



## Измерительный комплекс «Визир 3D» на предприятиях Украины

# Геодезический мониторинг и выверка технологического оборудования

### Применение высокоточных тахеометров для монтажа и выверки промышленного оборудования

Развитие промышленного производства накладывает повышенные требования к монтажу и выверке технологического оборудования металлургической и горнодобывающей промышленности. Чем выше точность изготовления и установки этого оборудования, тем более надежной будет их эксплуатация, более продолжительным безремонтный период, выше станет качество выпускаемой продукции. Все это, в свою очередь, определяет экономические характеристики производства. В настоящее время точность установки узлов для металлургического оборудования составляет 0,1..0,4 мм. Обеспечить такую точность традиционными геодезическими методами невозможно<sup>1</sup>, к тому же, эти методы достаточно трудоемкие и требуют больших затрат времени, что приводит к продолжительным простоям оборудования.

Появление и широкое распространение электронных тахеометров для геодезических съемок стимулировало их применение

### Авторы



**Сергей Георгиевич Могильный,**  
зав. кафедрой геоинформатики и геодезии  
ДонНТУ (г. Донецк), профессор

**Владимир Николаевич Ревуцкий,**  
директор ООО НПЦ «Антарес» (г. Киев)

**Владимир Александрович Пригаров,**  
ведущий специалист ООО НПЦ «Антарес»



**Андрей Аркадиевич Шоломицкий,** профессор кафедры  
геоинформатики и геодезии ДонНТУ

и в области инженерных геодезических работ<sup>2</sup>. Однако их использование для высокоточных геодезических работ сдерживалось невысокой точностью измерения длин 2-3 мм, и только недавно появились электронные тахеометры, которые позволяют измерять длины с точностью 0,5 мм и даже 0,2. Эти тахеометры используются в традиционном для топографической съемки *offline*-режиме,

то есть выполняется полный или частичный комплекс измерений объекта, затем данные передаются в компьютер и выполняется их обработка, по результатам которой производится выработка управляющих воздействий. Такое использование электронных тахеометров неэффективно при выверке технологического оборудования, т. к. их установка в проектное положение выполняется

методом последовательных приближений. Иногда приходится выполнять до 12 итераций, прежде чем объект займет проектное положение. Такое число итераций связано с тем, что объекты имеют большие размеры и вес, а установка выполняется оборудованием, которое не позволяет контролировать перемещение с точностью до десятых долей миллиметра (обычно это краны, клинья и домкраты). Поэтому для геодезического обслуживания таких работ нужен программно-аппаратный измерительный комплекс, который работает в *online*-режиме (в режиме реального времени). Авторы нашли только одну интернет-ссылку с описанием схожей технологии — это программное обеспечение *3-DIM Observer* фирмы *GLM Lasermesstechnik GmbH*, которое работает на специализированном контроллере в связке с электронными тахеометрами фирмы *Sokkia*.

Поскольку в Украине имеется большая потребность в выполнении монтажных и выверочных работ для крупногабаритного технологического машиностроительного и металлургического оборудования, на кафедре геоинформатики и геодезии Донецкого национального технического университета, при технической поддержке фирмы «Антарес», создан и испытан в производственных условиях программно-аппаратный измерительный комплекс «Визир 3D».

**Подробнее о комплексе «Визир 3D»**

Программный комплекс «Визир 3D» является развитием программы «Маркшейдерские геодезические сети и съемки» (*МГСети*) и предназначен для высокоточной выверки геометрических параметров различного технологического оборудования и установки его в проектное положение. Особенностью данного комплекса является возможность его работы в *online*-режиме совместно с высокоточными электронными тахеометрами серий *NET*, *SRX* и *SET* фирмы *Sokkia*. При этом комплекс обладает всеми возможностями

программы *МГСети*, предназначенной для построения, уравнивания и предрасчета точности плановых, высотных, а так же планово-высотных сетей произвольной конфигурации и обработки тахеометрических съемок.

Логической единицей обработки служит проект измерения объекта. Проект может включать любое число отдельных измерений элементов конструкции, в том числе и не связанных между собой. В проект может включаться теоретическая модель изделия (проектные чертежи). В этом случае программный комплекс может выполнить анализ соответствия фактического положения изделия его проектному положению.

Для повышения точности геодезических измерений программный комплекс «Визир 3D» может работать в синхронном режиме с двумя тахеометрами, в этом случае можно достичь точности измерений 0,1 мм и менее, в зависимости от условий и технологии измерений.

Использование *online*-режима измерений и обработки позволяет очень оперативно, непосредственно после выполнения измерений, получить результаты и выполнить корректировку положения или формы объекта.

Измерительный комплекс является совокупностью двух устройств — измерительного прибора и портативного компьютера. Эти устройства взаимодействуют между собой, используя для этого каналы радиосвязи, реализуемые технологией *Bluetooth*. Измерительный прибор получает от компьютера управляющие команды, а компьютер регистрирует и обрабатывает выполненные измерения. В измерительном комплексе реализована связь между его компонентами, которая известна как связь «клиент — сервер» в её модификации «*point — to point*».

После создания нового проекта или открытия существующего на экране будет показана форма с информацией о проекте и измерениями (рис. 1).

Технология измерений в программном комплексе «Визир 3D» отличается от традиционно принятой

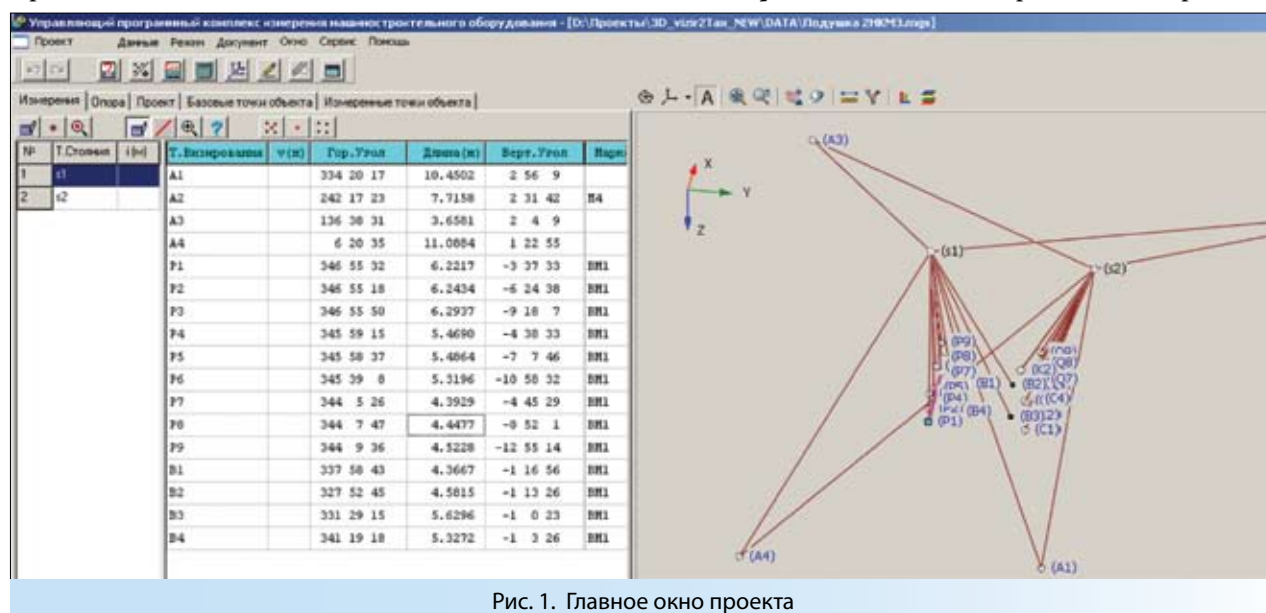


Рис. 1. Главное окно проекта

при производстве геодезических работ, это обусловлено использованием *online*-измерений. Для того чтобы получить наиболее качественные измерения, на каждую точку выполняется визирование при круге лево и круге право и производится серия из пяти измерений (число измерений в серии устанавливается программно). В результате в режиме реального времени мы получаем усредненный результат, свободный от коллимационной ошибки, и можем по отклонениям от среднего оценить качество измерений на данную точку. Программно контролируются отклонения от среднего и выделяются красным цветом (рис. 2). Но решение на исключение некачественных измерений принимает геодезист.

Гор. Угол	d(G) °	Верх. Угол	d(B) °	Длина, м	d(L) мм
327 37 35.0	0.00	10 22 35.0	0.00	3.6960	-0.20
327 37 35.0	0.00	10 22 35.0	0.00	3.6970	0.80
327 37 35.0	0.00	10 22 35.0	0.00	3.6960	-0.20
327 37 35.0	0.00	10 22 35.0	0.00	3.6960	-0.20

Рис. 2. Форма *online*-измерений

Кроме *online*-измерений одиночным тахеометром, программный комплекс «Визир 3D» может управлять работой двух электронных тахеометров в синхронном и асинхронном режимах (рис. 3).

Обязательным условием является создание высокоточной геодезической сети объекта (внутрицеховой

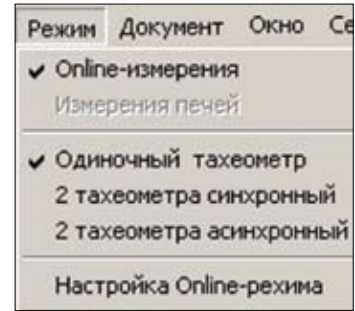


Рис. 3. Меню выбора режимов измерений

сети). Возможна закладка жестких пунктов, однако при такой схеме измерений необходимо принудительное центрирование тахеометров на пунктах А и В (рис. 4), чтобы исключить ошибки центрирования тахеометров. Кроме того, эта схема очень жесткая, она не обеспечивает выбора наилучших вариантов размещения тахеометров относительно объекта измерений.

Технология измерений двумя тахеометрами состоит из нескольких этапов. На первом этапе выполняется привязка тахеометров, стоящих на точках А и В, к жестким пунктам внутрицеховой сети. После привязки выполняется уравнивание измеренных величин, вычисляются координаты точек стояния А и В и средние квадратические ошибки координат  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ , которые позволяют оценить качество геодезических измерений на данном этапе.

После этого выполняются измерения точек объекта двумя тахеометрами в синхронном режиме. Для этого на измеряемую точку С устанавливается отражательная пластина (или наклеивается отражательная пленка) и выполняются измерения с точек А и В на точку С по технологии *online*-измерений (как и одиночным тахеометром, рис. 2). Отличие этих измерений состоит в том, что можно в режиме реального времени оценить внутреннюю сходимость резуль-

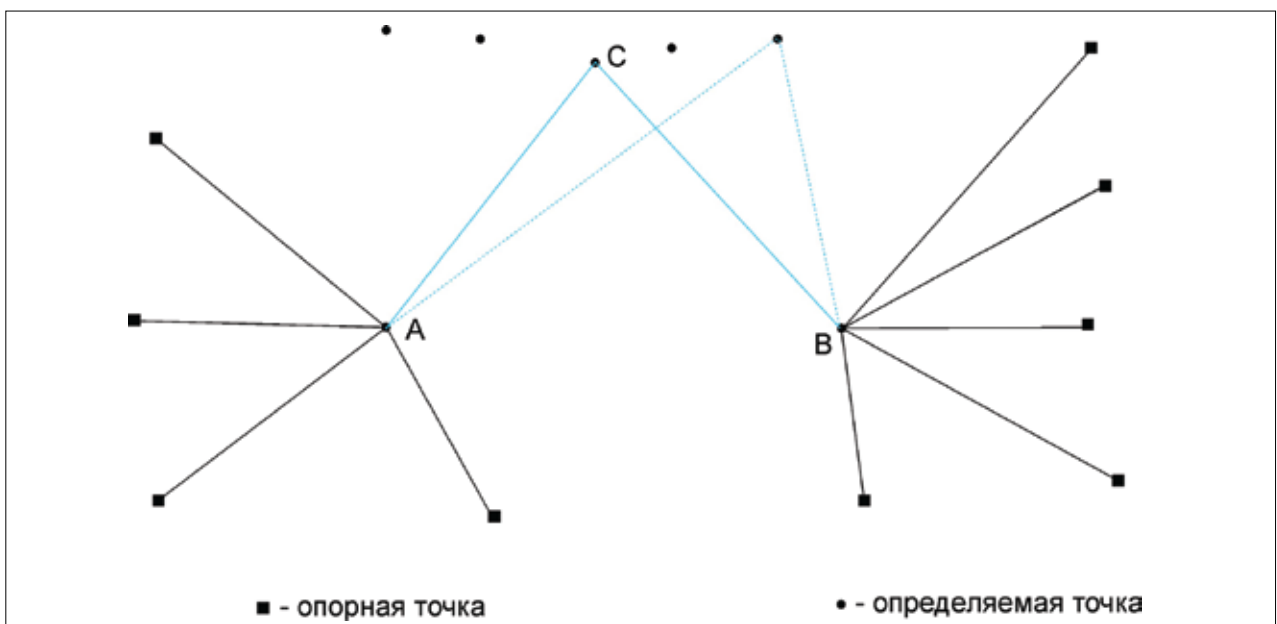


Рис. 4. Схема измерений двумя тахеометрами

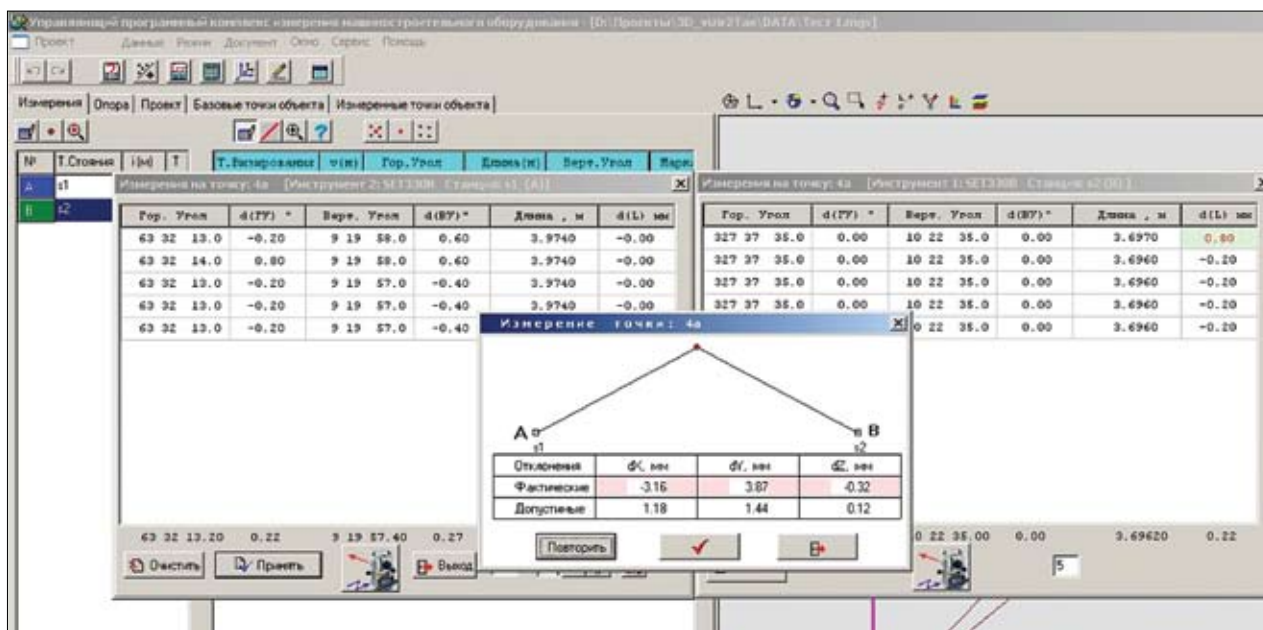


Рис. 5. Оценка точности синхронных измерений

татов измерений, т. к. можно определить координаты точки С от точки А и точки В и оценить их отклонения (рис. 5). Кроме того, можно выполнить теоретическую оценку точности определения координат точки С при заданных параметрах измерений и конфигурации сети (рис. 5), то есть вычислить допустимые отклонения координат.

Таким образом, при выполнении синхронных измерений двумя тахеометрами можно получить действительно надежные результаты с прогнозируемой точностью. Для высокоточных измерений необходимо выполнять предрасчет точности как внутрицеховой сети, так и конкретной схемы привязки и измерений.

Асинхронный режим работы двумя тахеометрами используется, когда каждая из точек стояния привязывается к опорной сети отдельно. Такая ситуация возникает достаточно часто из условий видимости точек, часть из них закрывается оборудованием и опорными конструкциями.

**Переход в систему координат объекта**

Если на объекте можно измерить точки, для которых на чертеже имеются базовые размеры, то можно выполнить переход от геодезической системы координат в систему координат объекта. Для этого необходимо измерить не менее трех базовых точек, которые не лежат на одной прямой, для которых известны координаты в системе координат изделия.

Для задания базовых точек на закладке «Базовые точки объекта» задается не менее трех точек с известными координатами (рис. 6).

Может быть задано более трех точек, и не все из них могут использоваться для перехода в систему координат детали. Базовые точки выделены красным цветом, черным цветом показаны контрольные точки.

Для перехода в систему координат детали необходимо нажать кнопку главного инструментального меню программы. Если задано три и более базовых точек, то будет выполнен переход в систему координат детали. Если точек менее трех, то геодезические измерения будут пересчитаны в размерность чертежа.

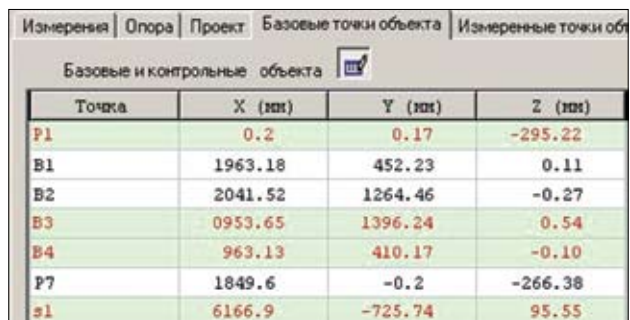


Рис. 6. Форма для задания базовых точек детали

Размерность чертежа и коэффициент температурного расширения задаются на вкладке «Проект» (рис. 7).

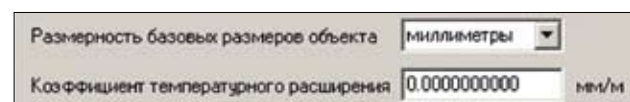


Рис. 7. Задание параметров перехода

По умолчанию при создании проекта размерность устанавливается в «миллиметры», а температурный коэффициент расширения 0.0. Если температура измерений сильно отличается от температуры базовых размеров (20° C), то необходимо ввести коэффициент температурного расширения с учетом разницы температур и вида материала изделия.

После пересчета координат, они отображаются в таблице на закладке «Измеренные точки объекта».

Для базовых и контрольных точек будут показаны отклонения от теоретических размеров (размеров чертежа). Эти отклонения позволяют охарактеризовать точность измерения базовых и контрольных точек объекта (рис. 8).

Точка	X (мм)	Y (мм)	Z (мм)	dx (мм)	dy (мм)	dz (мм)
P1	0.13	0.02	-295.29	0.07	0.15	0.07
B1	1963.34	452.49	-0.36	-0.16	-0.26	0.47
B2	2041.58	1264.73	0.07	-0.06	-0.27	-0.34
B3	953.57	1396.37	0.54	0.08	-0.13	-0.00
B4	963.20	410.25	-0.02	-0.07	-0.08	-0.08
P7	1849.70	0.40	-266.87	-0.10	-0.60	0.49
#1	6166.98	-725.79	95.54	-0.08	0.05	0.01
#2	6080.31	2090.78	94.73			
A1	-3683.49	2723.24	636.25			
A2	8972.98	6453.47	438.85			

Рис. 8. Закладка «Измеренные точки объекта»

### Определение геометрических параметров объекта

Проверка соответствия изготовленной детали чертежу может выполняться как в геодезической системе координат, так и в системе координат объекта. При использовании геодезической системы координат очень важным моментом является выбор точек, определяющих начало и направление координатных осей.

Сама проверка заключается в определении геометрических параметров отдельных элементов и правильности расположения одних элементов относительно других.

После перевычисления координат точек в систему координат объекта (или приведения к заданной размерности) на закладке «Измеренные точки объекта» становится доступным инструментальная панель (рис. 9), с помощью которой выполняются операции определения правильности отдельных геометрических элементов изделия и их взаимного положения.

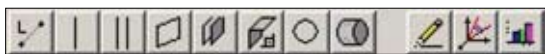


Рис. 9. Инструментальная панель

С помощью этих инструментов можно проверить прямолинейность объекта, параллельность прямых, плоскостность, параллельность плоскостей, перпендикулярность плоскостей, расположение точек на окружности и цилиндре. Возможна передача измеренных точек в САПР (AutoCAD или «Компас») для совмещения с чертежом детали и графического определения отклонений.

При использовании этих инструментов из таблицы «Измеренные точки объекта» выбираются точки, которые относятся к одному или двум объектам.

При измерении параллельных прямых или плоскостей точки желательно набирать симметрично для обоих объектов, в этом случае можно будет опреде-

лить расстояния между соответствующими точками прямых или плоскостей.

В настоящее время комплекс позволяет решать следующие задачи:

- определение прямолинейности;
- определение параллельности линий;
- определение плоскостности;
- определение параллельности плоскостей;
- определение перпендикулярности плоскостей;
- определение действительного радиуса окружности;
- определение параметров цилиндра.

На практике возникает необходимость анализа расположения различных объектов друг относительно друга: прямой и плоскости, двух произвольных плоскостей, соосности, параллельности и перпендикулярности нескольких валов или цилиндров и т. д. Комбинаций может быть множество. Кроме того, на изделии не всегда можно измерить базовые точки для перехода в систему координат данного изделия. То есть изделие может находиться под некоторыми углами относительно геодезической системы координат. В этом случае необходимо анализировать положение прямых и/или нормалей двух или более объектов. Скалярное произведение векторов нормалей (или прямых) двух объектов даст действительные углы между этими объектами. Последовательное применение этого правила к группе объектов позволит охарактеризовать их расположение относительно какого-то начального объекта или друг относительно друга.

Если на изделии контролируется элемент или элементы, которые можно измерить с одной точки стояния, то создание опорной сети объекта не требуется. Такой вариант измерений возникает, когда измеряется одна плоскость или две взаимно перпендикулярные плоскости, окружность или цилиндр и т. д.

В общем случае для измерения крупногабаритного объекта необходимо создавать временную геодезическую сеть, которая сохраняет свое положение во время измерения данного изделия. Сеть состоит из четырех или более точек, которые закрепляются вокруг изделия на расстоянии 5-10 метров. Кроме этого на самом изделии располагаются 3-4 измерительных марки, которые не меняют своего положения во время измерений.

Опорные точки следует располагать таким образом, чтобы лазерный луч тахеометра падал на отражающую поверхность опорной точки под углом не более 30 градусов. Если марка с поворотной отражающей пластиной, то необходимо развернуть пластину таким образом, чтобы лазерный луч падал на нее под углом близким к 90 градусам.

**Опыт использования комплекса: Краматорск, Мариуполь, Донецк, Александрия ...**

Производственная эксплуатация комплекса началось в 2007 году на ОАО «Новокраматорский машиностроительный завод», где он используется для контроля сборки крупногабаритного оборудования,



Рис. 10. Общий вид МНЛЗ с установленными шаблонами

и ОАО «ММК им. Ильича» для выверки машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) (рис. 10).

Фактическое положение узлов и механизмов оборудования МНЛЗ отличается от теоретического, заданного проектно-конструкторской документацией на машину. Причины отклонения — неизбежные ошибки действительных размеров, допущенные в ходе изготовления, сборки и монтажа узлов и механизмов. В процессе эксплуатации МНЛЗ происходят естественные процессы износа и деформирования узлов и элементов машины. Оборудование участка формирования непрерывно литого слитка подвержено интенсивному тепловому нагружению, действию ферростатического давления столба жидкого металла и нагрузок со стороны слитка, работает в условиях повышенной влажности и запыленности<sup>3</sup>.

С целью предупреждения отклонений положения оборудования МНЛЗ геодезической службой проектно-конструкторского отдела ОАО «ММК им. Ильича» выполняется комплекс работ по выставке и настройке узлов и механизмов оборудования во время ремонтных работ. Оборудование проверяется на соответствие проекту высотных отметок и расстояний между узлами и элементами МНЛЗ.

До настоящего времени на комбинате для определения линейных размеров между осями контролируемых роликов зоны вторичного охлаждения МНЛЗ опускались и центрировались отвесы, и рулеткой измерялось расстояние между отвесами. Высотные отметки роликов определялись по методике нивелирования II класса, нивелиром Н-05 с использованием

инварных реек. Один цикл измерений геометрических параметров МНЛЗ составлял 6...8 часов.

МНЛЗ была построена в 1992 году, и на момент выполнения работ не сохранилось никаких опорных точек для выноски осей узлов и механизмов машины. Поэтому привязка геодезических измерений выполнялась по наиболее стабильным конструктивным элементам машины — посадочным гнездам подшипников механизма качания кристаллизатора.

Для выполнения измерений использовалась специальная методика измерений и приспособления. Для нахождения верхней образующей роликов и нижней образующей посадочного гнезда подшипника механизма качания использовалась призмная подставка с подвижной измерительной штангой (рис. 11).

На измерительной штанге располагается поворотная отражающая пластина с визирной целью и уровень. Использовались штанги 3 размеров: 180, 300 и 500 мм. Уровень для каждой штанги подбирался с такой ценой деления, чтобы обеспечить точность центрирования 0,1 мм. Юстировка измерительного приспособления выполнялась на экзаменаторе.

В процессе измерений контролировались: посадочное гнездо подшипника основания механизма качания и ролики № 1, 6, 15, 27, 35, 37 и 45 (рис. 12). Визирование на каждую точку выполнялось дважды при круге лево и круге право. Для контроля положения всех контрольных точек определялось дважды с различных станций. Для этого после измерений с первой станции инструмент смещался и измерения повторялись. Чтобы обеспечить связь

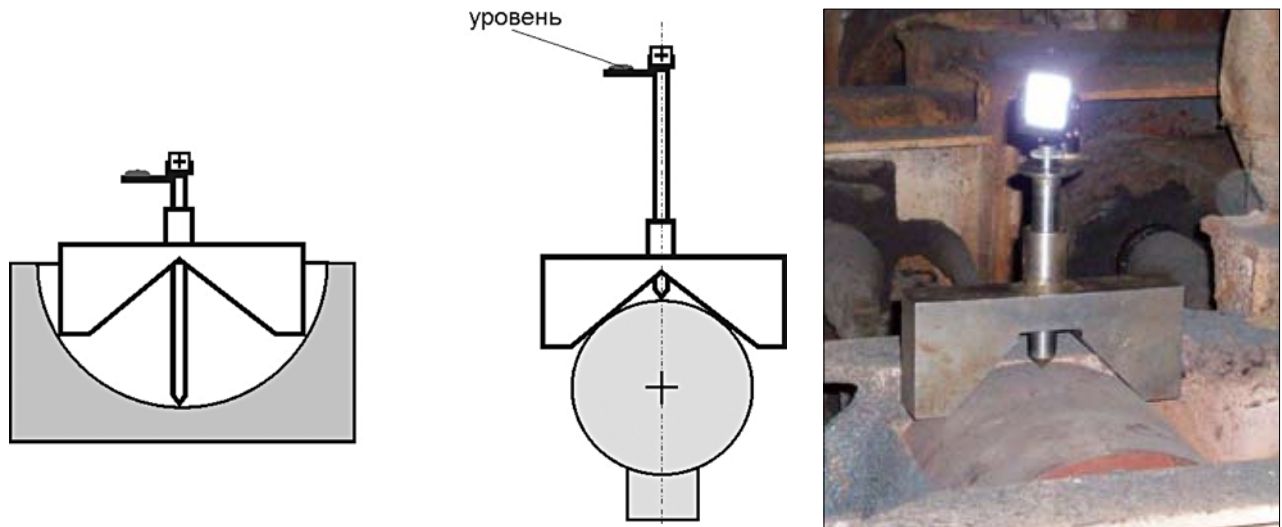


Рис. 11. Измерение призменной подставкой посадочного гнезда подшипника (слева) и ролика (справа)

между станциями, на опорных конструкциях камеры охлаждения закреплялись 4 магнитные марки, которые не меняли своего положения в процессе измерений.

Параллельно с этими измерениями геодезической службой проектно-конструкторского отдела комбината на ту же дату были выполнены контрольные измерения геометрических параметров МНЛЗ по традиционной технологии.

Анализ результатов измерений показал, что расхождение координат контрольных точек, определенных с двух точек стояния, не превышали 0,2 мм. Рас-

хождение в высотных отметках контрольных точек, определенных электронным тахеометром и из нивелирования II класса не превышали 0,1 мм. Линейные измерения расстояний электронным тахеометром оказались на порядок точнее, чем измерения рулеткой расстояния между отвесами. По времени весь комплекс измерений геометрических параметров МНЛЗ с двух станций занял 1 ч. 30 мин. За время ремонта такой комплекс измерений выполняется дважды — после установки шаблонов и после подкладки платиков, для контроля. Так что общее время простоя машины сократилось на 10-13 часов.

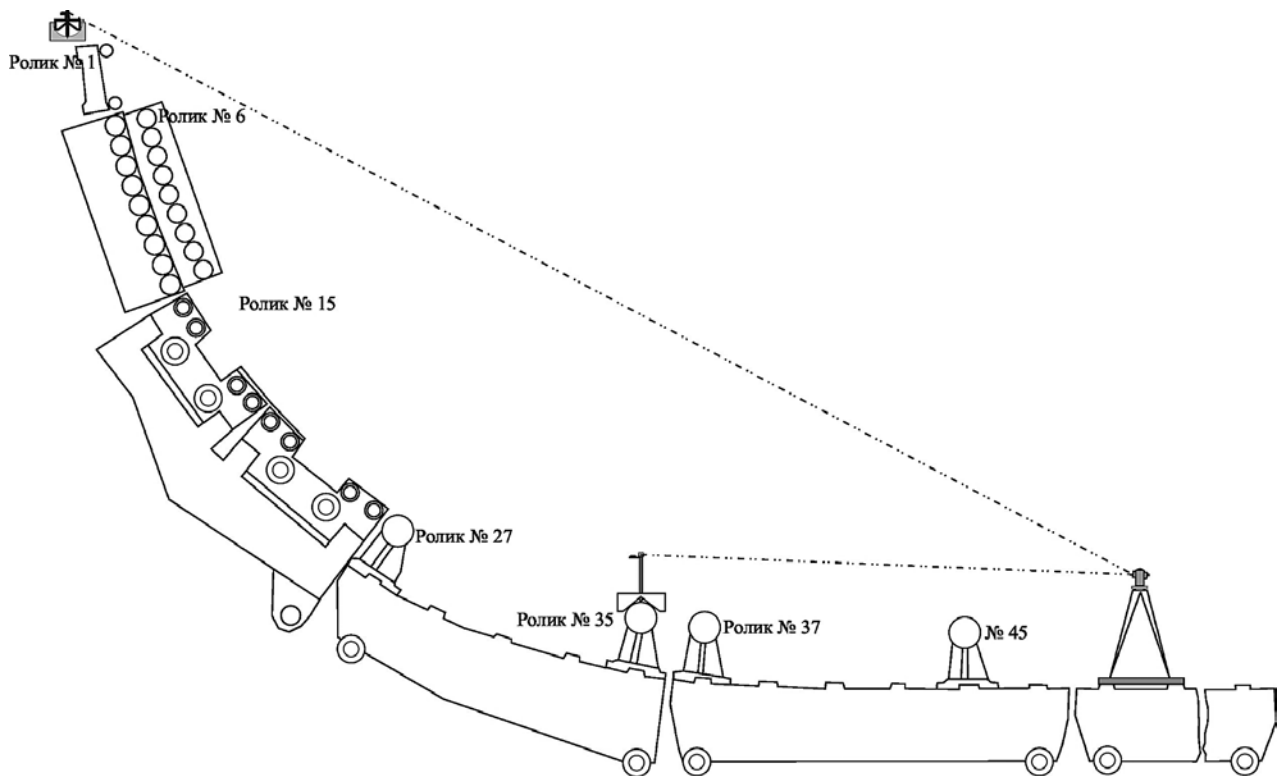


Рис. 12. Схема геодезических измерений МНЛЗ

На донецком металлургическом заводе комплекс применялся для контроля и выставки сортовой машины непрерывного литья заготовок. Т. к. механизмы сортовой МНЛЗ располагаются в отдельных изолированных помещениях, то для выполнения работ по выставке МНЛЗ в проектное положение потребовалось создание высокоточной внутрицеховой опорной сети (точность определения координат точек сети 0,3 мм), от которой впоследствии производились измерения и выставка узлов МНЛЗ.

Измерительным комплексом «Визир 3D» были измерены вертикальные и горизонтальные деформации главной фермы (длиной 307 метров) транспортно-отвального моста на разрезе Морозовский ОАО «Александрияуголь»<sup>4</sup>.

Кроме таких крупных объектов, с помощью комплекса «Визир 3D» было измерено множество более простых объектов: подушек прокатных станов, шаблонов, затравок, штоков гидроцилиндров и направляющих.

Использование комплекса «Визир 3D» в производственных условиях показало его высокую эффективность, использование online-режима измерений позволяет сократить время простоя оборудования в 3-10 раз по сравнению с традиционными геодезическими методами и при этом обеспечить значительно более высокую точность. Online-режим измерений позволяет полностью контролировать процесс измерения и отбраковывать грубые измерения.

Программное обеспечение комплекса «Визир 3D» позволяет определять геометрические параметры технологического оборудования, сравнивать

их с проектными значениями и выдавать корректируемые данные для исправления положения сразу же в цехе, по окончании измерений.

С помощью «Визир 3D» можно выполнить предрасчет точности для конкретной схемы измерения объекта, что позволяет до выполнения измерений найти наиболее оптимальную схему измерений.

В одной статье невозможно полностью описать возможности комплекса и особенности его применения, однако на сайте кафедры Геоинформатики и геодезии ДонНТУ можно найти больше информации о комплексе и его применении и посмотреть документацию.

Сайт кафедры геоинформатики и геодезии ДонНТУ — <http://gis.dgtu.donetsk.ua>

**Источники**

- <sup>1</sup> Микольский Ю.Н., Кравченко В.М. Выверка и центровка промышленного оборудования К.: Будівельник, 1979. Баран П.И. Геодезические работы при монтаже и эксплуатации оборудования. М.: Недра, 1990.
- <sup>2</sup> Петров В.В., Тюрин С.В. Контроль геометрических характеристик вращающихся печей. // «Целлюлоза. Бумага. Картон», - 2005. — № 7. Шоломицкий А.А., Сотников А.Л., Адаменко В.И. Контроль геометрических параметров машины непрерывного литья заготовок. // «Металлургические процессы и оборудование», - 2007. - №3(9).
- <sup>3</sup> Сотников А.Л. Контроль соосности оборудования МНЛЗ. // «Металлургические процессы и оборудование», - 2006. - №1(3).
- <sup>4</sup> Николаева Т.Г., Шоломицкий А.А., Фролов И.С., Стеценко Н.М. Наблюдения за деформациями металлоконструкций транспортно-отвального моста на Морозовском разрезе ОАО «Александрияуголь». // «Научный вестник национального горного университета». - 2008. - № 9.

**ПРОФИЛЬНАЯ КНИГА**

**Бесплатная доставка книг по Украине**

**Книги можно заказать по тел. (044) 221-07-26 или e-mail [geoprofile@yandex.ru](mailto:geoprofile@yandex.ru)**



**Геодезія у природо-користуванні**

**Автор: Волосецкий Б. І.**  
Львів, 2008 р., 288 стр.

Книга рассчитана на тех, кто только начинает работать в области геодезии и кадастра природных ресурсов. Даны базовые сведения о методах геодезических и гидрометрических измерений, топографии, землеустройстве, лесоустройстве, мелиорации, денежной оценке земель. Описаны основы инвентаризации земель и кадастровых съемок.

**Цена 68 грн**



**Геодезія**

**Автори: Островський А. Л. та ін.**  
Львів, 2008 р., 564 стр.

Фундаментальный учебник по геодезии на 564-х страницах. Описаны все применяемые в настоящее время методы геодезических измерений. Дана характеристика современных оптических и спутниковых геодезических приборов. Отдельные главы посвящены полигонометрии, уравниванию сетей, топографической съемке, подготовке фотопланов, созданию ЦМР.

**Цена 130 грн**



**Фотограмметрія**

**Автори: Дорожинський О. Л., Тукай Р.**  
Львів, 2008 р., 332 стр.

В книге изложена теория аналитической фотограмметрии и решения основных фотограмметрических задач, что является основой цифровой фотограмметрии. Освещены вопросы цифровой обработки изображений, в частности формирования образов, улучшения качества, методы сжатия и т.д. Детально описаны технологии цифровой фотограмметрии, в частности построение цифровых моделей рельефа и поверхности, аэротриангуляции, корреляции изображений, создание ортофотокарт.

**Цена 135 грн**



**Наземне лазерне сканування**

**Автори: Середович В. А., Комиссаров А. В., Комиссаров Д. В., Широкова Т. А.**  
Новосибірськ, 2009 г., 261 стр.

Единственная книга на русском языке по наземному лазерному сканированию. В книге рассмотрены принцип действия и классификация сканеров. Приведены источники погрешностей в результате сканирования и даны рекомендации по их исключению. Изложены методы и выполнен анализ внешнего ориентирования сканов. Разработана методика прокладки сканерных ходов. Большое внимание уделено технологии сканирования и методикам обработки данных с использованием различных программ.

**Цена 310 грн**



**Земельне право України**

**За ред. Погрібного О. О. та Каракаша І. І.**  
Київ, 2009 г., 600 стр.

Всеобъемлющий учебник по земельному праву України. На 600 страницах изложены сведения о правовом режиме земель всех категорий, регулировании землеустройства и ведении земельного кадастра.

**600 страниц!**

**Цена 169 грн**



**Земельне право**

**Автор: Мачуська І. В.**  
Київ, 2007 г., 280 стр.

В книге рассмотрены вопросы теории земельного права и практики его применения в Украине, также освещены вопросы земельной реформы, права собственности на землю, права использования земли.

**Цена 77 грн**