Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LIX, вып. 1, 1969 г.

УРАВНИВАНИЕ МАРКШЕЙДЕРСКИХ ПОДЗЕМНЫХ ОПОРНЫХ СЕТЕЙ

А. Н. Белоликов

Теодолитные ходы, прокладываемые по подземным выработкам, вычисляются постепенно, по мере продвигания выработок. Некоторое время ходы остаются висячими, затем они постепенно образуют замкнутые полигоны, в той или иной степени связанные между собой. Примыкание подземной опорной сети к избыточным исходным данным (дирекционным углам сторон, определенным гироскопическим методом, координатам пунктов, переданным с поверхности через вертикальные или наклонные выработки) осуществляется сравнительно редко.

На практике распространено «нанизывание» последующих полигонов на предыдущие. Первый полигон, примыкающий к исходному пункту и ориентированной стороне вблизи шахтного ствола, уравнивается упрощенным способом. Второй полигон, примыкающий к двум пунктам первого, уравнивается как разомкнутый ход, причем пункты первого полигона принимаются твердыми. Последующие полигоны таким же путем примыкают к пунктам ранее проложенных и уравненных ходов, как к твердым, и следовательно принимают на себя часть ошибок этих ходов. В редких случаях, при накоплении 8—10 полигонов, производится их совместное уравнивание, в результате чего координаты пунктов и дирекционные углы сторон получают новые значения. Разности новых и старых координат оказываются ощутимыми. Они достигают величины 1—2 *м* (дирекционные углы сторон изменяются на 2—5′) и вызывают затруднения при решении таких практических задач, как зада-

ние направлений выработкам, пополнение маркшейдерских планов и т. п.

Нередко совместное уравнивание смежных полигонов на шахтах не производится совсем, даже когда в этом ощущается необходимость. Здесь уместно вспомнить для сравнения, что при построении геодезической опорной сети на поверхности смежные полигоны, как правило, уравниваются совместно.

В полигонах, примыкающих к ранее проложенным ходам той же точности и опирающихся на них, невязки начинают быстро расти, а относительные невязки естественно превышают допуски, установленные для замкнутых ходов. Такая картина наблюдается, например, на шахтах Ленинградсланца и Воркутинского бассейна. Расчеты, приведенные для полигонов, изображенных на рис. 1 и проложенных в порядке возрастания номеров, показывают, что при допустимой невязке замкнутого хода 1/2000 в полигонах 3 и 6 невязка может достигнуть 1/1000. Ошибка удаленного пункта a относительно исходного пункта A в группе «нанизанных» полигонов характеризуется длиной эквивалентного хода 3 единицы, в то время как в уравненной совместно системе она была бы 1,9.

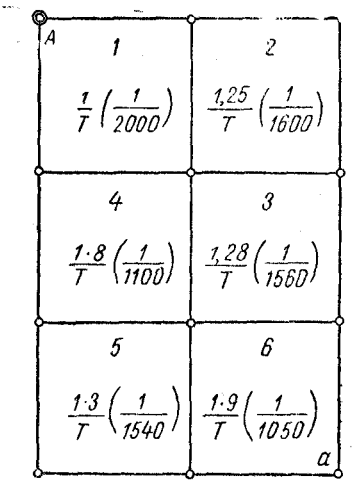


Рис. 1. Накопление ошибок в системе полигонов

Учитывая возможность включения в подземную опорную сеть дирекционных углов, определяемых гироскопическим методом, становится особенно целесообразной совместная обработка основных полигонов подземной сети. Это же касается и своевременного использования ходов, примыкающих к пунктам с твердыми координатами, а также результатов ориентировок, выполненных различными методами, например, через один и через два вертикальных шахтных ствола.

Для преодоления очевидных недостатков нанизывания полигонов, а также для своевременного и полного учета избыточных исходных данных, периодически появляющихся в подзем-

ной опорной сети, нами предлагается путь постепенного совместного уравнивания основных ходов. Этот путь будет соответствовать постепенному развитию подземной сети, позволит систематизировать вычисления ходов и будет всегда отвечать принципу совместного уравнивания смежных полигонов одного порядка точности. Это обеспечит бо́льшую точность сети не только по отношению к исходным пунктам, но и во взаимном положении пунктов, расположенных на близлежащих выработках и горизонтах. Некоторое увеличение объема вычислительных работ при применении этого способа несущественно, так как подземная опорная сеть строится медленно.

В основе предлагаемого способа лежит возможность присоединения к нормальным уравнениям системы с N полигонами дополнительных нормальных уравнений, соответствующих присоединению к сети новых $N+1$, $N+2$, ... полигонов. При этом не возникает необходимости полного перевычисления сети и повторного исключения неизвестных в таблице решения нормальных уравнений, а требуется только выполнить дополнительные действия по исключению новых неизвестных, вычислению коррелат и поправок.

Рассмотрим уравнивание углов в системе подземных полигонов.

Угловая невязка первого замкнутого или разомкнутого полигона, примыкающего к исходным пунктам на поверхности, распределяется поровну в углы полигона. Этому полигону соответствует нормальное уравнение

$$N_1X_1 + W_1 = 0, \qquad (1)$$

где N_1 — число углов в полигоне; X_1 — поправка в один угол; W_1 — угловая невязка.

Уравнение (1) записывается в первую строку таблицы решения нормальных уравнений, в которой число граф берется с учетом появления новых полигонов в сети. Во второй строке выполняется элиминирование и определяется $X_1' = -\frac{W_1}{N_1}$. В период времени, пока полигон 1 является единственным замкнутым, пункты с его вычисленными координатами используются для маркшейдерских работ. При появлении второго полигона, смежного с первым, составляется второе нормальное уравнение и добавляется соответствующий член в первое уравнение. Теперь система уравнений будет следующей:

$$\begin{aligned} &N_1X_1 - n_{1\cdot2}\cdot X_2 + W_1 = 0; \\ &-n_{1\cdot2}X_1 + N_2X_2 + W_2 = 0. \end{aligned} \qquad (2)$$

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	W
I	$N_1 = +36$ $-1{,}000$	$-n_{1,2} = -6$ $+0{,}334$	$-n_{1,3} = -12$					$+108$ $-3{,}00$
II		$N_2 = +36{,}00$ $+35{,}00$ $-1{,}000$	$-$ $-2{,}00$ $+0{,}057$	$-12{,}00$ $-12{,}00$ $+0{,}343$			$-6{,}00$ $-6{,}00$ $+0{,}172$	-75 $-57{,}0$ $+1{,}63$
III			$+36{,}00$ $+31{,}89$ $-1{,}000$	$-6{,}00$ $-6{,}68$ $+6{,}210$	$-18{,}00$ $-18{,}00$ $+0{,}565$	$-12{,}00$ $-12{,}00$ $+0{,}376$	$-0{,}34$ $+0{,}011$	$-83{,}00$ $-50{,}25$ $+1{,}58$
IV				$+36{,}00$ $+30{,}49$ $-1{,}000$	$-12{,}00$ $-15{,}79$ $+0{,}506$	$-12{,}00$ $-14{,}52$ $+0{,}476$	$-6{,}00$ $-8{,}07$ $+0{,}264$	$+52{,}00$ $+21{,}95$ $-0{,}720$
V					$+30{,}00$ $+11{,}69$ $-1{,}000$	$+24{,}00$ $+9{,}73$ $-0{,}835$	$-4{,}35$ $+0{,}373$	-135 $-152{,}0$ $+13{,}00$
VI	$X_1' = -3{,}00$ $X_1'' = -2{,}73$ $X_1''' = -2{,}18$	$X_2' = +1{,}63$ $X_2'' = +1{,}72$	$X_3' = +1{,}58$			$+60{,}00$ $+40{,}50$ $-1{,}000$	$-6{,}00$ $-7{,}23$ $+0{,}178$	$+63$ $+190{,}00$ $-4{,}75$
VII	$X_1^{IV} = -2{,}28$ $X_1^{V} = +1{,}11$ $X_1^{VI} = +1{,}24$ $X_1^{VII} = +1{,}58$	$X_2^{III} = +1{,}46$ $X_2^{IV} = +4{,}26$ $X_2^{V} = +2{,}20$ $X_2^{VI} = +5{,}00$	$X_3'' = +1{,}43$ $X_3''' = +10{,}19$ $X_3^{IV} = +10{,}61$ $X_3^{V} = +11{,}25$	$X_4' = +0{,}72$ $X_4'' = +5{,}98$ $X_4''' = +5{,}77$ $X_4^{IV} = +6{,}71$	$X_5' = +13{,}00$ $X_5'' = +16{,}98$ $X_5''' = +17{,}48$	$X_6' = -4{,}75$ $X_6'' = -4{,}34$	$+48{,}00$ $X_7' = +42{,}00$ $X_7'' = -1{,}000$	$-70{,}00$ $-97{,}20$ $+2{,}32$

В таблице решения нормальных уравнений записывается в третьей строке второе уравнение, а в графе X_2 по первой строке добавляется член $-n_{1,2}$. После этого выполняется исключение неизвестных, заполнение второй элиминационной строки и вычисление коррелат X_1'' и X_2'.

По коррелатам вычисляются поправки в углы обоих полигонов, а затем поправки к дирекционным углам сторон и к приращениям координат первого полигона. Поправка к приращениям координат суммируется по звеньям и прибавляется к $\Sigma\Delta X$ и $\Sigma\Delta Y$. После этого могут быть уравнены приращения координат в системе, состоящей из двух полигонов. Таким же путем к системе присоединяются последующие полигоны, а совместное их уравнивание требует добавления в таблицу новых уравнений и дополнительного их решения. Точно так же присоединяются к системе и ходы, опирающиеся на дирекционные углы с конечными весами, учитываемыми при уравнивании.

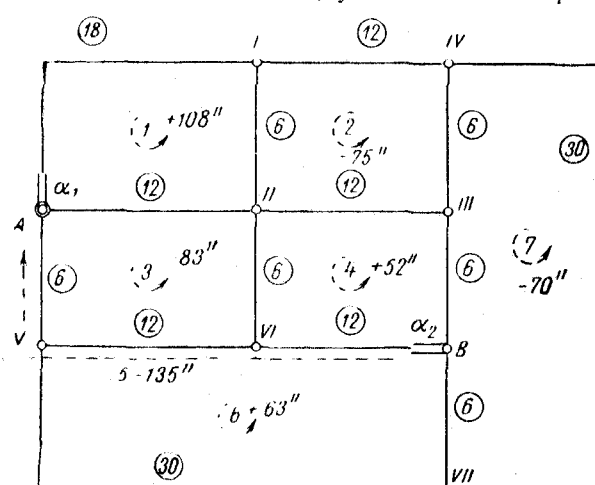


Рис. 2. Система подземных полигонов с двумя твердыми дирекционными углами

В таблице приведено постепенное решение нормальных уравнений для системы, изображенной на рис. 2. Между вычислениями, выполняемыми в разделах I—VII, проходит столько же времени, сколько необходимо на образование полигонов 1—7, а последнее зависит от скорости и плана проходки выработок.