

УДК 528.498

С.Г. МОГИЛЬНЫЙ, д-р техн. наук, проф., А.А. ШОЛОМИЦКИЙ, д-р техн. наук, проф.,
Е.И. ШМОРГУН, асп. (Донецкий национальный технический университет)

ПРОЕКТ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СТАДИОНА

Рассмотрены вопросы создания автоматизированной системы геодезического мониторинга стадионов, построения опорной геодезической сети и методики ее измерений. Обоснованы схемы и методики измерений в процессе выполнения геодезического мониторинга, выполнен предрасчет точности создания геодезической сети и измерений пространственного положения конструкций стадиона.

Введение

В последние десятилетия выросла сложность и размеры общественных зданий и сооружений, при этом проявились сложности в обеспечении безопасной эксплуатации таких сооружений. Аварии на таких объектах в последние годы, например купол «Трансвааль парка» в Москве в 2004 году, секции терминала в аэропорту (Париж 2005), кровля катков в Германии и Австрии, Басманного рынка в Москве в 2006 году показали, что вопросы оценки технического состояния перекрытий и несущих конструкций являются очень важными для безопасного функционирования объектов. Мониторинг технического состояния высотных и уникальных объектов стал необходимым элементом в комплексной системе безопасной эксплуатации таких объектов. Требования к проектированию и строительству уникальных объектов определяются строительными нормативными документами, которые определяют и необходимость мониторинга [1], к сожалению, украинские строительные нормы не определяют необходимость и формы мониторинга [2].

В России наибольший опыт оценки технического состояния уникальных объектов накоплен ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко [3,4], который выполняет мониторинг технического состояния крупнейших уникальных сооружений России: покрытия Большой спортивной арены в Лужниках, крытого конькобежного стадиона в Крылатском, Гостиного двора, Центрального выставочного зала «Манеж» (Москва) и многих других объектов. Исследования ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко показали, что наиболее критичными являются первые 6–8 лет после строительства объекта, в этот период измерения необходимо проводить более часто.

При создании систем мониторинга технического состояния объектов решаются следующие задачи:

- выбор конструктивных элементов - объектов контроля;
- определение в них опасных сечений и выбор контрольных точек измерений;
- разработка методов определения контролируемых параметров;
- выбор серийных или разработка индивидуальных технических средств контроля, изготовление и установка их на объекте;
- проведение инструментальных измерений и визуальных наблюдений;
- обработка полученных данных;
- оценка технического состояния конструкций путем сопоставления натуральных наблюдений с результатами компьютерного моделирования объектов или с критериальными показателями.

Геодезический мониторинг при строительстве и эксплуатации объектов выполняется с использованием высокоточного оборудования [9,14,15,17,18] и

специализированного программного обеспечения [16,17]. Некоторые объекты контролируются часто, практически в режиме реального времени [14], а такие как стадионы с периодичностью 2,3 или 6 месяцев, в зависимости от срока эксплуатации. Все из описанных в литературе автоматизированных систем (АСГМ) могут собирать геодезическую информацию в автоматическом режиме, обрабатывать ее, накапливать в базе данных и анализировать.

На Украине опыт оценки технического состояния уникальных сооружений имеет коллектив Донбасской академии строительства и архитектуры [5,6], который до 1988 года выполнял работы совместно с ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко по ряду олимпийских объектов в Москве.

К сожалению, наименее освещены в литературе вопросы именно геодезического мониторинга, точность работ, технология измерений и обработки. Некоторые авторы утверждают, что точность определения координат контрольных точек для сложных уникальных объектов должна составлять 1 мм [7,8]. Авторы системы геодезического мониторинга Афинского олимпийского футбольного стадиона [9] утверждают, что только при использовании самого современного геодезического оборудования, возможно построить опорную сеть вокруг стадиона при использовании специальных устройств для принудительного центрирования геодезического оборудования с точностью определения координат опорных точек 1 мм, при этом точность определения координат контрольных точек конструкций составит ± 3 мм.

Обзор публикаций показывает, что каждое из уникальных сооружений требует разработки и реализации оригинальной технологии мониторинга за деформациями конструкций. В Украине за последнее время построено или строится ряд современных стадионов, приуроченных к проведению «ЕВРО–2012». Построен новый стадион «Донбасс–Арена» (Донецк), выполнена реконструкция стадиона «Арена–Днепр» (Днепропетровск), идет реконструкция Республиканского стадиона (Киев), стадионов в Львове и Харькове. Все эти стадионы имеют большепролетные перекрытия и должны быть обеспечены комплексной системой мониторинга безопасной эксплуатации, неотъемлемой частью которой должна быть система геодезического мониторинга. Поэтому наличие подобной отечественной системы мониторинга является актуальной задачей, имеющей большое практическое значение. Исследования авторов в области on-line геодезических измерений позволяют предложить в настоящей публикации собственное решение этого важного вопроса.

Геодезический мониторинг стадиона

Целью геодезического мониторинга является определение геометрических параметров отдельных элементов конструкций и стадиона в целом в течение периода его эксплуатации.

Точность геодезических измерений должна позволить определять координаты контрольных точек с точностью 1 мм.

Геодезические измерения должны выполняться периодически, не реже 1 раза в 2 месяца в первые 2 года и 1 раз в квартал в течение последующих 6 лет.

Перед выполнением мониторинга необходимо выполнить подготовительные работы, которые включают два этапа:

1. Создание опорной сети из внешних и внутренних опорных точек. Внешние опорные точки закрепляются снаружи стадиона (рис. 1), вне зоны влияния горных работ, геологических нарушений и т.д. чтобы обеспечить их долговременную сохранность. Внешние опорные точки выполняют роль наблюдательной станции, которая должна обеспечить наблюдение за деформациями земной поверхности,

вызванными горно-геологическими факторами. Это позволит отделить деформации земной поверхности от деформаций конструктивных элементов стадиона.

От внешних опорных точек строится геодезическая линейно-угловая сеть, и передаются координаты на внутренние опорные точки, от которых в дальнейшем выполняется измерение контрольных точек расположенных на конструкциях стадиона.

2. Геодезический аудит фактического положения конструкций стадиона. На этом этапе от внутренних опорных геодезических пунктов выполняются измерения контрольных точек (рис. 1 и 2, показаны для 1 сектора), точность определения координат контрольных точек 1 мм. На этом этапе оценивается отклонение конструкций стадиона от проекта. В дальнейшем координаты контрольных точек, полученные из геодезического аудита используются для анализа деформаций конструкций при последующих измерениях.

Чтобы выполнить моделирование геодезических измерений и оценить точность определения координат использовалась программа уравнивания маркшейдерских и геодезических сетей и обработки съемок «МГСети» [10,11], которая позволяет выполнить предрасчет точности любых геодезических сетей.

Для выполнения работ планируется использовать современный высокоточный моторизованный электронный тахеометр, который позволяет измерять углы с точностью 0,5" и длины с точностью 0,5 мм.

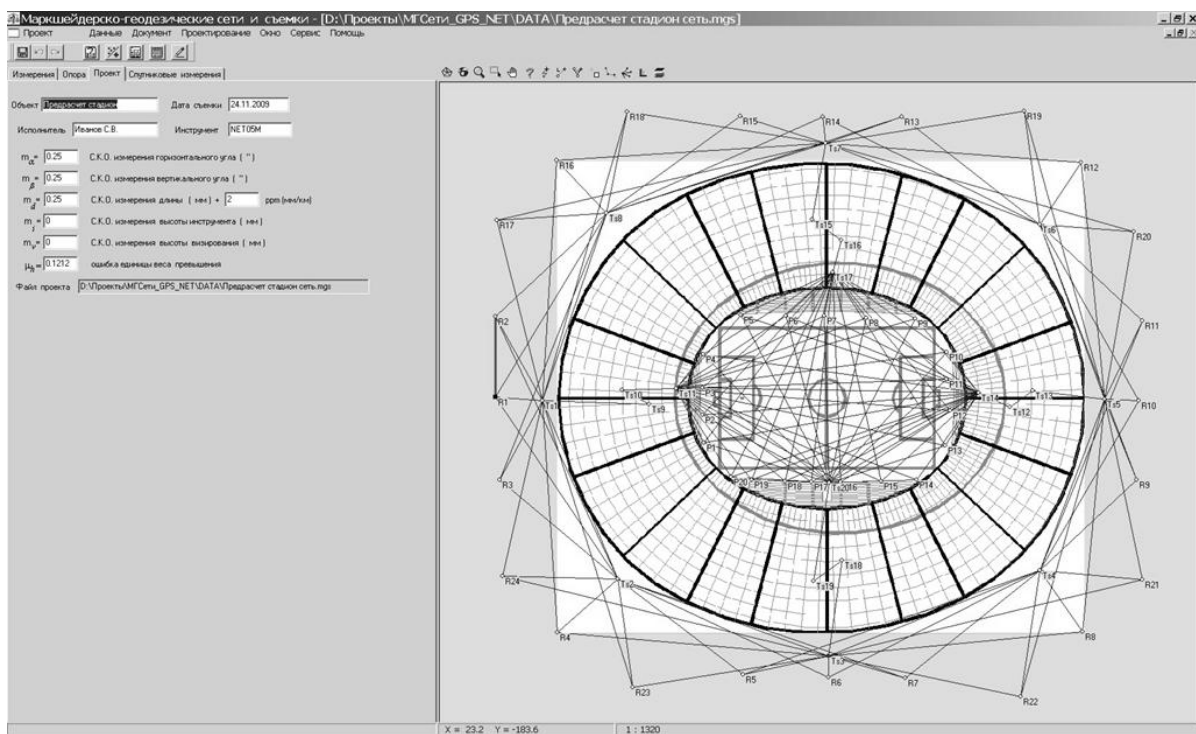


Рис. 1. Схема расположения внешних и внутренних опорных точек

Для проектирования опорной сети в программу «МГСети» загрузили чертеж стадиона и, пользуясь инструментами визуального проектирования, наметили положение опорных точек, точек стояния и предполагаемую программу измерений (рис. 1).

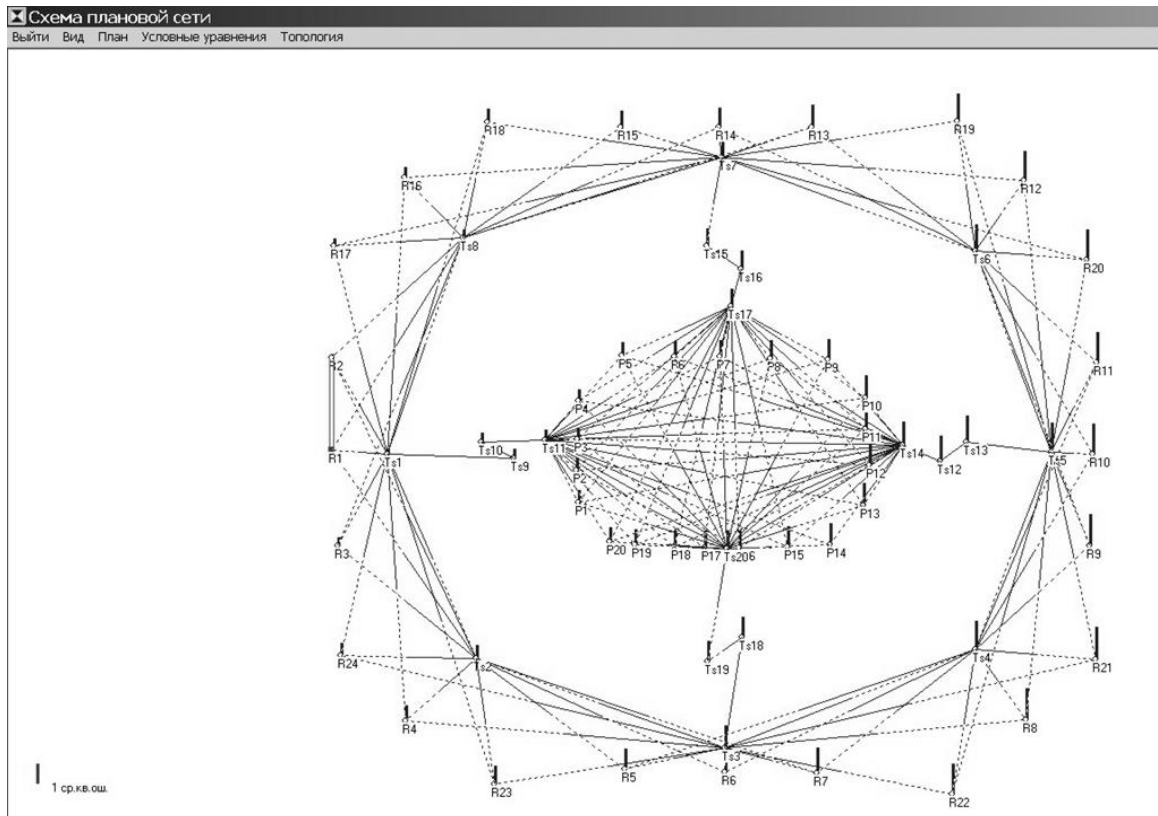


Рис. 2. Ошибки определения координат пунктов плановой сети

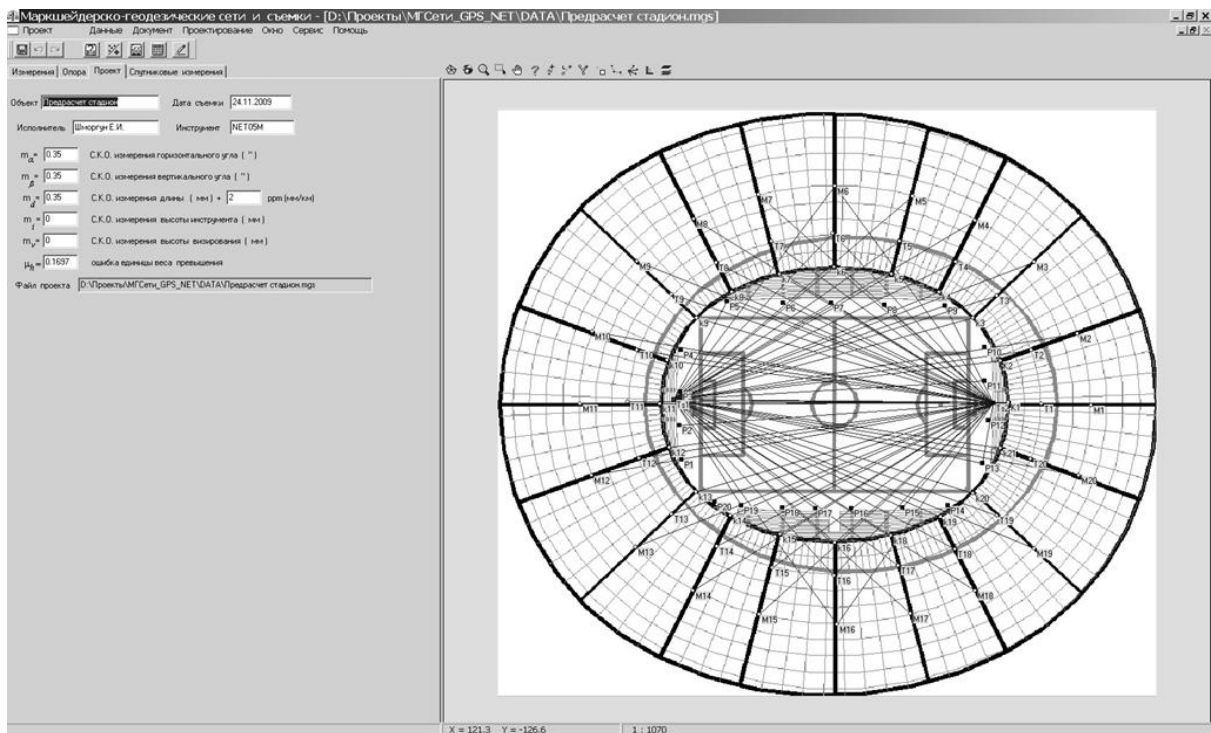


Рис. 3. Схема измерения контрольных точек с 2-х точек стояния

В результате, была спроектирована сеть из 24 внешних опорных точек (обозначены R на рис. 1), 20 внутренних опорных точек (обозначены P) которые связаны в единую линейно-угловую сеть из 20 станций (на схеме – Ts). Внешние и

внутренние точки связаны в общую сеть через лестничные переходы.

При таких параметрах точности измерений (4-х кратные измерения при КЛ и КП) можно добиться высокой точности определения координат внутренних и внешних опорных точек, на рис. 2 столбиковыми диаграммами показаны плановые ошибки сети, средние среднеквадратические ошибки плановой сети составляют 0,5 мм (максимальная для точки R20 составляет 0,9 мм), для высотной сети среднеквадратическая ошибка составляет 0,1 мм.

После создания съемочного обоснования мониторинга можно приступить к измерению контрольных точек, расположенных на конструкциях стадиона. Есть несколько вариантов таких измерений. Наиболее предпочтительным считается вариант измерений с постоянных жестко закрепленных точек с принудительным центрированием инструмента. Такие точки можно закрепить только на зрительских трибунах (рис. 3, точки Ts1 и Ts2), их должно быть как минимум две, т.к. одной точки нельзя будет измерить все контрольные точки по условиям видимости. При 2-х измерениях, при КЛ и КП, получим следующую диаграмму распределения ошибок (рис. 4).

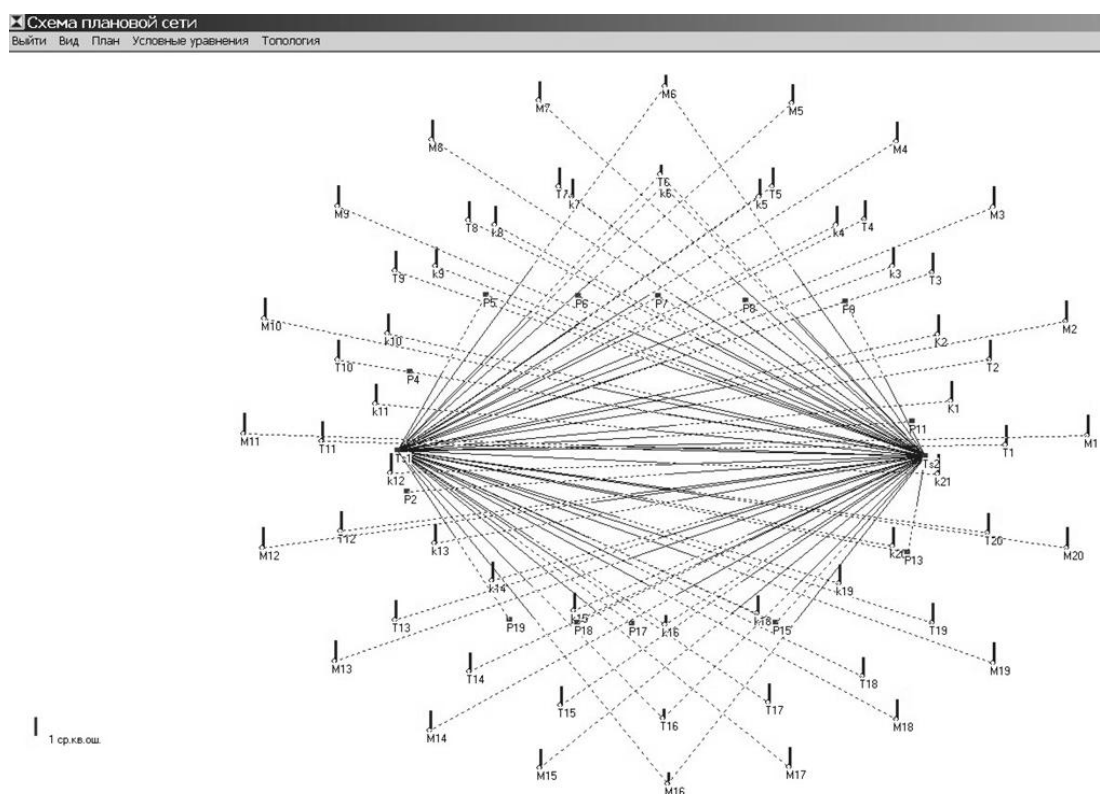


Рис. 4. Диаграмма распределения плановых ошибок контрольных точек

При такой схеме измерений среднеквадратические ошибки координат контрольных точек составят 0,5 мм как в плане, так и по высоте. Однако такая схема измерений требует переноса инструмента с одной точки на другую, повторного ориентирования инструмента, поэтому наиболее экономичной и производительной является схема измерений с одной точки стояния, расположенной в центре поля. Поскольку в центре поля нельзя закрепить жесткую точку, то измерения каждый раз будут выполняться с произвольной точки расположенной в пределах центрального круга (точка Ts0). На рисунке 5 показана схема измерения контрольных точек при такой методике наблюдений.

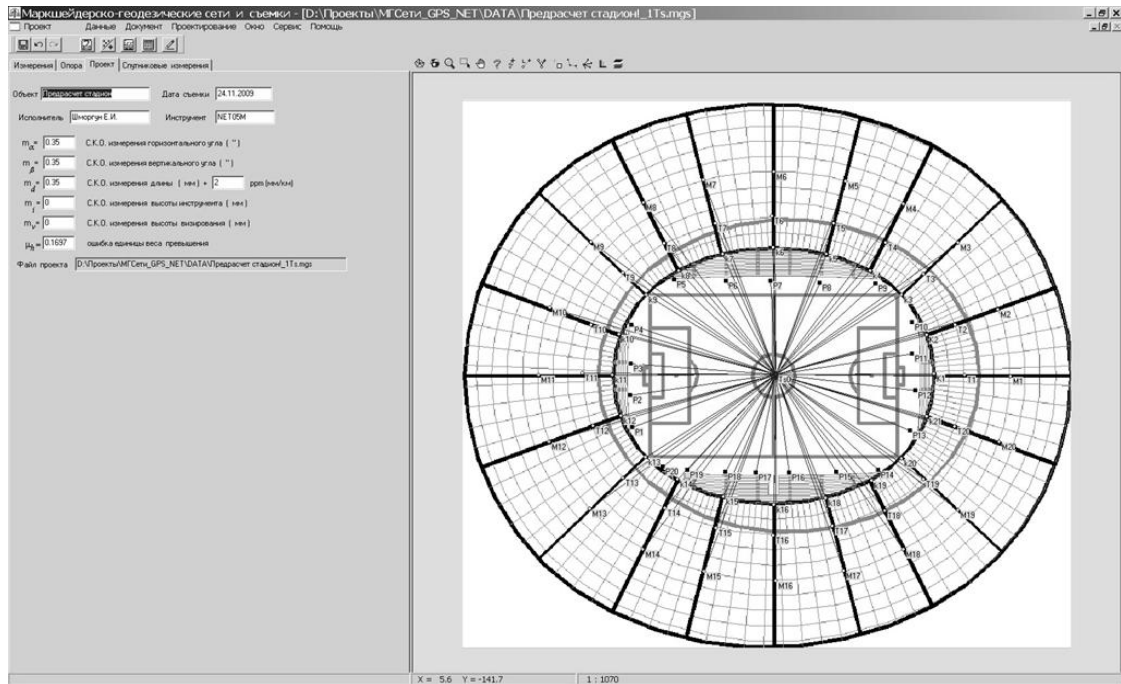


Рис. 5. Схема измерений с одной точки стояния

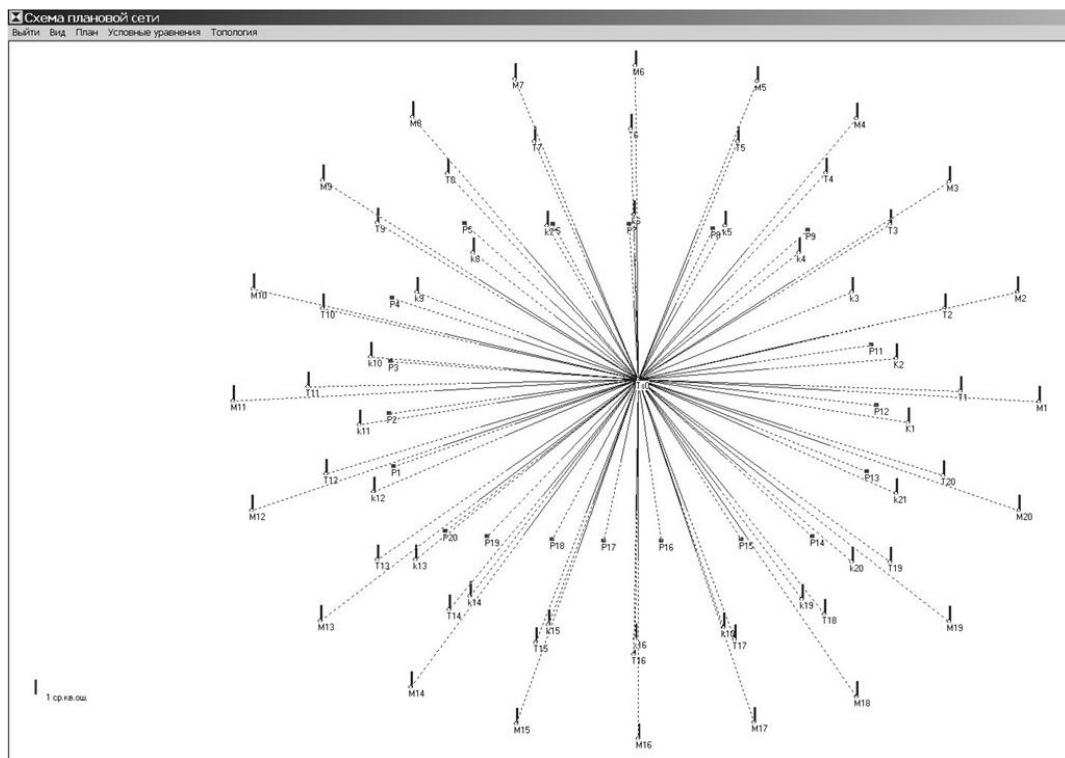


Рис. 6. Диаграмма распределения плановых ошибок при измерениях с одной точки

Ее координаты будут определяться каждый раз относительно внутренних опорных точек. Такая схема измерений позволяет повысить точность определения координат контрольных точек, т.к. уменьшаются расстояния от точки стояния до контрольных точек. При такой схеме измерения среднеквадратические ошибки координат контрольных точек составят 0,4 мм как в плане, и 0,3 мм по высоте (рис. 6 и 7).

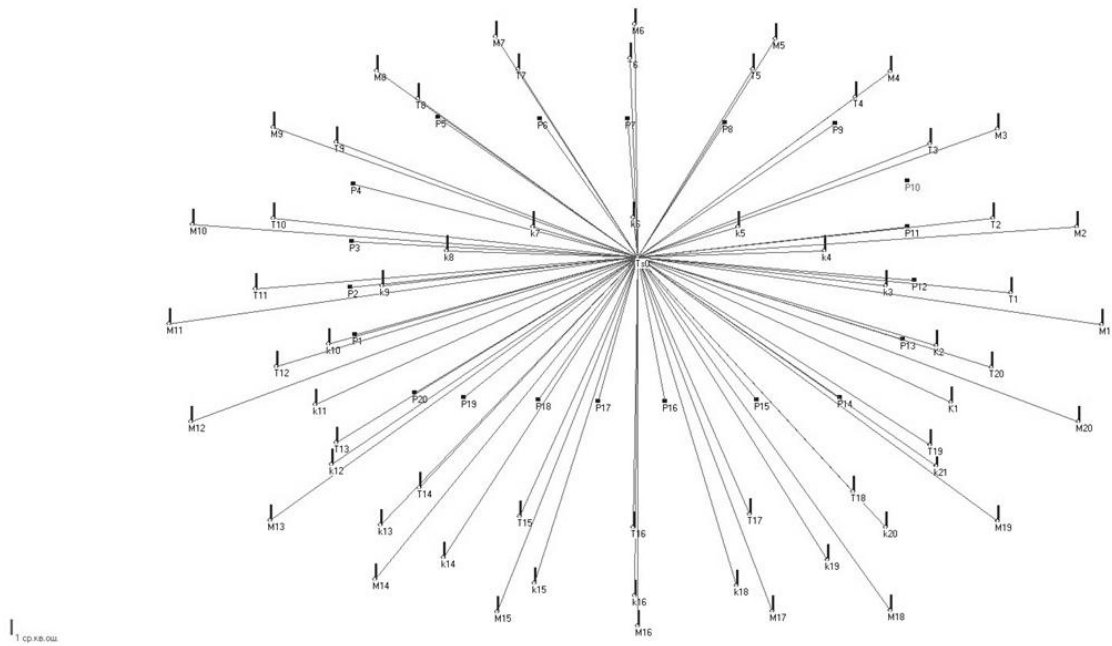


Рис. 7. Диаграмма распределения высотных ошибок при измерениях с одной точки

На рис. 8 показано характерное сечение стадиона при такой схеме измерения опорных точек.

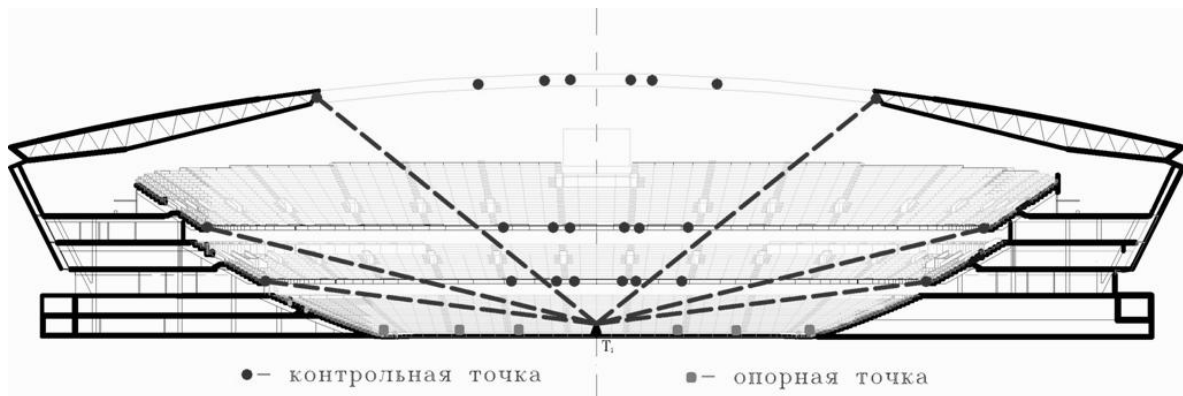


Рис. 8. Схема геодезических измерений в характерном сечении

Полные средние квадратические ошибки контрольных точек будут складываться из ошибок внутренних опорных точек и ошибок контрольных точек, относительно опорных точек:

$$m_L = \sqrt{m_{op}^2 + m_k^2} = \sqrt{(0,51)^2 + 0,5^2} = 1,0 \text{ мм} \quad (1)$$

Измерение внутренних опорных точек необходимо будет выполнять при каждом измерении конструкций стадиона, чтобы убедиться в неподвижности секторов. Если будут выявлены движения секторов стадиона, придется периодически выполнять полный комплекс работ по передаче координат от внешних опорных точек на внутренние опорные точки.

Контрольные точки закрепляются на конструкциях стадиона с помощью призм (рис. 9) или отражательных пластин. Число и расположение внутренних опорных и

контрольных точек должны обеспечивать не только определение деформаций конструкций стадиона, но и проверку стабильности положения самих секторов.



Рис. 9. Закрепление контрольных точек

Измерения такой точности можно выполнить с помощью *online*-измерительного комплекса «Визир 3D» [12,13].

Координаты контрольных точек, полученные из геодезического аудита, служат основой для дальнейшего автоматизированного мониторинга стадиона.

Автоматизированная система геодезического мониторинга стадиона

После проведения подготовительных работ и геодезического аудита можно выполнять геодезический мониторинг геометрических параметров конструкций стадиона. Для автоматизированного геодезического мониторинга необходим высокоточный моторизованный тахеометр, с точностью измерения углов 0,5" и длин 0,5 мм, и управляющий компьютер со специализированным программным обеспечением *GeoMonitoring* (разработано на кафедре геоинформатики и геодезии ДонНТУ). Это программное обеспечение позволяет создать для объекта проект (на рис. 10 показано окно проекта), с программой измерений (рис. 11).

Параметры проекта	
Объект	Стадион
Дата съемки	22.11.2009
Исполнитель	Шморган Е.И.
Инструмент	SPX5
Серийный №	10246
m_α	1 С.К.О. измерения горизонтального угла (")
m_β	1 С.К.О. измерения вертикального угла (")
m_d	1.0 С.К.О. измерения длины (мм) + 2 ppm (мм/км)
m_i	0 С.К.О. измерения высоты инструмента (мм)
m_v	0 С.К.О. измерения высоты визирования (мм)
μ	0.4848 ошибка единицы веса превышения
Файл проекта	d:\Проекты\Monitoring\Стадион.mgs
Размерность базовых размеров объекта	миллиметры
Коэффициент температурного расширения	0.0000000000 мм/м
Условия измерений	
Температура	6 (градусы)
Давление	1024
Время начала измерений	17:23:51

Рис. 10. Окно с данными проекта

Автоматизированная система геодезического мониторинга. Проект: [Стадион]
 Проект База данных Сервис Помощь

Проект | План | Измерения | Анализ | База данных

СТАНЦИИ			ИЗМЕРЕНИЯ						ОПОРНЫЕ И КОРРЕКТНЫЕ ТОЧКИ				
№	Т. Стоянки	h (м)	Т. Визирования	v (м)	Гор. Угол	Длина (м)	Верт. Угол	Марка	Иск. точки	X, (м)	Y, (м)	Z, (м)	Пря
1	TS1	0.0	P1					Призма	TS1	1.1399	-142.0262	5.000	4
2	TS2	0.0	P2					Призма	TS2	0.7749	139.063	5.000	4
3	TS3	0.0	P3					Призма	TS3	1.1399	-142.0262	5.000	4
4	TS4	0.0	P4					Призма	TS4	0.7749	139.063	5.000	4
			P5					Призма	P1	1.1174	-192.804	8.000	3
			P6					Призма	P2	50.3171	-177.0243	8.000	3
			P7					Призма	P3	101.0191	-110.8997	8.000	3
			P8					Призма	P4	119.0465	-48.5322	8.000	3
			P9					Призма	P5	123.5534	-0.8174	8.000	3
			K_1_11					Призма	P6	-50.3171	-177.0243	8.000	3
			K_1_10					Призма	P7	-101.0191	-110.8997	8.000	3
			K_1_9					Призма	P8	-119.0465	-48.5322	8.000	3
			K_1_8					Призма	P9	-123.5534	-0.8174	8.000	3
			K_1_12					Призма	P10	1.1174	192.804	8.000	3
			K_1_13					Призма	P11	50.3171	177.0243	8.000	3
			K_1_14					Призма	P12	101.0191	110.8997	8.000	3
			K_14					Призма	P13	119.0465	48.5322	8.000	3
			K_13					Призма	P14	123.5534	0.8174	8.000	3
			K_12					Призма	P15	-50.3171	177.0243	8.000	3

Рис. 11. Окно с измерениями

Программа измерений выполняется автоматически, затем геодезические измерения уравниваются в специальном модуле геодезических уравнивательных вычислений и уравненные координаты контрольных точек записываются в базу данных (рис. 12 слева) на дату измерений.

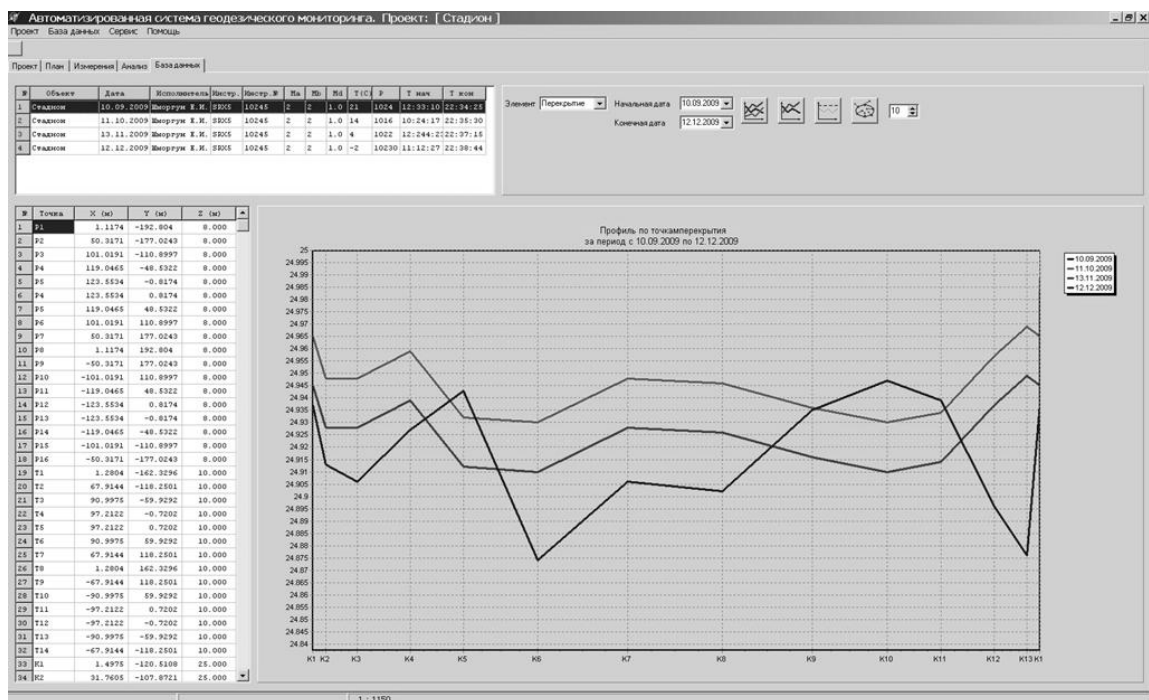


Рис. 12. База данных измерений и графики деформаций

По дате измерений можно выбрать данные и построить графики вертикальных деформаций (рис. 12), как абсолютных, так и относительных и векторы смещений точек в горизонтальной плоскости (рис. 13).

Программный комплекс может управлять несколькими тахеометрами одновременно (рис. 14), которые выполняют мониторинг различных частей объекта.

Для каждого прибора создается агент измерений – специализированная программа, которая передает команды с управляющей станции тахеометру, и обратно

отсылает результаты измерений. Агент измерений может располагаться, как на управляющей станции, так и на другом компьютере сети. Такая необходимость может возникнуть, когда между управляющей станцией и тахеометром нельзя установить прямую радиосвязь.

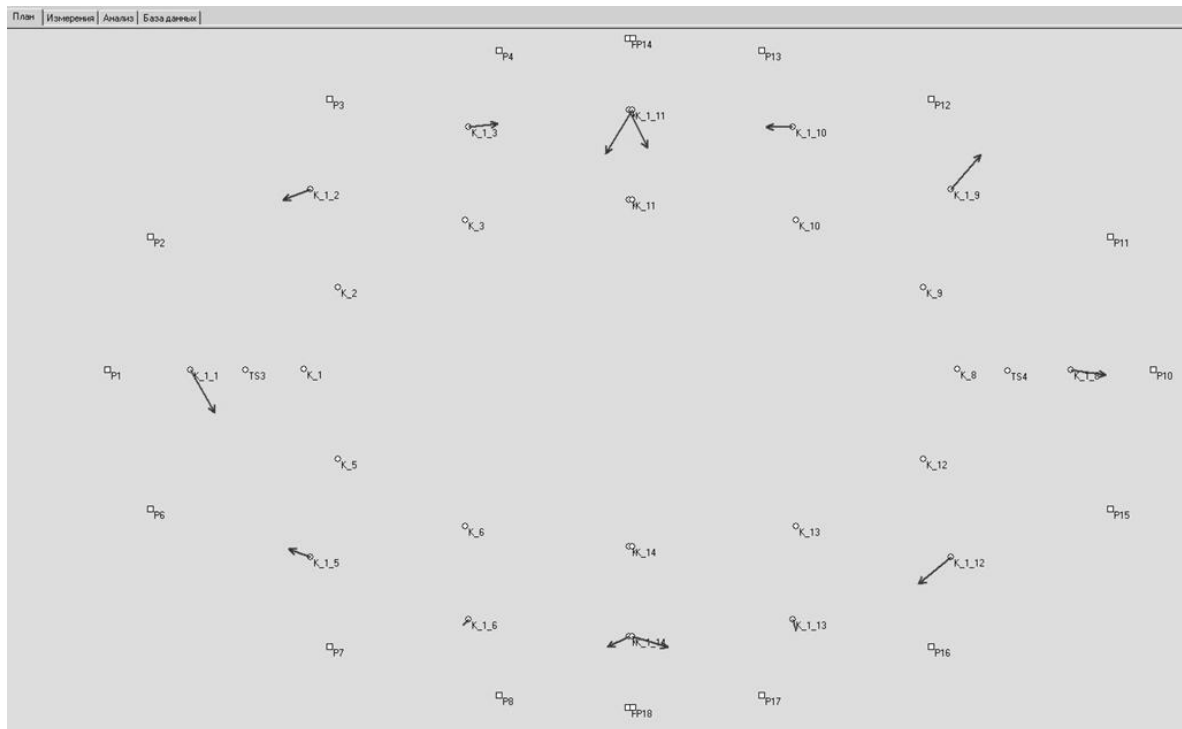


Рис. 13. Векторы смещений в горизонтальной плоскости

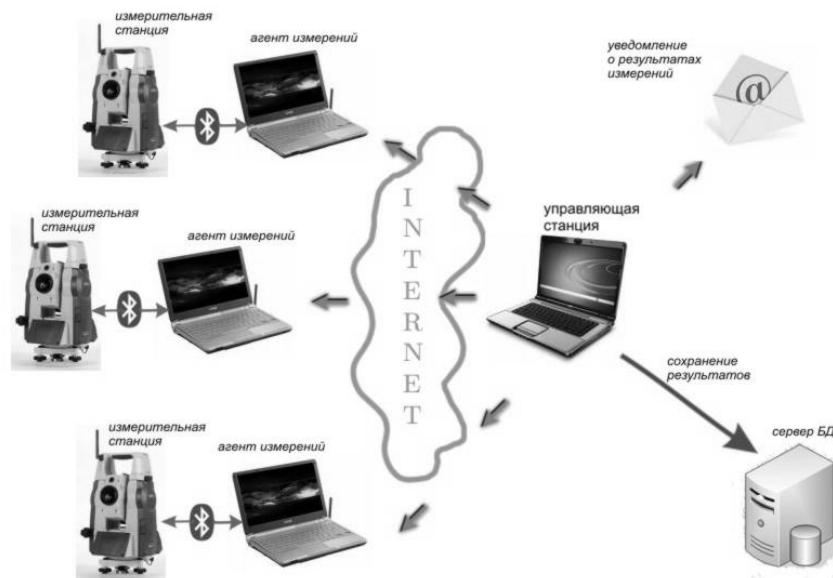


Рис. 14. Структура системы геодезического мониторинга

Система позволяет программно контролировать результаты, сравнивая полученные значения деформаций с предельными, установленными пользователем системы. Эксплуатирующие службы стадиона автоматически информируются, в случае

выявления отклонений, превышающих предельно допустимые значения. Результаты измерений сохраняются в базе данных на управляющей станции и передаются по каналам Интернет в базу данных удаленного сервера.

Автоматизированная система геодезического мониторинга «ГеоМониторинг» прошла испытания на тестовом объекте с тахеометром SRX фирмы Sokkia, который по набору команд совместим с тахеометром NET05T.

Выводы

Система мониторинга стадиона должна иметь сеть высокоточного геодезического обоснования, состоящую из внешних и внутренних опорных точек, которую возможно создать по специальной методике с помощью онлайн-ового измерительного комплекса «ВИЗИР 3D» [12,13], который может обеспечить точность определения координат контрольных точек 1,0 мм, как в плане, так и по высоте.

Применение автоматизированной системы геодезического мониторинга позволит сократить время измерений в 5-10 раз по сравнению с ручными измерениями и повысит объективность геодезических измерений. При использовании автоматизированной системы геодезического мониторинга не требуется специального освещения при выполнении измерений, т.к. для измерений используются функции самонаведения тахеометра.

Геодезические измерения конструкций являются наиболее точными и объективными, однако АСГМ должна работать совместно с *online*-системой мониторинга напряженного состояния строительных конструкций [3,5], которая должна определять момент начала деформаций, чтобы своевременно выполнять дополнительные серии геодезических наблюдений, по которым возможно выполнить оценку технического состояния строительных конструкций.

Библиографический список

1. МГСН 4.19–2005 Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве [Электронный ресурс] Утверждены правительством Москвы постановлением от 28.12.2005 № 1058. – Режим доступа - ПП <http://www.remontnik.ru/docs/45358/> -
2. ДБН В1.2 5:2007. Науково технічний супровід будівельних об'єктів. – К.: Мінрегіонбуд України, 2007. – 16с.
3. Горпинченко В.М. Мониторинг технического состояния конструкций социально значимых большепролетных сооружений Москвы / В.М. Горпинченко, М.И. Егоров // Промышленное и гражданское строительство. –2006 - № 8 - С.13-18.
4. Горпинченко В.М. Мониторинг эксплуатационной пригодности особо ответственных, сложных и уникальных сооружений [Электронный ресурс] / В.М. Горпинченко, М.И. Егоров. – Режим доступа - <http://www.stroi.ru/tsch/d937dr349673m0.html>.
5. Моніторинг складних технічних систем / Є.В. Горохов, В.Ф. Мущанов, В.Р. Касімов [и др.] // Металеві конструкції. – 2008. – Т. 14, № 4. – С.299–313.
6. Конструкции стационарных покрытий над трибунами стадионов / Е.В. Горохов, В.Ф. Мущанов, Р.И. Кинаш и др. – Макеевка: ДонНАСА, 2008. – 403 с.
7. Федосеев Ю. Проблемы геодезического обеспечения строительства и эксплуатации современных высотных зданий и уникальных сооружений / Ю. Федосеев, В. Найдено // Инженерные изыскания. - март 2009. – С. 54–57.
8. Вайнберг В.Я. Проблемы геодезического обеспечения небоскребов / В.Я. Вайнберг // Геопрофи. –2004. –№ 4. –С. 3–5.
9. Lambrou E, Pantazis G, Nikolitsas K. SPECIAL MARKING OF 3D NETWORKS' POINTS FOR THE MONITORING OF MODERN CONSTRUCTIONS. 13th FIG Symposium on Deformation Measurement and Analysis, 4th IAG Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering, Lisbon, 2008 may 12-15, –P. 1–10

10. 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.

11. Шоломицкий А.А. Использование программного комплекса «МГСети» при подготовке инженеров–землеустроителей / А.А. Шоломицкий, Е.И. Шморгун, А.В. Мартынов // Аграрний вісник причорномор'я. Зб. наук. праць. - Одеса:ТВС. –2009. – Вип. 51. – С.103 – 109.

12. Могильный С.Г. Трьохкоординатний вимірювальний 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.

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

14. Gerard Manley, Ryan Drefus As construction booms in New York City, automatic total stations monitor nearby buildings to make sure they don't move too much Professional Surveyor Magazine • November 2008 • www.profsurv.com [Електронний ресурс].

15. Person T., Michel V. Activities of the IGN Special Works Department// IERS Technical Note, № 33, –P.93–99

16. Система структурного мониторинга Leica GeoMoS – www.gfk-leica.ru – сайт фирмы Г.Ф.К. [Електронний ресурс].

17. GeoRobot - Automatic 3D Deformation Monitoring System – www.geodata.com – сайт фирмы DataSheetSYSTEM [Електронний ресурс].

18. Hardy Schwalb A Stadium for Leica TPS1200// The Global Magazine of Leica Geosystems, Reporter № 61,–P.11–13

Надійшла до редколегії 02.09.2009

С.Г. МОГИЛЬНИЙ, А.А. ШОЛОМИЦЬКИЙ, Є.І. ШМОРГУН

ПРОЕКТ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ СТАДІОНА

Розглянуто питання створення автоматизованої системи геодезичного моніторингу стадіонів, побудови опорної геодезичної мережі і методики її вимірювань. Обґрунтовано схеми і методики вимірювань у процесі виконання геодезичного моніторингу, виконано передрозрахунок точності створення геодезичної мережі і вимірювань просторового положення конструкції стадіону.

S. MOGILNY, A. SHOLOMITSKY, E. SHMORGUN

AN AUTOMATED SYSTEM PROJECT OF GEODETIC MONITORING FOR STADIUMS

The paper considers the problems of creating an automated system of geodetic monitoring for stadiums, the development of basic geodetic network and the methods of its measurement. The schemes and measurement procedure for geodetic monitoring are verified, the preliminary accuracy calculation for the geodetic network and for the stadium attitude measurements are done.

© С.Г. Могильный, А.А. Шоломицкий, Е.И. Шморгун, 2010