

УДК 528.02+658.58

С.Г. Могильный; А.А. Шоломицкий, ДНТУ

ВЫСОКОТОЧНЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ, МОНТАЖЕ И МОНИТОРИНГЕ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ

АННОТАЦИЯ

Рассмотрена методика высокоточных геодезических работ при строительстве, монтаже и мониторинге состояния объектов онлайн-измерительным комплексом "Визир 3D". Приведены данные практического применения комплекса на сложных промышленных объектах. Обозначены проблемы, которые требуют решения.

Ключевые слова: строительство, монтаж, выверка, моделирование, геодезические измерения, предрасчет точности.

В последние годы возросла сложность и размеры общественных зданий и сооружений, при этом проявились сложности в обеспечении безопасной эксплуатации таких сооружений. Аварии в последние годы на таких объектах, 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 их эксплуатации. Требования к проектированию и строительству уникальных объектов определяются строительными нормативными документами, которые определяют и необходимость мониторинга [1].

В России наибольший опыт оценки технического состояния уникальных объектов накоплен ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко, 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" и многих других объектов. Исследования ЦНИ-

ИСК им. В. А. Кучеренко [2,3] показали, что наиболее критичными являются первые 6-8 лет после строительства объекта, в этот период измерения необходимо проводить чаще.

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 натурных наблюдений с результатами компьютерного моделирования объектов или с критериальными показателями.

К сожалению, наименее освещены в литературе вопросы именно геодезического мониторинга, точность работ, технология измерений и обработки. Авторы системы геодезического мониторинга Афинского олимпийского футбольного стадиона [4] утверждают, что только при использовании самого современного геодезического оборудования возможно построить опорную сеть вокруг стадиона с точностью определения координат опорных точек 1 мм, которая составит ± 3 мм.

Краткий обзор публикаций показывает, что каждое из уникальных сооружений требует разработки и реализации оригинальной технологии мониторинга по деформациям конструкций. В Украине за последнее время построено и строится ряд современных стадионов, приуроченных к проведению "ЕВРО-2012". Построен новый стадион "Донбасс-Арена" (Донецк), выполнена реконструкция стадиона "Арена-Днепр" (Днепропетровск), завершена реконструкция Олимпийского стадиона (Киев), стадионов во 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.

Еще одним видом геодезического мониторинга объектов в промышленности являются монтаж и

последующая выверка технологического оборудования [5,6]. В данной статье авторы предприняли попытку обобщить свой опыт выполнения высокоточных геодезических работ и причин, которые препятствуют повышению качества геодезического обеспечения строительства и мониторинга состояния объектов.

Строительство и монтаж объектов

Одним из уникальных по точности монтажа объектов, с которыми пришлось работать авторам, является магистральный канатно-ленточный конвейер (КЛК), который строится по проекту фирмы "Metso Corporation", между скиповым стволом шахты и обогатительной фабрикой (рис. 1). Конвейер имеет три поворотных участка с малым радиусом поворота (440 м) для таких объектов, поэтому к точности выставки фундаментных блоков конвейера предъявляются очень высокие требования. Ошибка определения координат центра фундамента не должна превышать 6 мм на всем протяжении конвейера, длина которого составляет 5200 м (660 опор фундаментов, два мостовых перехода).

Для геодезического обеспечения монтажа конвейера была выполнена исследовательская работа по моделированию и предрасчету точности геодезической сети. Начальный вариант сети был выполнен в 2007-2009 годах подрядной организацией (рис. 2). Этот вариант дал при моделировании



Рисунок 1. Участок КЛК с мостовым переходом

ошибку определения координат пунктов $m=345$ мм. И только седьмой вариант проекта сети (рис. 3), включающий векторы спутниковых измерений, измеренных с высокой точностью двухчастотными спутниковыми приемниками, позволил обеспечить необходимую точность геодезической сети ($m=6$ мм). Сеть была измерена с помощью комплекса "Визир 3D".

При геодезическом контроле монтажа такого оборудования необходимо учитывать конфигурацию геодезической опорной сети, которая очень сильно влияет на точность сети, использовать передовые технологии создания геодезических сетей и обязательно выполнять предрасчет их точности. Выноску проекта в натуру наиболее целесообразно выполнять в режиме реального времени, что позволит значительно (в 5...6 раз) сократить время выполнения геодезических работ, особенно при монтаже оборудования.

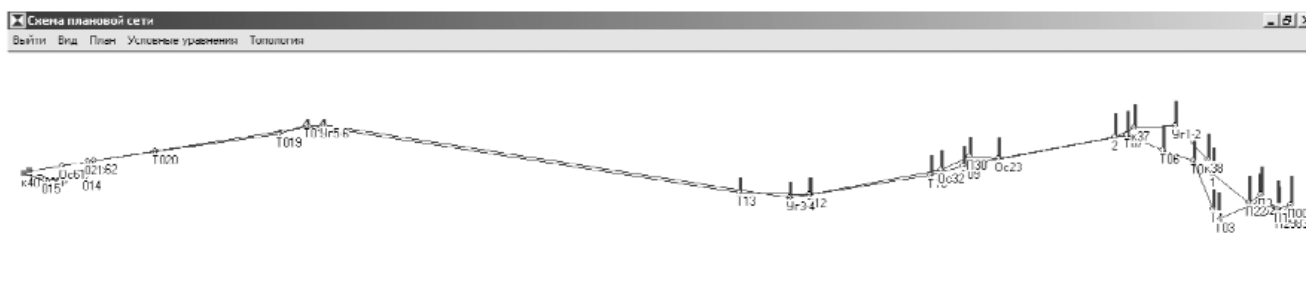


Рисунок 2. Начальный вариант сети и диаграмма распределения плановых ошибок сети ($m=345$ мм)

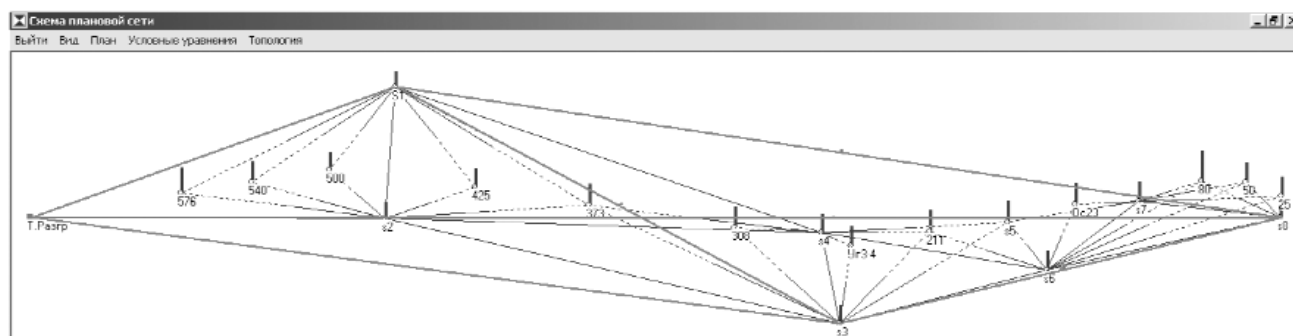


Рисунок 3. Окончательный вариант сети и диаграмма распределения плановых ошибок сети ($m=6$ мм)

Мониторинг состояния технологического оборудования

Производственная эксплуатация комплекса "Визир 3D" началась в 2007 г. на ОАО "Новокраматорский машиностроительный завод" (Краматорск, Украина), где он использовался для контроля сборки крупногабаритного оборудования, и на ОАО "Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича" (Украина) — для выверки оборудования слябовой машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) (рис. 4).

Фактическое положение оборудования МНЛЗ отличается от проектного, заданного проектно-конструкторской документацией. Причины отклонения — неизбежные ошибки действительных размеров, допущенные в ходе изготовления, сборки и монтажа оборудования. В процессе эксплуатации МНЛЗ происходят естественные процессы износа и деформирования элементов оборудования. Кроме этого, на участке формирования непрерывно литого слитка оборудование подвержено интенсивному тепловому нагружению, действию ферростатического давления столба жидкого металла и нагрузок со стороны слитка, работает в условиях повышенной влажности и запыленности.

С целью предупреждения отклонений положения оборудования МНЛЗ геодезической службой

проектно-конструкторского отдела ОАО "Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича" регулярно выполняется комплекс работ по выставке оборудования во время ремонтных работ. Оборудование проверяется на соответствие проекту высотных отметок и расстояний между отдельными элементами.

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 ч.

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

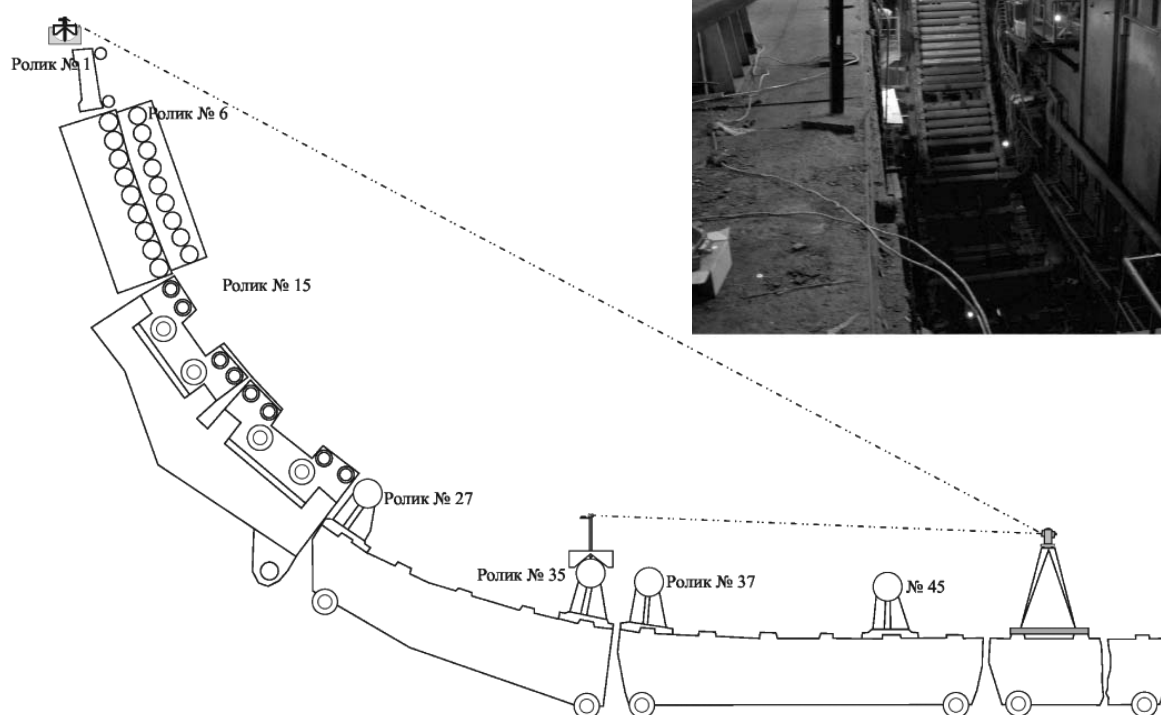


Рисунок 4. Общий вид МНЛЗ с установленными шаблонами и схема геодезических измерений

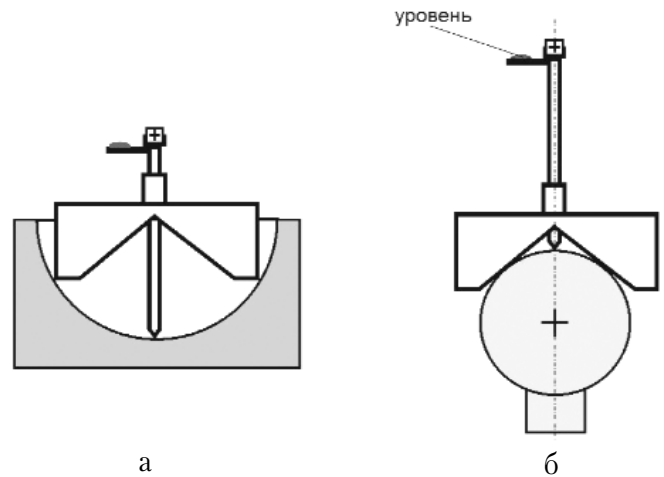


Рисунок 5. Измерение посадочного места подшипника (а) и образующей ролика (б)

Для выполнения измерений использовалась специальная методика измерений и приспособления. Для нахождения нижней образующей посадочного места подшипника (рис. 5а) и верхней образующей роликов (рис. 5б) использовалась призматическая подставка с подвижной измерительной штангой.

На измерительной штанге располагается поворотная отражающая пластина с визирной целью и уровень. Штанги использовались трех размеров: 180, 300 и 500 мм. Уровень для каждой штанги подбирался с такой ценой деления, чтобы обеспечить точность центрирования 0,1 мм.

В процессе измерений контролировались: посадочные места подшипников механизма качания и образующие роликов №1, 6, 15, 27, 35, 37 и 45 (рис. 4).

Для контроля положение всех точек измерения определялось дважды с различных станций (места установки тахеометра). Для этого после измерений с первой станции тахеометр смещался на новую станцию и измерения повторялись. Чтобы обеспечить связь между станциями, на опорных конструкциях камеры вторичного охлаждения МНЛЗ 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 конт-

рольные измерения геометрических параметров МНЛЗ по традиционной технологии с помощью нивелирования и отвесов (рис. 4, на специальной подставке высотой 8 м установлен нивелир).

Анализ результатов измерений показал, что расхождение координат точек измерения, определенных с двух станций, не превышало 0,2 мм. Расхождения в высотных отметках точек измерения, определенных электронным тахеометром и из нивелирования II класса, не превышали 0,1 мм. Линейные измерения расстояний 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 МНЛЗ такой комплекс измерений выполнялся дважды — после установки шаблонов и после подкладки платиков для контроля. Так что общее время простоя машины сократилось на 10...13 ч.

На ЗАО "Миниметаллургический завод "Истил (Украина)" (ныне ЧАО "Донецкий электрометаллургический завод") комплекс применялся для контроля и выставки оборудования сортовой шестиручьевого МНЛЗ. Оборудование каждого ручья машины ниже кристаллизатора расположено в отдельных изолированных помещениях, поэтому для выполнения работ по его выставке в проектное положение потребовалось создание высокоточной внутрицеховой опорной геодези-

ческой сети (точность определения координат точек сети 0,3 мм), от которой впоследствии производились измерения и выставка оборудования МНЛЗ.

Выставка одного ручья с помощью измерительного комплекса "Визир 3D" в проектное положение занимает примерно 6 ч при точности выставки элементов машины 0,4 мм. Если работы по выставке МНЛЗ производить при помощи традиционных методов геодезического контроля, то время выполнения работ увеличится в 4...5 раз.

Проект геодезического мониторинга стадиона

Авторами создано программное обеспечение и выполнен проект геодезического мониторинга стадиона на примере "Донбасс-Арены". Целью геодезического мониторинга является определение геометрических параметров отдельных элементов конструкций и стадиона в целом в течение периода его эксплуатации.

Геодезические измерения должны выполняться периодически не реже 1 раза в 2 месяца в первые 2 года и один 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. 6), 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. Точность определения координат контрольных точек должна связываться с величинами допустимых деформаций объекта. 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", которая позволяет вы-

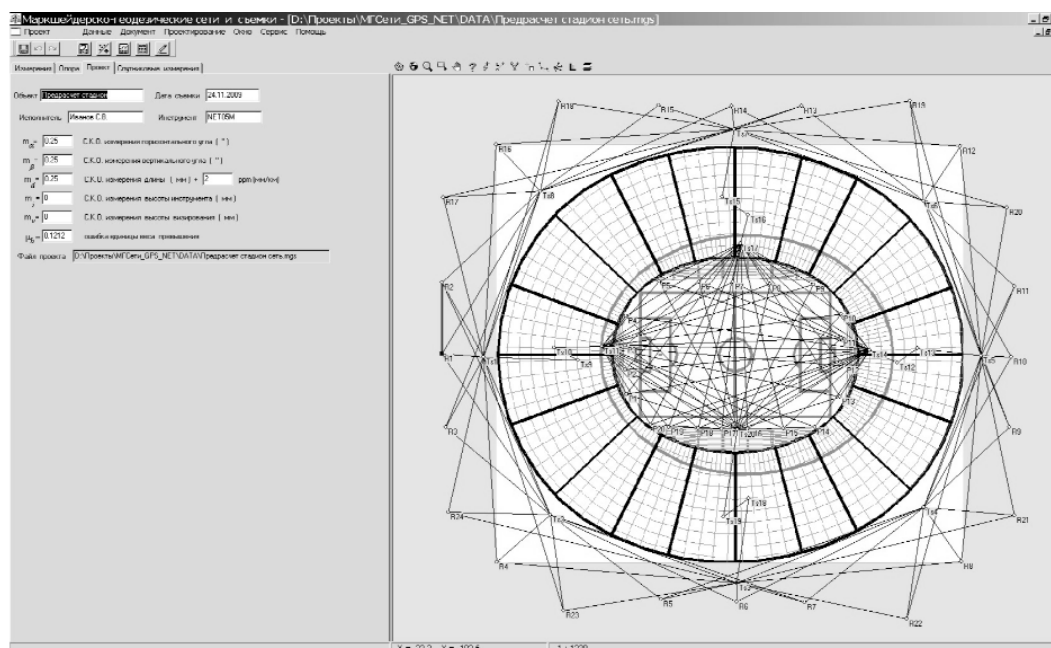


Рисунок 6. Схема расположения внешних и внутренних опорных точек

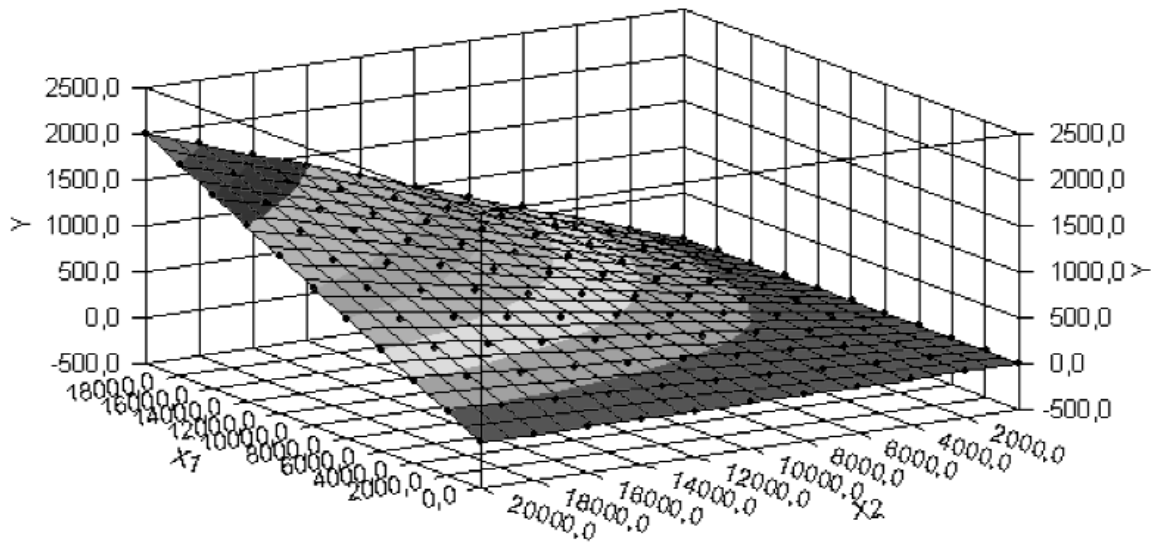


Рисунок 3. Поверхня досліджуваного гіпара

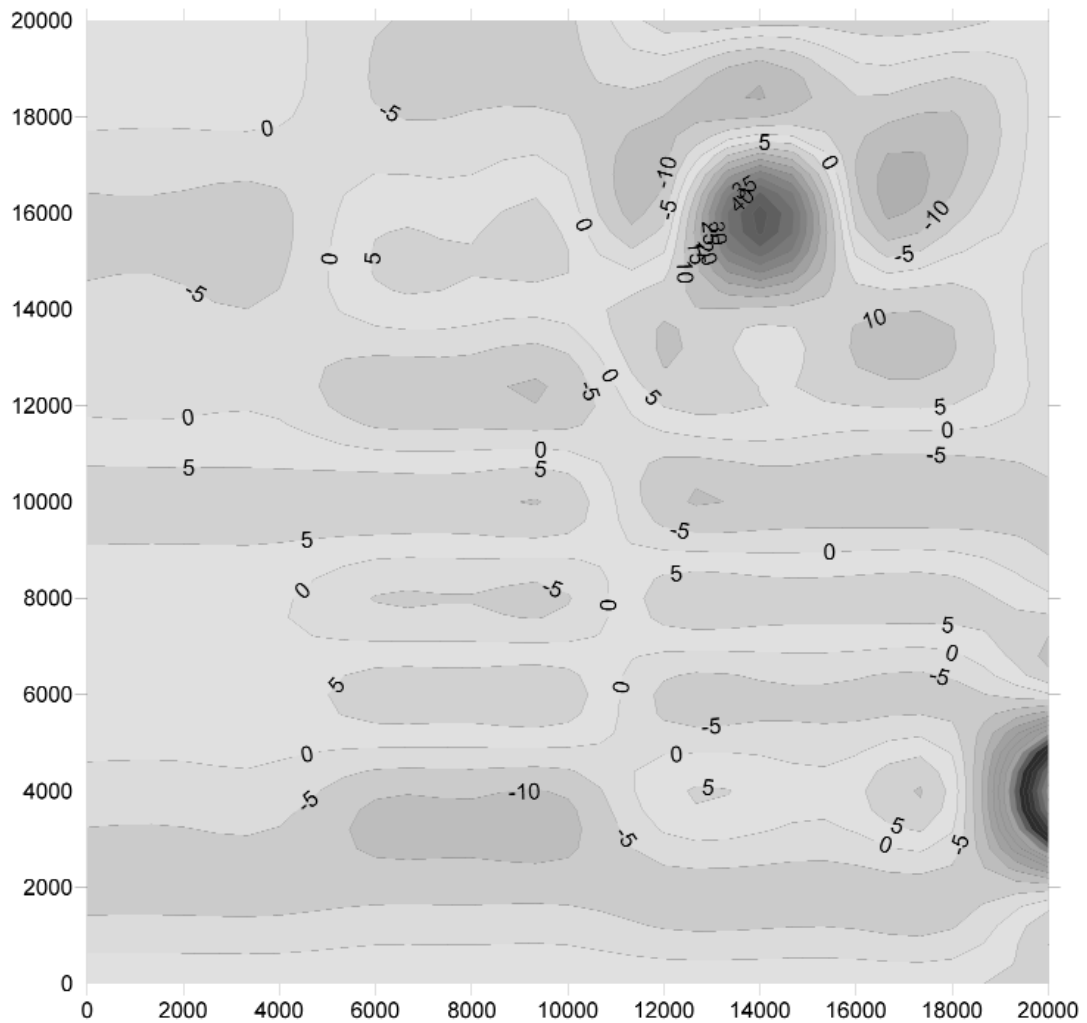


Рисунок 4. Графік деформацій оболонки, отриманих електронним тахеометром

Кольорові рисунки до статті Р.В. Шульца МОЖЛИВОСТІ МЕТОДУ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ДЕФОРМАЦІЙ ПРОСТОРОВИХ ОБОЛОНОК на стор.53

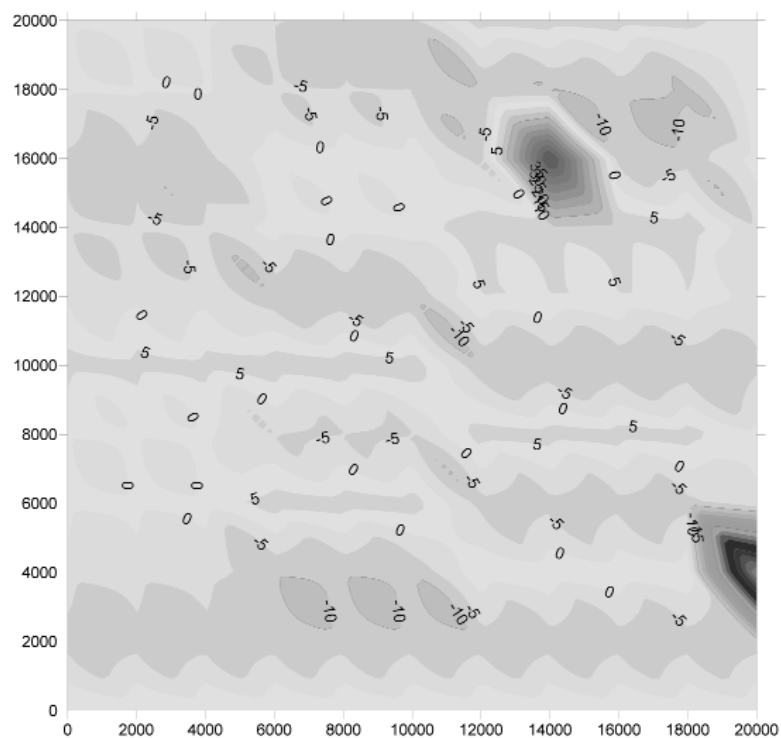


Рисунок 5. Графік деформацій оболонки, отриманих наземним лазерним сканером

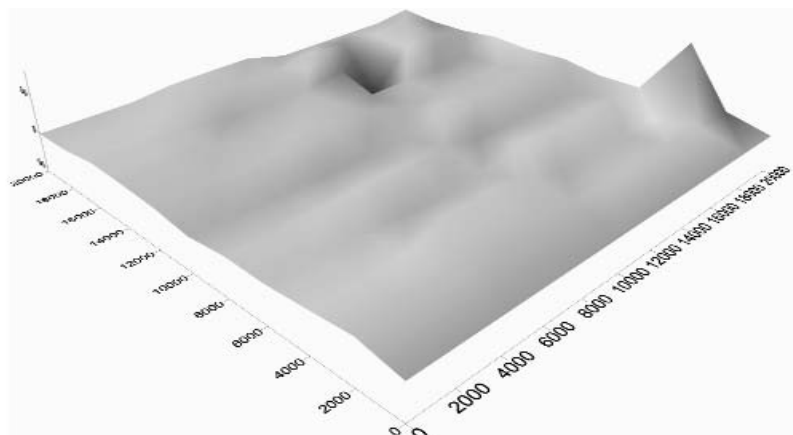


Рисунок 6. Графік деформацій оболонки, отриманих електронним тахеометром

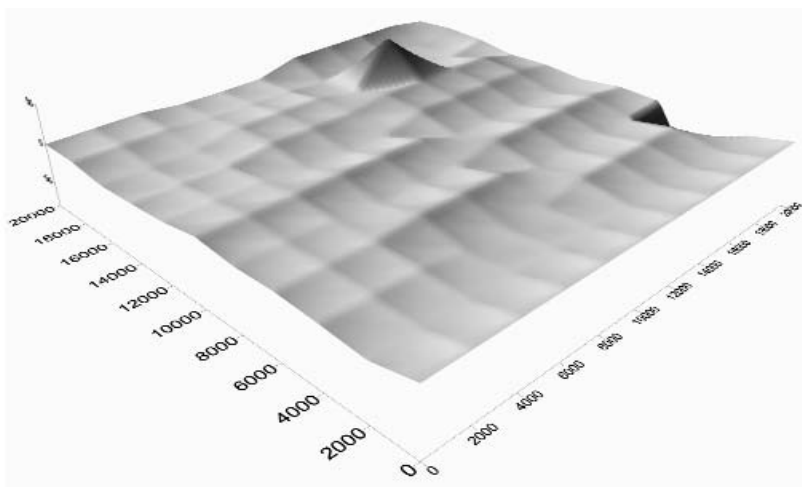


Рисунок 7. Тривимірний графік деформацій оболонки, отриманих наземним лазерним сканером

Кольорові рисунки до статті Р.В. Шульца МОЖЛИВОСТІ МЕТОДУ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ДЕФОРМАЦІЙ ПРОСТОРОВИХ ОБОЛОНОК на стор.53

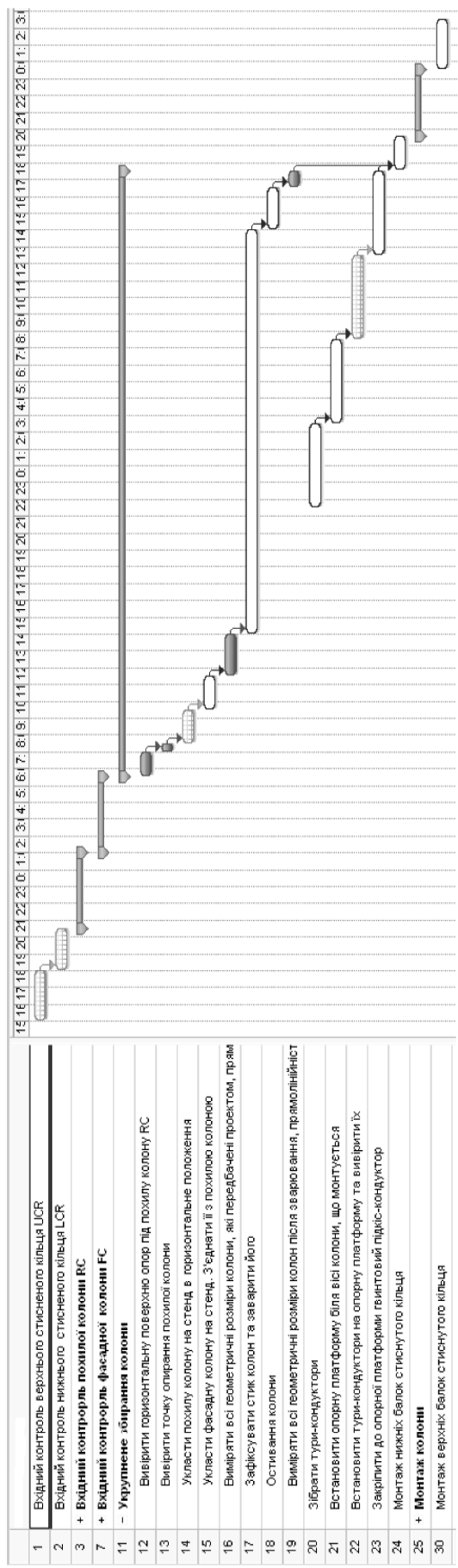
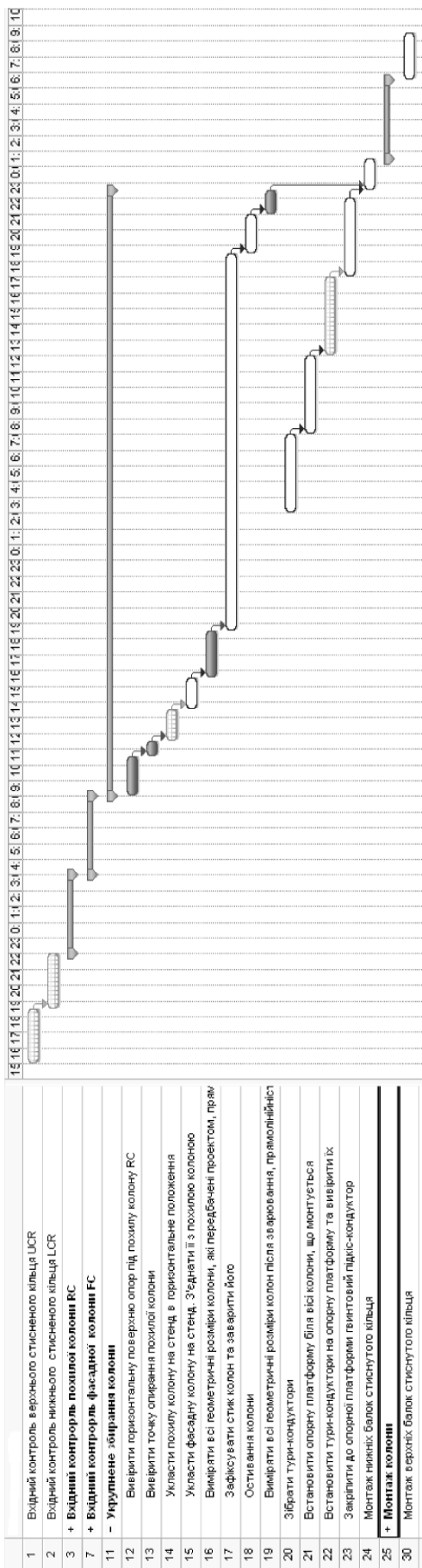


Рисунок 4. Діаграма Ганта (календарний графік) робіт з використанням оптичного теодоліта та електронного тахеометра

а — з використанням теодоліту; б — з використанням електронного тахеометра
— геодезичні роботи; — геодезичні роботи, що поєднані з монтажними; — монтажні роботи; — група об'єднаних робіт

Кольоровий рисунок до статті П.Є. Григоровського, Ю.В. Дейнеки, Л.О. Косолапа ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВИБОРУ ЗАСОБІВ ВИКОНАННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ на стор.61

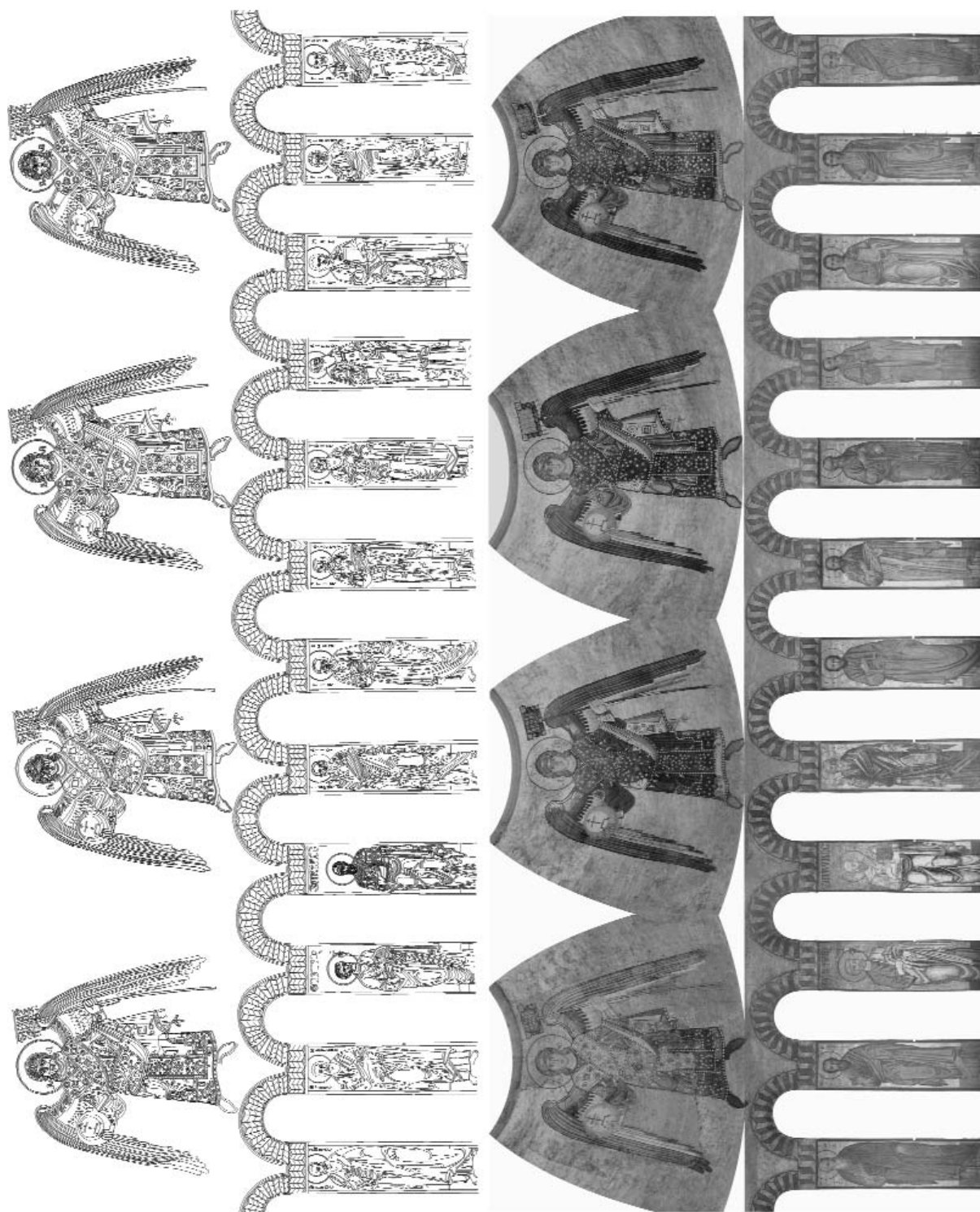


Рис.2. Векторне креслення та фотоплан розортки центрального куполу Софійського собору
Кольоровий рисунок 2 до статті С.П. Боднара ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ЦИФРОВОЇ ФОТОГРАММЕТРІЇ ПРИ СТВОРЕННІ ВЕЛИКОМАСШТАБНИХ
КРЕСЛЕНЬ ПАМ'ЯТОК АРХІТЕКТУРИ на стор.93

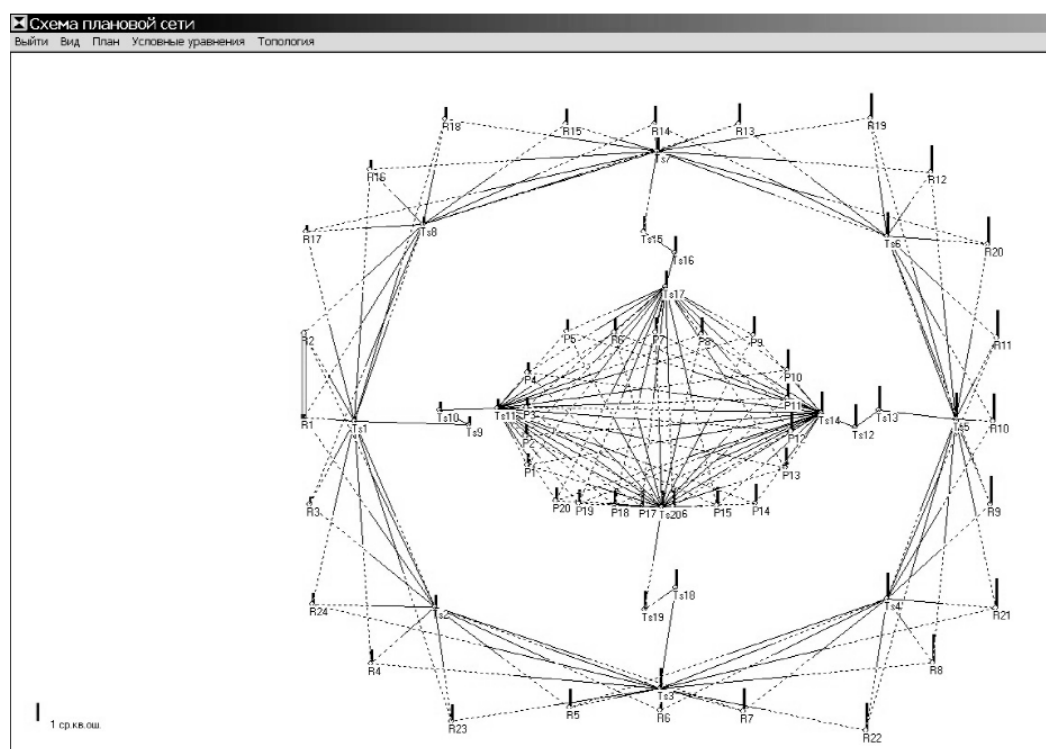


Рисунок 7. Ошибки определения координат пунктов плановой сети

полнить предрасчет точности любых геодезических сетей.

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. 6).

В результате была спроектирована сеть из 24 внешних опорных точек (обозначены R на рис. 6), 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. Для выполнения работ планируется использовать современный высокоточный моторизованный электронный тахеометр, который позволяет измерять углы с точностью 0,5" и длину с точностью 0,5 мм.

При таких параметрах точности измерений (4-кратные измерения при КЛ и КП) можно добиться высокой точности определения координат внутренних и внешних опорных точек. На рис. 7 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 0,5 мм.

Выводы

Опыт работы авторов на этих и других сложных промышленных объектах показал, что для объектов с высокими требованиями к точности строительства, монтажа и мониторинга состояния обязательно должны выполняться предварительное проектирование и предрасчет точности геодезических опорных сетей, а также обоснование методики измерений. Многие программы уравнивания геодезических и маркшейдерских сетей позволяют выполнить такой предрасчет с различной степенью автоматизации, однако работники геодезических предприятий и отделов не имеют достаточной квалификации, чтобы выполнить эту работу. Наш опыт показывает, что для таких объектов нельзя пользоваться приближенными методами расчета, как рекомендуется, например, инструкциями по производству топографических или маркшейдерских работ, а необходимо выполнять строгий предрасчет точности для конкретной геометрии сети при заданной точности геодезических измерений, т.к. геометрические свойства сети оказывают большое влияние на точность определения координат точек сети.

Вторым очень важным и зачастую нерешенным вопросом является обоснование точности геодезических измерений для конкретного объекта. Наиболее правильным подходом является определе-

ние этой точности в проектной документации на объект строительства или мониторинга коллективом проектировщиков, которые могут обосновать пределы допустимых и критических деформаций. Исходя из этих величин, необходимо задавать точность измерений, чтобы можно было достоверно оценивать величины деформаций объекта.

Третьим важнейшим фактором является принцип "остаточного" финансирования геодезического обеспечения строительства и мониторинга состояния объектов. В проект геодезического обеспечения сложных объектов закладываются сметы как на обычные топографические съемки, и в результате мы получаем очень низкое качество геодезического обслуживания. А для геодезического обеспечения таких объектов требуется высокоточное геодезическое оборудование, соответственно более дорогое специализированное программное обеспечение и выполнение работ более трудоемкое и требующее от исполнителей более высокой квалификации. Было бы правильно изучить и перейти на зарубежный опыт планирования и финансирования. Например, в Германии геодезическое сопровождение строительства сложных объектов составляет от 5% до 10% от стоимости самого объекта. А пока у нас в тендерах на работы основным критерием является минимальная стоимость, а не качество выполнения работ и квалификация исполнителей, в результате качество геодезического обеспечения строительства и мониторинга состояния объектов будет очень низким.

Авторы надеются, что в дальнейших нормативных материалах по геодезическому обеспечению строительства и мониторинга состояния объектов будут учтены отмеченные недостатки и геодезическим организациям будет легче обосновывать методику выполнения работ на данном объекте и их стоимость.

Опыт показал, что применение онлайн-методов геодезических измерений при сопровождении строительства и мониторинге состояния промышленных объектов является очень эффективным, производительность труда при геодезических измерениях повышается в среднем в 3-4 раза, а при монтаже и выверке оборудования в 4-6 раз и при этом повышается качество геодезических измерений за счет использования программных методов анализа и поиска некачественных измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. МГСН 4.19-2005 Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве. Утверждены правительством Москвы постановлением от 28.12.2005 № 1058-ПП Режим доступа: <http://www.remontnik.ru/docs/45358>
2. В.М. Горпинченко, М.И. Егоров Мониторинг технического состояния конструкций социально значимых большепролетных сооружений Москвы. // Промышленное и гражданское строительство. — 2006. — № 8. — С.13-18
3. В.М. Горпинченко, М.И. Егоров Мониторинг эксплуатационной пригодности особо ответственных, сложных и уникальных сооружений. — Режим доступа: <http://www.stroi.ru/tsch/d937dr349673m0.html>
4. Lambrou ?, 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

АНОТАЦІЯ

Розглянута методика виконання високоточних геодезичних робіт при будівництві, монтажі і моніторингу стану об'єктів онлайн-вимірювальним комплексом Візір 3D". Наведено приклади практичного застосування комплексу на складних промислових об'єктах. Визначені проблеми, які потребують вирішення.

Ключові слова: будівництво, монтаж, вивірка, моделювання, геодезичні виміри, передрозрахунок точності.

ANNOTATION

The technique of high-precision surveying during construction, installation and monitoring of the state object by the on-line measuring system "Vizir 3D" is considered. The data of practice applying of the system on complex industrial facilities is presented, The problems for solutions are indicated.

Key words: construction, installation, alignment, modeling, geodetic measurements, preliminary accuracy calculation