

УДК 528.498

А.А. ШОЛОМИЦКИЙ, д-р техн. наук, проф., А.А. ЛУНЕВ, канд. техн. наук, доц.,
К.В. КОВАЛЕВ, ассист. (Донецкий национальный технический университет)

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА КАНАТНО-ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

Рассмотрены вопросы проектирования и построения опорной геодезической сети относительно выноса и определения геометрии расположения элементов канатно-ленточного конвейера. Обоснованы схемы и методики спутниковых и геодезических измерений, выполнен предрасчет точности создания геодезической сети и измерений пространственного положения конструкций конвейера.

Введение

Развитие технологий промышленного производства накладывает повышенные требования к монтажу и выверке технологического оборудования в промышленности. Чем выше точность изготовления и установки такого оборудования, тем более надежным будет их эксплуатация и безремонтный период и выше качество выпускаемой продукции, а это, в свою очередь, определяет экономические характеристики производства. Например, в настоящее время точность установки узлов для металлургического оборудования составляет 0,1..0,4 мм. Обеспечить такую точность традиционными геодезическими методами [1,2] невозможно, к тому же, эти методы достаточно трудоемкие и требуют больших затрат времени, что приводит к продолжительным простоям оборудования.

Геодезическая и маркшейдерская инструкции [3,4] не регламентируют производство высокоточных инженерно-геодезических работ. Зачастую такие работы являются уникальными, даже для типового оборудования, т.к. каждый раз оно располагается в новых условиях и каждый раз требуется обоснование методики создания геодезической сети и методики измерений.

Одним из таких объектов является магистральный канатно-ленточный конвейер (КЛК), который строится по проекту фирмы METSO Minerals [5,6] между скиповым стволом шахты Красноармейская–Западная № 1 и обогатительной фабрикой. Конвейер имеет три поворотных участка с малым радиусом поворота для таких объектов (440 метров), поэтому к точности выставки фундаментных блоков конвейера предъявляются высокие требования – ошибка определения координат центров фундамента не должна превышать 6 мм, на всем протяжении конвейера, длина которого составляет 5200 метров (660 опор фундаментов).

Часть работ по созданию съемочного обоснования и выставке фундаментных блоков была сделана в 2007-2009 годах подрядной организацией, поэтому на первом этапе работы необходимо было оценить, что и с какой точностью было сделано.

Оценка состояния объекта

Для того, чтобы оценить точность геодезической сети, построенной методом полигонометрии 1-го разряда, в программе уравнивания маркшейдерских и геодезических сетей «МГСети» [7,8], была смоделирована сеть полигонометрии, измеренная 5" теодолитом и электронной рулеткой DISTO и выполнен строгий предрасчет точности сети. На рис 1. столбиковой диаграммой показано распределение плановых ошибок в данной сети. Диаграмма показывает, что величины ошибок

возрастают слева направо, по мере удаления от опорных точек и составляют до 345 мм в направлении перпендикулярном ходу.

Имеющаяся точность и, следовательно, технология измерений не может обеспечить необходимую точность выставки фундаментов конвейера. Поэтому первоначальной задачей ставилось определение такой конфигурации сети и такой методики измерений, которые обеспечат большую жесткость сети и более высокую точность измерений.

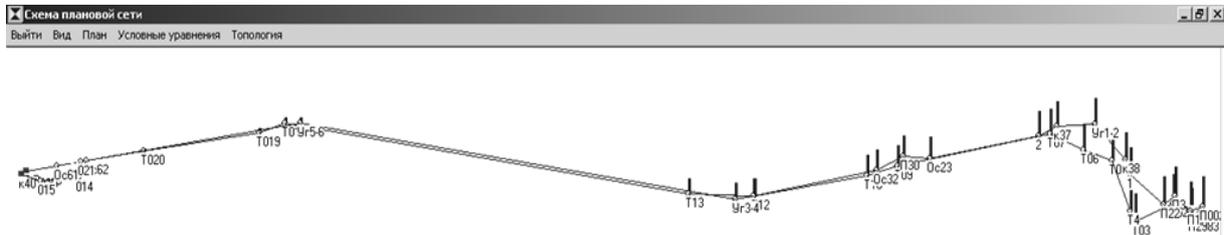


Рис. 1. Диаграмма распределения плановых ошибок сети

Проектирование геодезической сети КЛК

Для увеличения жесткости геодезической сети КЛК вместо хода полигонометрии было предложено построить геодезическую сеть в виде линейно-угловой сети, составленной из треугольников (рис. 2) связанных через конструктивные элементы конвейера (фрагмент показан на рисунке 3). Измерения планировалось выполнять электронным тахеометром с точностью угловых измерений 2" и расстояний 2мм+3мм/км.



Рис. 2. Схема линейно-угловой сети

Характер накопления ошибок остался таким же, как и для хода полигонометрии, а величина ошибки уменьшилась до 114 мм, что также не может обеспечить требуемую точность выставки фундаментов КЛК.

Для уменьшения ошибок определения координат пунктов было решено изменить технологию построения сети – сеть строится из наиболее жестких фигур: треугольников и геодезических четырехугольников.

После предрасчета нескольких вариантов сети и уточнения конфигурации сети в результате рекогносцировки и проверки видимости пунктов получили линейно-угловую сеть (рис. 4)

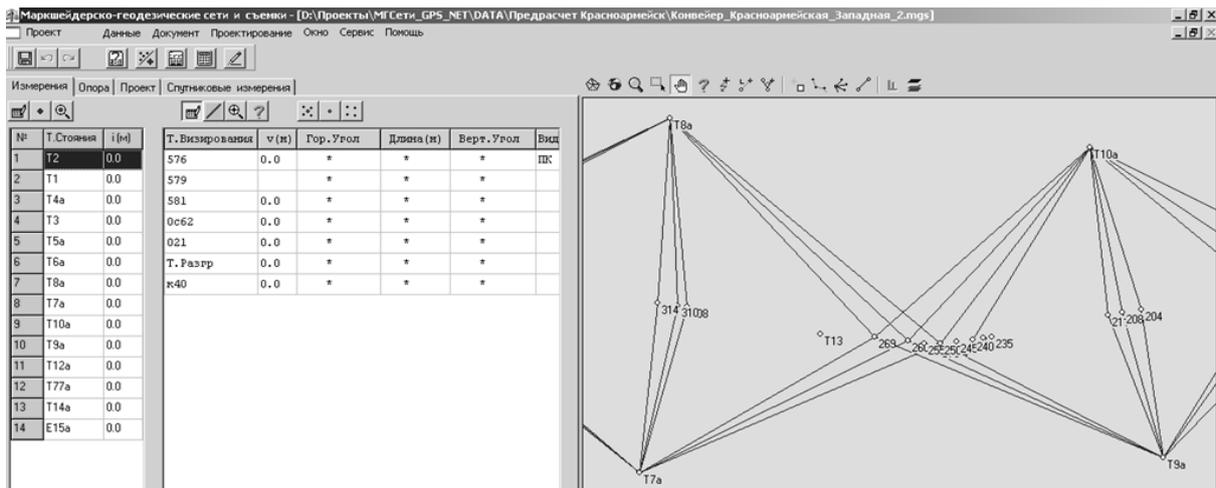


Рис. 3. Фрагмент сети

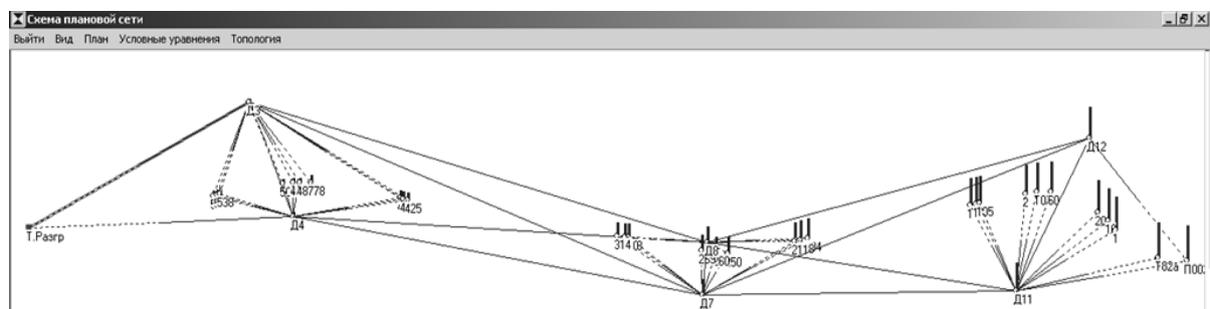


Рис. 4. Распределение ошибок плановой сети

Увеличение ошибок в этой сети происходит, как и в предыдущих вариантах, с запада на восток, что связано с расположением опорных точек. Максимальная величина ошибок определения координат точек составила для последнего варианта 25 мм. Дальнейшие попытки изменить параметры измерений не позволили существенно повысить точность сети. Даже если угловые измерения выполнять с точностью 0,5" а расстояния измерять с точностью 1мм+1мм/км то точность определения плановых координат составит 10 мм. Поэтому для повышения точности сети было решено дополнительно пользоваться высокоточные спутниковые измерения.

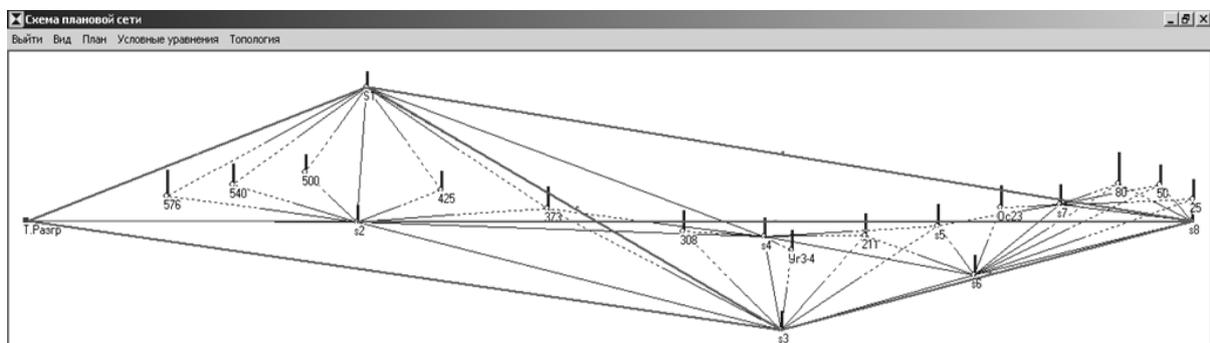


Рис. 5. Диаграмма распределения ошибок в сети со спутниковыми измерениями

Если в геодезическую сеть, представленную на рис. 4, добавить 6 векторов спутниковых измерений, измеренных с точностью $m_x = 0,005м$ $m_y = 0,005м$ $m_z = 0,005м$ то распределение ошибок положения пунктов

станет равномерным и ошибки определения положения координат не превысят 0,006 метра (табл. 1)., и только для точки 2 плановая ошибка составит 0,007м.

Методика выполнения геодезических работ

Поскольку для выполнения работ такой точности не подходит ни одна из существующих методик создания геодезических сетей [3,4], была разработана методика измерения линейно-угловых сетей, объединяющая технологию триангуляции и трилатерации при измерении треугольников или геодезических четырехугольников. Измерения выполнялись электронным тахеометром Nikon M3, который позволяет при однократных измерениях обеспечить ошибку измерения вертикального и горизонтального угла 3" и расстояния 2мм+2мм/км.

Табл. 1. Каталог координат точек сети (предрасчет)

№ п/п	Имя точки	Координаты точки			Ср. квад. ошибки		
		X, м	Y, м	Z, м	Mx, м	Mу, м	Mz, м
1	Т.Разгр	47954	3765	167			
15	2	48099	8418	0	0.006	0.0056	0.0066
16	Ос23	48006	7918	0	0.0037	0.0043	0.0042
20	Уг3-4	47839	7025	0	0.0034	0.0038	0.0039
22	500	48142	4952	0	0.0033	0.0033	0.004
25	373	48003	5986	0	0.0045	0.0037	0.0047
28	80	48099	8418	0	0.0033	0.0045	0.0043
30	50	48095	8597.001	0	0.0029	0.0044	0.0042
31	25	48038	8735.001	0	0.0028	0.0043	0.0041
37	576	48049	4362.000	0	0.0055	0.004	0.0057
38	540	48094	4643.000	0	0.0042	0.0036	0.0047
39	425	48073	5532.018	0	0.0035	0.0034	0.0042
40	308	47912	6563.001	0	0.0038	0.004	0.0043
41	211	47897	7339.000	0	0.004	0.004	0.0041
43	S1	48472.39	5214.900	0	0.0027	0.003	0.0034
44	s2	47950.88	5175.139	0	0.0029	0.0031	0.0036
45	s3	47530.45	6980.299	0	0.0031	0.0037	0.0035
46	s4	47893.63	6909.948	0	0.0032	0.0037	0.0037
47	s5	47933.4	7646.965	0	0.0039	0.0041	0.0041
48	s6	47745.05	7805.547	0	0.0035	0.004	0.0039
49	s7	48016.24	8170.149	0	0.0032	0.0042	0.004
50	s8	47954	8730.013	0	0.0026	0.0043	0.0039

Режим измерений устанавливался «точный многократный», т.е. результат в одном измерении усреднялся из 5 повторений. Углы и длины предполагалось измерять двумя полными приемами, т.е. на точку выполнялось визирование 2 раза при *Круге Лево* и 2 раза при *Круге Право*. В этом случае ошибка измерения горизонтального и вертикального угла составит:

$$m_{\alpha,\beta} = \frac{m}{\sqrt{n}} = \frac{3}{\sqrt{4}} = 1,5'' , \quad (1)$$

а ошибка измерения расстояния:

$$m_l = \frac{m}{\sqrt{n}} = \frac{2}{\sqrt{4}} = 1\text{мм} . \quad (2)$$

Для повышения надежности измерений все измерения углов и длин выполнялись тремя полными приемами. Все точки сети измерялись как минимум с 3 станций.

Для выполнения геодезических измерений были изготовлены специальные самоцентрирующие вешки с уровнями (рис 6), обеспечивающими точность центрирования над контрольной точкой 0,1 мм.

Спутниковые измерения проводились двухчастотными GPS-приемниками Zmax производства фирмы Thales.

Полная серия наблюдений включает в себя проведение наблюдений по методике дифференциальной GPS. Эта методика позволяет исключить влияние ионосферных задержек радиосигнала и обеспечить точность измерения векторов 2-3 мм. Технологию дифференциальной GPS возможно использовать для наблюдения базовых линий длиной от 1 метра до 100 км и она заключается в следующем. Один из приемников (базовый приемник) помещается на точку с заранее известными координатами (ПП2983, ПП0028, ПП014, ДМ1Т), так называемую базовую станцию, и ведет непрерывные спутниковые наблюдения весь сеанс GPS-съемки. В течение определенного периода времени, зависящего от конкретного вида съемки, производится наблюдение базовой линии, после чего приемник перемещается на следующую точку. Как показывают исследования Federal Geodetic Control Subcommittee (FGCS) и обширная практика выполнения практических работ, при выполнении геодезических работ на базисах менее 20 км для достижения точности измерения, равной $\pm 3 \text{ мм} + 0.01 \text{ мм/км}$, достаточно произвести накопление данных на пункте в течение 13-20 минут. Продление времени сеанса наблюдений до 30-60 минут позволяет получить избыточные данные, которые в дальнейшем используются при анализе точности геодезических построений.



Рис. 6. Измерительное приспособление

Одним из самых главных требований производства высокоточных геодезических работ с применением GPS-оборудования является хорошая радиовидимость на всех определяемых пунктах, которая обеспечивается следующими факторами: низким значением коэффициента PDOP, высоким соотношением "сигнал/шум" и качеством радиосигнала. Поэтому все полевые наблюдения начинались с тщательного планирования времени и продолжительности спутниковых наблюдений.

Выбор оптимального времени проведения наблюдений осуществлялся путем использования специального программного обеспечения планирования сессий наблюдений. Распределение количества видимых спутников и изменение коэффициента PDOP во времени определяется заблаговременно по имеющимся

эфемеридам спутников. В результате планирования определяются промежутки времени благоприятные и неблагоприятные для производства наблюдений.

Как показала практика, благоприятными для производства измерений являются промежутки времени, когда обеспечивается прием спутникового радиосигнала от 7-8 и более спутников при коэффициенте PDOP меньшем 4. При таких условиях наблюдений, возможно, проводить измерения на миллиметровом уровне точности.

Среднее время измерения вектора составило 1 час, количество наблюдаемых спутников не меньше 7 (до 11), а максимальная величина PDOP составила 2.3, что говорит о высокой точности проводимых наблюдений. Эти выводы подтверждаются уравниванием векторов спутниковых измерений в программном комплексе «МГСети» [7], табл. 2.

Для уточнения высотного положения опорных и контрольных точек был пройден ход геометрического нивелирования III-го класса. Измерения выполнялись нивелиром Ni-B1 и трехметровыми рейками. Контроль превышений на станции не превышал 1,5 мм, при допуске 3мм, и только для двух станций разница превышений составила 2,5мм. Длина хода от точки 0028 до точки пп015 составила 6.2км, а разность плеч по ходу 4,5м.

Табл. 2. Каталог урвненных координат точек сети (спутниковые измерения)

№ п/п	Имя точки	Координаты точки			Ср. квад. ошибки		
		X, м	Y, м	Z, м	Mx, м	My, м	Mz, м
1	GPS0	47930	4006.69	168.028			
2	P137	47811	9174.26	184.646			
3	GPS2	48373	5235.25	173.301			
4	S004	47852	6859.53	177.842			
5	005A	48142	5099.57	168.961			
6	B001	47846	7113.5	179.3886	0.0043	0.0043	0.0102
7	S008	47981	8731.97	180.1862	0.0013	0.0013	0.003
8	S003	47475	6920.4	179.6855	0.0031	0.0031	0.0073
9	A001	47933	8774.61	180.9031	0.002	0.002	0.0047
10	A002	48091	8423.1	178.4408	0.0032	0.0032	0.0076
11	C002	48133	4950.99	167.6139	0.0016	0.0016	0.0037
12	C001	48123	5156.79	169.4508	0.0016	0.0016	0.0037
13	P135	47768	9122.67	184.2286	0.0013	0.0013	0.0029
14	GPS1	47948	4027.96	167.6607	0.0012	0.0012	0.0029
15	VREM	48014	4038.21	168.4016	0.0013	0.0013	0.003

В результате этих работ была создана сеть (рис. 7), которая значительно отличалась от первоначального проекта, особенно по спутниковым измерениям. Для увеличения жесткости сети векторы спутниковых измерений (показаны на рис 7 утолщенными линиями) образуют замкнутые фигуры, всего был измерен 41 вектор. Такая конфигурация сети, при заданной точности геодезических и спутниковых измерений позволяет добиться точности определения координат точек сети 2 – 3 мм, а максимальная ошибка для пункта Дмитровская составляет 5 мм.

Фактические ошибки положения пунктов сети (рис. 7) составили от 3 до 6 мм, а максимальная ошибка для пункта Дмитровская составила 10 мм.

Созданная сеть КЛК позволила выполнить высокоточные измерения положения 136 фундаментных блоков на криволинейных участках. Положение каждой контрольной точки фундамента определялось как минимум с 2-х точек. Методика измерений предусматривала определение координат контрольных точек фундаментов с

точностью 1–1,5мм относительно опорных точек. На рис. 8 показана схема геодезических измерений 80 фундаментных блоков криволинейного участка № 1 и диаграмма распределения ошибок координат точек.

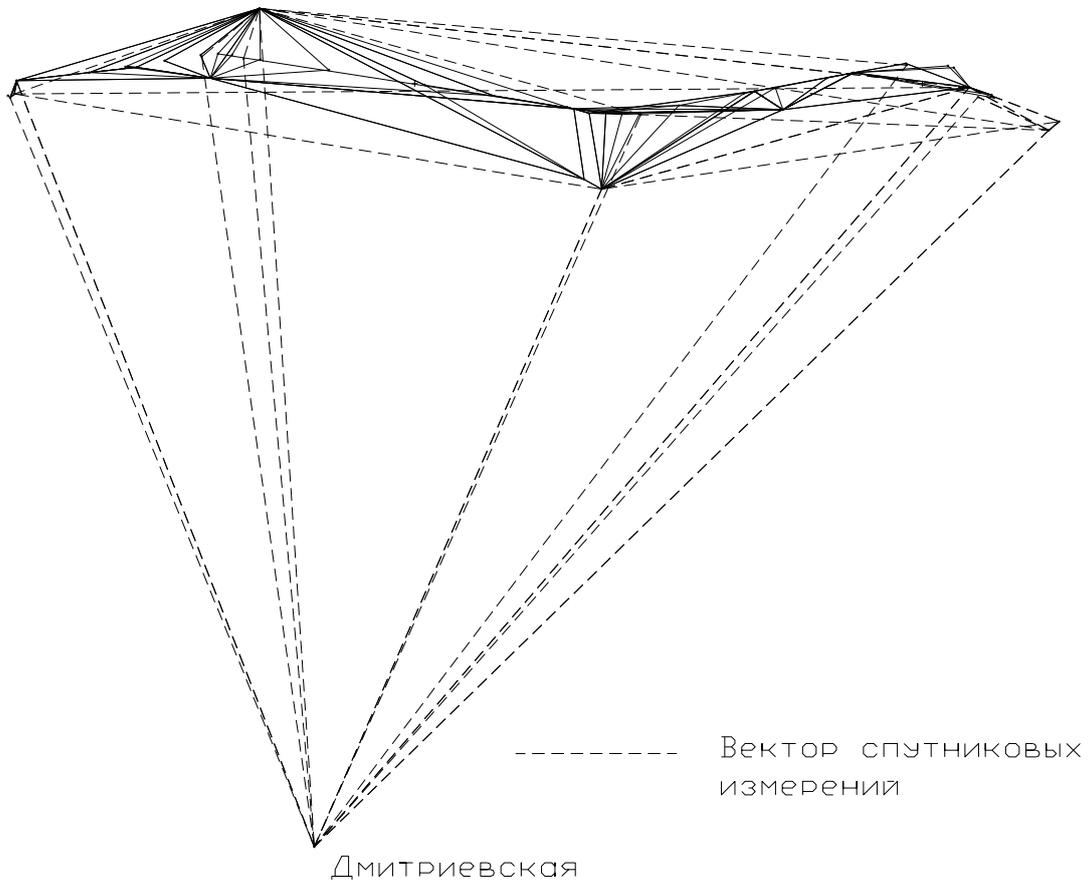


Рис. 7. Фактическая сеть геодезического обеспечения КЛК

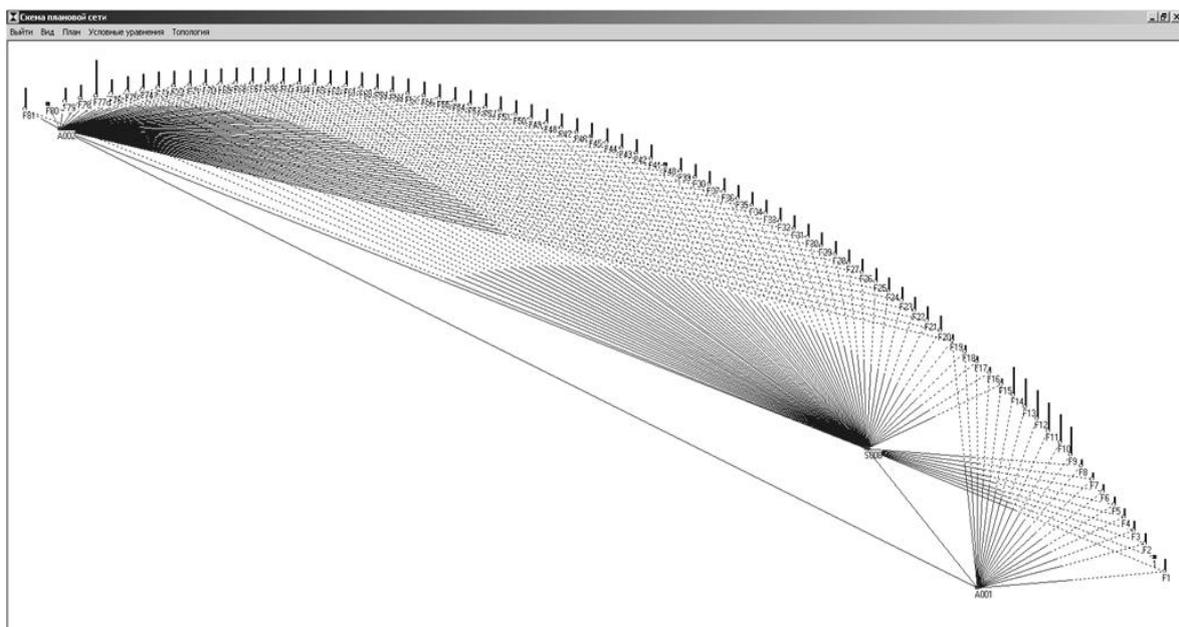


Рис. 8. Схема геодезических измерений блоков криволинейного участка № 1

На третьем этапе измерений также были выполнены работы по выноске точек начала и конца кривой № 1 в соответствии с новым проектом, а также определено положение упорных балок в камере загрузки. Эти работы выполнялись электронным тахеометром фирмы Leica TCR 1205 и управляющего программного комплекса «Визир 3D» [8,10].

Выводы:

После проведения комплекса работ по созданию геодезического обеспечения КЛК можно сделать следующие выводы:

- Для создания геодезического обеспечения уникальных объектов нельзя руководствоваться положениями инструкций [3,4], а нужно обязательно выполнять строгий предрасчет точности сети, который покажет можно ли при заданной точности измерений и геометрии сети обеспечить необходимую точность.
- Максимальная точность специальных высокоточных сетей может быть достигнута только при совместном уравнивании всех геодезических и спутниковых измерений.
- При выполнении геодезических работ измерения следует выполнять с более высокой точностью, чем та, которая задавалась при предрасчете точности, с «запасом» в 30 – 40%. Эти цифры взяты из практики, т.к. предрасчет использует идеальную точность измерений, которую достичь на практике не всегда возможно, особенно в сложных метеорологических условиях.
- Для выполнения измерений в высокоточных геодезических сетях необходимо создавать специальную оснастку.
- Использование при измерениях онлайн-измерительного комплекса «Визир 3D» позволяет сократить время измерений в 3–4 раза и повысить точность измерений за счет статистической обработки и отбраковки некачественных измерений. Кроме того, этот комплекс, единственный из геодезических онлайн-программ позволяет выполнять измерения 3-мя и более приемами.

Библиографический список

1. Микольский Ю.Н. Выверка и центровка промышленного оборудования / Ю.Н. Микольский, В.М. Кравченко. К.: Будівельник, 1979. — 188 с.
2. Баран П.И. Геодезические работы при монтаже и эксплуатации оборудования / П.И. Баран. М.: Недра, 1990. — 234 с.
3. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000,1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98).
4. Маркшейдерські роботи на вугільних шахтах та розрізах: інструкція / Редкоміс.: М.Є. Капланець (голова) [та ін.] – Вид. офіц. – Донецьк: ТОВ "АЛАН", 2001. – 264 с.
5. www.metso.com – сайт фірми METSO Minerals (www.metsominerals.ru – російське представительство фірми) – [Електронний ресурс].
6. Льюис Э. Канатно-ленточные конвейеры производства METSO MINERALS Э. Льюис, А.Л. Гребенешников // Научно-технический журнал. Горная промышленность. –2008. - № 2. – С. 40–42.
7. Шоломицкий А.А. Использование программного комплекса «МГСети» при подготовке инженеров-землеустроителей / А.А. Шоломицкий, Е.И. Шморгун, А.В. Мартынов // Аграрний вісник причорномор'я. Збірник наукових праць. Одеса:ТВС. –2009. - Випуск 51. – С.103 – 109.
8. Могильный С.Г. Совместная обработка наземных и спутниковых геодезических измерений в локальных сетях / С.Г. Могильный, А.А. Шоломицкий // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва. Зб.наук.праць. – Львів: «Львівська політехніка». –2009. - Вип. 1 (17). – С.122-131.
9. Могильный С.Г. Трьохкоординатний вимірю-вальний комплекс «Визир 3D» / С.Г. Могильный, А.А. Шоломицкий, Є.І. Шморгун // Наукові праці ДонНТУ: Серія гірничо-геологічна. –Донецьк: ДонНТУ, 2009. – Вип. 9(143). - С.13–25.

10. Могильный С.Г. Измерительный комплекс «Визир 3D» на предприятиях Украины: Геодезический контроль и выверка технологического оборудования / С.Г. Могильный, А.А. Шоломицкий, В.Н. Ревуцкий [и др.] // Геофиль. – 2009. - №3 (6). – С.12-19.

Надійшла до редколегії 02.09.2009

А.А. ШОЛОМИЦЬКИЙ, А.О. ЛУНЬОВ, К.В. КОВАЛЬОВ

ГЕОДЕЗИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВНИЦТВА КАНАТНО-СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРУ

Розглянуто питання проектування і побудови опорної геодезичної мережі щодо виноски і визначення геометрії розташування елементів канатно-стрічкового конвеєру. Обґрунтовано схеми і методики супутникових і геодезичних вимірювань, виконано передрозрахунок точності створення геодезичної мережі і вимірювань просторового положення конструкцій конвеєру.

A. SHOLOMITSKY, A. LUNEV, K. KOVALEV

GEODETTIC SOFTWARE FOR ROPE-BELT CONVEYOR CONSTRUCTION

The challenges of designing and constructing a basic geodetic network for the purpose of geometry definitions of the position of rope-belt conveyor elements are considered. Schemes and techniques of satellite and geodetic measurements are verified. Precalculation of the accuracy of creating a geodetic network and measurements of the conveyor spatial position are carried out.

© А.А. Шоломицкий, А.А. Лунев, К.В. Ковалев, 2010