дополнительных условиях уравнивания

(в нашем случае для хода, опирающегося на два пункта и одну сторону, равен 6).

При строительстве в условиях с постоянной нехваткой свободной, незастроенной территории быстро теряет актуальность первоначальная опорная сеть, с помощью которой можно вести геодезические работы только на этапах раскопки котлована, возведения фундаментных конструкций и в лучшем случае первых этажей, так как точки находятся крайне близко к зданию.

Для решения данной проблемы предлагается способ ориентирования тахеометра обратной линейно-угловой засечкой. В результате исключается ошибка центрирования инструмента, появляется свобода выбора места стояния, сокращается время передачи опорной точки на разбивочный монтажный горизонт. Следовательно, и опорная сеть объекта строительства сильно видоизменяется. Теперь чаще это не точки закрепленные дю-

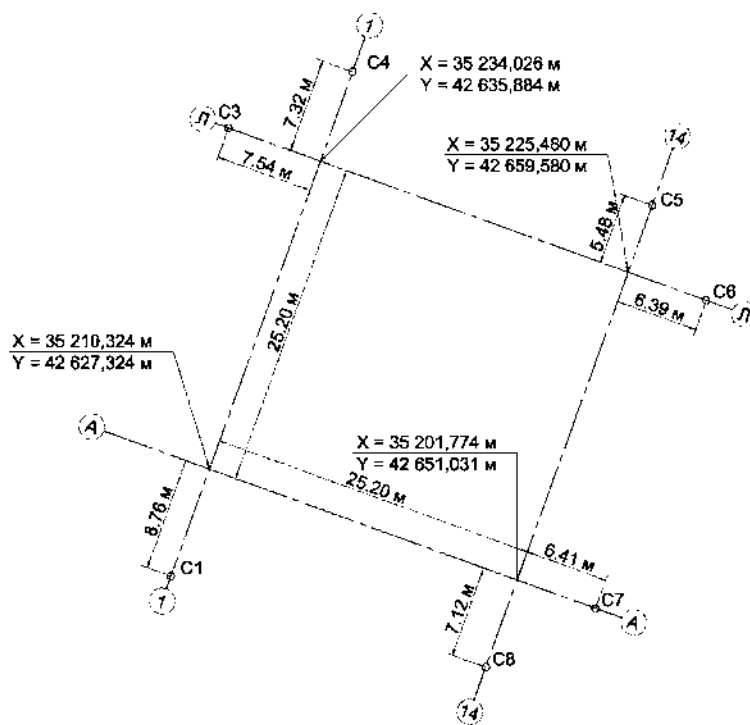


Рис. 1. Приложение к акту освидетельствования ГРО – схема разбивки

беями, арматурой, а стационарные (мониторинговые) светоотражатели и светоотражающие марки, располагаемые на всевозможных конструкциях, близлежащих зданиях, и несущие координаты  $X, Y, Z$ .

Расширение опорной сети осуществляется путем закрепления пунктов на ближайшие

дома, вышки освещения, на любые доступные места с таким учетом, чтобы:

- опорная сеть образовывала выгодные с точки зрения точности геометрические фигуры для обратной геодезической засечки;
- точки сети располагались в пределах максимально допустимых измерений расстоя-

яний;

– углы, образованные между плоскостью марки и визирным лучом, были по возможности близки к 90°.

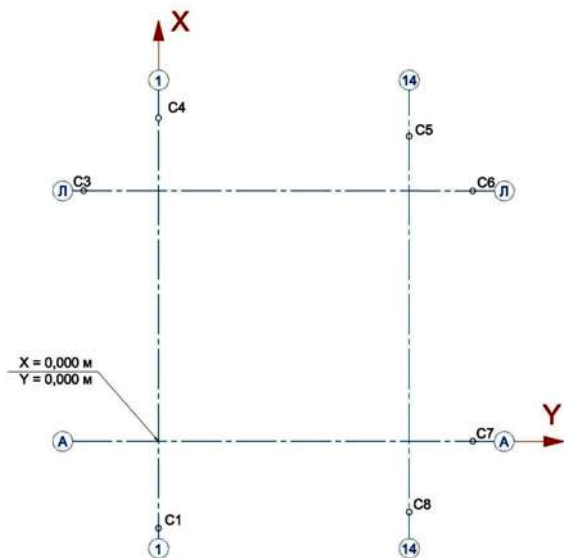


Рис. 2. Условная система координат

как твердые точки. Приближенный расчет непосредственно полярного метода можно провести по формуле с учетом числа пунктов  $n$  [4]:

$$m_n = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\left( m_l^2 + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} l^2 \right)}$$

Также координаты марок можно найти методом прямой линейно-угловой засечки. Среднюю квадратическую ошибку (СКО) метода можно найти по формуле [3]:

$$m_{пр.з} = m_\beta \sqrt{\frac{r_1^2 + r_2^2 + p_1 + p_2}{(r_1^2 + r_2^2)(p_1 + p_2) + \sin^2 \gamma (r_1^2 - p_1)(r_2^2 - p_2)}}$$

Тогда СКО положения марки можно найти по формуле:

$$m_{мар} = \sqrt{M_{исх}^2 + m_{м.к}^2 + m_{ц}^2}$$

где  $M_{исх}$  – погрешность положения точки стояния (для предрасчета можно принять равной СКО слабой точки полигонометрического хода);  $m_{м.к}$  – ошибка метода координирования;  $m_{ц}$  – ошибка центрирования на точке стояния.

Такая опорная база закоординированных марок вокруг строительного объекта позво-

Марки координируются с нескольких точек существующего опорного обоснования методом полярных координат, уравниваются и только после этого вносятся в опорную сеть

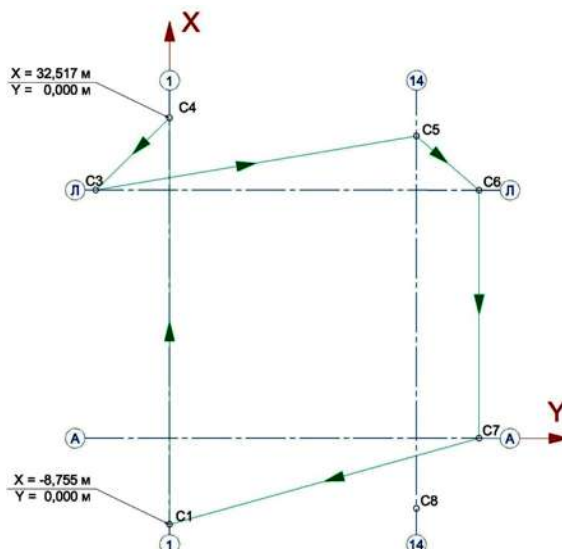


Рис. 3. Схема полигонометрического хода

ляет вести геодезические работы при строительстве высотных зданий. Дальнейшие ограничивающие условия возникают при недостаточной точности конечного элемента разбивки.

Средняя квадратическая ошибка выноса в натуру разбивочной точки способом полярных координат определяется формулой:

$$m_{п.т} = \sqrt{m_{т.ст}^2 + m_{п.п}^2 + m_\phi^2}$$

где  $m_{т.ст}$  – СКО точки стояния, при ориентировании на монтажном горизонте способом обратной линейно-угловой засечки равна СКО самой засечки;  $m_{п.п}$  – СКО метода полярных координат, универсального и простого способа разбивки рабочих осей на монтажном ярусе;  $m_\phi$  – ошибка фиксации разбивочной точки.

Как уже отмечалось, перенос разбивочной сети на монтажный горизонт производится обратной линейно-угловой засечкой. При этом измеряются расстояния до двух опорных марок и горизонтальный угол между ними. Ошибка положения определяемого пункта без учета ошибки исходных данных [3]:

$$m_{обр.з} = m_\beta \sqrt{\frac{\rho^2 c^2 + (p_1 + p_2) l_1^2 l_2^2}{\rho^2 [p_1 (l_2 - l_1 \cos \gamma)^2 + p_2 (l_1 - l_2 \cos \gamma)^2] + p_1 p_2 l_1^2 l_2^2 \sin^2 \gamma}}$$

где  $c$  – длина базиса между марками;  $p_{li}$  – веса линейных измерений, равные  $(m_{\beta}/m_{li})^2$ ;  $\gamma$  – прилежащий к определяемой точке горизонтальный угол.

Следует обратить внимание на то, что в расчетах принимаются плановые проекции расстояния до марок, тогда как измеряются расстояния наклонные и вертикальные углы (рис. 4). Это особенно важно в условиях высотного строительства, так как с увеличением высоты здания увеличивается вертикальный угол между горизонтом строительства и высотой закрепленной марки. А следовательно, увеличивается и вклад ошибки измерения вертикального угла в вычислении плановых расстояний до точек, ухудшается точность засечки, а вместе с тем и точность разбивочных работ. Ошибку определения горизонтального проложения можно найти по формуле:

$$m_{L_{xy}} = \sqrt{m_l^2 \cos^2 \delta + \frac{m_{\delta}^2}{\rho^2} l^2 \sin^2 \delta},$$

где  $m_l$  – инструментальная ошибка линейных измерений;  $\delta$  – вертикальный угол визирования на пункт;  $m_{\delta}$  – СКО измерения вертикальных углов.

Недооценка влияния вертикального угла визирования приводит к ошибочному завышению точности ориентирования. Исходя из опытных данных, взяв в расчет вертикальный угол наведения на пункты расширенной опорной сети, можно с уверенностью сказать, что СКО ориентирования обратной линейно-угловой засечкой больше на 10–25 % по

сравнению с расчетным СКО по плановым проекциям.

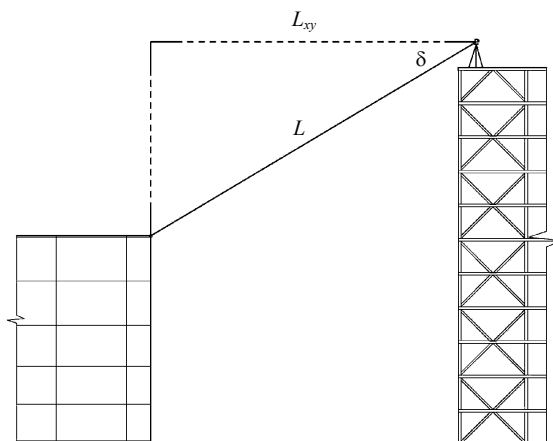


Рис. 4. Схематическое изображение измеряемых величин  $L$ ,  $\delta$  и вычисляемой  $L_{xy}$

Для контроля правильности координат, найденных из засечек, необходимо использовать избыточные пункты и производить избыточные измерения. Точность двукратных засечек улучшается в  $\sqrt{2}$  раз при наиболее благоприятной геометрии засечки ( $\gamma \approx 120^\circ$ ). Для предрасчета точности плановой линейно-угловой засечки с учетом исходных пунктов можно воспользоваться специализированными программными продуктами, например CREDO DAT. Где нужно будет внести СКО исходных пунктов, равные СКО марок, вычисленные по вышеприведенным формулам, а также внести ошибки горизонтальных проложений, формула нахождения которых также приведена выше.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 3.01.03–84. Геодезические работы в строительстве. М.: ЦИТИ Госстроя СССР, 1985.
2. Пособие по производству геодезических работ в строительстве (к СНиП 3.01.03–84). М.: ЦНИИ ОМТП Госстроя СССР, 1985.
3. Гордеев В. А. Теория ошибок измерений и уравнивательные вычисления: учеб. пособие. Екатеринбург: УГГУ, 2004. 429 с.
4. Голубко Б. П., Гордеев В. А., Яковлев В. Н. Маркшейдерия. Ч. 1. Маркшейдерские работы на карьерах и разрезах: учеб. пособие. Екатеринбург: УГГУ, 2010. 210 с.

Поступила в редакцию 4 июня 2013 г.

**Банников Антон Евгеньевич** – аспирант. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: bannikovaesun@mail.ru

**Голубко Борис Павлович** – кандидат технических наук, профессор. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: golubko.b@mail.ru