

2. Науменко, А.И. Наземное лазерное сканирование. Дистанционные методы в лесоустройстве и учете лесов. Приборы и технологии / А.И. Науменко // Материалы Всерос. совещ.-семина. с междунар. участ. — Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2005.
3. Комиссаров, А.В. Методика исследования метрических характеристик сканов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.В. Комиссаров. - Новосибирск: Сиб. гос. геодез. акад., 2007.
4. Комиссаров, Д.В. Разработка и исследование методики прокладки сканерных ходов / Д.В. Комиссаров, А.В. Комиссаров. - Геодезия и картография. - № 4. - 2008.

**ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕХКООРДИНАТНОГО  
ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА «ВИЗИР 3D»**

*Могильный С.Г., д-р техн. наук, проф.;*  
*Шоломицкий АЛ., д-р техн. наук, доц.; Шморгул ЕЛфф.*  
*(Донецкий национальный технический университет, Украина)*

*Рассмотрены возможности онлайн-ового трехкоординатного измерительного комплекса «Визир 3D», предназначенного для монтажа и выверки технологического оборудования. Приведены данные тестирования и практического применения на машиностроительных и металлургических заводах.*

Развитие 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. В настоящее время точность установки узлов для металлургического оборудования (например, для машин непрерывного литья заготовок) составляет 0,4 мм. Обеспечить такую точность традиционными геодезическими методами [1, 2] невозможно, к тому же эти методы достаточно трудоемки и требуют больших затрат времени, что приводит к продолжительным простоям оборудования.

Появление и широкое распространение электронных тахеометров для геодезических съемок стимулировало их применение для высокоточных геодезических работ [3, 4]. Однако их применение для высокоточных работ

сдерживалось невысокой точностью измерения длин 2-3 мм, и только недавно появились электронные тахеометры, которые позволяют измерять длины с точностью 0,5 мм [5] и даже 0,2 [6]. Эти тахеометры используются пока в традиционном для топографической съемки офлайн-режиме, т.е. выполняются измерения объекта, затем данные измерений передаются в компьютер и выполняется их обработка, по результатам которой производится выработка управляющих воздействий. Такое использование электронных тахеометров неэффективно при выверке технологического оборудования, так как 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 грубым оборудованием: кранами, клиньями и домкратами. Поэтому для геодезического обслуживания таких работ нужен программно-аппаратный измерительный комплекс, который работает в онлайн-режиме (режиме реального времени). Авторы нашли только одну ссылку в Internet с такими критериями - это программное обеспечение 3-DIM Observer фирмы GLM Lasermesstechnik GmbH [7], 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 создан программно-аппаратный комплекс измерительный комплекс «Визир 3D», который является развитием программного комплекса «Маркшейдерские геодезические сети и съемки» (МГСети) [8], и предназначен для высокоточного обмера и выверки геометрических параметров различного технологического оборудования и установки его в проектное положение. Особенностью данного комплекса является возможность его работы в онлайн-режиме совместно с высокоточными электронными тахеометрами серий *NET*, *SRX* и *SET* фирмы *Sokkla*. При этом комплекс обладает всеми возможностями программы МГСети, предназначенной для построения, уравнивания и предрасчета точности плановых, высотных, а также плано-высотных сетей произвольной конфигурации и обработки тахеометрических съемок.

Для повышения точности геодезических измерений программный комплекс *Визир 3D* может работать в синхронном режиме с 2 тахеометрами, в этом случае можно достичь точности измерений 0,1 мм и менее, в зависимости от условий и технологии измерений.

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

Измерительный комплекс является совокупностью двух устройств — измерительного прибора и портативного компьютера (ноутбука). Эти устройства взаимодействуют между собой, используя для этого каналы радиосвязи, реализуемые технологией Bluetooth.

Для выполнения ол//ле-измерений необходимо навести электронный тахеометр на точку при КЛ и послать команду на выполнение измерений, данные будут занесены в таблицу (рис. 1). Затем на эту же точку визируют при КП и выполняют еще серию измерений.

Фер. Угол	d(PP) *	Вера. Угол	d(BP) *	Длина, м	d(L) мм
194 59 53.0	-0.00	2 56 57.0	-1.10	18.0943	-0.11
194 59 53.0	-0.00	2 56 59.0	-2.10	18.0943	-0.11
194 59 53.0	-0.00	2 56 59.0	-3.10	18.0944	-0.01
194 59 53.0	-0.00	2 56 58.0	-4.10	18.0943	0.09
194 59 53.0	-0.00	2 56 58.0	-4.10	18.0946	0.19
194 59 53.0	-0.00	2 57 6.0	3.90	18.0944	-0.01
194 59 53.0	-0.00	2 57 6.0	3.90	18.0944	-0.01
194 59 53.0	-0.00	2 57 6.0	3.90	18.0944	-0.01
194 59 53.0	-0.00	2 57 6.0	3.90	18.0944	-0.01
194 59 53.0	-0.00	2 57 6.0	3.90	18.0944	-0.01

Рис. 1. Измерения точки (2 полуприема)

Если какие-то измерения отличаются от среднего больше, чем на величину допуска, то эти отклонения выделяются цветом (см. рис. 1). Эти измерения можно исключить из вычислений.

Если на детали можно измерить точки, для которых на чертеже имеются базовые размеры, то можно выполнить переход от геодезической системы координат в систему координат изделия. Для этого необходимо измерить не менее трех базовых точек, которые не лежат на одной прямой, для которых известны координаты в системе координат 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. 2).

Точка	X (мм)	Y (мм)	Z (мм)	Δx (мм)	Δy (мм)	Δz (мм)
P1	0.01	-0.01	-0.00	-0.01	0.01	0.00
P3	2018.47	-0.02	-278.80	0.03	0.02	-0.00
s1	1876.80	1057.84	357.77			
s2	1710.27	-3288.54	405.24			
A1	-2413.79	4610.87	568.09			
A2	-5787.03	-5042.04	791.30			
A3	7964.00	-4887.72	656.58			
P2	9.73	-0.29	-877.10			
P4	2022.88	0.27	-953.90			
A4	8088.92	4280.53	717.87			
D1	712.79	-279.79	35.51			
D2	971.62	-417.31	35.21			
D3	1091.85	-554.54	35.12			
D7	-34.99	-478.61	-86.39			
C1	712.79	-279.77	760.11			
C2	971.62	-417.29	760.41			
C3	1091.85	-554.52	760.52			
C7	-34.99	-478.58	882.01			
Q1	-64.38	-1823.67	-92.70	-0.02	-0.03	0.00
Q2	-170.51	-1823.25	-903.50			
Q3	1962.59	-1823.63	-381.90	-0.03	0.03	-0.00

Рис. 2. Закладка *Измеренные точки объекта*

Проверка соответствия изготовленной детали чертежу может выполняться как в геодезической системе координат, так и в системе координат детали. При использовании геодезической системы координат 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 изделия (или приведения к заданной размерности) на закладке *Измеренные точки объекта* (см. рис. 2) становится доступной инструментальная панель (рис. 3), с помощью которой выполняются операции определения

правильности отдельных геометрических элементов изделия и их взаимного положения.



Рис. 3. Инструментальная панель

С помощью этих инструментов можно проверить прямолинейность объекта, параллельность прямых, плоскостность, параллельность плоскостей, перпендикулярность плоскостей, расположение точек на окружности и цилиндре. Последняя кнопка панели служит для передачи измеренных точек в САПР (AutoCAD), для совмещения с чертежом детали и 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 необходимо набирать симметрично для обоих объектов, в этом случае можно будет определить расстояния между соответствующими точками прямых или плоскостей.

В настоящее время комплекс позволяет решать следующие задачи:

- 1) определение прямолинейности;
- 2) определение параллельности прямых линий;
- 3) определение плоскостности;
- 4) определение параллельности плоскостей;
- 5) определение перпендикулярности плоскостей;
- 6) определение действительного радиуса окружности;
- 7) 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 2-х 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.

Проверка работоспособности и метрологических характеристик комплекса «Визир 3D» производилось в метрологической лаборатории ОАО «Новокраматорский машиностроительный завод», оснащенной высокоточной трехмерной координатной станцией фирмы BROWN & SHARPE [9], которая позволяет измерять объекты с точностью 10 мкм/м.

Для испытаний были измерены калиброванные тестовые объекты, которые измерялись трехмерной координатной станцией и измерительным комплексом «Визир 3D».

Результаты измерения радиуса, плоскостности и расстояния между параллельными плоскостями для тестовых объектов показали, что с помощью измерительного комплекса «Визир 3D» возможно измерять объекты с точностью 0,05 - 0,08 мм.

Производственное использование комплекса началось в 2007 году на ОАО «Новокраматорский машиностроительный завод», где он используется для контроля сборки крупногабаритного оборудования, и ОАО «Завод им. Ильича» для выверки машины непрерывного литья заготовок МНЛЗ.

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. Кроме этого причинами являются нарушение условий эксплуатации, аварийные ситуации, неправильное обслуживания и ремонт, и т.д. [10].

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 в соответствии с технологической осью машины во время ремонтных работ. Оборудование МНЛЗ проверяется на соответствие проекту высотных отметок и расстояний между узлами и элементами МНЛЗ.

До настоящего времени для определения линейных размеров между осями контролируемых роликов зоны вторичного охлаждения МНЛЗ, опускались и центрировались отвесы, 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.

Для выполнения измерений комплексом «Визир 3D» использовалась специальная методика измерений и приспособления. Для нахождения верхней образующей роликов и нижней образующей посадочного гнезда подшипника механизма качания использовалась призматическая подставка с подвижной измерительной штангой (рис. 4).

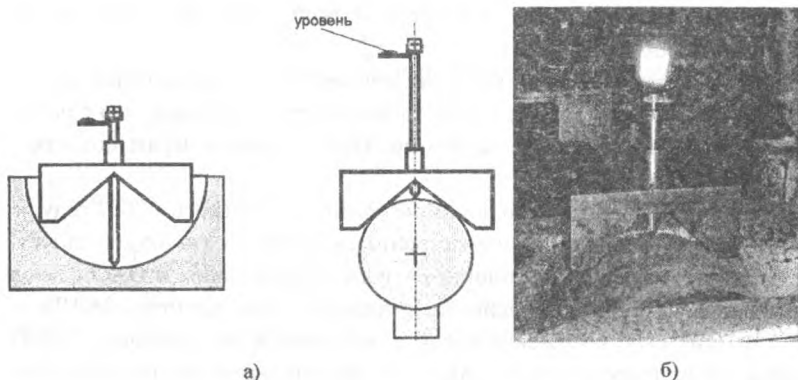


Рис. 4. Измерение призматической подставкой посадочного гнезда подшипника (а) и ролика (б)

Анализ результатов измерений показал, что расхождение координат контрольных точек, определенных с двух точек стояния, не превышали 0,2 мм. Расхождения 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 (рис. 5) 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.

На донецком металлургическом заводе комплекс применялся для контроля и выставки сортовой машины непрерывного литья заготовок.

Так как механизмы сортовой МНЛЗ располагаются в отдельных изолированных помещениях, то для выполнения работ по выставке МНЛЗ в проектное положение потребовалось создание высокоточной внутрицеховой опорной сети (фактическая точность положения пунктов составила 0,36 мм), от которой впоследствии производились измерения и выставка узлов МНЛЗ.

Кроме таких крупных объектов с помощью комплекса «Визир 3D» было измерено множество более простых объектов: шаблонов, затравок, штоков гидроцилиндров и направляющих. Комплекс также использовался для определения соосности валов.

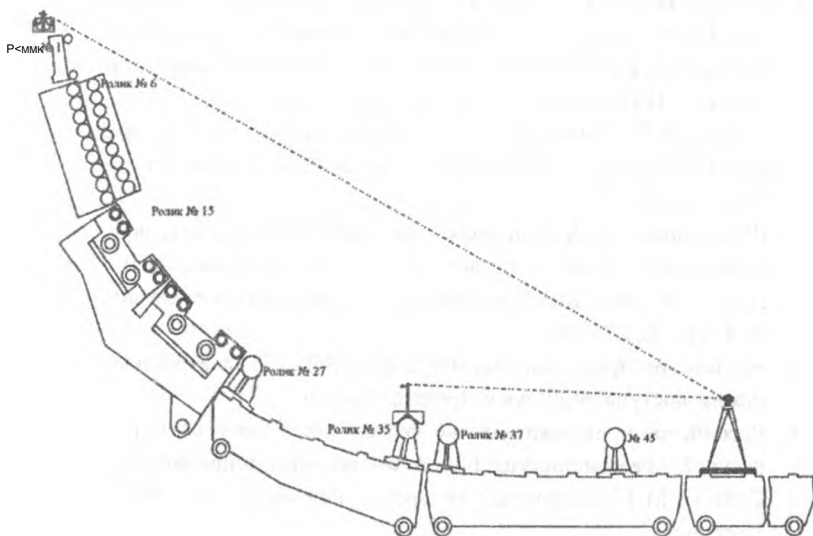


Рис. 5. Схема геодезических измерений слябовой МНЛЗ

**Выводы.** Применение 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 измерений и отбраковывать грубые измерения.



Программное обеспечение комплекса «Визир 3D» позволяет определять геометрические параметры технологического оборудования, сравнивать их с проектными значениями и выдавать корректурные данные для исправления положения сразу же в цехе, по окончании измерений.

С помощью программного обеспечения комплекса «Визир 3D» можно выполнить предрасчет точности для конкретной схемы измерения объекта.

Информацию о комплексе и сопровождающую его документацию можно найти на сайте кафедры Геоинформатики и геодезии ДонНТУ [8].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Микольский, Ю.Н. Выверка и центровка промышленного оборудования / Ю.Н. Микольский, В.М. Кравченко. - Киев: Будівельник, 1979. - 188 с.
  2. Баран, П.И. Геодезические работы при монтаже и эксплуатации оборудования / П.И. Баран. - М.: Недра, 1990. - 234 с.
  3. Петров, В.В. Контроль геометрических характеристик вращающихся печей / В.В. Петров, С.В. Тюрин // Целлюлоза. Бумага. Картон. - 2005. - № 7. - С. 66 - 70.
  4. Шоломицкий, А.А. Контроль геометрических параметров машины непрерывного литья заготовок / А.А. Шоломицкий, А.Л. Сотников, В.И. Адаменко // *Металлургические процессы и оборудование*. - 2007. - №3(9).-С. 27-30.
  5. Украинское представительство фирмы Sokkia [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.demetra5.kiev.ua>.
  6. Российское представительство фирмы Leica Geosystems [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.gfk-leica.ru/ims/industry.htm>.
  7. Сайт GLM [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.glm-laser.com>.
  8. Кафедра геоинформатики и геодезии ДонНТУ [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://gis.dgtu.donetsk.ua>.
  9. Фирма BROWN & SHARPE [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.brownandsharpe.com>.
- Ю.Сотников, А.Л. Контроль соосности оборудования МНЛЗ / А.Л. Сотников // *Металлургические процессы и оборудование*. - 2006. - № 1 (3). - С. 24 - 27.