

УДК 622.1:528.063.9

СПЕЦИАЛЬНЫЕ МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И МОНТАЖЕ ОБОРУДОВАНИЯ

Шоломицкий А. А., Лунев А. А., Ковалев К. В., Серых А. П.
(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Розглянуто питання проектування опорної маркшейдерської мережі щодо побудови і монтажу канатно-стрічкового конвеєру. Обґрунтовано схеми і методики супутникових спостережень і маркшейдерських вимірювань.

In the article describes the problem of designing a basic network for Mine Surveying construction and installation of cable-belt conveyor. The schemes and methods of satellite observation and surveying measurement are founded.

Развитие технологий промышленного производства накладывает повышенные требования к строительству, монтажу и выверке технологического оборудования в горной промышленности. Чем выше точность изготовления и установки такого оборудования, тем более надежным будет их эксплуатация и безремонтный период эксплуатации. Например, в настоящее время точность установки узлов для оборудования в горной промышленности составляет 0,1..0,5 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.

Инструкция по производству топографических работ и маркшейдерская инструкции [3, 4] не регламентируют производство высокоточных инженерно-геодезических работ. Зачастую такие работы являются уникальными, даже для типового оборуду-

дования, 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 и обогащательной 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 фундамента) и два мостовых перехода (рис.1). Т.е. относительная ошибка для этого объекта составляет 1 : 860 000, это очень высокая точность для маркшейдерских и геодезических работ. К сожалению, современное маркшейдерское образование не обеспечивает маркшейдера знаниями о методике проектирования и выполнения высокоточных маркшейдерских работ.



а) мостовой переход



б) поворотный участок

Рис. 1. Фрагменты канатно-ленточного конвейера

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], выполнено моделирование сети полигонометрии, измерения горизонтальных и вертикальных углов которой выполнялись оптическим теодолитом со среднеквадратической ошибкой 5", а длины измерялись электронной рулеткой DISTO. Для данной сети выполнен строгий предрасчет точности, на рисунке 2. столбиковой диаграммой показано распределение плановых ошибок в сети. Диаграмма показывает, что величины ошибок возрастают слева направо, по мере удаления от опорных точек и составляют до 345 мм в направлении перпендикулярном ходу.

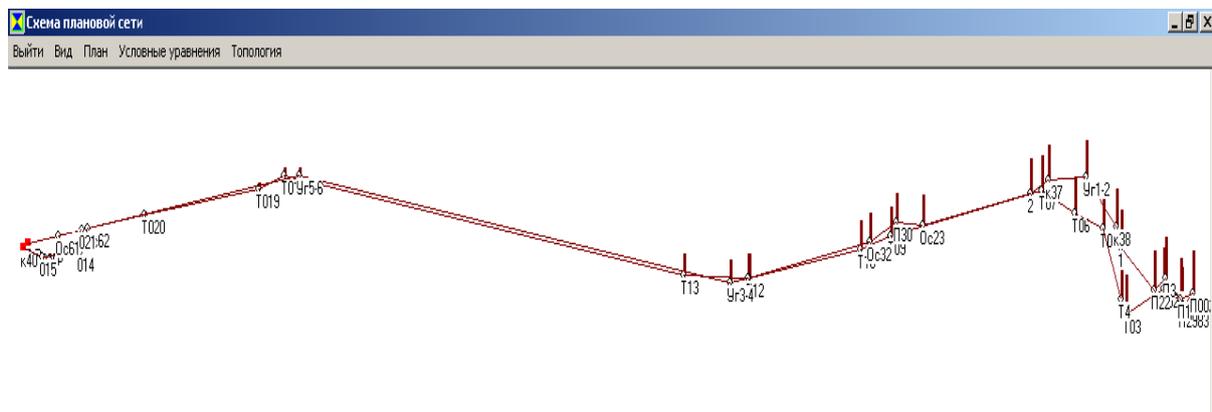


Рис. 2. Диаграмма распределения плановых ошибок сети

Полученная точность сети не может обеспечить необходимую точность выставки фундаментов конвейера, а, следовательно, метод полигонометрии неприменим в данном случае. Поэтому первоначальной задачей ставилось определение такой конфигурации сети и такой методики измерений, которые обеспечат большую жесткость сети и более высокую точность измерений.

Проектирование маркшейдерской опорной сети:

Для увеличения жесткости маркшейдерской сети КЛК вместо хода полигонометрии было предложено построить сеть в виде линейно-угловой сети, составленной из треугольников (рис. 3) связанных через конструктивные элементы конвейера (фрагмент показан на рисунке 4). Измерения планировалось выполнять

и проверки видимости пунктов получили линейно-угловую сеть (рис. 5).

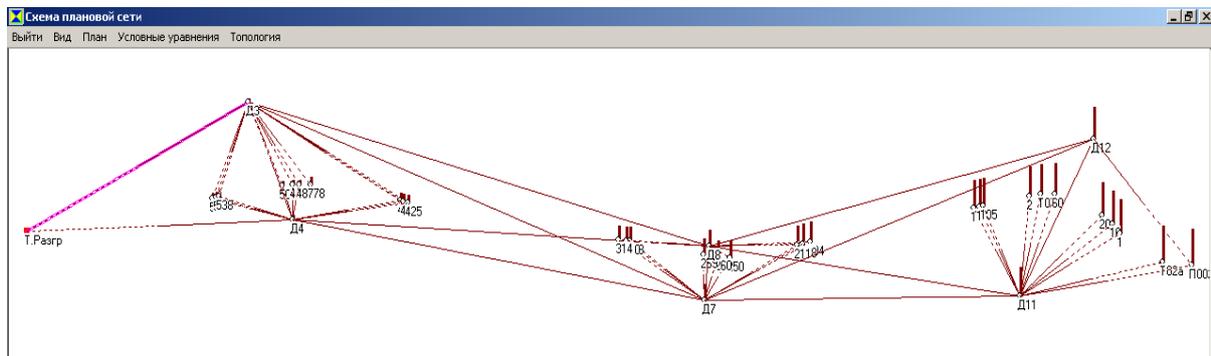


Рис. 5. Распределение ошибок плановой сети

Накопление 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. Дальнейшее увеличение точности измерений не приводят к существенному повышению точности сети. Даже если угловые измерения выполнять с точностью 0,5", а расстояния измерять с точностью 1 мм + 1 мм/км, то точность определения плановых координат составит 10 мм. Поэтому для повышения точности сети было решено дополнительно использовать высокоточные спутниковые измерения (рис. 6).

Если в маркшейдерскую сеть, представленную на рис. 5, добавить 6 векторов спутниковых измерений, измеренных с точностью $m_x = 0,005 м$ $m_y = 0,005 м$ $m_z = 0,005 м$, то распределение ошибок положения пунктов станет равномерным (рис. 6), и ошибки определения положения координат в плане не превысят 0,006 метра (табл. 1).

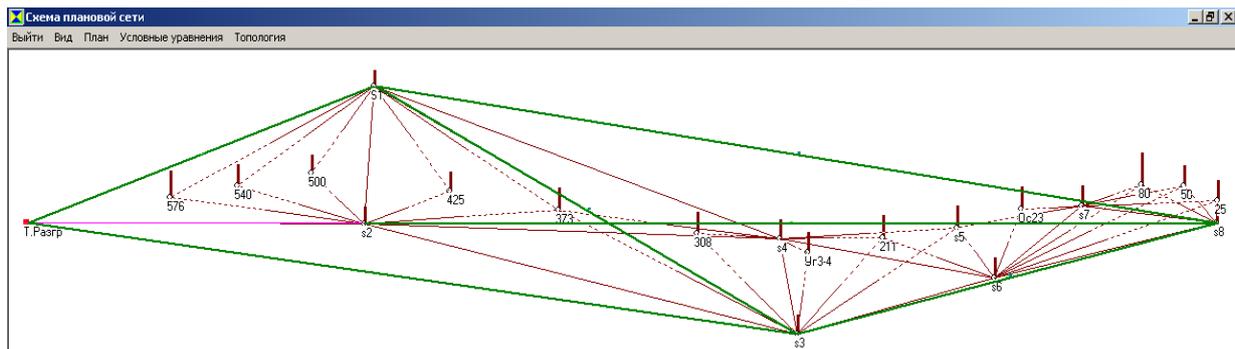


Рис. 6. Диаграмма распределения ошибок в сети со спутниковыми измерениями

Таблица 1

Каталог координат точек сети
(предрасчет)

| № | Имя точки | Сред. квадрат. ошибки | | | Примечание |
|----|-----------|-----------------------|--------|--------|---------------|
| | | Мх | Му | Мz | |
| 1 | Т. Разгр | | | | план. /высот. |
| 15 | 2 | 0.0060 | 0.0056 | 0.0066 | |
| 16 | Ос23 | 0.0037 | 0.0043 | 0.0042 | |
| 20 | УГ3-4 | 0.0034 | 0.0038 | 0.0039 | |
| 22 | 500 | 0.0033 | 0.0033 | 0.0040 | |
| 25 | 373 | 0.0045 | 0.0037 | 0.0047 | |
| 28 | 80 | 0.0033 | 0.0045 | 0.0043 | |
| 30 | 50 | 0.0029 | 0.0044 | 0.0042 | |
| 31 | 25 | 0.0028 | 0.0043 | 0.0041 | |
| 37 | 576 | 0.0055 | 0.0040 | 0.0057 | |
| 38 | 540 | 0.0042 | 0.0036 | 0.0047 | |
| 39 | 425 | 0.0035 | 0.0034 | 0.0042 | |
| 40 | 308 | 0.0038 | 0.0040 | 0.0043 | |
| 41 | 211 | 0.0040 | 0.0040 | 0.0041 | |
| 43 | S1 | 0.0027 | 0.0030 | 0.0034 | |
| 44 | s2 | 0.0029 | 0.0031 | 0.0036 | |
| 45 | s3 | 0.0031 | 0.0037 | 0.0035 | |
| 46 | s4 | 0.0032 | 0.0037 | 0.0037 | |
| 47 | s5 | 0.0039 | 0.0041 | 0.0041 | |
| 48 | s6 | 0.0035 | 0.0040 | 0.0039 | |
| 49 | s7 | 0.0032 | 0.0042 | 0.0040 | |
| 50 | s8 | 0.0026 | 0.0043 | 0.0039 | |

Методика выполнения маркшейдерских работ

Поскольку для выполнения работ такой точности не подходит ни одна из существующих методик создания маркшейдер-

ских и геодезических сетей [3, 4], была разработана методика измерения линейно-угловых сетей, объединяющая технологию триангуляции и трилатерации при измерении треугольников и геодезических четырехугольников. Измерения выполнялись электронным тахеометром Nikon M03, который позволяет при однократных измерениях обеспечить ошибку измерения вертикального и горизонтального угла 3" и расстояния 2 мм + 2 мм/км.

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:

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

а ошибка измерения расстояния:

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

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

Для выполнения измерений были изготовлены специальные самоцентрирующие вешки с уровнями (рис 7) и отражательными призмами, обеспечивающими точность центрирования над контрольной точкой 0,2 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.



Рис. 7. Измерительное приспособление

Один из приемников (базовый приемник) помещается на точку с заранее известными координатами (ПП2983, ПП0028, ПП014), так называемую базовую станцию, и ведет непрерывные спутниковые наблюдения весь сеанс GPS-съёмки. В течение определенного периода времени, зависящего от конкретного вида съёмки, производится наблюдение базовой линии, после чего приемник перемещается на следующую точку. Как показывают исследования Federal Geodetic Control Subcommittee (FGCS) [7] 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.

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 определялись 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.

Фактически среднее время измерения вектора для данной сети 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, 8], табл. 2.

Таблица 2

Каталог уравненных координат точек сети
 (спутниковые измерения)

| № | Имя точки | Сред. квадрат. ошибки | | | Примечание |
|----|-----------|-----------------------|--------|--------|--------------|
| | | Mx | My | Mz | |
| 1 | GPS0 | | | | план./высот. |
| 2 | P137 | | | | план./высот. |
| 3 | GPS2 | | | | план./высот. |
| 4 | S004 | | | | план./высот. |
| 5 | 005A | | | | план./высот. |
| 6 | B001 | 0.0043 | 0.0043 | 0.0102 | |
| 7 | S008 | 0.0013 | 0.0013 | 0.0030 | |
| 8 | S003 | 0.0031 | 0.0031 | 0.0073 | |
| 9 | A001 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0047 | |
| 10 | A002 | 0.0032 | 0.0032 | 0.0076 | |
| 11 | C002 | 0.0016 | 0.0016 | 0.0037 | |
| 12 | C001 | 0.0016 | 0.0016 | 0.0037 | |
| 13 | P135 | 0.0013 | 0.0013 | 0.0029 | |
| 14 | GPS1 | 0.0012 | 0.0012 | 0.0029 | |
| 15 | VREM | 0.0013 | 0.0013 | 0.0030 | |

Для уточнения высотного положения опорных и контрольных точек был пройден ход геометрического нивелирования III-го класса.

Совместное уравнивание спутниковых и геодезических измерений показало, что фактические ошибки положения пунктов сети составили от 3 до 6 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 мм относительно опорных точек. На рис. 8 показана схема геодезических измерений 80 фундаментных блоков криволинейного участка № 1 и диаграмма распределения ошибок определения их координат. Диаграмма показывает, на каких точках ошибки определения координат точек превышают допуск и требуются повторные измерения.

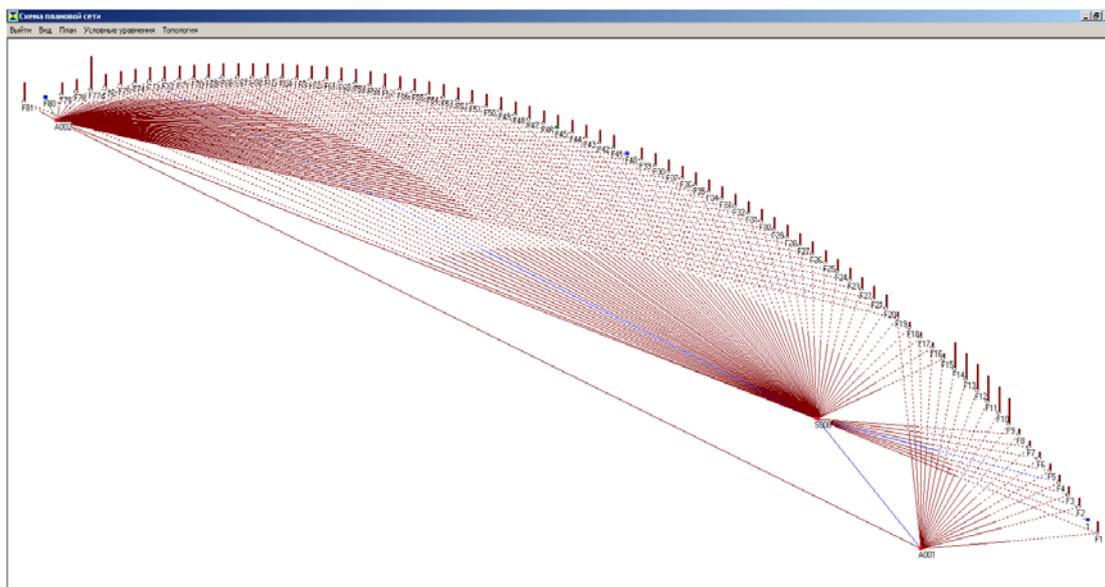


Рис. 8. Схема геодезических измерений фундаментных блоков криволинейного участка № 1

На третьем этапе измерений также были выполнены работы по выноске точек в соответствии с новым проектом, а также определено положение упорных балок в камере загрузки. Эти работы выполнялись электронным тахеометром фирмы Leica TCR 1200 с управляющим программным комплексом «Визир 3D» [8, 10]. Схема измерений комплексом «Визир 3D» показана на рис 9.

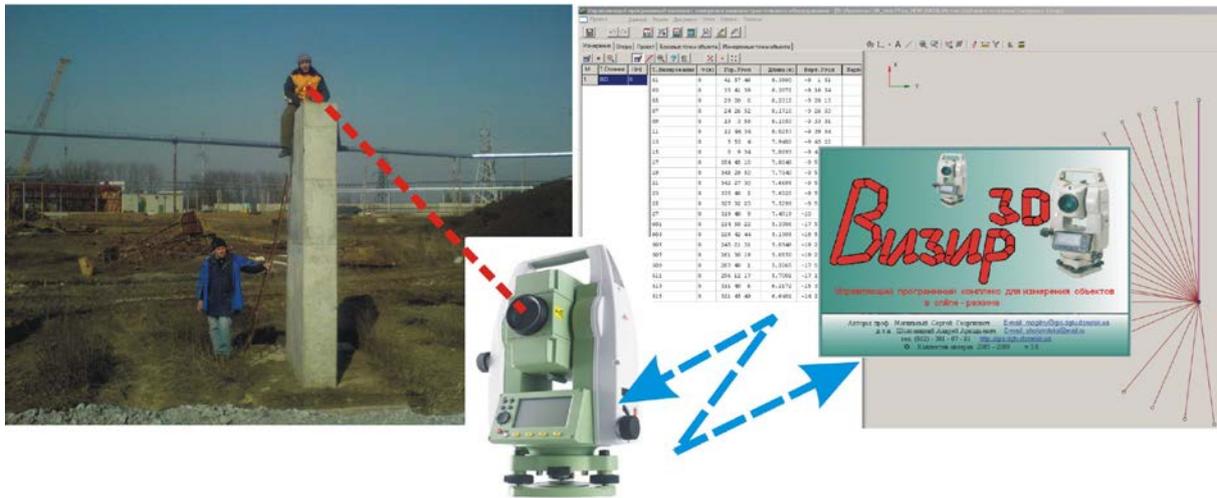


Рис. 9. Схема измерений комплексом «Визир 3D»

Выводы:

После проведения комплекса работ по созданию маркшейдерской опорной сети КЛК можно сделать следующие выводы:

- Для создания маркшейдерского и 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 для строительства объекта и монтажа оборудования.
- Максимальная точность специальных высокоточных геодезических и маркшейдерских сетей на поверхности может быть достигнута только при совместном уравнивании всех геодезических и спутниковых измерений.
- При выполнении маркшейдерских и геодезических работ измерения следует выполнять с более высокой точностью, чем та, которая задавалась при предрасчете точности, с «запасом» в 25 – 30 %, т.к. предрасчет использует идеальную точность измерений, которую достичь на практике не всегда возможно, особенно в сложных метеорологических условиях.
- Для выполнения измерений в высокоточных маркшейдерских и геодезических сетях необходимо создавать специальную оснастку.

- Использование при измерениях онлайн-о измерительного комплекса «Визир 3D» позволяет сократить время измерений в 3–5 раз и повысить точность измерений за счет статистической обработки и отбраковки некачественных измерений. Кроме того, комплекс «Визир 3D», единственный из геодезических онлайн-программ позволяет выполнять измерения 3-мя и более приемами.

Опыт выполнения специальных маркшейдерских работ показывает, что маркшейдерские службы горных предприятий и остатки служб БСМР не в состоянии выполнить такие работы – они не имеют ни высококвалифицированных кадров, ни соответствующего оборудования и оснастки. По-видимому, в будущем такие работы будут выполняться специализированными аутсорсинговыми предприятиями, которые будут обслуживать горные предприятия региона.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Микольский Ю.Н. Выверка и центровка промышленного оборудования / Микольский Ю.Н., Кравченко В.М., - К., Будівельник, – 1979, 188 с.
2. Баран П.И. Геодезические работы при монтаже и эксплуатации оборудования / Баран П.И. – 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 представництво фірми) – електронний ресурс.
6. Льюис Э, Гребенешников А.Л. Канатно-ленточные конвейеры производства METSO MINERALS //Научно–технический журнал «Горная промышленность», – 2008, № 2, – С. 40 – 42.
7. <http://www.fgdc.gov/participation/working-groups-subcommittees/fgcs> – Сайт подкомитета федерального геодезического контроля (электронный ресурс).

8. Могильный С.Г., Шоломицкий А.А. Совместная обработка наземных и спутниковых геодезических измерений в локальных сетях. Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва. Зб. наук. праць. – Львів: Видавництво національного університету „Львівська політехніка”. – 2009. Вип. 1 (17) – С. 122 – 131.
9. Могильный С.Г., Шоломицкий А.А., Шморгун Є.І. Трьохкоординатний вимірювальний комплекс «Визир 3D» Наукові праці ДонНТУ: Серія гірничо-геологічна. Вип. 9(143), – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – С. 13 – 25.
10. Могильный С.Г., Шоломицкий А.А., Ревуцкий В.Н., Пригаров В.А. Измерительный комплекс «Визир 3D» на предприятиях Украины: Геодезический контроль и выверка технологического оборудования. Геопрофиль № 3 (6), – 2009. – С. 12 – 19.